



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE POS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE RECURSOS
HÍDRICOS

PEDRO BENJAMIN CARREIRO LIMA MONTEIRO

**PROPOSTA METODOLÓGICA PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS
NO ESTADO DO PIAUÍ**

Recife

2018

PEDRO BENJAMIN CARREIRO LIMA MONTEIRO

**PROPOSTA METODOLÓGICA PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS
NO ESTADO DO PIAUÍ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

Área de Concentração: Regulação e Governança de Recursos Hídricos

Orientador: Prof.^o Dr. Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral

Recife

2018

Catálogo na fonte
Bibliotecária Valdicéa Alves, CRB-4 / 1260

M772p Monteiro, Pedro Benjamin Carreiro Lima.

Proposta metodológica para a gestão das águas subterrâneas no estado do Piauí / Pedro Benjamin Carreiro Lima Monteiro- 2018.
208 folhas, Ils.; Tab.; Qua. e Siglas.

Orientador: Profº. Dr. Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, 2018.

Inclui Referências e Apêndices.

1. Engenharia Civil. 2. Gestão e governança de águas subterrâneas. 3. Piauí. 4. Modelos de gestão. I. Cabral, Jaime Joaquim da Silva Pereira (Orientador). II. Título.

UFPE

624 CDD (22. ed.)

BCTG/2019-21

PEDRO BENJAMIN CARREIRO LIMA MONTEIRO

**PROPOSTA METODOLÓGICA PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS
NO ESTADO DO PIAUÍ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

Aprovada em: 20/06/2018

BANCA EXAMINADORA:

Profº. Dr. Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Profº. Dr. Anderson Luiz Ribeiro de Paiva (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

Profº. Dr. Jefferson Nascimento de Oliveira (Examinador Externo)
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

AGRADECIMENTOS

Agradeço a conclusão dessa etapa na minha vida a todas as pessoas que me ajudaram direta ou indiretamente;

À minha mãe, pelo suporte emocional e principalmente financeiro durante esses anos de mestrado; acreditando até mais que eu da importância desse título e dos frutos que ele poderá me conferir;

À minha turma de mestrado, pelos momentos bons e ruins. Em especial a minha amiga Ilana, minha conterrânea, pelas brincadeiras e palhaçadas, pelas confidências e por sempre me mandar notícias de concurso;

Às pessoas que tive o prazer de conhecer em Recife, embora nenhuma delas seja de Recife (rs), principalmente ao grupo de Whatsapp “Kero pizza” (Ju, Johnson e Eduardo), pelas noites de rodizio de pizza e saídas esporádicas. Essas pequenas alegrias foram fundamentais para mim;

À Netflix, essencial para acompanhar as minhas séries e me dar o que fazer nos fins de semanas;

Ao meu orientador, por ter me aturado durante esses dois anos. Não é um trabalho fácil, eu sei!

A Superintendência de Recursos Hídricos da SEMAR, principalmente à pessoas que a compõem. Obrigado pela atenção, carinho e dedicação.

E finalmente à Agência Nacional de Águas e a CAPES pela promoção do mestrado com esse caráter tão inovador, facilitando o intercâmbio de informações entre as diferentes regiões do Brasil, mostrando a necessidade da multidisciplinariedade quando o assunto é recursos hídricos.

RESUMO

O presente trabalho visa descrever um modelo de gestão proposto para as águas subterrâneas no estado do Piauí. Para isso, foi feita uma análise comparativa entre o modelo brasileiro e três modelos internacionais (Austrália, Califórnia e Israel) baseada no projeto Governança das Águas Subterrâneas. Os modelos foram comparados quanto a: liderança, arcabouço legal, nível de gestão, informação, conhecimento e monitoramento, envolvimento dos atores, integração com outras políticas, financiamento da gestão, e diretrizes para planos diretores. A escolha dos modelos analisados baseou-se numa pesquisa bibliográfica e documental quantitativa e qualitativa, em que foram escolhidos aqueles modelos que houvessem o maior número de informações possíveis e de fácil acesso. No segundo momento, caracterizou-se o estado do Piauí quanto a suas condições climáticas, geográficas, de disponibilidade e demanda por águas subterrâneas, e também quanto a atuação do Sistema de Gerenciamento Estadual dos Recursos Hídricos. Nessa parte, foi destacado o instrumento da outorga de direito de uso, o principal instrumento de gestão utilizado no estado. A partir dessas informações foi proposto um modelo de gestão para o estado do Piauí na forma de um ato normativo. É importante frisar que na construção do ato normativo (modelo de gestão), buscou-se harmonizá-lo com a Política Nacional e Estadual de Recursos Hídricos e com outras regulamentações existentes tanto no estado do Piauí quanto nacionalmente, de forma a não invalidar a sua aplicação e eficiência. Também na construção do modelo levou-se em consideração o estágio atual gestão no Piauí de modo a estabelecer ações capazes de serem executadas considerando a capacidade atual do órgão gestor, do Conselho Estadual e Comitês de Bacias. O modelo foi baseado em três eixos estratégicos: monitoramento, promoção e ampliação do conhecimento e critérios para outorga. O intuito principal foi fortalecer a atuação do SEGERH a partir de ações conjuntas e coordenadas e também trazer em pauta a preocupação da gestão de águas subterrâneas para a sociedade em geral. Assim, o modelo proposto elencou cinco novos instrumentos (áreas prioritárias, áreas de proteção de poços, planos diretores, monitoramento e relatório anual sobre águas subterrâneas) e estabeleceu novos procedimentos para a outorga de águas subterrâneas. Ao fim são feitas considerações sobre o trabalho, sendo propostos novos campos de pesquisa sobre a gestão das águas subterrâneas e sua integração com outras políticas.

Palavras-chave: Gestão e governança de águas subterrâneas. Piauí. Modelos de gestão

ABSTRACT

The present work aims to describe a proposed management model for groundwater in the state of Piauí. For this, a comparative analysis was made between the Brazilian model and three international models (Australia, California and Israel) based on the Groundwater Governance project. The models were compared regarding: leadership, legal framework, level of management, information, knowledge and monitoring, stakeholder involvement, integration with other policies, management financing, and guidelines for master plans. The choice of the models analyzed was based on a quantitative and qualitative bibliographic and documentary research, in which those models that had the greatest possible number of information were chosen and easily accessible. In the second moment, the state of Piauí was characterized as to its climatic, geographic conditions, availability and demand for groundwater, as well as the performance of the State Water Resources Management System. In this part, the instrument of use right was highlighted, the main management tool used in the state. Then, a management model was made for the state of Piauí in the form of a normative act. It is important to stress that in the construction of the normative act (management model), it was sought to harmonize it with the National and State Water Resources Policy and with other existing regulations both in the state of Piauí and nationally, so as not to invalidate its application and efficiency. Also, in the construction of the model was taken into account the current management stage in Piauí in order to establish actions capable of being executed considering the current capacity of the management agency, the State Council of Water Resources and Basin Committees. The model was based on three strategic axes: monitoring, promotion and expansion of knowledge and criteria for granting. The main purpose was to strengthen the performance of the SEGERH from joint and coordinated actions and also to bring into the agenda the concern of groundwater management for society in general. Thus, the proposed model listed five new instruments (priority areas, well protection areas, master plans, monitoring and annual reporting on groundwater) and established new procedures for groundwater use right. Finally, considerations are made about the work, and new fields of research on groundwater management and their integration with other policies are proposed.

Keywords: groundwater management and governance. Piauí. Management models

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Zonas de saturação do solo	20
Figura 2 -	Representação dos diferentes tipos de aquíferos	21
Figura 3 -	Conservação de massa (Equação da continuidade)	24
Figura 4 -	Evolução dos usos das águas subterrâneas	32
Figura 5 -	Marcos históricos da governança das águas subterrâneas	33
Figura 6 -	Desenho esquemático para a construção do modelo	51
Figura 7 -	Mapas dos sistemas hidrogeológicos australianos	53
Figura 8 -	Dependência das águas subterrâneas na Austrália	54
Figura 9 -	Poços na bacia sedimentar do Murray com a nomenclatura estadual	59
Figura 10 -	Poços na bacia sedimentar do Murray com UG após a padronização	59
Figura 11 -	Visualização aquíferos superiores, intermediários e inferiores	61
Figura 12 -	Visualização dos aquíferos intermediários e inferiores	61
Figura 13 -	Visualização dos aquíferos inferiores	62
Figura 14 -	Regiões hidrológicas, bacias e sub-bacias da Califórnia	70
Figura 15 -	Infraestrutura hídrica de Israel	77
Figura 16 -	Correlação das tipologias com a matriz de gestão	84
Figura 17 -	Classificação dos estados segundo as tipologias do Progestão	85
Figura 18 -	Curva ABC da Distribuição dos Poços por Estado	86
Figura 19 -	Precipitação x Evaporação	95
Figura 20 -	Regiões e bacias hidrográficas no Piauí	97
Figura 21 -	Área de estudo dos trabalhos pesquisados	100
Figura 22 -	Corte Esquemático A-A	104
Figura 23 -	Corte Esquemático B-B	105
Figura 24 -	Corte Esquemático C-C	105
Figura 25 -	Macrorregiões de desenvolvimento do estado	107
Figura 26 -	Gráfico BoxPlot da população do Piauí por macrorregião	108
Figura 27 -	Percentual de homens e mulheres da população do Piauí por macrorregião	109
Figura 28 -	Porcentagem da população urbana e rural do Piauí por macrorregião	109
Figura 29 -	Percentagem do PIB por macrorregião no Piauí	110
Figura 30 -	PIB 2014 dos dez maiores municípios por macrorregião no Piauí	111

Figura 31 -	Valor adicionado por macrorregião	112
Figura 32 -	Quantidade de municípios do Piauí sem informação sobre saneamento	114
Figura 33 -	Volumes de água captado e esgoto coletado e tratado por macrorregião	115
Figura 34 -	Áreas analisadas pelo Plano Estadual	118
Figura 35 -	Densidade de poços cadastrados no SIAGAS para o Piauí	126
Figura 36 -	Volume outorgado pela SEMAR em 2016 por finalidade	127
Figura 37 -	Volume outorgado pela SEMAR em 2017 por finalidade	127
Figura 38 -	Volume médio outorgado por município no Piauí	128
Figura 39 -	Zonas de proteção e controle de aquífero	131
Figura 40 -	Organograma da SEMAR	135
Figura 41 -	Sistemas de gerenciamento nacional e estadual dos recursos hídricos ...	136
Figura 42 -	Fluxograma para os pedidos de outorga	143
Figura 43 -	Desenho esquemático do modelo proposto	160
Figura 44 -	Fluxograma para classificação das áreas prioritárias	167
Figura 45 -	Fluxograma do plano diretor a ser elaborado	171
Figura 46 -	Fluxograma para outorga	173
Figura 47 -	Fluxograma para o monitoramento	175
Figura 48 -	Fluxograma para o RAAS	177

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Critérios para classificação das bacias em classes de prioridades	71
Tabela 2 - Classificação das bacias em classes de prioridades de acordo com a pontuação	71
Tabela 3 - Características dos aquíferos e aquíferos da bacia do Parnaíba	120
Tabela 4 - Condutividade hidráulica dos principais aquíferos piauienses	121
Tabela 5 - Transmissividade dos principais aquíferos piauienses	121
Tabela 6 - Coeficiente de armazenamento dos principais aquíferos piauienses	121
Tabela 7 - Critérios de classificação das áreas prioritárias	166
Tabela 8 - Pontuação para classificação	166

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 -	Resoluções do CNRH sobre águas subterrâneas	89
Quadro 2 -	Litoestratigrafia da província do Parnaíba	103
Quadro 3 -	Municípios de médio e grande porte do Piauí	108
Quadro 4 -	Dez municípios com os maiores PIB 2014 do Piauí	111
Quadro 5 -	Comparação Entre os Modelos Analisados	146
Quadro 6 -	Nível de Gestão dos Casos Analisados	148
Quadro 7 -	Arcabouço legal dos casos analisados	150
Quadro 8 -	Liderança dos casos analisados	151
Quadro 9 -	Análise da informação e conhecimento	152
Quadro 10 -	Análise da Rede de Monitoramento	152
Quadro 11 -	Envolvimento dos Atores	153
Quadro 12 -	Integração entre as Políticas	155
Quadro 13 -	Financiamento da gestão	156
Quadro 14 -	Diretrizes para os Planos Diretores	157

LISTA DE SIGLAS

AMAT	Associação das Empresas Mineradoras de Águas Termais
ANA	Agência Nacional de Águas
ANM	Agência Nacional de Mineração
BoM	Bureau of Meteorology (Governo Australiano)
CASGEM	California Statewide Groundwater Elevation Monitoring Program
CBH	Comitê de Bacia Hidrográfica
CERH-PI	Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Piauí
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
COAG	Council of Australian Government
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
DWR	California Department of Water Resources
EWR	Ecological Water Requirements
FAO	Food and Agriculture Organization of United Nations
GDE	Groundwater Dependent Ecosystem
GGIS	Global Groundwater Information System
GW-MATE	Groundwater Management Advisor Team
IAH	International Association of Hydrogeologist
IGRAC	International Groundwater Resources Assessment Center
IHP	International Hydrology Programme
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MS	Ministério da Saúde
NGIS	National Groundwater Information System (Austrália)
NWC	National Water Commission (Australia)
NWC	National Water Carrier (Israel)
NWI	National Water Initiative (Governo Australino)
OCDE	Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ONU	Organização das Nações Unidas
PC	Productivity Commission (Governo Australiano)
RIMAS	Rede Integrada de Monitoramento sobre Águas Subterrâneas
SEGERH	Sistema Estadual de Gerenciamento dos Recursos Hídricos

SEMAR	Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Piauí
SGMA	Sustainable Groundwater Management Act (California)
SIAGAS	Sistema de Informação sobre Águas Subterrâneas
SNIRH	Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
SRH	Superintendência de Recursos Hídricos
SRHU	Secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental
UNEP	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
WFD	Water Framework Directive (União Européia)
WHYMAP	World-wide hydrogeological Mapping and Assessment Programme

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVOS	18
2.1	OBJETIVOS GERAL	18
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3	HIDROLOGIA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	19
3.1	PROPRIEDADES FÍSICAS	22
3.2	BALANÇO HÍDRICO	24
3.3	INTERAÇÃO ENTRE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E SUPERFICIAIS	25
3.4	HIDRÁULICA DE POÇOS	27
4	GOVERNANÇA E GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	29
4.1	DA REVOLUÇÃO SILENCIOSA AO PROJETO GOVERNANÇA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	30
4.2	DIFERENÇA ENTRE GESTÃO E GOVERNANÇA	36
4.3	O PROJETO: A GOVERNANÇA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	39
4.3.1	O contexto das águas subterrâneas	39
4.3.2	Os alicerces para a governança	40
4.3.3	Construção de instituições eficientes	41
4.3.4	Estabelecendo links essenciais	42
4.3.5	Redirecionamento financeiro	44
4.3.6	Planos de gerenciamento	45
4.4	CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO	46
5	METODOLOGIA	47
5.1	REFERENCIAL TEÓRICO SOBRE GESTÃO E GOVERNANÇA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	47
5.2	PESQUISA DOCUMENTAL E BIBLIOGRÁFICA SOBRE OS MODELOS ANALISADOS	48
5.3	DIAGNÓSTICO DA ÁREA DE ESTUDO	49
5.4	CONSTRUÇÃO DO MODELO	50
6	EXEMPLOS DE GESTÃO NO BRASIL E NO MUNDO	52
6.1	A GESTÃO AUSTRALIANA	52
6.1.1	Sistema de informações nacional sobre águas subterrâneas	58

6.1.2	Os ecossistemas dependentes de águas subterrâneas	62
6.2	A GESTÃO CALIFORNIANA	65
6.2.1	As bacias subterrâneas	68
6.2.2	As agências sustentáveis de águas subterrâneas	72
6.2.3	Os planos sustentáveis de águas subterrâneas	74
6.3	A GESTÃO DE ISRAEL	76
6.4	A GESTÃO BRASILEIRA	81
6.4.1	Águas minerais	82
6.4.2	Panorama das águas subterrâneas no Brasil	83
6.4.3	Resoluções CNRH	88
6.4.4	Outros normativos	91
7	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	94
7.1	CARACTERÍSTICAS EDAFOCLIMÁTICAS	94
7.1.1	Geologia do Piauí	98
7.2	POPULAÇÃO E ECONOMIA	106
7.3	SETOR DE SANEAMENTO BÁSICO	113
7.4	DISPONIBILIDADES SUBTERRÂNEAS	116
7.4.1	Águas subterrâneas x superficial	117
7.4.2	Potencialidade hídrica	119
7.4.3	Qualidade das águas subterrâneas	124
7.5	DEMANDAS HÍDRICAS	125
8	SISTEMA ESTADUAL DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS	132
8.1	CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS	132
8.2	O ÓRGÃO GESTOR DE RECURSOS HÍDRICOS	134
8.3	LEGISLAÇÃO SOBRE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	140
8.3.1	Outorga de águas subterrâneas	142
9	RESULTADOS E DISCUSSÃO	145
9.1	NÍVEL DA GESTÃO	145
9.2	ARCABOUÇO LEGAL	148
9.3	LIDERANÇA	150
9.4	INFORMAÇÃO, CONHECIMENTO E MONITORAMENTO	151
9.5	ENVOLVIMENTO DOS ATORES	152

9.6	INTEGRAÇÃO COM OUTRAS POLÍTICAS	154
9.7	FINANCIAMENTO DA GESTÃO	155
9.8	DIRETRIZES PARA O PLANO DIRETOR	156
9.9	CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO	157
10	CONSTRUÇÃO DO MODELO	160
10.1	OBJETIVOS	161
10.2	DEFINIÇÕES	162
10.3	INSTRUMENTOS DE GESTÃO	164
10.3.1	Áreas prioritárias	164
10.3.2	Planos diretores de águas subterrâneas	169
10.3.3	Outorga de direito de uso de águas subterrâneas	171
10.3.4	Monitoramento	174
10.3.5	Relatório anual sobre águas subterrâneas	176
10.4	DISPOSIÇÕES FINAIS	177
11	CONCLUSÃO	179
	REFERÊNCIAS	183
	APÊNDICE A – PROPOSTA DE RESOLUÇÃO	201

1 INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas representam a maior fonte de água doce no mundo, se considerar que as águas presentes nas geleiras estão congeladas e indisponíveis. Para muitos países do globo, principalmente os de clima árido e semiárido, elas representam uma importante fonte para o desenvolvimento socioeconômico, contudo a sua gestão tem sido relegada a um papel secundário na gestão de recursos hídricos. Uma possível explicação para isso é o fato de ser um recurso “invisível”, com um comportamento diferente das águas superficiais e de mensuração complexa (MEGDAL, et al, 2017). Além disso, os problemas relacionados às águas subterrâneas não são sentidos até que sejam tarde demais.

No Brasil, a gestão das águas subterrâneas fica a cargo dos estados (BRASIL, 1988) e é possível encontrar diversos estágios dela. Um caso em particular é o do Piauí. 80% do estado está assente sobre uma bacia sedimentar, possuindo grandes reservas subterrâneas com água de boa qualidade (SEMAR, 2010a), isso é ainda mais significativo se considerar que 79,75% (SUDENE, 2018) dele se localiza no semiárido brasileiro, possuindo rios de pouca expressão, intermitentes ou temporários. Não à toa, mais de 90% dos pedidos de outorga são para águas subterrâneas.

Contudo, a gestão de recursos hídricos no estado é muito incipiente. O órgão gestor acumula funções de formulador e executor da política estadual de recursos hídricos (SEMAR, 2015) e outras atividades como execução de obras hídricas, porém não possui corpo técnico suficiente para tais atividades. Num outro momento, há diversos órgãos que executam atividades exclusivas do órgão gestor, contribuindo para sua credibilidade e uma confusão na gestão (SEMAR, 2010c).

Mas os problemas de gestão encontrados não são específicos do Piauí. Na verdade, num levantamento feito pela Organização das Nações Unidas (ONU), mostra que, nas mais diversas partes do mundo, a gestão de águas subterrâneas possui deficiências em comum que vão desde a falta de interesse dos atores envolvidos na gestão até a falta de conhecimento sobre o recurso explorado (FAO, 2016a). Por tal motivo, a ONU, por intermédio da FAO, lançou um projeto estabelecendo um guia para o fortalecimento da gestão das águas subterrâneas para ser aplicado nos mais diferentes países.

Paralelamente ao projeto, alguns países já vinham implementando medidas nesse sentido. A Austrália, por exemplo, passava por uma série de reformas na sua gestão que culminaram na promulgação na Iniciativa Nacional da Água (NWI), que se baseia na gestão

adaptativa e gestão integrada entre o meio ambiente e recursos hídricos. A União Europeia promulgou a Diretiva da Água em 2004 e em 2006 a Diretiva das Águas Subterrâneas, complementando o ato anterior e estabelecendo novas diretrizes para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos.

Vislumbrando esses exemplos, pensou-se em desenvolver o tema deste trabalho: propor uma metodologia de gestão para as águas subterrâneas do estado do Piauí baseado nas boas práticas de gestão pelo mundo. Para isso, fez-se uma pesquisa documental e bibliográfica sobre a gestão de três países que assim como o Piauí apresentam um clima semiárido ou árido e dependem econômica e socialmente das águas subterrâneas. Ao mesmo tempo foi elaborado um diagnóstico do estado quanto a situação das águas subterrâneas, identificando os principais usos e as falhas da gestão.

De posse dessas informações, foram estabelecidos diretrizes gerais para a gestão, sendo propostos novos instrumentos e propondo novos procedimentos para a análise e emissão de outorgas.

O modelo foi construído na forma de um ato normativo visando a sua análise e aprovação pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Piauí (CERH-PI) como uma forma de mostrar o empenho do Sistema de Gerenciamento em fortalecer a gestão das águas subterrâneas.

O trabalho apresentado foi dividido em 11 capítulos: (i) introdução; (ii) objetivos – onde são apresentados os objetivos geral e específicos do trabalho; (iii) hidrologia de águas subterrâneas – que apresenta conceitos básicos sobre hidrologia e hidráulica das águas subterrâneas; (iv) governança e gestão das águas subterrâneas – que apresenta a problemática da gestão no mundo, bem como estabelece uma linha histórica sobre a utilização das águas subterrâneas; (v) metodologia – que detalha a metodologia de trabalho; (vi) – exemplos de gestão no Brasil e no mundo – que discorre sobre a gestão das águas subterrâneas no Brasil e em três países; (vii) caracterização da área – apresentando as características edafoclimáticas do estado do Piauí e a demanda por águas subterrâneas; (viii) sistema estadual de gerenciamento de recursos hídricos – que caracteriza o sistema do ponto de vista da gestão de águas subterrâneas; (ix) resultados e discussão – sintetiza e compara os modelos analisados segundo os critérios do projeto da ONU; (x) construção do modelo – detalha o modelo construído; (xi) conclusão – que apresenta as conclusões do trabalho. Ao fim do trabalho, é apresentado uma proposta de resolução para ser apresentado no Conselho Estadual de Recursos Hídricos.

2 OBJETIVOS

O capítulo a seguir apresenta os objetivos geral e específicos, os quais tenta-se alcançar ao longo do trabalho produzido. Vale ressaltar que a construção da proposta metodológica foi materializada através de um ato normativo que será apresentado tanto ao órgão gestor de recursos hídricos quanto ao Conselho Estadual de Recursos Hídricos, que decidirão pela sua aprovação, rejeição ou adequação.

2.1 OBJETIVO GERAL

Propor uma metodologia para a gestão de águas subterrâneas no estado do Piauí conforme o arcabouço legal e institucional brasileiro, incorporando experiências bem-sucedidas de outros países.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar e cadastrar os principais usos das águas subterrâneas, bem como sistematizar as informações obtidas para auxiliar no gerenciamento;
- Propor novos procedimentos para análise de outorga de direito de uso para águas subterrâneas, nas diferentes regiões hidrogeológicas do estado do Piauí;
- Propor um plano de ação com diretrizes para a gestão das águas subterrâneas no estado do Piauí a partir da análise de modelos internacionais e nacionais.

3 HIDROLOGIA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Antes de adentrar no assunto sobre gestão de águas subterrâneas, necessário se faz trazer uma abordagem sobre seu conceito e o seu comportamento hidráulico-hidrológico para situar o leitor quanto ao assunto a ser abordado. Não se pretende de forma alguma detalhar os conceitos abordados, mas apenas de explicá-los para que o leitor possa compreender melhor o tema do trabalho.

Começa-se falando do ciclo hidrológico, um fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre (SILVEIRA, 2014). O lugar geométrico onde acontece o ciclo hidrológico é a bacia hidrográfica, que pode ser descrita como um sistema físico onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída, o volume escoado pelo exutório (SILVEIRA, 2014). Os demais processos do ciclo hidrológico (interceptação, infiltração e evapotranspiração) são considerados perdas do sistema.

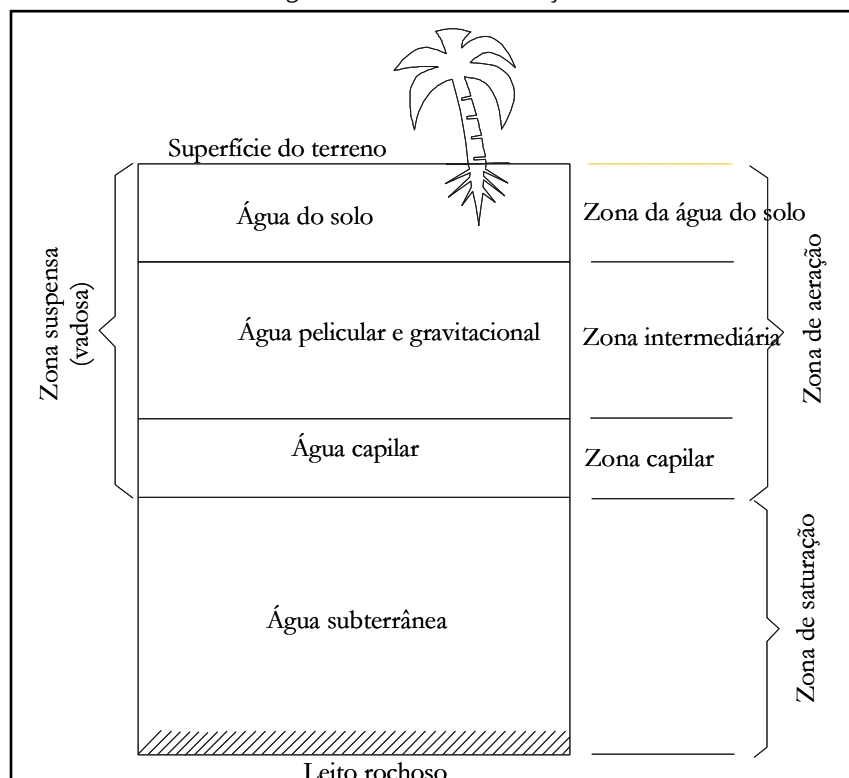
Contudo, está interessado nos processos que acontecem no subsolo de uma bacia hidrográfica. A água penetra no solo através da infiltração. Esse processo depende do volume de água disponível para infiltrar, da natureza do solo, do estado da sua superfície, e dos volumes de água presentes no seu interior (SILVEIRA, LOUZADA e BELTRAME, 2014). A água vai passando das camadas mais superficiais do solo para as mais profundas, alterando, assim, o perfil de umidade do solo.

Existem duas grandes camadas do subsolo que se pode encontrar água: zona saturada e zona de aeração. A zona saturada é onde todos os vazios do solo estão preenchidos com água e a superfície freática é o lugar geométrico onde todos os pontos da água estão submetidos à pressão atmosférica (FILHO, 2000). A zona de aeração é uma zona intermediária entre a zona saturada e a superfície do solo, onde os vazios estão parcialmente preenchidos por água. Essa zona pode ser dividida em três zonas: capilar – a zona mais profunda, de interseção com a zona saturada se estendendo da superfície freática até o limite de ascensão capilar -; intermediária – zona entre o limite de ascensão capilar e do alcance das raízes das plantas -; zona de água no solo – zona mais superficial, em que as raízes das plantas utilizam essa água para suas funções de transpiração e nutrição (FILHO, 2000). A Figura 1 apresenta um desenho esquemático dessas zonas.

É na zona de saturação, abaixo da superfície freática, que se encontra o foco principal deste trabalho: as águas subterrâneas. Na verdade, as águas subterrâneas são todas aquelas que

acontecem abaixo da superfície do solo, porém a sua maior expressão está na zona de saturação, armazenada em estruturas geológicas do solo. Filho (2000) explica que para a hidrogeologia as águas subterrâneas são aquelas da zona de saturação, mas quando se está falando de gestão, e considerando os princípios da gestão integrada dos recursos hídricos, não é sensato descartar o comportamento dessas águas na zona de aeração.

Figura 1 - Zonas de saturação do solo



Fonte: Cabral *et al.* (2001)

Existem três sistemas hidrogeológicos: (i) aquíferos – estruturas geológicas com capacidade para armazenar e transportar água em condições naturais e em quantidades significativas; (ii) aquíclude – formação geológica com capacidade apenas para armazenar água; e (iii) aquitardo – formação semipermeável, sem capacidade de armazenamento e de transporte muito pequena quando comparado com os aquíferos (CAICEDO, 2014). Ainda pode ser citado um quarto tipo: aquífugo, uma formação geológica de materiais impermeáveis que não transmitem água, são rochas cristalinas – metamórficas ou vulcânicas – sem fraturamento ou alteração.

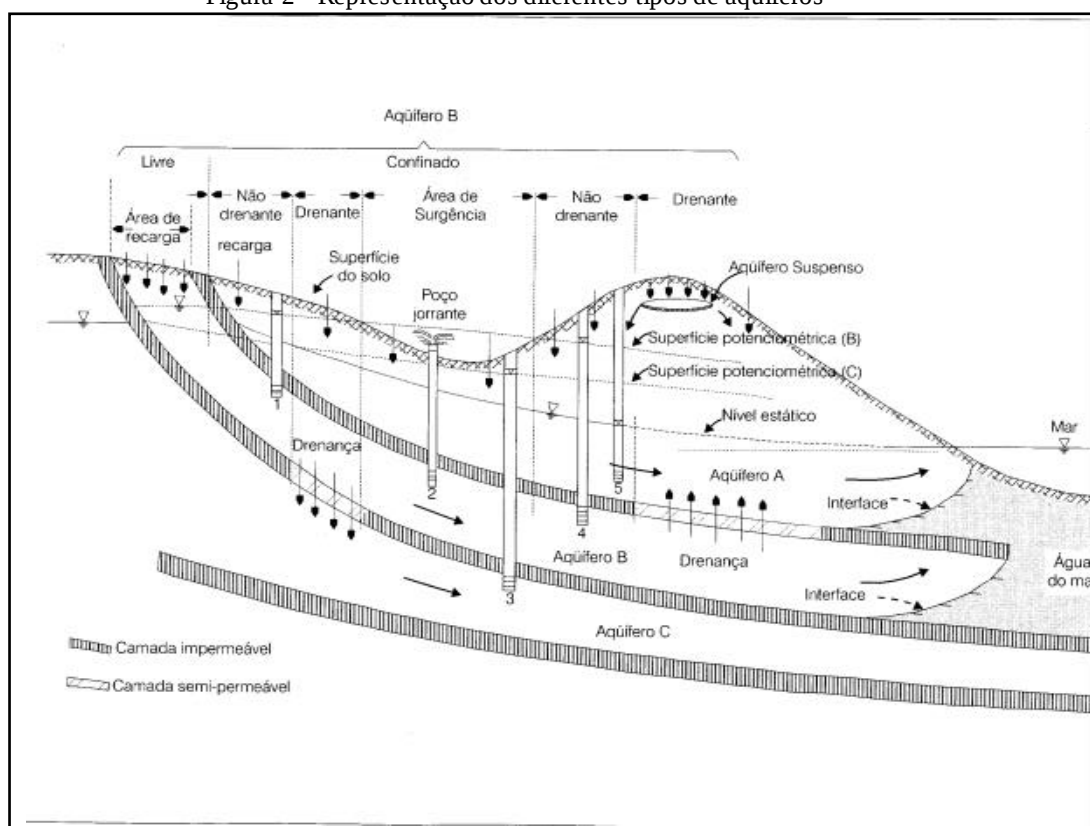
Freeze (2017) explica que as definições de aquíferos e aquitardos são propositadamente imprecisas em relação a condutividade hidráulica, como uma forma de permitir a utilização desses termos de forma relativa dependendo da escala de trabalho. “Por

exemplo, em uma sequência intercalada de areia-silte, os siltes podem ser considerados aquíferos, enquanto que num sistema silte-argila, os siltes são aquíferos” (FREEZE, 2017).

Quanto aos aquíferos eles ainda podem ser classificados quanto a pressão da água - confinados ou livres - e quanto a porosidade - sedimentar, fraturado e cársticos. Aquífero confinado são aqueles que se encontram entre duas camadas impermeáveis ou entre uma impermeável e semipermeável. A água nesse aquífero encontra-se a uma pressão maior que a atmosférica, logo, quando se o perfura, é natural que o nível de água esteja acima da camada confinante, em alguns casos, ele pode até mesmo ultrapassar o nível do solo, quando se dá o nome de poços jorrantes (FILHO, 2000). Aquíferos livres estão limitados pela superfície freática, onde todos os pontos encontram-se a pressão atmosférica, esses aquíferos são mais superficiais, podendo aflorar em determinadas situações, servindo para formação dos rios e lagos.

Vale dizer que esse tipo de classificação não é constante para um aquífero e pode variar dependendo das condições locais (Figura 2).

Figura 2 - Representação dos diferentes tipos de aquíferos



Fonte: Filho (2000)

Os aquíferos sedimentares são formados por rochas com porosidade primária, aquela presente desde o início da formação da rocha, têm a capacidade de armazenar grandes volumes de água em grande áreas. Nos aquíferos fraturados estão associados a rochas metamórficas e magmáticas como, granitos, basaltos, gnaisses e xistos. São geralmente designadas de cristalinas. São compactas e impermeáveis, mas que devido a processos tectônicos possuem descontinuidades como fraturas, por onde a água percola (CABRAL *et al.*, 2001).

Os aquíferos cársticos surgem em rochas carbonáticas e/ou calcárias nos espaços deixados nas rochas pela dissolução do carbonato pela água. Esses aquíferos são muito suscetíveis a poluição e contaminação dada a facilidade de percolação dos efluentes nas rochas e a rápida circulação de água nas fraturas não permite uma filtração adequada da água e purificação das áreas de recargas (CABRAL *et al.*, 2001).

3.1 PROPRIEDADES FÍSICAS

No subsolo, as águas subterrâneas se movimento por entre os poros das rochas ou entre as fissuras e cavidades de dissolução. A velocidade das águas nesses meios é muito pequena quando comparada com as águas superficiais, da ordem de cm/dia. O fluxo de água no subterrâneo é governado por três parâmetros fundamentais: (i) porosidade, (ii) condutividade hidráulica e (iii) coeficiente de armazenamento (CABRAL, 2000).

A **porosidade** é uma característica do solo e refere-se a porcentagem de vazios existente no volume do solo. É calculada pela relação entre o volume de vazios e volume total do solo. A porosidade depende do tamanho das partículas do solo e do seu formato. Geralmente um solo com partículas arredondadas e tamanho uniforme tem uma porosidade maior do que aquele com partículas irregulares e tamanho variado (CABRAL, 2000).

A **condutividade hidráulica** é um parâmetro que depende das características do meio e do fluido que está escoando. “Obviamente um fluido viscoso terá, no meio poroso, velocidade diferente da velocidade da água que tem baixa viscosidade. Além disso um líquido mais denso terá características de escoamento diferentes de um líquido menos denso” (CABRAL, 2000).

A condutividade hidráulica é um parâmetro importante para o cálculo da **velocidade de Darcy**, que é a velocidade do meio poroso. Essa velocidade, também conhecida como velocidade aparente, é dada pela condutividade hidráulica multiplicada pelo gradiente

hidráulico, que é a diferença da carga hidráulica entre dois pontos dividido pela distância entre esses pontos. As águas se movimentam sempre do ponto de maior carga hidráulica para o ponto de menor carga hidráulica.

A velocidade de Darcy é chamada de velocidade aparente porque considera a área total do solo para o seu cálculo, contudo a água se movimento entre os vazios do solo e, portanto, a velocidade real é bem menor. Logo, para o cálculo da velocidade real é necessário conhecer a porosidade do solo. “Geralmente no cálculo da vazão do aquífero utiliza-se a velocidade aparente e a área total. Mas é importante lembrar que para o cálculo do transporte advectivo de poluentes deve ser considerado a velocidade real” (CABRAL, 2000).

O **coeficiente de armazenamento** é o produto da espessura do aquífero e do armazenamento específico. Este é definido como o volume de água liberado ou acrescido por um volume unitário do aquífero submetido a um decréscimo ou acréscimo unitário de carga hidráulica (CABRAL, 2000).

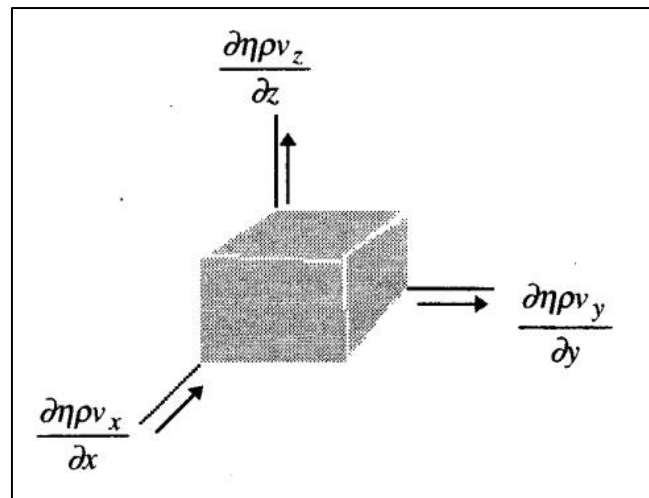
Nesse ponto vale chamar atenção para os comportamentos dos aquíferos livres e confinados quando da extração de água. No primeiro, a água liberada para os poços é em função da drenagem dos poros, logo há o rebaixamento do nível freático e os vazios são ocupados por ar. No segundo, a água fornecida é liberada por causa do alívio da pressão hidrostática e da redução de vazios do aquífero causada pelo aumento da pressão das camadas superiores ao aquífero.

A pressão é maior que a pressão atmosférica e ao ser perfurado um poço e iniciado o bombeamento, ocorre gradativamente um alívio na pressão da água e consequentemente o peso das camadas geológicas superiores passa a se apoiar mais na estrutura do material poroso, provocando uma compactação do aquífero (CABRAL, 2000).

Um quarto parâmetro também muito estudado é a **transmissividade** e refere-se ao volume de água que pode ser transmitida horizontalmente pela espessura do aquífero. Ela pode ser calculada pelo produto da espessura do aquífero pela condutividade hidráulica.

Os parâmetros apresentados anteriormente são importantes para o cálculo do fluxo de massa dos aquíferos. Esse cálculo é feito através da equação da continuidade, ou seja, a água não pode ser criada, nem destruída, apenas transportada de um ponto a outro; armazenada em algum lugar (CABRAL, 2000). A Figura 3 apresenta um desenho esquemático do funcionamento dessa equação.

Figura 3 - Conservação da massa (Equação da continuidade)



Fonte: Cabral (2000)

A Figura 3 mostra que o movimento da água, no meio poroso, pode ocorrer nas três direções, logo para o cálculo da conservação da massa é preciso se considerar todas as direções. Contudo quando a superfície freática apresenta uma declividade pequena e o aquífero não é muito espesso, pode-se considerar que o movimento das águas é basicamente horizontal (Condição de Dupuit). Esse é o caso dos aquíferos sedimentares, que chegam a ocupar enormes áreas e a espessura chega a ser desprezível.

3.2 BALANÇO HÍDRICO

Como o tema principal do trabalho é a gestão, também deve-se preocupar com o balanço hídrico dos aquíferos para saber qual a quantidade de água que pode ser retirada desse sem comprometer suas características ou ainda que possa afetar os ecossistemas que dependem das águas subterrâneas. “O ciclo hidrológico é um sistema fechado com armazenamento de água na superfície do terreno, em rios e lagos, nos oceanos, na atmosfera e no subsolo” (CAICEDO, 2014). Assim, de maneira geral, ao introduzir algum elemento dentro do sistema, ele irá produzir alguma resposta.

O balanço hídrico no subterrâneo acontece em dois níveis: um na zona de aeração e outro na zona saturada. De acordo com Caicedo (2014), a fórmula do balanço hídrico superficial numa bacia hidrográfica é dada por:

$$(P - E - D - I) \Delta t = \Delta S \quad (1)$$

Onde:

P = volume precipitado (mm/ano);

E = volume evaporado (mm/ano);

D = volume de escoamento (mm/ano);

I = volume infiltrado (mm/ano);

Δt = variação do tempo (ano);

ΔS = variação do armazenamento (mm).

Assim, analogicamente para as zonas de aeração e saturação as fórmulas respectivamente seriam:

$$(I - ET - W)\Delta t = \Delta S \quad (2)$$

$$(W - ET_f - Q_f - Q_p)\Delta t = \Delta S \quad (3)$$

Onde:

ET = evapotranspiração (mm/ano);

W = volume de recarga natural (mm);

ET_f = evapotranspiração de culturas freatóficas (mm/ano);

Q_f = descargas das fontes (mm/ano);

Q_p = descargas dos poços (mm/ano).

É claro que tanto os parâmetros quanto as equações mencionadas acima são encontradas a partir de fórmulas matemáticas complexas. Como não é objetivo desse trabalho discorrer como são deduzidas essas fórmulas, preferiu-se apenas a conceituação simples para que o leitor possa entender sobre os assuntos adiante. No mais, atualmente existem inúmeros modelos matemáticos que auxiliam no cálculo dessas fórmulas.

3.3 INTERAÇÃO ENTRE AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E SUPERFICIAIS

Pelo item anterior, deve-se ter notado que uma das formas de interação entre as águas subterrâneas e superficiais se dá pela infiltração. Outra forma é a que acontece entre os aquíferos e os rios, lagos e oceanos.

Chama-se rio efluente quando este recebe água do aquífero e rio influente, quando o movimento é o oposto. Em alguns casos, um rio pode passar de efluente para influente,

quando o seu nível se torna maior que o nível freático do aquífero devido a uma cheia, por exemplo (CABRAL *et al.*, 2001).

Entender a dinâmica da interação entre águas subterrâneas e superficiais é importante do ponto de vista quantitativo e qualitativo, uma vez que a alimentação de muitos rios depende das águas subterrâneas, bem como a recarga de aquíferos pode ser originária dos rios. Um local onde essa interação é muito forte é na zona hiporréica, que está situada na zona de recarga entre o aquífero e o rio (FREITAS *et al.*, 2011). O seu tamanho irá depender da força de interação entre as águas superficiais e subterrâneas, contudo, o mais interessante é que essa zona pode servir como um importante regulador biológico. Freitas *et al.* (2011) argumentam que a zona abriga uma diversidade única de microorganismos e macroinvertebrados, além de ser um local de intensa atividade biogeoquímica. Os autores ainda citam que transformações ocorridas nesse ecossistema podem ser transferidas aos níveis tróficos, podendo influenciar a produtividade da vegetação ripária, mas também indicar os efeitos da extensão da contaminação antropogênica.

Kebede *et al.* (2017) chamam a atenção para a importância em entender e caracterizar a interação entre essas águas. Os autores citam os problemas encontrados na bacia do rio Nilo por causa da falta de uma gestão integrada como, o aumento da salinidade das águas dos aquíferos e alteração na biota após a construção de barragens na bacia. A partir de testes com isótopos, os autores encontram evidências que as águas do rio Nilo alimentam o aquífero em lugares específicos como na zona norte da barragem Aswan High.

Valença *et al.* (2017) investigaram a interação entre as águas superficiais e subterrâneas a partir da pluviometria e do monitoramento dos níveis piezométricos dos poços e do nível da barragem de Bocaina, em Bocaina-PI. Segundo os autores, a grande maioria dos níveis piezométricos sofre influência por causa da precipitação, embora essa variação não seja tão sensível quanto do nível da barragem. Apenas um único poço permaneceu com nível constante ao longo do período analisado, o que fez os autores suporem que esse sofra influência da declividade acentuada do terreno, diminuindo a taxa de infiltração.

Um outro caso, também preocupante, é quanto a intrusão salina, que é o movimento das águas do oceano para o aquífero. Esse é um assunto de extrema importância para cidades litorâneas que usam as águas de poços para o abastecimento humano como na Grécia, Israel, e em algumas cidades brasileiras como, Recife e Fortaleza. Isso porque as águas tornam-se não potáveis inviabilizando o seu uso, ou sendo necessário um tratamento prévio, geralmente muito caro. A salinização das águas subterrâneas é considerada como um processo

difficilmente reversível, embora, em alguns países desenvolvidos, se tenha vindo a desenvolver esforços nesse sentido. (LU e WERNER, 2013 *apud* CARVALHO *et al.*, 2016).

Israel, desde os anos 60, implantou uma solução interessante para impedir o avanço das águas do mar no aquífero costeiro. Foi construído um sistema de captação de poços rasos acima da interface de interação para captar água doce, criando uma cunha salina local abaixo dos poços, mas impede o avanço das águas do mar, prendendo-as no pé da interface (SCHWARZ, BEAR e DAGAN, 2016).

3.3 HIDRÁULICA DE POÇOS

A forma mais comum de captar as águas subterrâneas é através de poços tubulares. Quando se capta água através de poços, o primeiro volume provém do armazenamento existente no aquífero em volta do poço, mas à medida que se aumenta o volume retirado, a água começa a vir de regiões mais afastadas, produzindo uma depressão no nível do aquífero conhecida como **cone de rebaixamento**. Se o bombeamento continuar, ele pode atingir outras fontes de água superficiais ou de outros aquíferos. Nesse caso passa a existir uma contribuição de água de uma fonte externa.

Quando a parcela da fonte externa se igualar à vazão de bombeamento, haverá a estabilização do cone de rebaixamento, o que é conhecido como **regime permanente ou estacionário**. “A característica fundamental do regime permanente é que o aquífero deixa de ser um fornecedor de água, passando a funcionar apenas como um meio de transmissão” (FEITOSA, 2000)

O **regime transitório** é caracterizado pelo aumento progressivo do cone de rebaixamento. Ele é mais comum em aquíferos confinados, já nos aquíferos livres ocorre o regime permanente principalmente naqueles próximos a mananciais superficiais como é o caso de aluviões de rios e riacho (FEITOSA, 2000).

Existem uma equação para cálculo do raio de influência do cone de rebaixamento, na qual relaciona a vazão, a condutividade hidráulica, o raio do poço perfurado e os níveis dinâmico e estático dele, conhecido como **equação de Thiem**.

Um último aspecto sobre a hidráulica de poços é quanto aos testes de bombeamento que podem ter a finalidade de verificar a capacidade de produção do poço (teste de produção) e os parâmetros hidrodinâmicos do aquífero (teste de aquífero). O primeiro consiste na execução de bombeamento e no registro da evolução dos rebaixamentos. Eles devem ser

realizados em três ou mais etapas, devendo aumentar a vazão em cada etapa. Existem dois tipos de testes de produção utilizados: sucessivo – que pode levar dias, pois ao término de cada etapa, deve-se esperar a recuperação do nível do poço -, e os escalonados – que há um aumento brusco de vazão em cada etapa sem a necessidade de esperar a recuperação do nível.

Os testes de aquífero são feitos com uma vazão constante, sendo seus efeitos observados em poços de monitoramento ou observação, que estarão a uma determinada distância do poço bombeado.

A CPRM (Serviço Geológico Brasileiro) criou uma metodologia para situações emergências a fim de orientar a determinação de uma vazão de referência para a instalação do poço. É um teste simples que pode levar de 12 a 24 h, dependendo do tipo de aquífero (poroso ou fissural). O documento pode ser encontrado em meio eletrônico através de uma busca simples combinando as expressões “teste de bombeamento” e “CPRM”.

O método foi criado para um Programa de Ações Emergenciais de Combate aos Efeitos da Seca, com o intuito de orientar a determinação de uma vazão referencial para a instalação do poço. Portanto, é uma metodologia que deve ser adotada apenas dentro desse programa com o objetivo bem definido de permitir a sua viabilização (FEITOSA e FILHO, 1998).

Apesar da ressalva dada pelos autores, essa metodologia acaba sendo utilizada por profissionais da área e aceita pelo órgão gestor de recursos hídricos do Piauí quando da análise dos pedidos de outorgas.

4 GOVERNANÇA E GESTÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Já é sabido que de toda água existente no globo terrestre grande parte dela está nos oceanos (águas salgadas) e apenas uma pequena parte são de águas doces. Silveira (2014) cita que a porcentagem de água doce é em torno de 3,0%, o que daria um volume de aproximadamente de $4,08 \times 10^{16}$ m³, mas desse percentual apenas 0,8% são de águas superficiais, sendo o restante encontrado no subterrâneo e geleiras. No que diz respeito as águas subterrâneas, Silveira (2014) citando Peixoto e Oort (1990) estima que o volume seria de $8,4 \times 10^{15}$ m³. Boswinkel (2000, *apud* UNEP, 2002) afirma que esse volume corresponde a 90% de toda a água doce disponível no mundo. Entretanto, a esse recurso nem sempre foi dada devida atenção.

Como bem explica Megdal *et al.* (2017), as águas subterrâneas são invisíveis, seus problemas geralmente não são notados até que sejam tarde demais, como subsidência, contaminação e mudança na sua qualidade. Para Hager *et al.* (2002), é também um problema de semântica, já que muitos, quando se fala em recursos hídricos, enxergam apenas rios, lagos e lagoas. A autora ainda chama a atenção para a visão limitada sobre a utilização das águas subterrâneas, servindo apenas como produção e abastecimento de água.

Estimativas mostram que as águas subterrâneas são responsáveis por 36% de toda a água potável, 42% da água para irrigação, e 24% do suprimento para a indústria (FAO, 2016a). Para Jakeman *et al.* (2016) é esperado que essas porcentagens aumentem ao longo dos anos dado ao avanço das perfurações e bombeamentos. Van der Gun (2012) mostra que entre 1960 e 2010 a extração de águas subterrâneas mais que triplicou e continua crescendo a uma taxa de 1 a 2% ao ano. Em 2010, a extração foi estimada em 1000 km³/ano, sendo dois terços desse volume concentrado no continente asiático (VAN DER GUN, 2012).

Na Índia, mais de 60% das áreas irrigadas são através de poços tubulares, enquanto no Paquistão é de 40% (SHAH, 2007). Na região costeira da Grécia, o abastecimento de água é exclusivamente feito por águas subterrâneas (KALLIORAS *et al.*, 2010). Nas ilhas do oceano Pacífico, do Caribe, da Indonésia e da China, as águas subterrâneas são a única fonte de água para as comunidades e o turismo local (PRAVEENA e ARIS, 2009). Na Califórnia (EUA), as águas subterrâneas são responsáveis por entregar de 30 a 46% de toda a demanda do estado (DWR, 2013).

No Brasil, a situação não é diferente. Para se ter uma noção, dos 5.564 municípios 42% são abastecidos preponderantemente por águas subterrâneas (ANA, 2017). De acordo

com o SIAGAS/CPRM, existem atualmente 300.073¹ poços perfurados no Brasil, dos quais Piauí, São Paulo e Pernambuco são respectivamente os Estados com o maior número de poços cadastrados na plataforma. Juntos, respondem por 30% da quantidade cadastrada.

Cabral *et al.* (2008) informam que Recife sofreu um aumento na exploração de águas subterrâneas a partir de 1970, alcançando seu máximo em 1993 e 1998 por causa de um evento de seca severo na região. “A superexploração criou problemas atuais e potenciais como rebaixamento dos níveis de água subterrânea, degradação da qualidade, salinização e risco de subsidência do solo²” (CABRAL *et al.*, 2008). Atualmente, a região metropolitana de Recife está dividida em zonas, estabelecendo critérios para exploração de águas subterrâneas, que vão desde a proibição completa até zonas sem um limite máximo.

Até mesmo no Amazonas, pertencente a maior região hidrográfica brasileira, as águas subterrâneas são bastante utilizadas. Santos, Batista e Albuquerque (2017) relatam que 96% das fontes hídricas utilizadas no abastecimento da Região Metropolitana de Manaus são dos aquíferos. Destaque para o município de Manacapuru que capta quase 30 milhões de m³ anualmente dos aquíferos da região.

Porém, a demanda por águas subterrâneas não é recente. Data do início do século XX e tem uma relação direta com o desenvolvimento da agricultura irrigada, assunto que será mais detalhado no item abaixo.

4.1 DA REVOLUÇÃO SILENCIOSA AO PROJETO GOVERNANÇA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

De acordo com o SHAH *et al* (2007), a demanda por águas subterrâneas na agricultura pode ser dividida em três momentos: (i) nos anos 1900 com a Itália, Estados Unidos, México e Espanha, que apresentaram um crescimento vertiginoso, mas depois se estabilizaram; (ii) em 1970, foi a vez de regiões como o sul da Ásia, norte da China, Oriente Médio e norte da África apresentarem esse crescimento, mas com uma demanda ainda crescente; e (iii) mais recente (1990), outras regiões do globo - África, sul e sudeste da Ásia – dão sinais de um rápido crescimento, embora ainda tímido.

¹Dado disponibilizado em 12/02/2018.

²The excessive exploitation created both actual and potential problems of lowering groundwater levels, water quality degradation, salinization and risk of land subsidence.

“Esta expansão na extração de águas subterrâneas é sem dúvida resultado das numerosas decisões individuais dos fazendeiros – decisões tomadas sem um planejamento central ou coordenado³” (VAN DER GUN, 2012). É nesse contexto que surge a “Revolução Silenciosa”.

Segundo Llamas e Martínez-Santos (2005), essa revolução tem início com a agricultura irrigada e o crescente uso das águas subterrâneas por ela nas zonas áridas e semiáridas. Os autores argumentam que os fazendeiros sempre buscaram pelos benefícios imediatos propiciados por essa fonte e foram “incentivados” pelos subsídios do governo quanto a energia elétrica e pelos empréstimos suaves oferecidos. Enquanto isso, havia uma “hidroesquizofrenia” nos órgãos gestores, pois esses focavam mais nas águas superficiais, sem considerar o binômio superficial-subterrâneo.

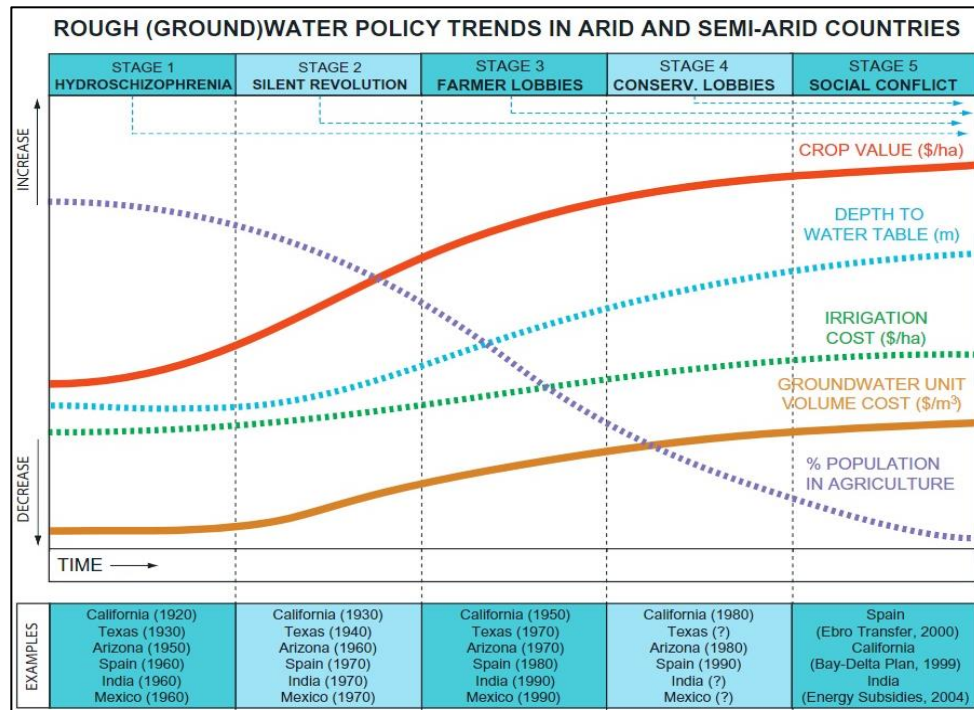
Vale citar que a tecnologia teve um papel importante na Revolução Silenciosa, com o avanço da hidrogeologia, das perfurações de poços e a popularização das bombas submersíveis, os custos com a extração diminuíram; incentivando a utilização das fontes subterrâneas. Llamas e Martínez-Santos (2005) defendem que por mais que a irrigação por águas superficiais fosse incentivada pelo governo e até mais barata que as águas subterrâneas, muitos fazendeiros preferem utilizar essas, dado a sua resiliência em épocas de seca, a vantagem de serem obtidas individualmente, além de evitar negociações com outros usuários e o próprio governo.

Ao longo do tempo, essa revolução torna-se responsável pelas mudanças sofridas na zona rural tanto econômica quanto social. Os fazendeiros começam a trocar as culturas de baixo valor por outras mais comerciais, tornando-se cada vez mais ricos e bem-educados. A população no meio rural também diminui dado o avanço da tecnologia; os próprios filhos dos fazendeiros mais educados, tornam-se professores, pesquisadores, contribuindo assim para o avanço da sociedade (LLAMAS e MARTÍNEZ-SANTOS, 2005).

A figura 4 mostra como os fatores apresentados acima (hidroesquizofrenia, os incentivos para a agricultura, e o desenvolvimento tecnológico) foram essenciais para a utilização das águas subterrâneas na agricultura.

³This worldwide boom in groundwater abstraction is largely the result of numerous individual decisions by farmers – decisions made without centralized planning or coordination.

Figura 4 - Evolução do uso das águas subterrâneas

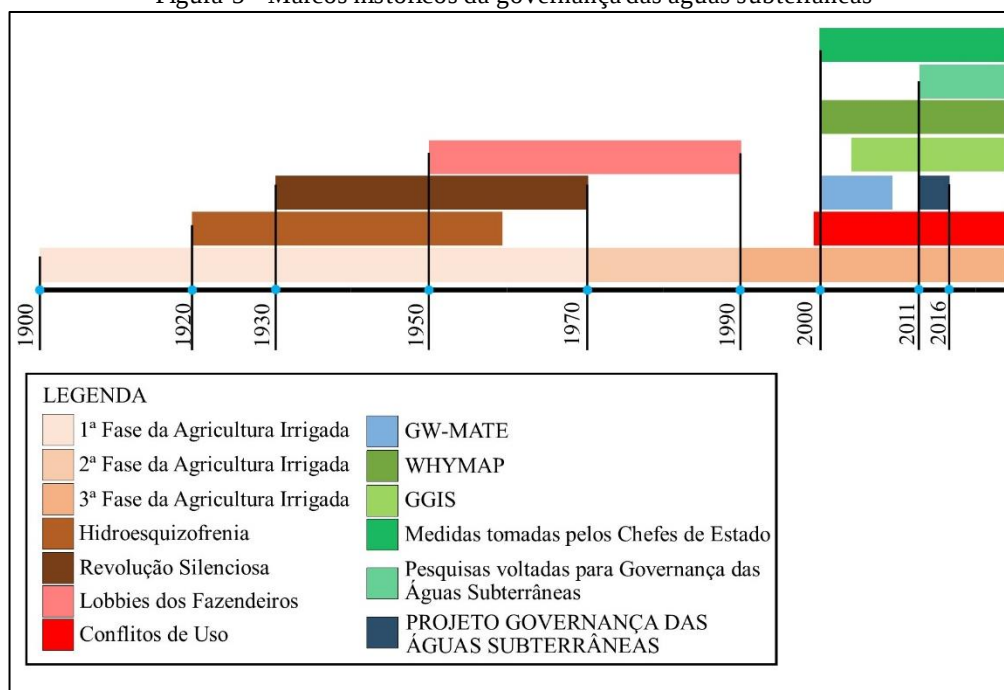


Fonte: Llamas e Martínez-Santos (2005)

Pela Figura 4 é possível perceber que, embora o custo para captação de águas subterrâneas tenha aumentado, o custo com a irrigação pouco se alterou, e o valor das culturas cresceu bastante, tornando vantajoso a utilização dos recursos hídricos subterrâneos.

Apesar desse cenário, a preocupação com a gestão das águas subterrâneas veio à tona no contexto internacional apenas nos anos 2000. A Figura 5, construída a partir da bibliografia pesquisada, apresenta o espaço de tempo entre a agricultura irrigada e as primeiras ações visando um uso sustentável do recurso. É interessante perceber que, apesar do uso das águas subterrâneas na agricultura datar do início dos anos 1990, os primeiros problemas somente começaram a ser notados (e relatados) a partir do final da década, o que vem a corroborar a afirmação de Megdal *et al.* (2017).

Figura 5 - Marcos históricos da governança das águas subterrâneas



Fonte: O Autor

Nos anos 2000, o Centro de Análises Internacional de Águas Subterrâneas⁴ (IGRAC), apoiado pelo Banco Mundial, criou o projeto intitulado GW-MATE⁵, um projeto que reuniu diversos especialistas a fim de trazer uma visão geral sobre as águas subterrâneas, bem como os problemas relacionados a ela e seu uso sustentável. O projeto durou até 2010 e produziu uma série de documentos; desde artigos até livros, produzindo diagnósticos em diversas regiões do globo e por fim, elaborando estratégias para o uso sustentável das águas subterrâneas e o fortalecimento da sua governança.

No ano de 2004, o IGRAC lançou a primeira versão do Sistema de Informações Global sobre Águas Subterrâneas⁶ (GGIS), com o objetivo de coletar informações e compartilhá-las com especialistas, tomadores de decisões e público em geral (IGRAC, 2015). O sistema é organizado em seis partes: (i) aquíferos transfronteiriços, (ii) informações por países, (iii) gestão da recarga de aquíferos, (iv) pequenas ilhas, (v) monitoramento e (vi) projetos (IGRAC, 2015). Contudo o GGIS não produz informação, seus dados são baseados em informações secundárias, coletadas ou disponibilizadas por pesquisadores, ou disponíveis

⁴Internacional Groundwater Assessment Center

⁵Groundwater Management Advisor Team

⁶Global Groundwater Information System

na internet; portanto, o sucesso do projeto depende muito das pesquisas feitas e da divulgação dessas (IGRAC, 2015).

Semelhante ao GGIS, mas criado no ano de 2000, é o Programa de Análises e o Mapa Hidrogeológico Mundial⁷ (WHYMAP). A plataforma, desde a sua criação, já produziu diversos mapas como, o mapeamento dos recursos hídricos subterrâneos do mundo – 2008 -, vulnerabilidade das águas subterrâneas a enchentes e secas -2015 -, e o mais recentemente mapa dos aquíferos cársticos do mundo - 2017 - (WHYMAP, 2017).

Ainda nos anos 2000, a União Europeia publicou o Water Framework Directive (WFD) que estabeleceu um quadro de ação comunitária no domínio da política das águas (EUROPEAN COMMISSION, 2016). O WFD já trazia em seu texto demandas que deveriam ser cumpridas pelos Estados-membros, como o enquadramento dessas águas, monitoramento das águas subterrâneas, estabelecer áreas de proteção em bacias hidrográficas aonde se comprovassem haver ecossistemas dependentes, entre outros (EUROPEAN COMMISSION, 2000). Mas em 2006 publicou uma nova diretiva especialmente para as águas subterrâneas: Groundwater Directive (EUROPEAN COMMISSION, 2016). Ela complementa a WFD e foca na contaminação e consequentemente na proteção dos aquíferos a poluentes (EUROPEAN COMMISSION, 2016).

Em 2004, foi a vez dos estados australianos assinarem um acordo para a gestão das águas: National Water Initiative (COAG, 2004). O acordo baseia-se na gestão adaptativa e incentiva a gestão integrada entre o meio ambiente e recursos hídricos e entre águas subterrâneas e superficiais (COAG, 2004).

Esta gestão adaptativa possibilita os gestores a fazerem alocação de água baseados numa rotina de monitoramento e investigações científicas para determinar as condições hidrológicas e os limites requeridos para manter uma GDE⁸ (ROHDE, FROEND e HOWARD, 2017).

Em 2007 foi criado a Comissão Africana de Águas Subterrâneas⁹ (AGWC). Segundo Van der Gun (2012), o presidente do Conselho Ministerial da África sobre Água¹⁰ (AMCOW) requisitou a sucursal na África da UN-Water em parceria com o governo do Quênia para organizar uma reunião entre especialistas, comitê executivo e membros da AMCOW para

⁷World-wide Hydrogeological Mapping and Assessment Program

⁸This adaptive management framework enables water managers to make water allocation decisions based on routine monitoring and targeted scientific investigations to determine the hydrologic conditions and thresholds required to maintain a GDE.

⁹African Groundwater Commission

¹⁰African Ministerial Council on Water

estabelecer a base da AGWC. Em 2010, ocorreu a primeira reunião da comissão, na qual foram divulgados os principais pontos para uma gestão das águas subterrâneas, como: mapear as atividades e as fontes de águas subterrâneas a nível de sub-bacia; estabelecimento de pontos focais nos países, de grupos de trabalhos para atividades específicas e o desenvolvimento de uma estratégia de comunicação.

Em 2014, na Califórnia, foi publicado o Sustainable Groundwater Managment Act (SGMA) que estabeleceu uma definição para a gestão sustentável de aquíferos, requereu a elaboração de planos para o gerenciamento sustentável com um conteúdo mínimo, bem como uma data limite para sua implementação e priorizou o poder local na tomada de decisão sobre a gestão dos aquíferos.

A comunidade científica também passou a se preocupar, estudar e analisar a governança das águas subterrâneas. Megdal *et al.* (2017) citam alguns autores que começaram a analisar os regimes de governança existentes, enquanto outros passaram a estudar a gestão participativa na gestão e gerenciamento das águas subterrâneas.

Contudo um divisor de águas para a governança das águas subterrâneas é, sem dúvida, o projeto Governança das Águas Subterrâneas (Groundwater Governance Project), executado entre os anos de 2011 e 2016. Ele reuniu especialistas na área de cinco diferentes regiões do planeta para analisar a governança das águas subterrâneas, resultando em dois documentos: Visão Compartilhada das Águas Subterrâneas para 2030¹¹ e Quadro Global para Ação¹². O objetivo de ambos os documentos é propiciar um guia para o fortalecimento da governança das águas subterrâneas. O ano de 2030 tem a ver com a nova agenda para o desenvolvimento sustentável e consequentemente os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), já que a água desempenha um papel fundamental nos 17 objetivos, principalmente no ODS06: Assegurar a disponibilidade da água e saneamento para todos.

Dado a importância do documento e como ele estabelece os passos para o fortalecimento da governança das águas subterrâneas, considera fundamental discorrer um pouco sobre ele, destacando os seus princípios e objetivos.

¹¹Shared Global Vision Groundwater Governance 2030

¹²Global Framework for Action

4.2 DIFERENÇA ENTRE GESTÃO E GOVERNANÇA

Antes de entrar no assunto sobre a governança das águas subterrâneas, faz-se necessário abrir um parêntese para diferenciar os termos governança e gestão, pois serão duas expressões que se verá muito no decorrer do texto e que podem ser facilmente confundidas, dadas como sinônimo uma da outra, já que é quase impossível dissociar uma palavra da outra, embora tenham campos de visão diferentes.

O projeto Governança das Águas Subterrâneas define gestão das águas subterrâneas como as atividades realizadas pelos atores para o desenvolvimento sustentável, uso e proteção dos recursos subterrâneos (FAO, 2016b). Já governança seria a promoção de ações responsáveis e coletivas que garantam o controle, a proteção e a utilização social e sustentável dos recursos subterrâneos e sistemas aquíferos para o benefício da humanidade e dos ecossistemas dependentes de águas subterrâneas.

Das definições dadas, percebe-se o quanto as expressões são semelhantes. Na verdade, pela leitura do parágrafo anterior, nota-se uma delimitação das áreas de atuação de cada uma. Enquanto a gestão está preocupada em gerir o recurso em si, a governança tem um campo maior, para além da gestão, e considerando outros fatores como o socioeconômico e o meio ambiente.

Conquanto não se questione a delimitação dos campos de atuação de cada expressão, é preciso tomar cuidado, principalmente quando da utilização delas na língua portuguesa. Isso porque a palavra “*management*” em inglês pode significar tanto gestão quanto gerenciamento, e embora elas sejam comumente utilizadas como sinônimos, cabe aqui uma diferenciação.

Gestão tem um caráter mais estratégico, elaboração de planos, definição de métodos e metodologias. **Gerenciamento**, por outro lado, tem um caráter mais operacional, de efetivar a gestão. “Portanto, a gestão cumpre o papel de criação intelectual e o gerenciamento o papel de operacionalização das ideias e retro-alimentação da gestão, visto que as experiências de aplicação prática aperfeiçoam e atualizam a formulação das políticas” (HAGER *et al.*, 2002).

Disso posto, e voltando a definição dada pelo projeto Governança das Águas Subterrâneas para a gestão, nota-se que ela se aproxima muito do conceito de gerenciamento. McGovern *et al.* (2013) ao analisarem os diversos conceitos dados a gestão, notam que todos guardam uma certa relação com rotina, prática, e maneiras efetivas de alcançar determinados objetivos. Em outras palavras, não há uma distinção entre o que seria gestão e gerenciamento

para o idioma inglês, ambas estão no mesmo nível de atuação, o que exige do leitor cuidado quando da leitura de artigos em inglês.

Esclarecido essa parte, volta-se novamente para o problema da diferenciação entre governança e gestão. Isso porque a definição de governança do projeto se assemelha a de gestão integrada. A Aliança Mundial pela Água¹³ (GWP) define gestão integrada de recursos hídricos como “um processo que promove a gestão e desenvolvimento coordenado da água, da terra e dos recursos relacionados, a fim de maximizar o bem-estar social e econômico de modo equitativo, sem comprometer a sustentabilidade dos ecossistemas vitais”¹⁴.

Em consonância com esse conceito, Jakeman *et al.* (2016) apresentam a gestão integrada de águas subterrâneas como sendo um processo estrutural que promove a gestão coordenada das águas subterrâneas e recursos relacionados, levando em consideração a interação com outras políticas, de forma a alcançar o equilíbrio econômico, bem-estar social e benefícios dos ecossistemas através do tempo e espaço.

Assim, a governança mencionada no projeto Governança das Águas Subterrâneas seria o que se entende por gestão integrada. Contudo, a governança é algo maior e que abarca a gestão integrada, porém é uma expressão de difícil conceituação e por vezes, muito abstrata. Não há um consenso entre os especialistas do que seria governança.

McGovern *et al.* (2013) criticam exatamente isso: a falta de um conceito preciso, concreto para governança.

“[...] autores parecem relutantes em afirmar evidentemente: ‘governança é...’. Ao invés disso, dançam ao redor do termo, empregando frases como: governança descreve/é descrita como/ enfatiza/abrange/é sobre/é uma arena aonde/é caracterizada por/refere-se a/está relacionada a...”¹⁵ (MCGOVERN *et al.*, 2013).

Essa dificuldade em definir o termo talvez se deva pelo seu recente emprego, afinal foi com uma publicação do Banco Mundial que a palavra governança passou a ser amplamente utilizada quando da análise das políticas públicas estruturais em países em desenvolvimento.

Segundo Borges (2003), a primeira vez que o Banco Mundial utilizou a expressão foi num relatório de 1989, em que analisava o fracasso das reformas apoiadas pelo Empréstimos de Ajustes Estrutural (SAL) nos países africanos, no qual identificou a “crise de governança”

¹³Global Water Partnership

¹⁴[...] as a process which promotes the coordinated development and management of water, land and related resources in order to maximise economic and social welfare in an equitable manner without compromising the sustainability of vital ecosystems.

¹⁵[...] authors appears reluctant to assert unequivocally: “governance is...” Instead, they dance around the subject, employing such phrases as: “governance describes/is described as/emphasizes/encompasses/ is about/is an arena in which/is characterized by/refers to/relates to...”, no original.

como o mais importante fator responsável pelos obstáculos ao desenvolvimento. Entretanto, o termo só veio a ser oficializado em 1992 com a publicação do documento intitulado *Governança e Desenvolvimento*¹⁶.

Segundo o Banco Mundial, governança é “a maneira pela qual o poder é exercido na administração dos recursos econômicos e sociais do país, com vistas ao desenvolvimento.” (WORLD BANK, 1992 *apud* BORGES, 2003).

O Banco passa então a se preocupar com a legitimidade e o pluralismo político ao invés do caráter técnico, relacionado as reformas burocráticas e ao gerenciamento da política econômica (BORGES, 2003). A partir de então, a agenda política do Banco Mundial passa a se preocupar com as reformas de Estado e da administração pública e o fortalecimento da sociedade civil.

Governança, portanto, para o Banco Mundial, seria uma análise sobre um determinado tema levando em consideração esses aspectos. Nessa linha de raciocínio, existiria, então, a boa governança e maneiras para fortalecê-la. Assim, a boa governança está ligada ao empoderamento da sociedade civil e da descentralização do poder (BORGES, 2003), visão compartilhada por diversos especialistas e seguido pelas políticas de vários países. Um exemplo típico é a política brasileira de recursos hídricos, que contém em seu escopo todos esses elementos.

De uma maneira geral, a governança engloba a gestão. E muitas vezes ao analisar a governança de um recurso também se está analisando a sua gestão, mas também as políticas públicas em torno desse recurso e os arranjos institucionais.

Por fim, a análise da governança varia de acordo com a área de estudo. Pode ser uma governança local, nacional ou mesmo internacional; a governança ambiental, e dentro dessa analisar apenas a governança dos recursos hídricos e conseqüentemente a governança das águas subterrâneas. Pode-se analisar a governança do órgão gestor de recursos hídricos e nesse caso o seu escopo estaria muito próximo do escopo da gestão.

Assim, embora não haja um consenso quanto a definição de governança, é preciso que se entenda que esse é um termo muito mais abrangente que gestão e que tem a ver com políticas de governo, com a governabilidade, e a legitimidade do poder.

¹⁶Governance and Development

4.3 O PROJETO: A GOVERNANÇA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

O projeto Governança das Águas Subterrâneas idealizado pela Organização de Alimentação e Agricultura (FAO) da Organizações das Nações Unidas (ONU) e implementado juntamente com outras organizações como a UNESCO, IAH e Banco Mundial; durou cinco anos e resultou na publicação de dois documentos bases (Governança das Águas Subterrâneas: um quadro síntese para ação e Governança das Águas Subterrâneas: uma visão compartilhada para 2030) e, doze documentos temáticos e diversos artigos.

Ao longo desses cinco anos, o projeto trouxe um panorama geral da situação das águas subterrâneas no mundo, apontou as principais falhas na gestão, e estabeleceu um check-list com ações para o fortalecimento da governança das águas subterrâneas.

Segundo o projeto Governança das Águas Subterrâneas, embora haja diferentes níveis de governança e gestão das águas subterrâneas, em quase todos os lugares, a gestão desse recurso não condiz com a demanda, e a governança apresenta uma série de deficiências, das quais as principais notadas são:

- Liderança inadequada das agências governamentais;
- Falta de consciência dos riscos a longo prazo;
- Falta de conhecimento do recurso e do seu status;
- Sem um sistema legal atuante;
- Falta de interesse dos atores;
- Falta de integração com outras políticas nacionais¹⁷.

Assim, o projeto estabelece um passo a passo para o fortalecimento da governança a fim de sanar tais problemas. As etapas elencadas estão detalhadas abaixo.

4.3.1 O contexto das águas subterrâneas

O primeiro deles é **entender o contexto no qual as águas subterrâneas estão inseridas**. Esse primeiro momento se refere ao diagnóstico das águas subterrâneas, não só na

-
- ¹⁷Inadequate Leadership from governance agencies;
 - Lack of awareness of long-term risks;
 - Lack of knowledge of the resource and its status;
 - Non-performing legal systems;
 - Insufficient stakeholder engagement;
 - Poor integration with related national policies;

sua caracterização hidrogeológica e de seus problemas, mas também da realidade socioeconômica e das políticas em torno do tema.

Como já bem citado, as águas subterrâneas não devem ser tratadas como um sistema isolado, elas fazem parte de um todo (ciclo hidrológico) e exercem uma grande influência no desenvolvimento econômico da sociedade. Ainda há o aspecto dos diferentes usos dessas em relação ao meio urbano e rural que devem ser observados.

Por exemplo, o projeto cita a problemática dos aquíferos transfronteiriços, uma vez que um mesmo aquífero está sujeito a duas políticas diferentes, duas formas de gestão, mas que precisam encontrar um mínimo denominador comum a fim de promover uma gestão sustentável do recurso.

Porém, antes de começar o diagnóstico é preciso que se determine a área de atuação do projeto, pois, embora águas subterrâneas sejam um recurso amplamente disponível, as suas demandas, bem como os seus problemas, são essencialmente local (FAO, 2016b). Assim, determinar a área de atuação facilita na determinação dos fatores que influenciam a gestão do recurso.

4.3.2 Os alicerces para a governança

O segundo passo é **criar os alicerces para a governança**. Após o diagnóstico, deve-se identificar os pontos fortes e fracos da governança, os atores envolvidos, o arcabouço legal, entre outros. O Projeto recomenda que seja identificado e desenvolvido um líder, porque ele tem a habilidade de mobilizar os *stakeholders*, e de trazer a problemática das águas subterrâneas para agenda política. É claro que para isso é necessário apoio político para propiciar a implementação de políticas públicas, gerenciamento e a promoção da consciência ambiental.

Geralmente, a competência dessa função é desempenhada por uma agência de governo, porém, para que essas agências tenham legitimidade e credibilidade perante aos *stakeholders* e possam executar suas funções é necessário: (i) leis e regulamentações para alcançar o nível requerido de controle sobre o uso e atividades potencialmente poluidoras; (ii) um bom arranjo estrutural com adequada capacidade para elaboração de políticas e administração do uso e proteção contra poluição; (iii) mecanismos para permanente participação e envolvimento dos stakeholders para desenvolver a conscientização social das águas subterrâneas como um bem comum; (iv) procedimentos para coordenação e co-

gerenciamento com outros setores; (v) organizações para o gerenciamento de aquíferos transfronteiriços.

Além da liderança, é preciso também a reunião e o gerenciamento de informações sobre as águas subterrâneas, programas de conscientização e o envolvimento dos *stakeholders*. O primeiro é de suma importância, uma vez que o gerenciamento está intrinsecamente ligado com as informações que se possui sobre algo. Logo é preciso conter um banco de dados robusto. Mais além, é preciso processar, interpretar e divulgar essas informações numa linguagem clara e acessível que possa propiciar o envolvimento dos *stakeholders* na gestão. Os programas de conscientização podem se valer dessas informações a fim de colocar em pauta a problemática da gestão das águas subterrâneas para a população. Ainda, como projeto defende a gestão descentralizada, outro ponto focal é promover o envolvimento dos *stakeholders*.

Um bom exemplo disso é o caso de Kumamoto, no Japão. Ueno (2013) ressalta que houve um esforço do governo em tornar as águas subterrâneas em um recurso público¹⁸, o qual todos seriam responsáveis pelo sua preservação, conservação, proteção e monitoramento. Após foram feitas diversas parcerias entre com municípios que compartilhavam o mesmo sistema aquífero, com as empresas privadas, e com demais usuários. Juntos, eles criaram um plano que estabeleceu em linhas gerais a regulação das águas subterrâneas na região.

4.3.3 Construção de instituições eficientes

O terceiro passo para o fortalecimento da governança das águas subterrâneas é **a construção de instituições eficientes**. Nesse passo estão contemplados o arcabouço legal, as instituições propriamente ditas e a gestão coordenada com outros setores públicos.

Embora trace recomendações para o arcabouço legal como, trazer para o domínio público as águas subterrâneas, regular o uso das águas subterrâneas e a emissão de licenças, controlar os pontos de poluição; o principal ponto é a implementação da legislação. “[...] não importa o quão responsável seja uma lei das águas subterrâneas [...], é sua aceitação, implementação, administração e execução que faz a diferença¹⁹.” (FAO, 2016b). Por isso, é

¹⁸No Japão, as águas subterrâneas são consideradas privadas e estão ligadas ao direito de propriedade.

¹⁹[...] no matter how responsive groundwater laws are [...] to these fundamentals, it is their acceptance, implementation, administration, and enforcement that eventually make the difference.

necessário que as leis sejam internalizadas e cultivadas entre as entidades governamentais, usuários e potenciais poluidores.

Também há a necessidade de formar instituições fortes e legítimas para a gestão. O Projeto frisa a importância de agências de gerenciamento locais, já que haveria agilidade no processo de tomada de decisão; na coleta, informação e divulgação de dados, bem como na fiscalização dos usos. Todavia a criação de agências locais não deve ser vista e nem tampouco incentivar a separação da gestão de águas subterrâneas e superficiais. É preciso que haja um trabalho conjunto e coordenado de gestão, e conquanto haja agências centradas na gestão das águas subterrâneas, essas não podem se esquecer da interação desse recurso com os demais elementos do ciclo hidrológico.

É também nessa parte que devem ser pensadas em arenas de debates com a participação de todos os atores. Como já se viu, a participação deles é de suma importância para a gestão e portanto, criar maneiras para incentivar a sua participação e fazer com que todos os níveis sejam ouvidos é fundamental. A recomendação é que os atores participem de todo o processo de gestão: planejamento, regulação, controle, proteção dos recursos subterrâneos.

A gestão coordenada com outros setores públicos refere-se ao fato de que as políticas públicas levem em consideração as águas subterrâneas quando da sua elaboração, o mesmo deve acontecer nas ações de instituições e órgãos especializados dessas políticas, como a da agricultura e uso e ocupação do solo.

Para se ter uma ideia de como outras políticas podem afetar as águas subterrâneas, podem ser citados os trabalhos de Spera *et al.* (2016) e Barreteau *et al.* (2016). O primeiro trabalho mostra como o tipo de cultura e o tipo de ciclo utilizado na agricultura influenciam o comportamento do ciclo hidrológico. Já o segundo cita como se pode utilizar as estruturas urbanas para aumentar a recarga dos aquíferos, como direcionar a água de telhados e rodovias para o solo e conseqüentemente para aquíferos superficiais.

4.3.4 Estabelecendo links essenciais

Uma vez definido a área de atuação, feita a sua caracterização e definido os objetivos e prioridades é o momento para identificar a interdependência entre as águas subterrâneas e outros componentes. Esses componentes podem impactar de maneira negativa ou positiva as

águas subterrâneas e vice-versa. “Logo, explorar e identificar essas interdependências é um passo fundamental para aquela área onde se quer fortalecer a governança²⁰” (FAO, 2016b).

O projeto estabelece alguns links importantes divididos entre internos e externos. Os internos são: gestão integrada dos recursos hídricos (GIRH), a gestão de saneamento básico (GSB). Os externos são: a gestão do uso e ocupação do solo, do espaço subsuperficial, gestão da energia elétrica e outras políticas que se julgar relevantes.

A gestão integrada dos recursos hídricos refere-se ao fato do ciclo hidrológico e considerar a interdependência entre os processos desse. De acordo com o projeto, tanto a disponibilidade quanto a demanda deveriam ser gerenciadas de forma integrada, pois impede a “miopia” em relação aos recursos, a dupla contagem dos recursos explorados e condições irreais de limites “estáticos”.

Atenção especial deve ser dada a interrelação com as mudanças climáticas, pois devem alterar a disponibilidade dos recursos hídricos. Green (2016) afirma que as mudanças climáticas afetam os aquíferos de uma forma singular. Primeiro porque eles são usados como forma de amenizar os efeitos das mudanças climáticas em eventos extremos de seca, segundo porque as mudanças climáticas afetam o ciclo hidrológico, o que altera a recarga dos aquíferos.

A gestão do saneamento básico diz respeito a utilização das águas subterrâneas como fonte de abastecimento de água potável, mas também a questão do esgotamento sanitário e a gestão dos resíduos sólidos, que quando não executado adequadamente podem comprometer a qualidade dos aquíferos. Para se ter uma noção, Han *et al.* (2016) correlacionando a poluição das águas subterrâneas e os locais de construção e operação de aterros sanitários na China, concluíram que foram detectados 96 tipos de poluentes nas águas subterrâneas próximas a aterros, sendo 22 mais nocivos.

A interrelação entre as águas subterrâneas com a do o uso e ocupação do solo e do espaço subsuperficial está voltado principalmente para a questão da poluição. O uso e ocupação do solo deve se levar em consideração ainda as particularidades da zona urbana, que implica na impermeabilização do solo e consequentemente na alteração da recarga dos aquíferos, e da zona rural, com o uso intenso das águas para a agricultura irrigada além do uso

²⁰Hence, exploring and identifying these interdependencies is a fundamental step to be carried out in any particular area where groundwater governance is to be improved

de pesticidas. Um outro problema que pode chamar a atenção é com relação a mineração e dragagem que também impactam na qualidade dos recursos.

Já para o espaço subsuperficial, o Projeto cita a questão da utilização do subterrâneo para o armazenamento de hidrocarbonos, e também como forma de depósito de matérias perigosas.

Por último, a conexão entre águas subterrâneas e energia elétrica. Esse link é de vital importância para a zona rural e a agricultura irrigada. Através dos subsídios conferidos pelo governo para a energia, pode incentivar ou não o uso das águas subterrâneas. Shah *et al.*, (2008) afirmam que com o progresso e investimento em energia elétrica no meio rural a agricultura irrigada por poços com energia elétrica aumentou 585% entre 1971 e 2001.

“Altos preços desincentivam a exploração e estimulam um consumo mais eficiente. Na prática, ao redor do mundo, os governantes encorajam a produção agrícola e estimulam o faturamento rural, com a consequente depleção das reservas subterrâneas²¹” (FAO, 2016b).

4.3.5 Redirecionamento financeiro

O quinto passo é o **redirecionamento financeiro**. Nessa parte é discutido como conseguir recursos para financiar a gestão das águas subterrâneas.

Segundo o Projeto, é raro encontrar taxas ou cobranças direcionadas especificamente para os usuários. Geralmente, não só as taxas não são cobradas, como muitos governos acabam por incentivar a exploração das águas subterrâneas, como é o caso dos subsídios oferecidos para energia elétrica para o meio rural.

Em resumo, há uma necessidade urgente – como parte da governança das águas subterrâneas - em conhecer a estrutura de incentivos dos usuários e ajustá-la de forma a revisar uma cultura contraproducente e até mesmo prejudicial de incentivos e subsídios e, onde for possível, estabelecer preços pelo uso da água e direcionar esses recursos para proteção e regeneração das águas subterrâneas²² (FAO, 2016b).

Ademais, também há a necessidade em investir na gestão e no gerenciamento. O projeto cita alguns exemplos desses investimentos como: conhecimento e disseminação;

²¹Higher prices can reduce incentives to over-pump and can encourage more efficient use. In practice, governments world-wide have used lower energy prices to encourage agricultural production and boost rural incomes, with consequently increased incentives to deplete groundwater resources.

²²In summary, there is an urgent need — as part of groundwater governance — to assess the incentive structure faced by groundwater users and to adjust accordingly: revising counterproductive and even harmful incentives and subsidies; where institutionally feasible having a price paid for the use of water; and using financial resources thus generated for the protection or regeneration of groundwater.

incentivar a participação, restauração de bacias hidrográficas e paisagens; recarga artificial de aquíferos; proteção de áreas de recargas; entre outros.

Além disso, poderia se usar outros programas de investimentos para alavancar o fortalecimento da gestão e vice-versa. Um caso típico, são programas para uso mais eficiente dos recursos hídricos na agricultura irrigada. Da mesma forma, projetos para recargas de aquíferos e zonas de proteção podem ser combinados com projetos paisagísticos, possibilitando locais de lazer e incentivando o turismo local.

4.3.6 Planos de gerenciamento

O último passo é **o processo de produção de planos de gerenciamento**. Os planos de gerenciamento deverão ser criados a partir da caracterização dos aquíferos, do seu estado atual, oportunidades e riscos, dos objetivos do gerenciamento, do monitoramento, da avaliação e ajustamentos para um novo ciclo. É importante citar que nem todos os aquíferos necessitam de um plano de gerenciamento. Esse deve ser produzido principalmente para aquíferos prioritários, que devem ser escolhidos ou ranqueados a partir da consideração de fatores sociais, econômicos, dos objetivos do gerenciamento, do foco ambiental, e outros fatores.

Esse último passo reúne todas as informações levantadas nos anteriores para a elaboração do plano. Os pontos novos aqui são: o monitoramento, avaliação da implementação dos planos e os ajustamentos. Além disso, deverão ser produzidos relatórios constantes avaliando a implementação do plano e sua efetividade.

Com os passos listados acima, o Projeto espera que até o ano de 2030 as águas subterrâneas sejam governadas de uma forma sustentável e que se encontre o equilíbrio para atender os mais diversos tipos de atores presentes e futuros, assegurando a sustentabilidade do recurso e evitando a degradação irreversível dele. “A Visão (Uma Visão Global Compartilhada para a Governança das Águas Subterrâneas para 2030) invoca os países para que tome ações apropriadas e efetivas para governar os seus recursos hídricos subterrâneos apropriadamente e prevenir a degradação irreversível. A Visão faz um apelo para todos os atores para apoiar o processo²³” (FAO, 2016b).

²³The Vision calls upon countries to take appropriate and effective action to govern their groundwater resources properly and to prevent irreversible degradation. The Vision makes an appeal to all stakeholders to support these processes.

4.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO

O item 4.3 discutiu a questão da governança das águas subterrâneas e as medidas necessárias para uma boa governança. Como se viu, a participação e o envolvimento dos atores na política, gestão e gerenciamento é fundamental para a boa governança e principalmente para alcançar os objetivos da Visão Compartilhada da Governança das Águas Subterrâneas. Todavia, isso não isenta o Estado de suas funções, na verdade é preciso uma ação conjunta entre a sociedade civil e Estado de forma a propiciar uma gestão adequada.

Ao incentivar diversos níveis de gestão, o Projeto das Águas Subterrâneas além de incentivar a descentralização, ressalta também a necessidade da integração, a qual deve ser vertical e horizontal, envolvendo todas as escalas de poder, órgãos e instituições ligadas não só com a gestão de recursos hídricos, em específico a das águas subterrâneas, mas com outros setores cujas políticas se relacionam com o referido recurso, como é o caso do saneamento e dos subsídios para energia elétrica no meio rural.

Outro aspecto ressaltado é quanto às informações. O projeto frisa a necessidade de criar e manter um banco de dados robusto e atualizado a respeito das águas subterrâneas. Ressalta também a importância das informações estarem disponíveis a quem interessar, de uma forma acessível e compreensível a todos. Traz a necessidade do financiamento da gestão, a fim que essa tenha recursos próprios para suas ações e programas, e as diretrizes que devem nortear os planos diretores para o gerenciamento das águas subterrâneas.

5 METODOLOGIA

A metodologia desenvolvida nesse trabalho é basicamente composta de revisão bibliográfica e documental. A partir do método indutivo, procurou-se estabelecer pontos em comuns com os modelos estudados e a partir deles construir um modelo próprio e adaptado para a região em estudo.

A metodologia do trabalho pode ser dividida em quatro etapas: (i) referencial teórico sobre gestão e governança das águas subterrâneas; (ii) pesquisa documental e bibliográfica sobre os modelos analisados; (iii) diagnóstico ambiental, socioeconômico, do arcabouço legal e das instituições com competências sobre a gestão de recursos hídricos; (iv) construção do modelo.

5.1 REFERENCIAL TEÓRICO SOBRE GESTÃO E GOVERNANÇA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Antes de começar a pesquisar sobre as boas práticas de gestão de águas subterrâneas, sentiu-se a necessidade em entender um pouco sobre a própria gestão, bem como conhecer o estado da arte da gestão dos recursos hídricos e das águas subterrâneas no mundo. Por isso, essa parte do trabalho concentrou-se em buscar por artigos de revisão bibliográfica, livros, documentos que tratassem desse tema.

Esses artigos deveriam trazer conceitos, ser capazes de caracterizar os problemas da gestão, nomear os principais usos das águas subterrâneas, quais os princípios pelo qual a gestão deveria se pautar e apontar as boas práticas de gestão existentes.

Nesse ponto vale citar os trabalhos produzidos por Shah (2007) e Llamas e Matínez-Santos (2005) que apresentaram um histórico da utilização das águas subterrâneas e como elas foram essenciais para o desenvolvimento econômico e as mudanças sofridas no campo. Também se cita o livro *Integrated Groundwater Management*, publicado em 2016 e organizado por Jakeman. Este livro traz importantes conceitos e princípios sobre a gestão de águas subterrâneas, que são citados ao longo do trabalho.

É a partir dessa revisão bibliográfica, então, que se encontra o Projeto Governança das Águas Subterrâneas, que foi determinante para a análise dos modelos de gestão apresentados no trabalho.

5.2 PESQUISA DOCUMENTAL E BIBLIOGRÁFICA SOBRE OS MODELOS ANALISADOS

Uma vez estabelecido o estado da arte da gestão das águas subterrâneas e tendo as diretrizes do Projeto Governança das Águas Subterrâneas em mente, tem-se início a pesquisa por modelos bem-sucedidos de gestão.

Nesse ponto, vale citar que não houve critérios para a escolha das regiões. Primeiramente foi feito uma pesquisa quantitativa sobre artigos que caracterizassem de alguma forma a gestão em um determinado lugar.

Reunidos esses artigos, foi feito uma análise qualitativa. Analisou-se o conteúdo dos artigos, procurando identificar aqueles que discorriam sobre a política de recursos hídricos e o órgão gestor.

Uma vez identificado esses dois fatores, a pesquisa se pautou nos documentos disponibilizados pelo órgão gestor e na sua acessibilidade. Assim, os modelos escolhidos foram: a Austrália, Califórnia e Israel.

Uma ressalva importante faz-se para Israel, pois grande parte dos documentos disponibilizados pelo seu órgão gestor estava em hebraico (língua oficial do país), o que prejudicou um pouco a pesquisa. Em contrapartida, foi o modelo que mais se encontrou artigos e livros que discorriam sobre a gestão de recursos hídricos, inclusive detalhando a história do Estado e a sua infraestrutura hídrica. Esse fator foi determinante para a sua escolha.

Definidos os modelos a serem analisados, eles foram comparados quanto a: (i) escala de gestão, (ii) quadro legal; (iii) liderança; (iv) informação, conhecimento e monitoramento; (v) envolvimento dos atores; (vi) integração com outras políticas; (vii) financiamento da gestão; e (viii) diretrizes para os planos diretores. Esses requisitos foram retirados do Projeto Governança das Águas Subterrâneas. A sua caracterização nos modelos escolhidos tem o intuito de verificar o quanto cada modelo segue as diretrizes do Projeto Governança das Águas Subterrâneas.

É interessante perceber que as regiões escolhidas guardam certas semelhanças entre si e com a área de estudo. São regiões de clima árido ou semi-árido, com poucas chuvas e períodos de seca prolongados, a carência de recursos hídricos superficiais e a alta dependência econômica e social das águas subterrâneas. Ainda é possível dizer a forte presença da agricultura irrigada nas três regiões e como ela influenciou a gestão de águas subterrâneas.

Também é preciso dizer que foi necessário estudar e entender um pouco a organização político-administrativa de cada região analisada antes de se concentrar na gestão de cada uma. A Austrália, por exemplo, é um país que pertence ao continente da Oceania. É formada por estados federativos e territórios, que têm autonomia sobre a gestão dos seus recursos hídricos, contudo a União acaba interferindo na gestão através do aporte financeiro. Vale lembrar que o país sofreu um intenso período de seca (entre 1997-2009), o que ficou conhecido como a Seca do Milênio. Foi nesse período que os Chefes de Estado assinaram o National Water Initiative (NWI), um divisor de águas na gestão do país.

A Califórnia é um estado dos Estados Unidos (EUA) e também tem autonomia sobre a gestão das suas águas. Entretanto enquanto a gestão de águas superficiais no estado tem uma gestão complexa, sendo considerado um recurso público, havendo a emissão de direitos de uso para a sua utilização; as águas subterrâneas têm uma gestão local, condicionada ao condado e ligadas ao direito de propriedade do solo. Por isso, é comum encontrar na Califórnia, o que se chama de bacias adjudicadas²⁴, onde há decisões judiciais determinando o volume de água para cada uso e por quem será utilizado.

Já o Estado do Israel é uma democracia parlamentar e que apresenta uma gestão nacional e concentrada dos recursos hídricos. Dado a situação geográfica e a condição desfavorável para construção de barragens, o país desde a sua criação investe em infraestrutura hídrica. Além disso, quando se aprofunda um pouco sobre a sua história, conhece-se sobre a guerra da água entre Israel e Palestina, sendo que os recursos hídricos desse estão sobre controle daquele.

5.3 DIAGNÓSTICO DA ÁREA DE ESTUDO

A caracterização da área de estudo foi dividida em duas partes: (i) caracterização edafoclimática e (ii) caracterização do sistema de gerenciamento de recursos hídricos. No primeiro, procurou-se descrever o estado do Piauí quanto as suas características climáticas, hidrológicas, fisiográficas, sociais e econômicas. Nessa parte, concentrou-se os estudos na geologia e hidrogeologia. Novamente fez-se uma pesquisa bibliográfica e documental. Foram encontrados diversos trabalhos de conclusão de curso (monografias, dissertação e teses) a respeito da geologia do estado, principalmente na fronteira entre a bacia sedimentar do

²⁴ Adjudication basin, no original

Parnaíba e o embasamento cristalino. Contudo, preferiu-se utilizar como documento base aqueles produtos produzidos por órgãos públicos federais, como os do Serviço Geológico Brasileiro (CPRM).

A geologia foi outro ponto de inflexão durante a pesquisa, pois conhecer as formações geológicas é fundamental para entender o comportamento hidrológico e hidráulico das águas subterrâneas. Por isso, foi necessário investir um tempo no seu estudo e conhecer as formações geológicas do estado do Piauí e como elas estão organizadas.

Para a caracterização social e econômica, preferiu-se também a utilização de dados disponíveis em sistemas de informações administrados por órgãos públicos.

Dado a dimensão do estado e a quantidade de municípios existentes, preferiu-se fazer um diagnóstico socioeconômico pelas macrorregiões de desenvolvimento: Litoral, Cerrados, Semiárido e Meio Norte. São regiões de desenvolvimento, sendo seus limites coincidentes com a divisão política do estado e amplamente utilizado por órgãos público estaduais. A caracterização feita dessa forma visou encontrar as semelhanças e diferenças entre as regiões do estado, principalmente relacionado ao uso das águas subterrâneas.

Com relação a segunda parte da caracterização da área (sistema de gerenciamento de recursos hídricos), a pesquisa foi pautada nas informações divulgadas tanto pelo órgão gestor, quanto pela Agência Nacional de Águas. Para essa parte, foram feitas diversas visitas ao órgão gestor do estado, uma vez que os materiais consultados não estavam disponíveis na internet, no sítio do próprio órgão.

A pesquisa sobre o sistema de gerenciamento concentrou-se em identificar quem são as instituições que compõem o sistema de gerenciamento, o seu papel na gestão, a sua eficiência e quais eram as principais deficiências da gestão.

A importância dessa etapa reside no fato que é preciso conhecer o nível e a complexidade da gestão no estado do Piauí para saber as reais condições desse em implementar o que será proposto.

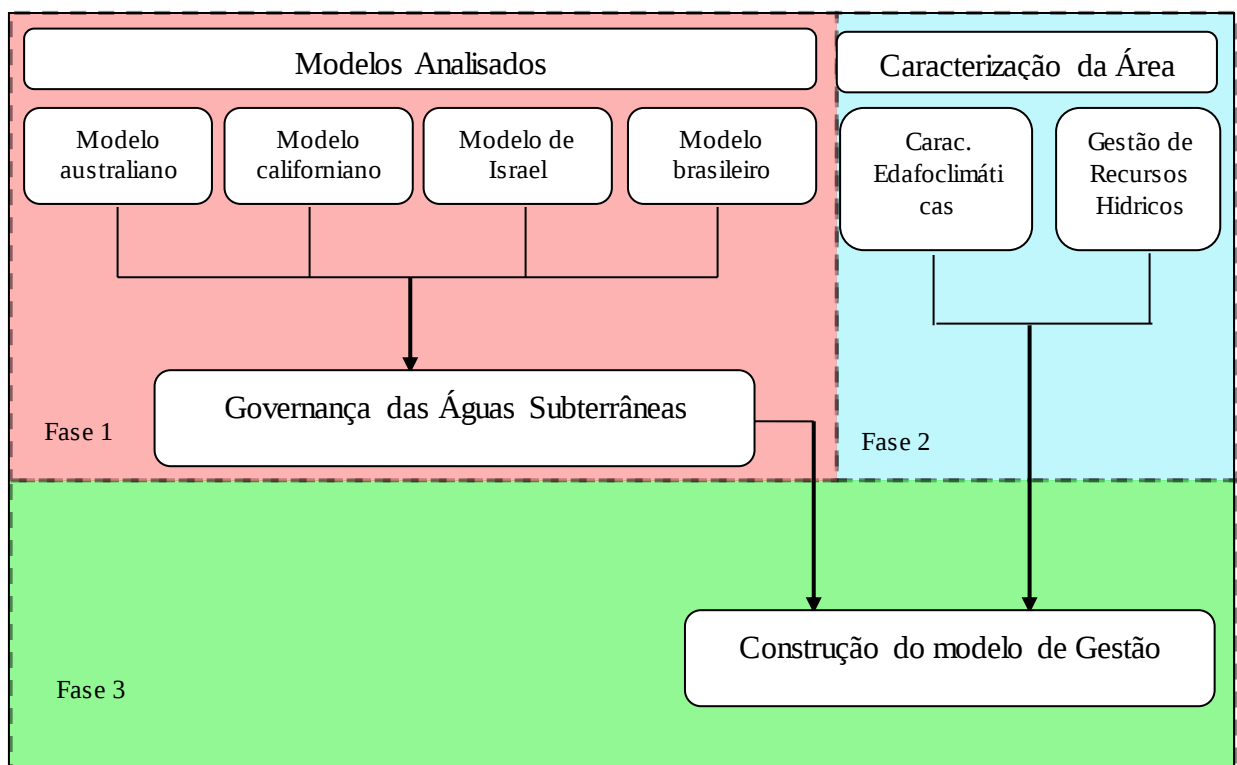
5.4 CONSTRUÇÃO DO MODELO

De posse das informações obtidas nos itens 5.2 e 5.3, deu-se início a construção do modelo. A Figura 6 apresenta o fluxograma do processo. Nota-se que as fases 01 e 02 são independentes entre si, mas acabam convergindo na construção do modelo, pois, como já

amplamente discutido, o trabalho visa propor uma nova metodologia para a gestão das águas subterrâneas no Piauí.

Para a construção do modelo, não se mexeu na estrutura organizacional do estado, do sistema de gerenciamento, nem tampouco nas competências do órgão gestor. Procurou-se convergir e adaptar o modelo à estrutura já existente. Assim, os próximos capítulos do trabalho irão discorrer sobre as informações e as conclusões a respeito dos modelos analisados, da caracterização da área de estudo e o modelo construído.

Figura 6 - Desenho esquemático para a construção do modelo.



Fonte: O Autor

6 EXEMPLOS DE GESTÃO NO BRASIL E NO MUNDO

O presente capítulo visa discutir os modelos de gestão de águas subterrâneas aplicados em três regiões do globo: Austrália, Califórnia e Israel. Em cada item do capítulo procurou-se contextualizar um pouco a relação do país ou estado com as águas subterrâneas. A partir daí, buscou-se destacar as principais ações tomadas por cada governo para fortalecer a gestão.

Nesse capítulo também se discorre um pouco sobre a gestão brasileira, apresentando as principais ações do governo federal para fortalecer a gestão. Também são relatados alguns casos bem-sucedidos de gestão de aquíferos no Brasil.

6.1 A GESTÃO AUSTRALIANA

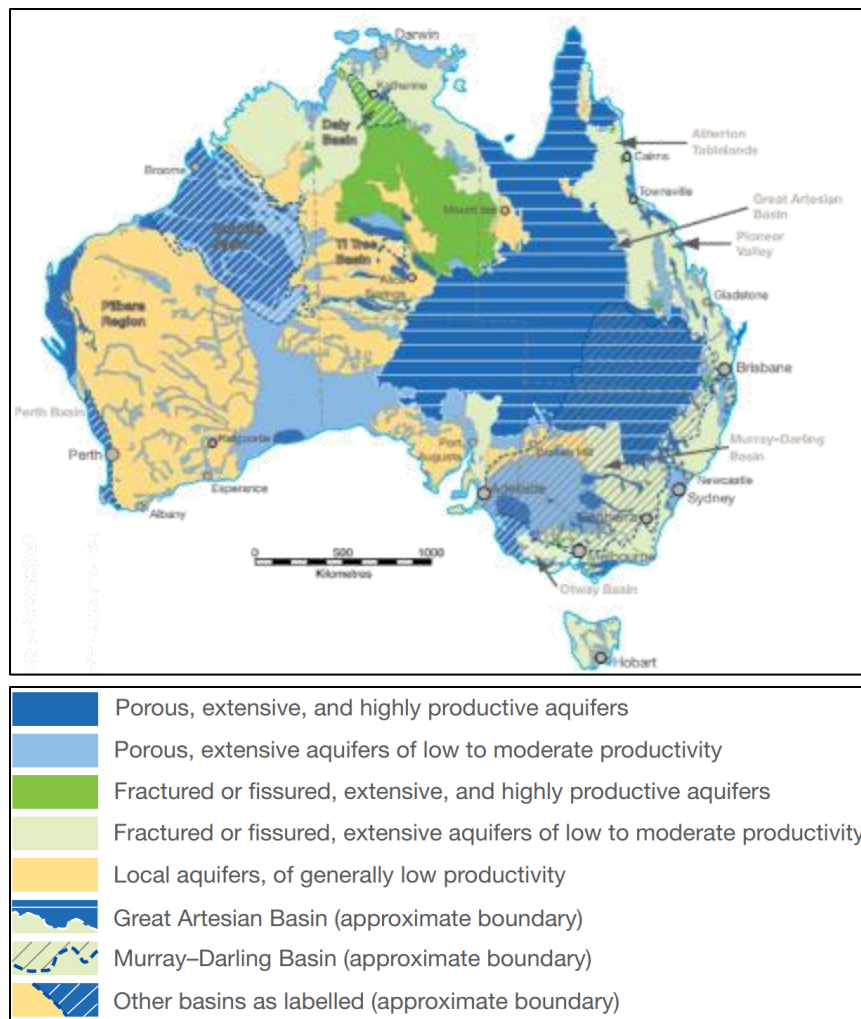
A Austrália é um país pertencente ao continente da Oceania, formado pelo continente-ilha de mesmo nome, pela ilha da Tasmânia e diversas outras ilhas adjacentes aos oceanos Pacífico e Índico. É formado por seis estados e dois territórios: Nova Gales do Sul, Victória, Queensland, Austrália do Sul, Austrália Ocidental, Território do Norte e Território da Capital Australiana. A Austrália é uma federação democrática formada pelos estados e territórios mais a União²⁵. A competência para a gestão das águas é dos estados e territórios, contudo a União pode intervir. Turrall e Fugallar (2007) citando McKay (2002) afirmam que os problemas internacionais, as preocupações jurisdicionais comuns e o fato de a constituição australiana permitir a intervenção financeira da União nos estados e territórios alavancou o papel dessa na política nacional de recursos hídricos.

As águas subterrâneas na Austrália representam aproximadamente 17% de todos os recursos hídricos disponíveis e mais de 30% de todos os usos (NWC, 2012). Segundo Harrington e Cook (2014), esse recurso desempenha um papel fundamental no país porque ele pertence ao continente mais seco e inabitável da Terra, onde as águas superficiais estão limitadas a pequenas áreas. Um exemplo disso, é o Gnangara Mound, que sustenta metade da população de Perth, Austrália Ocidental. Barreteau et al (2016) relata que o sistema é responsável pelo abastecimento de água potável da metrópole, irrigação de parques e jardins, indústria, horticultura e também pela manutenção de wetlands e woodlands.

²⁵Commonwealth

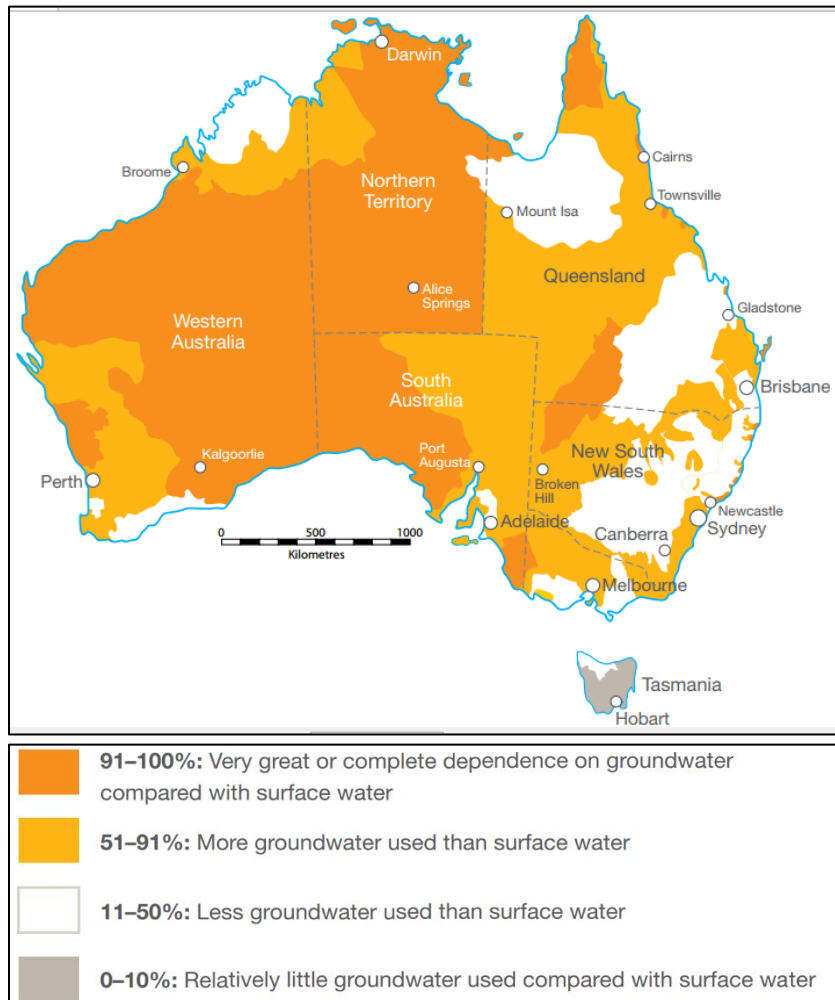
A Figura 7, extraída de Harrington e Cook (2014), apresenta os principais aquíferos do país, sendo que as áreas mais escuras são aquelas de maiores produções. Os autores trazem também um mapa que mostra a dependência do uso das águas subterrâneas em relação a águas superficiais (Figura 8). Segundo os autores, houve um aumento de aproximadamente 60% no consumo de águas subterrâneas entre os anos de 1983-84 e 1996-97, gerado não só pelo aumento da população, mas também pela preferência dessa fonte sobre as águas superficiais.

Figura 7 – Mapas dos sistemas hidrogeológicos australianos.



Fonte: Harrington e Cook (2014)

Figura 8 - Dependência das águas subterrâneas na Austrália.



Fonte: Harrington e Cook (2014)

Segundo Zuffo e Zuffo (2016), todo assunto de relevância nacional é tratado pelo Conselho de Governos Australianos²⁶ (COAG). Os autores ainda relatam que a reforma na gestão das águas no país começou no final da década de 1980 quando o país mudou sua política de abundância para uma política de licenciamento de direito de uso e mercado das águas mais adequado ao seu clima seco.

Com a publicação da Agenda 21 (Rio-92) e do conceito de desenvolvimento sustentável, o governo australiano incorporou essas definições em sua legislação, como: Estratégia Nacional para o Desenvolvimento Sustentável Ecológico²⁷ (1992), Acordo

²⁶Council of Australian Government

²⁷National Strategy on Ecologically Sustainable Development

Intergovernamental para o Meio Ambiente²⁸ (1992), Quadro Nacional para o Melhoramento da gestão das Águas Subterrâneas na Austrália²⁹ (1996) e a Iniciativa Nacional para a Água³⁰ (2004) (BENNET e GARDNER, 2014).

Vale lembrar que os atos acima citados não são considerados leis, mas acordos entre os estados e territórios, o que reforça a visão de um problema nacional e prioritário para os estados federados.

Segundo o Comitê de Produtividade³¹, até os anos de 1980 a política das águas no país era voltada para a agricultura irrigada e o suprimento das necessidades das cidades, porém essa política trouxe problemas, principalmente ambientais para o país (PC, 2017). Assim em 1994 o COAG lançou um projeto ambicioso que consistia na reforma das instituições e políticas de preços, nos direitos de propriedades, alocação de água para o meio ambiente e o mercado das águas (PC, 2017).

Uma das principais mudanças efetuadas foi a separação dos direitos de terra do direito de uso da água e de que a gestão das águas é um problema nacional (COAG, 2004). Mas como, lembra o NWI, houve um aumento da demanda e também das necessidades dos sistemas de gestão das águas superficiais e subterrâneas, incluso sua interconexão. Assim, baseados nisso, nos diferentes progressos das reformas, criou-se um ambiente propício para complementar e estender a agenda de reformas (COAG, 2004). Nesse contexto é criado a Iniciativa Nacional para Água (NWI).

O NWI traz, ao todo, dez objetivos que variam desde a reforma dos dispositivos legais até a integração entre os sistemas de meio ambiente e recursos hídricos. É interessante ver que dentre os objetivos estão a redução e o uso eficiente dos recursos hídricos, o sistema de informações (water accounting), o mercado das águas, e que aonde há interação direta entre as águas superficiais e subterrâneas; elas devem ser tratadas como um único sistema.

Também são elencados oito pontos-chaves pelos quais esses objetivos deverão ser alcançados, que basicamente estabelecem ações, metas e prazos para os estados e territórios.

O NWI também decidiu que haveria dois órgãos responsáveis por monitorar e fiscalizar o alcance das metas. Seriam: o Conselho Ministerial de Gerenciamento dos Recursos Naturais³² (NRMMC), responsável por acompanhar a implementação do acordo,

²⁸ Intergovernmental Agreement on the Environment

²⁹ National Framework for Improved Groundwater Management in Australia

³⁰ National Water Initiative

³¹ Productivity Commission - PC

³² Natural Resources Management Ministerial Council

bem como reportar os problemas de sua implementação quando surgirem; e Comissão Nacional sobre Água³³ (NWC), responsável por aconselhar sobre problemas nacionais relacionados a água e, em particular, acompanhar a efetiva implementação do acordo (anexo C, NWI). Contudo, em 2015, o NWC foi desfeito e suas funções distribuídas para Comissão de Produtividade³⁴ (PC), Agência de Meteorologia³⁵ (BoM) e Agência Australiana de Agricultura e Recursos Econômicos e Científicos³⁶ (NWC, 2015).

Em 2007, foi aprovado o Water Act, com o objetivo principal de assegurar o gerenciamento na Bacia do Murray-Darling (MDB) e outros assuntos de interesse nacional sobre as águas e o seu sistema de informações (AUSTRALIA, 2007). Dentre as várias deliberações da lei, foi criado a Commonwealth Environmental Water Holder (CEWH); algo como Titular Federal da Água Ecológica; com a função de gerenciar os títulos de água pertencentes à União, mas principalmente de proteger e restaurar o meio ambiente da MDB e de outras bacias das quais tenha títulos. Segundo o relatório do PC (2017), desde que a União começou a gerenciar e a reter grandes quantidades de água em sua competência, pode-se notar um aumento considerável na melhora qualitativa da água e na ecologia local na MDB.

Ainda em 2007, o NWC resolveu investir 82 milhões de dólares australianos num projeto, executado entre 2008 e 2012, chamado Plano de Ação Nacional para as Águas Subterrâneas³⁷ (GAP), que tinha três frentes de trabalho (NWC, 2012):

- A Iniciativa Nacional para Identificação das Águas Subterrâneas³⁸ (NGAI) – custou 50 milhões de dólares australianos e tinha como meta a investigação dos sistemas aquíferos;
- O Centro Nacional para Pesquisas em Águas Subterrâneas e Treinamento³⁹ (NCGRT) - um centro de pesquisas voltado especificamente para águas subterrâneas, com a ideia de promover estudos integrados, pesquisas sobre meio ambiente sustentável, além de se tornar um ponto de interação entre as diversas universidades conveniadas e também um centro de treinamento para profissionais de pós-graduação nessa área de interesse. O investimento foi de

³³National Water Commission

³⁴Productivity Commission

³⁵Bureau of Meteorology - BoM

³⁶Australian Bureau of Agricultural and Resources Economics and Sciences - ABARES

³⁷National Groundwater Action Plan

³⁸National Groundwater Assessment Initiative

³⁹National Center for Groundwater Research and Training

30 milhões de dólares australianos. A mesma quantia, segundo o NWC, foi investida pelas 20 organizações participantes do consórcio;

- Conhecimento e capacitação – destinado a promover os princípios, diretrizes e boas práticas de gestão de águas subterrâneas para os usuários e gestores a fim de melhorar a gestão sustentável das águas subterrâneas.

O principal projeto é sem dúvida NGAI. Os recursos destinados a esse projeto foram divididos em oito pontos principais:

- Harmonização das definições e padrões relacionados as águas subterrâneas – que tem a pretensão de padronizar as nomenclaturas, medidas e dados, mas também examinar a legislação e a gestão das águas subterrâneas nos estados para o seu fortalecimento;
- Análise das águas subterrâneas no norte australiano – destinado a investigação do norte australiano;
- Identificação de locais adequados para o gerenciamento das recargas e recuperação de aquíferos – pretende identificar as fontes de águas residuais e águas pluviais e condições geológicas para o gerenciamento das recargas dos aquíferos;
- Vulnerabilidade dos ecossistemas dependentes das águas subterrâneas – identificar a vulnerabilidades desses ecossistemas a atividades e usos das águas tanto superficiais como subterrâneas e das mudanças climáticas;
- Investigação da interconexão entre águas superficiais e subterrâneas – pretende mapear pontos onde ocorram a interconexão entre os sistemas;
- Caracterização de aquíferos estratégicos para a quantificação de produção sustentável⁴⁰;
- Revisão nacional do potencial de águas subterrâneas profundas para água doce, salobra e salinas – analisar as águas subterrâneas profundas provenientes de sísmicos e poços tanto do setor público quanto do privado;
- Gestão de riscos para qualidade das águas subterrâneas – foca na contaminação das águas subterrâneas e remediação, bem como a extensão dos danos.

⁴⁰Sustainable yield

Apesar do montante investido no GAP e da quantidade de programas e projetos pretendidos, o relatório sobre a Estratégia Nacional para as Águas Subterrâneas⁴¹ 2016-2026 (NGSF) afirma que não se obteve o retorno esperado, apesar de considerar que houve importantes avanços, principalmente no que diz respeito ao conhecimento do subterrâneo australiano (AUSTRÁLIA, 2016). Ademais, ele justifica as ações elencadas como forma de dar continuidade aos trabalhos do GAP e utilizar os conhecimentos adquiridos nele.

Contudo, vale ressaltar que dessas ações se destacam o Sistema de Informações Sobre Águas Subterrâneas (NGIS) e a gerenciamiento dos ecossistemas dependentes de águas subterrâneas que serão detalhados mais abaixo.

6.1.1 Sistema de Informações Nacional sobre Águas Subterrâneas

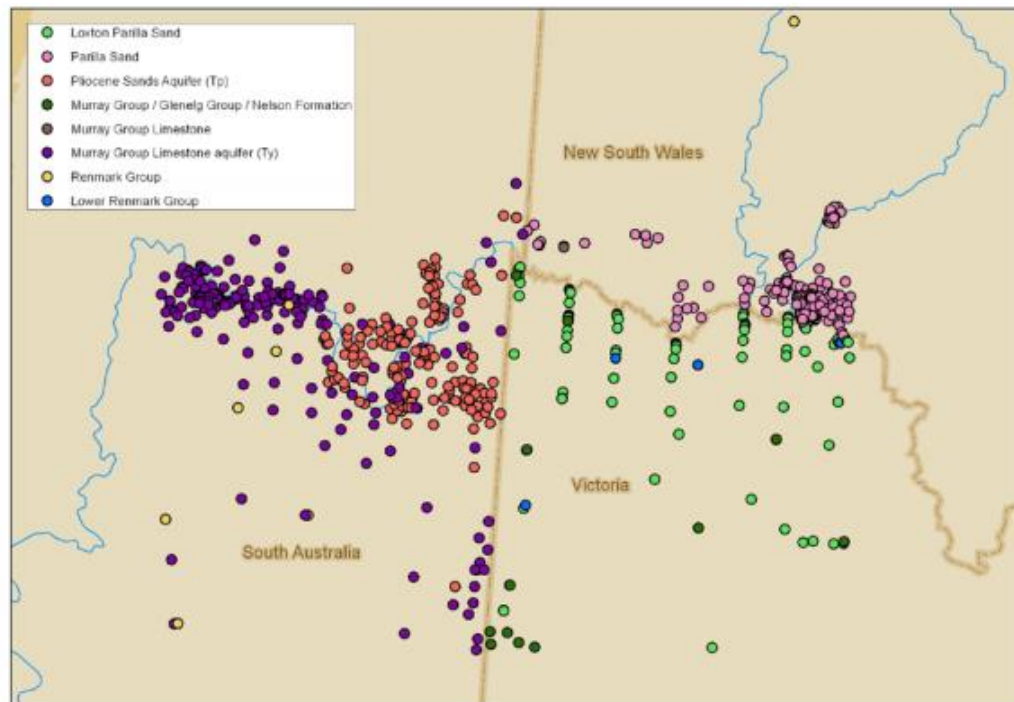
O Sistema de Informações Nacional sobre Águas Subterrâneas da Austrália (NGIS) foi um dos grandes projetos implementados pelo GAP, é um robusto banco de dados espaciais com diversas informações sobre as águas subterrâneas que vão desde o perfil construtivo do poço tubular, até informações a respeito dos limites dos aquíferos em 2D e 3D (BoM, 2016b).

O NGIS foi desenvolvido pela Agência de Meteorologia e funciona basicamente da seguinte forma: os órgãos gestores dos estados e territórios devem enviar até o mês de setembro os dados referentes as águas subterrâneas para a BoM, o qual deverá analisar e consistir as informações, padroniza-las e finalmente disponibilizá-las na plataforma em dezembro do mesmo ano (BoM, 2017).

O principal foco do NGIS é coletar as informações, padronizar e disponibilizá-las numa escala espacial. Para isso foi desenvolvido pelo BoM uma metodologia de forma a padronizar e agrupar as unidades hidrogeológicas, uma vez que cada estado/território apresenta sua própria metodologia e terminologia para descrever sedimentos e rochas com características hidráulicas similares, o que dificultaria a implementação de um sistema nacional. As Figuras 09 e 10 trazem um exemplo da bacia sedimentar do Murray antes e após a implementação da metodologia em questão. Como essa bacia está presente em três estados, é possível ver ao menos oito nomenclaturas diferentes para as unidades geológicas por causa das metodologias estaduais. Após a padronização, esse número reduz-se a três (Figura 10).

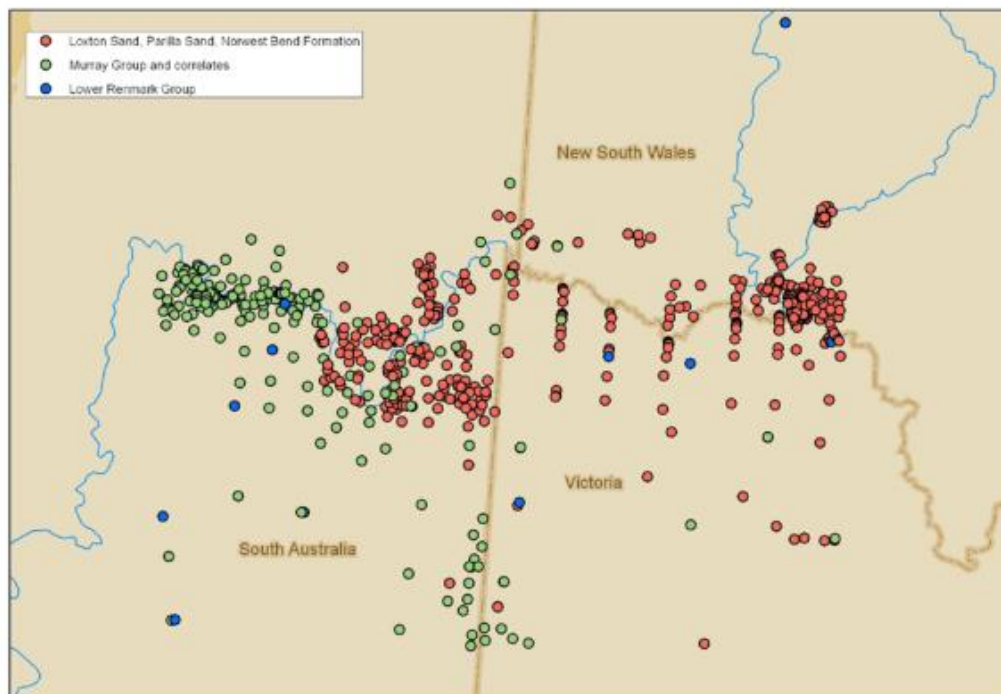
⁴¹National Groundwater Strategic Framework

Figura 9 - Poços na bacia sedimentar do Murray com a nomenclatura estadual.



Fonte: BoM, 2016

Figura 10 - Poços na bacia sedimentar do Murray com UG após a padronização.



Fonte: BoM, 2016

Segundo BoM (2016), foi criada um sistema hierárquico de camadas:

- unidades geológicas (GU) – a menor unidades consistente com a escala nacional;
- unidade hidrogeológicas (HGU) – uma ou mais unidades geológicas com características hidráulicas semelhantes;
- complexo hidrogeológico (HGC) – uma ou mais unidades hidrogeológicas que podem ser consideradas como parte de um aquífero ou aquífero.

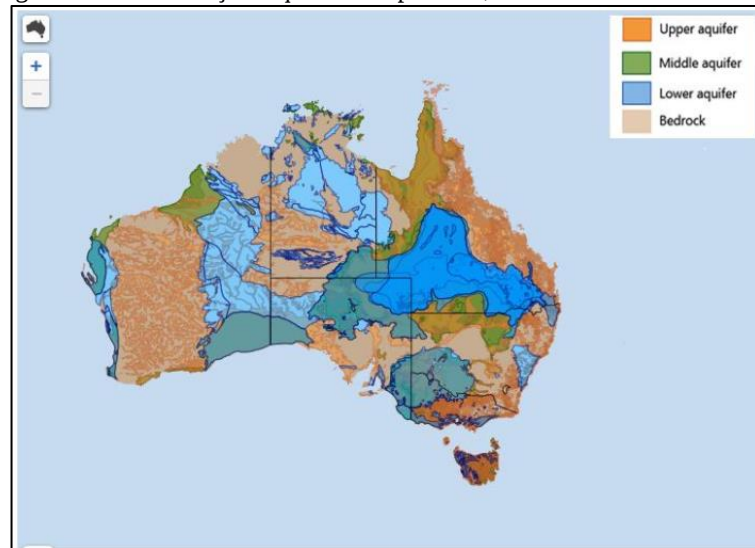
Além disso, também foram padronizados os nomes das camadas. A nomenclatura de cada complexo hidrogeológico tinha a seguinte estrutura: idade geológica – tipo de rocha – aquífero/aquífero – ambiente de deposição.

Vale ressaltar que a metodologia foi criada em conjunto com os órgãos gestores estaduais e outras entidades. O relatório do documento (BoM, 2016) apresenta todos os passos de criação e implementação da metodologia, bem como um breve diagnóstico das nomenclaturas e metodologias utilizadas em cada estado e território.

É preciso dizer também que o documento é atualizado sempre que há uma mudança ou atualização, por parte dos estados e territórios, na sua estrutura de avaliação geológica.

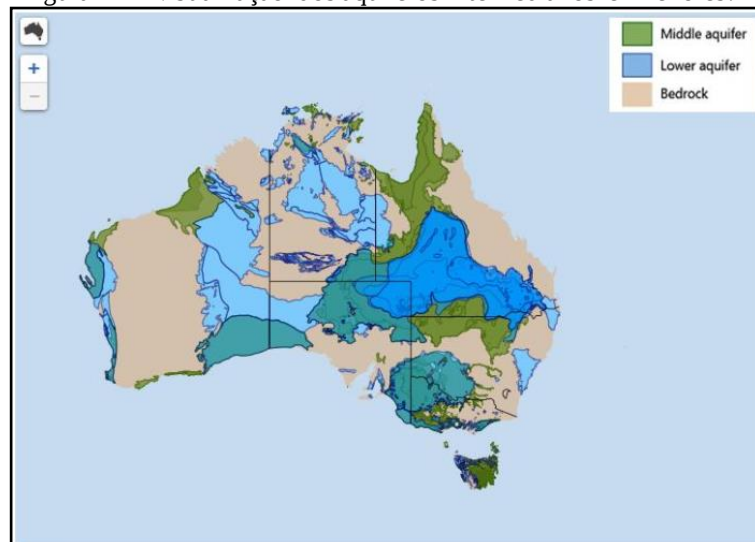
O NGIS ainda possibilita a visualização 3D de determinadas regiões da Austrália, e também foi desenvolvido uma metodologia que permite visualizar num mapa, de acordo com a profundidade e idade do aquífero, os seus limites. Os aquíferos foram agrupados em três camadas: camada superior (Upper), camada intermediária (Middle) e camada inferior (Lower). Segundo o infógrafo *Infosheet 15*, os aquíferos foram agrupados nessa camada a partir de uma estratigrafia criada especialmente para isso, posteriormente as nove províncias geológicas foram divididas em 20 bacias (e sub-bacias) sedimentares (BoM, 2016b). As Figuras 11, 12 e 13 apresentam os principais aquíferos divididos por essas camadas.

Figura 11 - Visualização aquíferos superiores, intermediários e inferiores.



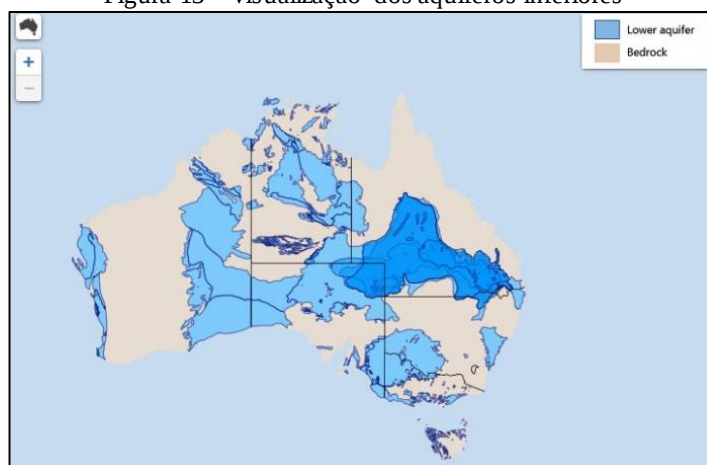
Fonte: BoM, 2017

Figura 12 – Visualização dos aquíferos intermediários e inferiores.



Fonte: BoM, 2017

Figura 13 - Visualização dos aquíferos inferiores



Fonte: BoM, 2017

6.1.2 Ecossistemas dependentes de águas subterrâneas (GDE)

Ecossistemas dependentes de águas subterrâneas (GDE⁴²) são ecossistemas que dependem dessas águas para alcançar todos ou alguns dos requisitos necessários para manutenção das comunidades de plantas e animais, dos processos ecológicos que sustentam, e serviços que eles proporcionam (RICHARDSON *et al.*, 2011). São exemplos de GDE: pântanos, escoamento de base dos rios, as cavernas em que habitam a estigofauna e troglobiontes, lagos e zonas costeiras e estuarinas.

O GW-MATE sugere que a classificação desses ecossistemas leve em conta a geomorfologia (costeiros, terrestre, aquático) e o mecanismo de fluxo das águas subterrâneas, se superficial ou subterrâneo (FOSTER *et al.*, 2006). A partir daí, podem ser vários tipos de ecossistemas podem ser reconhecidos.

A classificação utilizada na Austrália é baseada nesse conceito e divide os GDE em três tipos (RICHARDSON *et al.*, 2011):

- Tipo 01 - Ecossistemas de cavernas e aquíferos: ecossistemas com espécies únicas de organismos vivos (estigofauna e troglófauna). São típicos de sistemas aquíferos cársticos, rochas fraturas, e sedimentos saturados. Fazem parte desse grupo as zonas hiporréicas dos rios, planícies de inundação e zonas estuarinas;
- Tipo 02 – Ecossistemas dependentes da expressão superficial das águas subterrâneas: estão incluídos nesse tipo os lagos, wetlands, as nascentes de rios,

⁴² Groundwater Dependent Ecosystems

olhos d'águas, escoamento de base dos rios, áreas litorâneas que formam as águas salobras e ecossistemas marinhos;

- Tipo 03 – Ecossistemas dependentes das águas subterrâneas subsuperficiais: são aquelas vegetações que dependem inteiramente das águas subterrâneas, ou parcialmente, ou de maneira sazonal, ou ainda de modo a evitar situações adversas a sua condição. Um exemplo é um tipo de floresta tropical conhecido na Austrália como Monsoon Vine Thickets.

É importante ressaltar que não é somente a presença das águas subterrâneas que é importante para esses ecossistemas, mas também a quantidade, a qualidade, a maneira como ela ocorre, a época do ano, são fatores que influenciam nesses ecossistemas, nas espécies presentes, idade e tipo (MURRAY *et al.*, 2003).

Como se pode ver, esses ecossistemas mostram como as águas subterrâneas são importantes para o meio ambiente e como nenhum sistema deve ser tratado em isolado.

Na Austrália, o meio ambiente acaba sendo considerado também como um usuário de água e o volume necessário para um determinado ecossistema é levado em conta quando o cálculo do balanço hídrico e consumo de água (vide Water Account). O NWI requisita que todos os planos de água reconheçam o valor ecológico da água (RICHARDSON *et al.*, 2011), assim é que em 2007 a Land and Water, uma estatal australiana, elaborou uma guia para identificação dos GDE, bem como métodos para entender a influência da água e os requisitos dessa na sustentação dos ecossistemas. Posteriormente, o documento foi atualizado pela NWC (EVANS *et al.*, 2013).

O documento, intitulado Caixa de Ferramentas Australianas para Ecossistemas Dependentes de Águas Subterrâneas⁴³, foi dividido em duas partes: a primeira, mais genérica, detalha sobre o que são os GDEs, como identificá-los e quais ferramentas usar; já a segunda parte reúne e detalha um total de 14 metodologias para identificação dos GDE.

Embora o documento não traga uma metodologia para o gerenciamento dos GDE, ele apresenta os passos para sua identificação e diretrizes para o seu gerenciamento. A ideia da identificação dos GDEs e sua caracterização é perceber o quão dependente é aquele ecossistema das águas subterrâneas, bem como a sua resposta pela variação do recurso natural, o que ficou conhecido como requisitos ecológicos para a água⁴⁴ (EWR).

⁴³Australian Groundwater-Dependent Ecosystems Toolbox

⁴⁴Ecological water requirements.

A partir disso, devem ser elaborados os objetivos ecológicos, ou seja, como se deseja que um determinado ecossistema esteja no futuro. Nesse processo devem ser consultados os stakeholders e também devem ser levados em consideração a realidade socioeconômica da região. Assim, ao final, determinar-se-á a quantidade e qualidade de água necessária aquele ecossistema e o tipo de gerenciamento a ser feito.

Segundo Richardson *et al.* (2011), existem três estágios para isso: estágio 01 - **localização, classificação e conceituação básica** -, estágio 02 – **caracterização da dependência do ecossistema com relação a água subterrânea** -, estágio 03 – **caracterização da resposta ecológica a mudanças**.

Para cada um dos estágios, o documento estabelece perguntas guias para auxiliar o trabalho dos profissionais na identificação dos GDE.

Embora sejam passos simples, é preciso lembrar que os estágios 02 e 03 são complicados de se alcançar, principalmente se não houver dados de monitoramento. O estágio 03 é ainda mais complicado porque nem sempre as alterações sofridas no ecossistema são rápidas, podendo levar anos para aparecer (RICHARDSON *et al.*, 2011).

O monitoramento é o melhor método para responder as perguntas chaves dos estágios 02 e 03, e a ausência de dados de monitoramento gera uma menor confiança na estimativa de dos EWR⁴⁵ (RICHARDSON *et al.*, 2011).

Vale ressaltar também que foi desenvolvido um atlas com informações sobre os diversos GDE da Austrália. Esse atlas também está disponível NGIS e é gerenciado pelo BoM.

Ainda que o documento não especifique nenhum tipo de metodologia pela qual esses ecossistemas devam ser gerenciados, ele cita a análise de risco como uma das formas de gestão. Rhode, Froend e Howard (2017) destacam que embora seja dado muito destaque ao monitoramento como forma de conhecer e caracterizar os ecossistemas e consequentemente na tomada de decisões, algumas ações podem ser necessárias nesse meio tempo.

A análise de risco se baseia no entendimento da dependência do ecossistema em relação a água subterrânea e qual a tolerância e sensibilidade dos ativos ecológicos numa GDE⁴⁶ (ROHDE, FROEND e HOWARD, 2017).

⁴⁵Monitoring is the best approach to answering the key questions posed within Stages 2 and 3, and in the absence of monitoring data there is less confidence in the associated EWR estimates.

⁴⁶The risk assessment process relies on an understanding of a GDE's reliance on groundwater and what tolerances and sensitivities exist for the ecological assets comprising the GDE.

O autor descreve a metodologia utilizada por Nova Gales do Sul, que se baseia numa série de perguntas, para determinar o nível de risco de uma GDE a uma interferência, seja atual ou futura. O processo destaca onde há uma carência de informações e onde o monitoramento precisa ser melhorado. Os GDE são classificados quanto ao seu valor e risco, estabelecendo-se assim uma priorização de ecossistemas, o que ajuda os gestores a elaborar ações para manter ou melhorar a gestão dos ecossistemas e reduzir os impactos das atividades humanas (ROHDE, FROEND e HOWARD, 2017).

6.2 A GESTÃO CALIFORNIANA

Assim como na Austrália, a gestão das águas nos Estados Unidos cabe aos estados. “Cada estado tem pleno controle sobre as águas dentro dos seus limites e as agências locais definem os objetivos para regulação do uso da água e poluição dela⁴⁷” (ROSS, 2016). Setti *et al* (2001) afirma que por causa do rio Mississippi, os EUA podem ser divididos em duas regiões distintas: a parte leste, com clima úmido, e a parte oeste, com clima semiárido e árido.

Essa divisão, segundo o mesmo autor, propiciou duas formas distintas de alocação de água: uma pelo direito ribeirinho e outra pelo direito de apropriação. No caso californiano, é usado os dois tipos. Zuffo e Zuffo (2016) lembram ainda de um terceiro tipo, que é a Doutrina Pueblo, em que uma cidade tem o direito perpétuo do uso das águas em seu território desde que essa prove que fazia parte da Califórnia na época do domínio espanhol. Essa complexidade na legislação das águas na Califórnia tem gerado alguns conflitos pelo uso, como o caso do Vale Owens e do rio Colorado e ainda a questão de Los Angeles, que a partir da Doutrina Pueblo, tem o direito sobre toda a água do rio Los Angeles.

Contudo essa complexidade na legislação californiana é referente apenas as águas superficiais, o mesmo não se pode dizer sobre as águas subterrâneas. Bulletin 118-03 (DWR, 2003) afirma que 1914 o estado da Califórnia criou um sistema de apropriação para as águas superficiais por permissão, enquanto as águas subterrâneas como um recurso local, cabia aos condados e cidades o seu gerenciamento. O papel do estado é o de fornecer assistência técnica e financeira para as agências locais gerenciarem os recursos hídricos subterrâneos.

As necessidades da gestão das águas subterrâneas são identificadas pelas agências locais de águas e resolvidas diretamente ao nível local. Se essas necessidades não puderem ser sandas pelas agências locais, ações extras podem ser tomadas como

⁴⁷Each individual state has “plenary control” over the waters within its boundaries and state of local governments set goals for regulating water use and water pollution.

atos de regulamentação pelos governos locais, trechos de leis da Legislação, ou decisões judiciais podem ser necessárias para resolver os problemas⁴⁸ (DWR, 2003).

Ainda segundo o Bulletin 118-03, há três tipos de gestão das águas subterrâneas: gerenciamento concedido às agências locais pela Código das Águas, por ordenações locais ou acordo comum, decisões judiciais (DWR, 2003). Com exceção do primeiro, as outras duas fogem ao poder do Estado, sendo que as ordenações locais são feitas pelos governos locais com objetivos e propósitos particulares – “em muitos casos o único propósito parece ser a exportação das águas subterrâneas” (DRW, 2003) -, já as decisões judiciais foram ações dos próprios usuários através da Corte para determinar o volume que seria extraído por cada usuário.

Para se ter uma noção, a Califórnia é o maior usuário de águas subterrâneas dos EUA - 16% de todo o recurso do país – (USGS, 2010 *apud* DWR, 2013). Segundo o DWR, em média as águas subterrâneas são responsáveis por entregar de 30 a 46% de toda a demanda do estado, embora dependendo da região hidrológica e também das condições meteorológicas a situação pode ainda ser mais dramática, como na Costa Central em que as águas subterrâneas representaram mais de 83 a 90% de todo o consumo entre 2002 e 2010 (DWR, 2013).

Essa alta dependência, aliado com os anos de seca enfrentado pelo estado e os problemas decorrente do uso irrestrito do recurso, fizeram com o que o governo publicasse a Lei da Gestão Sustentável das Águas Subterrâneas⁴⁹ (SGMA) em setembro de 2014. Foi a primeira vez que o estado da Califórnia propiciou um modelo para a gestão local e sustentável das águas subterrâneas. Em termos gerais, a lei incentiva o gerenciamento local das águas subterrâneas, com a criação de agências reguladoras e a produção de planos de gerenciamento e requer que todas as regiões dependentes do recurso façam um uso mais sustentável dele a fim de restabelecer o equilíbrio entre a extração e a recarga.

O SGMA faz parte do Código das Águas, uma extensa lei sobre a gestão das águas que dispõe sobre diversos aspectos sobre os recursos como, conservação e preservação; qualidade das águas, abastecimento humano, irrigação, barragens, entre outros assuntos. Segundo o SGMA todas as bacias subterrâneas consideradas com prioridade alta ou média deverão possuir e ser gerenciadas de acordo com um plano até 31 de janeiro de 2022; no caso

⁴⁸“Groundwater management needs are identified at the local water agency level and may be directly resolved at the local level. If groundwater management needs cannot be directly resolved at the local agency level, additional actions such as enactment of ordinances by local governments, passage of laws by the Legislature, or decisions by the courts may be necessary to resolve the issues”, no original

⁴⁹The Sustainable Groundwater Management Act

dessas bacias estarem em condições críticas de superexploração o prazo é de 31 de janeiro de 2020 (CALIFÓRNIA, 2014).

Antes de começar a falar sobre o SGMA, nota-se algo interessante que é o uso contínuo e até certo ponto maçante da palavra sustentabilidade. Ela está presente desde o nome dado a lei até mesmo a várias expressões utilizadas por ela como, agências sustentáveis, planos sustentáveis, campo de extração sustentável, programas sustentáveis, objetivos sustentáveis, entre outros. A definição de sustentabilidade dada pelo Código das águas segue os princípios do desenvolvimento sustentável, ou seja, a utilização dos recursos pela geração presente sem comprometer as gerações futuras.

É a política do estado que os recursos hídricos subterrâneos sejam gerenciados sustentavelmente para confiabilidade a longo prazo e múltiplos benefícios econômicos, sociais e ambientais para os usos atuais e futuros. O gerenciamento sustentável das águas subterrâneas é melhor alcançado localmente através do desenvolvimento, implementação e atualização de planos e programas baseados na melhor ciência possível⁵⁰ (CALIFÓRNIA, 2014).

Apesar disso, quando observada a definição dada para as diversas expressões, que trazem sustentabilidade no seu nome, não há qualquer diferenciação ou especificidade, por exemplo, a agência sustentável de águas subterrâneas (GSA) é apenas uma entidade responsável pelo gerenciamento do recurso. O mesmo pode ser dito os planos e programas sustentáveis e até mesmo sobre os objetivos.

Contudo o SGMA é regido pela definição de campo de extração sustentável e dos resultados indesejáveis. Campo de extração sustentável refere a quantidade máxima de água que pode ser extraída sem que isso cause resultados indesejados; entendidos como subsidência, rebaixamento acentuado dos níveis das águas subterrâneas, diminuição da disponibilidade e alteração na interação entre as águas subterrâneas e superficiais (CALIFÓRNIA, 2014). O campo de extração sustentável deve ser estabelecido a partir da análise de um período representativo das condições da bacia incluindo qualquer excedente temporário (CALIFÓRNIA, 2014).

Quando se analisa conjuntamente as duas subdivisões (w e x), nota-se que o conceito de campo de extração sustentável está relacionado as características quali e quantitativas, sem levar em consideração a realidade socioeconômica e ambiental da bacia. Fienen e Arshad (2016) lembram que com o advento do desenvolvimento sustentável, gerenciar as águas

⁵⁰It is the policy of the state that groundwater resources be managed sustainably for long-term reliability and multiple economic, social, and environmental benefits for current and future beneficial uses. Sustainable groundwater management is best achieved locally through the development, implementation, and updating of plans and programs based on the best available science.

subterrâneas não se trata mais apenas de fornecer água para os poços para o consumo humano, mas também para o escoamento de base dos rios, vegetação freatófita, e outros ecossistemas dependentes de águas subterrâneas, mas explicam que essa simplificação persiste principalmente quando a “ciência encontra a política”, pois é muito mais fácil regular o uso a partir de uma única variável. Giordano (2009) põe em cheque sobre o que de fato seria essa superexploração⁵¹. O autor cita o trabalho de Llamas e coautores que mostram que exemplos como o Líbia e a Arábia Saudita no qual houve benefícios desse uso insustentável com pequenos efeitos negativos. Também cita os trabalhos de Moench que preferem considerar o fator social ao invés do hidrológico sobre a superexploração das águas subterrâneas.

O cerne deste ponto de vista é que o uso insustentável das águas subterrâneas a curto prazo, pode se transformar em outras formas de capital para o melhoramento das condições humanas e possivelmente ambientais no futuro⁵² (GIORDANO, 2009).

Voltando a análise da lei californiana, vale dizer que apesar do conceito de campo de extração sustentável ser embasado em preceitos hidrológicos, o SGMA traz em seu corpo diversos aspectos da gestão sustentável e da gestão integrada dos recursos hídricos, como é o caso da elaboração dos planos que devem levar em consideração as políticas já implementadas na bacia, e as condições socioeconômicas. Logo, o problema da conceituação parece vigorar em torno do que Fienen e Arshad (2016) expõem.

Nos subitens que se seguem foram destacados três pontos do SGMA: as bacias subterrâneas, as agências sustentáveis (SGA), e os planos sustentáveis.

6.2.1 As bacias subterrâneas

Segundo o Boletim 118 (DWR, 2003), uma bacia subterrânea (ou só bacia) é considerado como um aquífero ou conjunto de aquíferos empilhados com limites bem definidos lateralmente com elementos que impede significativamente o fluxo das águas subterrâneas e um substrato definido, e as sub-bacias seriam divisões das bacias limitadas por características geológicas e hidrológicas (DWR, 2003). Porém com o advento do SGMA, os limites das bacias vão além das características hidrogeológicas do subsolo.

⁵¹A superexploração referida nessa parte deve ser entendida estritamente dentro dos conceitos hidrológicos

⁵²The crux of this viewpoint is that unsustainable groundwater use in the short term can be converted into other forms of capital for the improvement of the human, and possibly environmental, condition in the future.

Segundo o SGMA, a SGA poderia requisitar junto ao DWR a revisão nos limites de uma bacia, desde que a proposta preenchesse quatro condições:

- 1) Informação demonstrando que a proposta tem a ver com a gestão sustentável das águas subterrâneas;
- 2) Informações técnicas referente ao ajuste proposto;
- 3) Informações demonstrando que foram consultados as agências locais e o sistema público de água; e
- 4) Outras informações que o DWR achar necessário.

A seguir, incumbiu o DWR a elaborar, até 01 de janeiro de 2016, uma metodologia, estabelecendo os critérios de análise e os tipos de modificações que poderiam ser feitas. Assim, após várias consultas com especialistas, agências gestoras locais e da Comissão Californiana de Água⁵³ (CWC), foi aprovado o Limite das Bacias Subterrâneas (DWR, 2016). Por essa regulação, seriam consideradas para análise apenas de dois tipos: científica e jurisdicional. A primeira leva em consideração as características geológicas e hidrológicas da bacia, enquanto a segunda são aspectos jurisdicionais, que possam facilitar a implementação do SGMA. Desse modo, os limites de uma bacia passam a considerar também a área de competência das SGA além das características físicas.

Além da metodologia estabelecida, o DWR também elaborou um guia para ajudar as agências locais. Segundo o Boletim 118 (DWR, 2016), esse guia continha informações sobre: (i) os limites e as descrições das bacias presentes no Boletim 118, de 2003; (ii) informações sobre as bacias adjudicadas⁵⁴; (iii) bacia prioritária; (iv) geologia; e (v) limites dos condados, bacias hidrográficas, agências de águas, terras federais e indígenas.

Ao fim, foram definidas 517 bacias subterrâneas, as quais estão agrupadas em 09 regiões hidrológicas, como mostra a Figura 14. O Bulletin 118 (DWR, 2016) apêndice A apresenta todas as bacias que foram alteradas e quais suas modificações, já o apêndice B traz os mapas apresentando os novos limites das bacias.

Outro ponto interessante sobre as bacias, é que o SGMA determinou que elas fossem classificadas segundo uma ordem de prioridades: alta, média, baixa e muito baixa. Os planos somente deverão ser obrigatórios àquelas consideradas com prioridade alta ou média.

⁵³California Water Commission

⁵⁴Bacias adjudicadas são bacias em que há uma decisão judicial definindo determinando a quantidade que pode ser usada por cada usuário.

Essa classificação deverá ser feita pelo Departamento de Recursos Hídricos (DWR), levando em consideração oito critérios: (i) a população na bacia; (ii) a taxa de crescimento da população; (iii) o número de sistemas públicos de abastecimento; (iv) o número de poços perfurados; (v) área de irrigação; (vi) o grau de dependência dos residentes da bacia tendo as águas subterrâneas como sua fonte primária; (vii) qualquer impacto negativo já noticiado na bacia; e (viii) quaisquer outros critérios que o DWR julgar necessário - subdivisão b, Seção 10933 - (CALIFÓRNIA, 2014).

Figura 14 - Regiões hidrológicas, bacias e sub-bacias da Califórnia.



Fonte: DWR (2016)

A primeira classificação ocorreu por causa do Programa de Monitoramento das Águas Subterrâneas da Califórnia⁵⁵ (CASGEM), em que o DWR deveria classificar as bacias como forma de identificar, avaliar e determinar a necessidade de um monitoramento adicional dos níveis das águas subterrâneas (DWR, 2014a).

⁵⁵California Statewide Groundwater Elevation Monitoring Program

O Departamento de Recursos Hídricos (DWR) estabeleceu uma metodologia simples para ranquear as bacias, considerando os critérios estabelecidos no SGMA. Cada um dos oito critérios foi dividido em seis faixas de valores (numeradas de 0 a 6), após essa definição foi então estabelecido uma fórmula matemática em que cada valor deveria ser somado. Ao fim, e de acordo com o resultado da fórmula, cada bacia seria classificada em uma prioridade. As tabelas 01 e 02 apresentam as faixas de valores utilizadas (DWR, 2014b).

Tabela 1 - Critérios para classificação das bacias em classes de prioridades.

Valor	População		PSW	Densidade de	Área	Dependência das águas	
			densidade	Poços (d)	Irrigada (e)	subterrâneas	
	Densidade (a)	Projeção (b)	(c)			Uso das AS (f)	% do suprimento total (g)
	milha ²	%	milha ²	milha ²	Acre/milha ²	Acre- pés/acre	%
0	$x < 7$	$x < 0$	$x = 0$	$x = 0$	$x < 1$	$x < 0.03$	$x < 0.1$
1	$7 \leq x < 250$	$0 \leq x < 6$	$0 < x < 1$	$0 < x < 2$	$1 \leq x < 25$	$0.03 \leq x < 0.1$	$0.1 \leq x < 20$
2	$250 \leq x < 1000$	$6 \leq x < 15$	$1 \leq x < 0.25$	$2 \leq x < 5$	$25 \leq x < 100$	$0.1 \leq x < 0.25$	$20 \leq x < 40$
3	$1.0 \leq x < 2.500$	$15 \leq x < 25$	$0.25 \leq x < 0.50$	$5 \leq x < 10$	$100 \leq x < 200$	$0.25 \leq x < 0.5$	$40 \leq x < 60$
4	$2.500 \leq x < 4.000$	$25 \leq x < 40$	$0.50 \leq x < 1.0$	$10 \leq x < 20$	$200 \leq x < 350$	$0.5 \leq x < 0.75$	$60 \leq x < 80$
5	$x \geq 4.000$	$x \geq 40$	$x \geq 1.0$	$x \geq 20$	$x \geq 350$	$x \geq 0.75$	$x \geq 80$
$Rank = a + b + c + 0,75d + e + \frac{f + g}{2} + impactos + outras informações$							

Fonte: DWR (2014b), modificado

Tabela 2 - Classificação das bacias em classes de prioridades de acordo com a pontuação.

Prioridades			
Muito Baixa	Baixa	Média	Alta
$x < 5,75$	$5,75 \leq x < 13,42$	$13,42 \leq x < 21,08$	$x \geq 21,08$

Fonte: DWR (2014b), modificado

De acordo com a fórmula exposta na tabela 01, a dependência pelas águas subterrâneas leva em conta dois fatores: o uso delas e o fornecimento público. Já para os

fatores sete e oito estão relacionados a impactos diretos como superexploração e degradação da qualidade e outras informações consideradas relevantes pelo DWR, por exemplo, impactos ambientais. A esses dois últimos fatores foram criados outros valores e critérios que depois foram somados à fórmula geral.

Ao final do processo, foram identificadas 128 bacias com prioridades alta ou média. Essas bacias possuem 96% de toda a demanda das águas subterrâneas e 88% da população da Califórnia (DWR, 2014a).

O DWR ainda definiu também aquelas bacias em condições críticas de exploração. Para isso, primeiro foi definido o período de análise (entre 1989 e 2009), após foi feita a análise dos níveis de águas subterrâneas; em que foram identificadas aquelas bacias com declínios nos níveis. Por último, foi feita uma revisão documental a fim de identificar algum impacto negativo nessas bacias.

Assim, foram identificadas 21 bacias com condições críticas de exploração. Quando comparado essas bacias com a classificação quanto a prioridade, nota-se que todas essas foram classificadas como altas e estão concentradas nas regiões hidrológicas do Rio São Joaquim e do Lago Tulare.

6.2.2 As agências sustentáveis de águas subterrâneas

Na Califórnia, as águas subterrâneas diferentemente das águas superficiais nunca foram reguladas pelo Estado. Na verdade, há um entendimento (e a legislação do estado repetidas vezes entendeu assim) que os recursos hídricos subterrâneos deveriam ser geridos localmente (DWR, 2003). Com o advento do SGMA, permaneceu o mesmo entendimento, todavia a lei requereu que fossem estabelecidas agências especializadas para a gestão e previu determinados poderes a essas agências.

As chamadas Agências Sustentáveis de Águas Subterrâneas (SGA) poderiam ser qualquer agência local ou conjunto de agências, desde que manifestassem interesse junto ao Departamento de Recursos Hídricos em se tornar uma SGA - subdivisão a, Seção 10723 - (CALIFÓRNIA, 2014). De acordo com o SGMA, as agências locais são entendidas como aquelas que cuidam da gestão das águas, ou o abastecimento público, ou ainda do uso do solo dentro da bacia subterrânea - subdivisão n, Seção 10721 - (CALIFÓRNIA, 2014).

Serão essas agências as responsáveis por implementar os Planos Sustentáveis, para isso deverão levar em consideração todos os usos e usuários da bacia, como agricultores e

usuários domésticos; o setor público, os usos ambientais, as águas superficiais (quando houver clara interação entre os recursos), as tribos indígenas, entre outros - Seção 10723.2 - (CALIFÓRNIA, 2014).

Moran e Wendell (2015) afirmam que a formação de uma GSA pelas agências locais enfrentará vários problemas de governança, como: identificar uma agência que sirva a esse propósito, ou caso necessário criar uma nova; desenvolver uma estrutura de governança que envolva todas as agências, definir os papéis de cada uma na gestão, a implantação e fortalecimento dos planos produzidos, o envolvimento dos stakeholders tanto na gestão quanto na elaboração dos planos. “Boa parte desses problemas ultrapassam os limites políticos locais e realçam a importância da cooperação jurisdicional”⁵⁶ (MORAN e WENDELL, 2015).

A Lei da Gestão Sustentável dá poderes para as agências para estabelecerem regras, resoluções, ordenanças e regulamentos de acordo com outros requisitos processuais para adoção de regramentos pelas agências sustentáveis. Além disso, estabelece que elas podem requerer que os usuários se registrem - Seção 107265.6 – (CALIFÓRNIA, 2014), que instalem medidores de águas e ainda que informem anualmente o volume extraído - Seção 10725.7 - (CALIFÓRNIA, 2014).

Como forma de financiar suas ações as agências podem cobrar taxas para a extração de água ou outra atividade regulada, desde que haja uma audiência pública informando as razões e como será cobrada essa taxa. Moran e Wendell (2015) citam que muitas das bacias classificadas como alta e média prioridade são predominantemente rurais e baixa densidade populacional, o que pode ser difícil para as agências arrecadarem fundos apropriados para o financiamento de suas atividades. É mais provável que elas peçam assistência financeira e técnica para alcançar os objetivos sustentáveis.

Por último, a lei SGMA também prever a intervenção do estado dentro da bacia, caso não seja instalada as agências ou quando da sua instalação, não sejam implementados os planos, ou esses sejam inadequados. Caso isso aconteça, a bacia será considerada em estado probatório e o Conselho de Recursos Hídricos da Califórnia será responsável pela implementação de um plano interino.

⁵⁶Most of these issues cross local political boundaries, and heighten the importance of jurisdictional cooperation, no original.

6.2.3 Os planos sustentáveis de águas subterrâneas

Os Planos Sustentáveis de Águas Subterrâneas deverão ser elaborados e implementados pelas agências sustentáveis, tendo como conteúdo mínimo: (i) as características físicas do sistema aquífero, compreendendo mapas com a delimitação da bacia e áreas de recargas, análise histórica dos dados, informações sobre qualidade das águas e nível das águas subterrâneas e a interação entre essas e as águas superficiais; (ii) objetivos mensuráveis, com metas avaliadas a cada cinco anos como forma de alcançar os objetivos sustentáveis no horizonte de projeto; (iii) um horizonte para planejamento e implementação; (iv) monitoramento dos níveis, da qualidade e das áreas de recargas; (v) uma descrição de como o plano poderá afetar as demais políticas implementadas no condado.

Assim como as agências, os planos podem ser de três tipos: (i) um único plano para toda a bacia; (ii) um único plano para toda a bacia, mas sendo executado por várias agências; e (iii) ou vários planos para uma bacia. Nesse último caso, deverá ser um dos objetivos buscar a coordenação e integração entre os planos, principalmente na padronização do monitoramento e nas informações extraídas dele.

Ainda de acordo com o SGMA, as agências sustentáveis deverão estabelecer os procedimentos para a participação popular. O documento deverá ser apresentado tanto ao público quanto ao DWR.

“[...]A agência sustentável de águas subterrâneas deverá encorajar o envolvimento da diversidade dos elementos sociais, culturais, e econômicos da população da bacia antes e durante o desenvolvimento e implementação do plano sustentável de águas subterrâneas⁵⁷” - Seção 10727.8, subdivisão a, SGMA - (CALIFÓRNIA, 2014).

Por último, as agências devem apresentar anualmente, após a implementação do plano, um relatório ao DWR, informando: (i) dados sobre os níveis das águas subterrâneas; (ii) informação sobre os volumes extraídos; (iii) o volume de águas superficiais utilizadas ou disponíveis para a recarga dos aquíferos; (iv) o volume total de água utilizada; (v) mudança no armazenamento das águas subterrâneas.

O monitoramento é uma peça fundamental de um plano gerenciamento. Sem informações adequadas, não é possível produzir um plano com as características desejadas para uma boa gestão e governança. “A ausência de uma série histórica de dados consistidos

⁵⁷The groundwater sustainability agency shall encourage the active involvement of diverse social, cultural, and economic elements of the population within the groundwater basin prior to and during the development and implementation of the groundwater sustainability plan.

também prejudica a habilidade do estado de avaliar efetivamente o plano⁵⁸” (MORAN e WENDELL, 2015).

O CASGEM é um programa criado em 2010 pelo governo californiano como forma de atender a Divisão 6 do Código das Águas, que diz respeito ao monitoramento (DWR, 2016). O programa é gerido pelo DWR, mas a execução é compartilhada com as agências locais. O DWR deve apresentar um relatório tanto ao Executivo quanto ao Legislativo sobre o progresso do programa em anos terminados em 5 ou 0.

O DWR produziu um guia apresentando os principais tipos de medição de nível, porém, ele também estabelece diretrizes gerais para o monitoramento como, por exemplo, a rede de densidade mínima seria de 2 a 10 poços de monitoramento por 100 milhas quadradas. Ainda recomenda que não sejam usados para monitoramento poços de produção, embora o guia não os descarte, estabelecendo regras específicas para eles; também não recomenda a instalação de uma rede próxima a rios, armazenamento de aquíferos ou projetos de recargas, devido a rápida variação do nível (DWR, 2010).

A frequência mínima de medição é semestral, embora reconheça que medições trimestrais e mensais são melhores para identificar a flutuação dos níveis (DWR, 2010). O guia ainda traz uma figura baseada no trabalho de Taylor e Alley (2001) em que mostra que a frequência de monitoramento deve levar em consideração alguns fatores ambientais, como: o tipo de aquífero e a sua posição, o fluxo da água subterrânea e a taxa de recarga, o volume de extração e as condições climáticas.

Contudo, e apesar do suporte financeiro conferido ao programa, o relatório de 2016 (DWR, 2016) do programa coloca como principal desafio para o programa os custos de monitoramento, especialmente para aquelas bacias consideradas com prioridades baixas ou muito baixas. O próprio relatório destaca que nem todas as bacias consideradas alta ou média prioridade estão monitoradas e que mesmo naquelas monitoradas, um total de 43 bacias possui uma densidade menor que 10 poços por 100 milhas quadradas. As outras dificuldades elencadas são a dificuldade para obter a permissão dos usuários para o monitoramento do poço e encontrar poços adequados para o monitoramento.

O DWR, como forma de auxiliar as agências na produção dos planos, e como requisitado em lei - Seção 10729, SGMA - (CALIFÓRNIA, 2014) elabora um manual com as Boas Práticas da Gestão, em que especifica e esclarece diversos assuntos para a produção dos

⁵⁸The lack of consistent, long-term groundwater monitoring data is also likely to impair the state's ability to effectively evaluate GSPs.

planos. Na verdade, foram produzidos ao todo seis volumes abordando assuntos como monitoramento, balanço hídrico, modelos conceituais hidrogeológicos e critérios para a gestão sustentável.

6.3 A GESTÃO DE ISRAEL

Israel é um país situado no Oriente Médio, de clima semiárido, fazendo fronteira com o lado leste do mar Mediterrâneo. A precipitação no país varia de 1000 mm (no norte) a 50 mm (no sul), contudo boa parte dela é evaporada. De fato, 70% da precipitação é “perdida” pela evapotranspiração, 15% destinada para infiltração e 5% vai para o escoamento dos rios (WEINBERG *et al.*, 2012). Em 20% do tempo, o país ainda sofre com vários anos de seca (SCHWARZ, BEAR e DAGAN, 2016). “Esse regime, combinado com a falta de lugares apropriados para reservatórios de água (dado a estrutura geológica do país) e a alta evaporação determinou o desenvolvimento das águas subterrâneas em Israel⁵⁹” (SCHWARZ, BEAR e DAGAN, 2016).

Os aquíferos de maior expressão no país são três: o Mar da Galileia; o Aquífero Costeiro e o Aquífero Montanhoso. Os três juntos recebem 80% da recarga (proveniente da chuva e outras fontes) anual do território (SCHWARZ, BEAR e DAGAN, 2016). Essas três fontes também são responsáveis por fornecer água a todo o Estado de Israel através da Transportadora Nacional de Água⁶⁰ (NWC), uma imensa obra da engenharia hidráulica inicialmente desenvolvida para fornecer água para a agricultura.

O NWC capta água do Mar da Galiléia em conjunto com os outros dois aquíferos e a leva por mais de 130 km, do centro para o sul do país (SCHWARZ, BEAR e DAGAN, 2016). O sistema, como se imagina, é operado como se fosse um só, no qual a operação é baseada no campo seguro de extração (conceito semelhante ao apresentado no item 6.2), ou seja, a taxa de extração ser igual a taxa de recarga. Schwarz; Bear e Dagan (2016) relatam que essa metodologia aliviou as altas variações entre os anos de cheias e secos. A Figura 15 apresenta a infraestrutura hídrica de Israel.

⁵⁹This regime, combined with the absence of appropriate sites for surface storage reservoirs (due to the country's geological structure) and high evaporation losses, has, to a great extent, determined the development of groundwater in Israel.

⁶⁰The National Water Carrier.

Figura 15 - Infraestrutura hídrica de Israel.



Fonte: TAL (2006 *apud* FANACK, 2016)

O conceito de linha vermelha também foi implementado nesse período, inicialmente para estabelecer qual o volume máximo de extração tendo em vista a recarga dos aquíferos, mas mais tarde também foi utilizado com vista a intrusão salina. “Esse tipo de operação é a base para a política de bombeamento que se destina a cumprir a demanda do ano⁶¹” (SCHWARZ; BEAR e DAGAN, 2016). Para essa complexa operação foram desenvolvidos modelos de simulação e otimização que integram as três partes do sistema e posteriormente

⁶¹These serve as the basis for the pumping policy aimed at satisfying the planned demand for the year.

fazem uma análise multiregional do fluxo de água subterrânea e do transporte de massa (SCHWARZ; BEAR e DAGAN, 2016).

É interessante observar a história da política das águas no país e como o estado muitas vezes protelou decisões, ou mesmo adotou soluções mais caras por causa (i) da confusa gestão das águas, em que diversos ministérios tinham funções específicas, o que impedia uma política efetiva; e (ii) a forte influência da agricultura na gestão, pois durante muito tempo essa ficou sob responsabilidade do Ministério da Agricultura. Um relatório da Comissão Parlamentar de Inquérito de Israel, de 2002, chama a atenção que apesar do país possuir *know-how* e capacidade para solucionar o problema da escassez de água, os tomadores de decisões pareciam incapazes de resolver o problema, por causa de um sistema organizacional falho e do processo de tomada de decisão (MAGEN, 2002).

Atualmente, Israel parece ter contornado a situação. Em 2007, foi criada a Autoridade da Água⁶² para consertar essas falhas. A Autoridade da Água tornou-se o órgão gestor nacional, independente do Ministério da Agricultura, mas vinculado ao Ministério da Energia e Água. Ainda existe o Mekorot, uma empresa pública responsável pelos projetos de obras hídricas. Ela é a responsável pela operação e manutenção da Transportadora de água (MEKOROT).

Desde a promulgação da Lei das Águas⁶³, em 1959, Israel extinguiu o direito privado à água e o poder público passou a ser o detentor dessa. Kislev (2013) argumenta que o regime de proprietário público da água e da estrutura interconectada permitiram uma transformação relativamente barata no setor da água. “Teria sido muito mais difícil e caro alcançar tamanha transformação sob uma estrutura completamente descentralizada e uma doutrina da propriedade privada da água⁶⁴” (KISLEV, 2013).

Kislev (2011), explica que o setor das águas é regulado por uma série de leis, que vão desde o planejamento, construção, saúde e proteção ao meio ambiente. “The Water Law lida apenas com a água e sua regulação⁶⁵” (KISLEV, 2011).

O autor também afirma que apesar de ser uma lei antiga (com quase 60 anos) foi emendada poucas vezes, mas ainda assim propiciando uma ampla reforma estrutural.

Um foi a transferência, num artigo de uma lei de 2001, do abastecimento de água dos órgãos municipais para companhias independentes. A segunda reforma foi uma

⁶²Water Authority

⁶³Water Law

⁶⁴It would have been much more difficult and a lot more costly to achieve such a transformation under a completely decentralized infrastructure and a legal doctrine of private property rights in water.

⁶⁵The Water Law of 1959 deals only with water and its regulation.

emenda de 2006 no Water Law quando foi estabelecido a Autoridade da Água, centralizando a maior parte das regulações em uma única mão⁶⁶ (KISLEV, 2011).

Teoricamente, é possível conseguir direito de uso da água, mas na prática é pouco provável. O Estado de Israel é o detentor de toda a água presente no território. Obras como o NWC distribuem as águas para as companhias de saneamento ou usuários. No caso ainda das companhias, elas são responsáveis por entregar a água ao consumidor final e também pela qualidade dessa. Segundo um relatório da OCDE, o direito de uso da água pode ser permitido permanentemente desde que seja respeitado o propósito de uso (OECD, 2015). Isto é, o art. 6º da Lei das Águas estabelece que o direito de uso da água tem que estar de acordo com um dos seis propósitos listados na lei (uso doméstico; agricultura; indústria; comércio e serviços; serviços públicos e proteção e restauração do ecossistema natural). Findado esse propósito, cessa-se também o direito de uso.

O documento ainda ressalta que, para a agricultura, os direitos de uso são dados de acordo com o tamanho da propriedade, o tipo de cultura e outros fatores necessários para o desenvolvimento da atividade. Ainda esses direitos podem ser trocados, alugados, ou comercializados com a permissão do Ministério da Agricultura.

Ademais, também foi implementado uma política de preços, como forma de incentivar o uso racional da água. Em Israel são utilizados dois tipos de cobrança: (i) pelo custo da água e (ii) taxa da água. O primeiro se refere ao custo de abastecimento e extração, enquanto o segundo seriam tarifas que devem levar em consideração o poder de compra do usuário, o período do ano (inverno ou verão), se é um ano chuvoso ou seco, entre outros. Segundo a OECD (2015), os usuários domésticos são enquadrados numa cota de volume, somente quando eles ultrapassam essa cota é que são aplicadas as taxas. Já para os agricultores, além das taxas eles também devem pagar pelo custo da água. Segundo Kislev (2013), os agricultores são enquadrados em blocos e cada bloco tem uma taxa específica de água. O autor cita que essas alocações de água, bem como os preços, afetam os agricultores de quatro maneiras: (i) a alocação de água determina o tamanho da fazenda, da produção e o tipo de cultura; (ii) como as tarifas são proporcionais e progressivas, o fazendeiro enquadrado no

⁶⁶One was the transfer, in a law passed in 2001, of the urban water supply from the municipal water departments to independent companies (corporations). The second reform was an amendment to the Water Law, passed in 2006, when the Water Authority was established, centralizing most regulation activity in one hand.

bloco A⁶⁷ pode ter uma maior produção e pagar o menor preço pela água; (iii) conversão para efluentes, para cada metro cúbico economizado de água doce, o agricultor recebe 1,2 metros cúbicos de esgoto tratado; (iv) a cota é principalmente usada como base para redução do volume em períodos de emergência.

Um adendo se faz necessário com relação ao terceiro quesito. Inicialmente a água é quase inteiramente direcionada para a irrigação. O NWC foi construído com esse objetivo, contudo com o aumento crescente da população e o número de imigrantes no país, era preciso atender cada vez mais ao abastecimento humano. Israel encontrava-se em um impasse. Como forma de solucioná-lo, o governo resolveu construir estruturas para o tratamento de esgoto e incentivar o seu uso para agricultura e indústria. Os efluentes recebem um tratamento secundário típico e posteriormente um tratamento terciário, que utiliza as condições do solo para filtrar as impurezas. Após o tratamento, esse efluente é levado para os agricultores. Atualmente 75% do esgoto tratado é reutilizado, principalmente na agricultura (OECD, 2015).

Outra política implementada em Israel é a recarga dos aquíferos. Dado a particularidade do clima de Israel, em anos de intensas chuvas, como forma de reservar essa água, são feitas recargas nos aquíferos através de poços de infiltração. Outra forma também é a utilização das águas do Mar da Galileia para recarregar os aquíferos. Contudo, Schwarz; Bear e Dagan (2016) afirmam que esse procedimento trouxe outros desafios para a gestão como, por exemplo, entender o processo de interação entre águas de diferentes qualidades e o entupimento de solos em lagoas de infiltração e em torno de telas de poços de infiltração.

Apesar de toda essa infraestrutura, de uma política agressiva do governo com campanhas de conscientização para um uso mais racional da água, e embora a taxa de consumo tenha de fato diminuído, é esperado que nos próximos anos a demanda aumente. Becker (2013) estima que o consumo em 2020 seja de 2.500,00 milhões de m³ e em 2030, 3.000,00 milhões de m³; enquanto a disponibilidade de água irá diminuir ligeiramente, em torno de 1.300 milhões de m³ para os dois anos citados. Em outras palavras, a crise hídrica em Israel persiste. Ainda é preciso citar que o país lida com outro problema da qualidade das principais fontes. O Aquífero Costeiro tem apresentado altas taxas de nitrato e salinidade e cloreto proveniente dos efluentes da irrigação, ainda 6% dele é poluído devido as indústrias (OECD, 2011). Isso torna o aquífero inviável para o uso. O Mar da Galileia também tem

⁶⁷Segundo Kislev (2013), a alocação de água, em Israel, divide os agricultores em três blocos: A, com um consumo de 50% da cota; B, com 30% da cota; e C, com apenas 20% da cota. O custo mais barato é conferido ao bloco A, seguido do B e C.

apresentado taxas acima do permitido em relação a coliformes fecais, cloretos e cianobactérias.

Para contornar essa situação, o governo de Israel pretende conseguir tratar todo os efluentes gerados e tem implementado um programa de Restauração dos Rios, que visa fornecer água para os rios a fim desses reestabelecerem seus aspectos hidrológicos, ecológicos e recreacionais (OECD, 2011).

6.4 A GESTÃO BRASILEIRA

Como bem determina a Constituição Brasileira de 1988 (CF/1988) em seu art. 26, as águas subterrâneas são bens do Estado, cabendo, portanto, aos órgãos gestores estaduais a sua gerência (BRASIL, 1988). Muito embora o ministro do Supremo Tribunal de Justiça (STJ), Herman Benjamin, em uma palestra dada no XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos argumentou que as águas subterrâneas, quando banharem mais de um estado, são também competência da União (informação verbal⁶⁸); o parecer nº 1.283/2010 da Comissão de Constituição e Justiça, arquivou uma proposta de emenda a CF/1988 a respeito desse assunto. O parecer atestava que a Constituinte conferiu aos estados o domínio das águas subterrâneas e, portanto, ao fazer tais alterações na CF/1988, estaria sendo retirado essa titularidade dos Estados em favor da União (BRASIL, 2010b). O parecer vai ainda mais longe ao afirmar que a proposta vai de encontro com os fundamentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, pois concentraria a gestão das águas na União. Logo, o entendimento do legislador brasileiro é que compete aos estados e Distrito Federal a gestão das águas subterrâneas.

Contudo nem todas as águas subterrâneas são consideradas bens do estado. Quando essas apresentam determinadas características físico-químicas, são consideradas um recurso mineral, bens da União, a serem governadas pelo Código das Águas Minerais e pelo Código de Mineração, tendo um órgão gestor diferente.

Além disso, existem várias legislações que acabam por interferir na gestão dos estados das águas subterrâneas, a principal são as resoluções do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), mas também podem ser citados o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) e o Ministério da Saúde (MS). Nesse sentido, esse item foi dividido em quatro

⁶⁸Informação fornecida no XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (SBRH), em 26 de novembro de 2017.

subitens: (i) águas minerais; (ii) panorama das águas subterrâneas no Brasil; (iii) resoluções CNRH e; (iv) outros normativos.

6.4.1 Águas minerais

O Código das Águas Minerais; promulgado pelo decreto-lei nº 7.841, de 08 de agosto de 1945; considera como água mineral e, portanto, um recurso mineral a ser gerido pela União, as águas do subsolo com composição química, ou propriedades físicas ou físico-químicas distintas das águas comuns, com características que lhe confirmem ação medicamentosa (BRASIL, 1945).

Art. 1º Águas minerais são aquelas provenientes de fontes naturais ou de fontes artificialmente captadas que possuam composição química ou propriedades físicas ou físico-químicas distintas das águas comuns, com características que lhes confirmem uma ação medicamentosa. (BRASIL, 1945).

A composição, bem como as propriedades físico-químicas que conferem as águas a características de um recurso mineral estão dispostas nos art. 35 e 36 do decreto. Elas podem ser classificadas quanto a composição química e quanto a fonte. Para a primeira irá depender do tipo de composto encontrado na água, podendo ser classificadas em: oligominerais, radíferas, alcalino-terrosas, alcalino-bicarbonatadas, sulfatadas, sulfurosas, nitratadas, cloretadas, ferruginosas, radioativas, toriativas, carbogasosas (BRASIL, 1945).

Quanto à fonte, as águas minerais são agrupadas em dois grandes grupos: gases e temperatura. Para os gases, elas são classificadas como: radioativas, toriativas e sulfurosas. Para a temperatura, são classificadas como fontes frias, hipotermiais, mesotermiais, isotermiais e hipertermiais (BRASIL, 1945). Vale lembrar que para serem consideradas águas minerais, as fontes não precisam apresentar os limites impostos nos art. 35 e 36, porém é necessário comprovar ação medicamentosa (BRASIL, 1945).

Por serem, então, consideradas um recurso mineral, essas águas têm como órgão gestor a Agência Nacional de Mineração (ANM), antigo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), e são regidas pelo Código de Mineração (BRASIL, 2017b).

Art. 2º A ANM, no exercício de suas competências, observará e implementará as orientações e diretrizes fixadas no Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967 (Código de Mineração), em legislação correlata e nas políticas estabelecidas pelo Ministério de Minas e Energia, e terá como finalidade promover a gestão dos recursos minerais da União, bem como a regulação e a fiscalização das atividades para o aproveitamento dos recursos minerais no País... (BRASIL, 2017b).

Com a extinção do DNPM, a ANM absorveu suas competências e atribuições sobre os recursos minerais.

Segundo Hager *et al*, (2002), o DNPM tem a competência para analisar e permitir a exploração de águas minerais, bem como das diversas etapas da lavra, ou seja, atividades de captação, condução, distribuição e aproveitamento. Também vale citar os art. 23 e 24 do decreto-lei nº 7.841/1945, que tratam da fiscalização das estâncias que exploram água mineral e das organizações que exploram águas potáveis de mesa ou destinadas a fins balneários. Segundo esses artigos, a fiscalização da exploração das águas minerais deverá ser exercida pelo extinto DNPM, podendo ser auxiliado por autoridades sanitárias e administrativas federais, estaduais e municipais (BRASIL, 1945). Em outras palavras, com a extinção do DNPM e criação da ANM, as atribuições anteriormente citadas, são agora pertencentes à ANM.

Em 2004 o antigo DNPM publicou um material chamado Águas Minerais do Brasil: Distribuição, Classificação e Importância Econômica, que é um diagnóstico produzido a partir do bando de dados e relatórios de pesquisa do órgão, enfatizando a distribuição, classificação e significado econômico dessas águas nas mais diferentes regiões do país. Nele, são detalhados cada aproveitamento feito das águas subterrâneas minerais, bem como qualidade e classificação das fontes de cada estado do país. No Piauí, por exemplo, “as captações estão associadas ao sistema aquífero (sic) poroso, em arenitos de idades devoniana e permiana. As vazões dos poços e fontes variam desde pouco mais de 5.500 l/h até da ordem de 147.000 l/h” (QUEIROZ, SILVA e BARRETO, 2004).

Todavia, é preciso frisar: ainda que consideradas um recurso mineral, elas são primeiramente água. Nesse sentido foi promulgado pelo CNRH a resolução nº 76, de 16 de outubro de 2007 (MMA, 2014), estabelecendo diretrizes gerais para a integração e compartilhamento de informações entre ambas as gestões. Pela resolução, foi determinado que os órgãos gestores definam de forma conjunta o conteúdo e os estudos técnicos necessários para o compartilhamento das informações, bem como observar as especificações na área de interesse, elencadas por um dos órgãos, para emissão da outorga ou autorização da lavra (MMA, 2014).

6.4.2 Panorama das águas subterrâneas no Brasil

O nível de gestão estadual de recursos hídricos é variado. A Agência Nacional de Águas (ANA) enquadrando os estados em diferentes tipologias de gestão na implementação do Progestão, um programa de pagamento por resultados visando o fortalecimento da gestão de

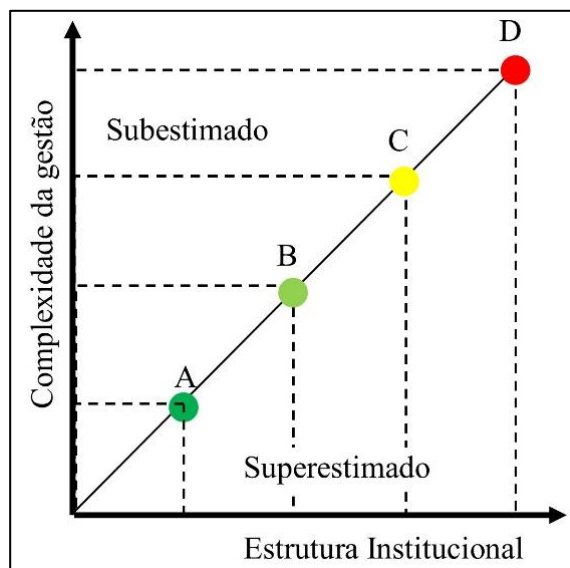
recursos hídricos dentro do estado. Segundo a metodologia utilizada no programa, os estados foram classificados de acordo com uma matriz que considerava a complexidade de gestão e a estrutura institucional. Ao todo são quatro tipologias: A, B, C, D; sendo a A, apresentando uma baixa complexidade associada a uma estrutura institucional básica, e o D, uma alta complexidade de gestão está relacionado e uma estrutura institucional mais avançada (ANA, 2013).

Não há de se falar em tipologia melhor ou pior, mas sim, em adequação das mesmas à complexidade do processo de gestão. Em alguns casos, estruturas básicas (Classe A) serão suficientes e, portanto, mais adequadas para enfrentamento de realidades que se resumem a situações de menor complexidade. Em outros, estruturas mais avançadas (Classe D) serão mais adequadas, haja vista as exigências impostas por situações de maior complexidade.

Assim como é inadequada a formatação de estruturas básicas para gestão de situações de maior criticidade, também o é a utilização de estruturas avançadas diante de realidades pouco complexas. No primeiro caso, mais grave, pela ausência das competências e recursos institucionais esperados; no segundo, pelo aumento dos custos de transação envolvidos e eventual desperdício de esforços e recursos na montagem de arcabouços institucionais superestimados (ANA, 2013).

O gráfico da Figura 16 ilustra bem o que o parágrafo anterior quer dizer. A Figura 17 apresenta o mapa do Brasil com os estados classificados de acordo com essa matriz para a implementação do programa.

Figura 16 - Correlação das tipologias com a matriz de gestão.



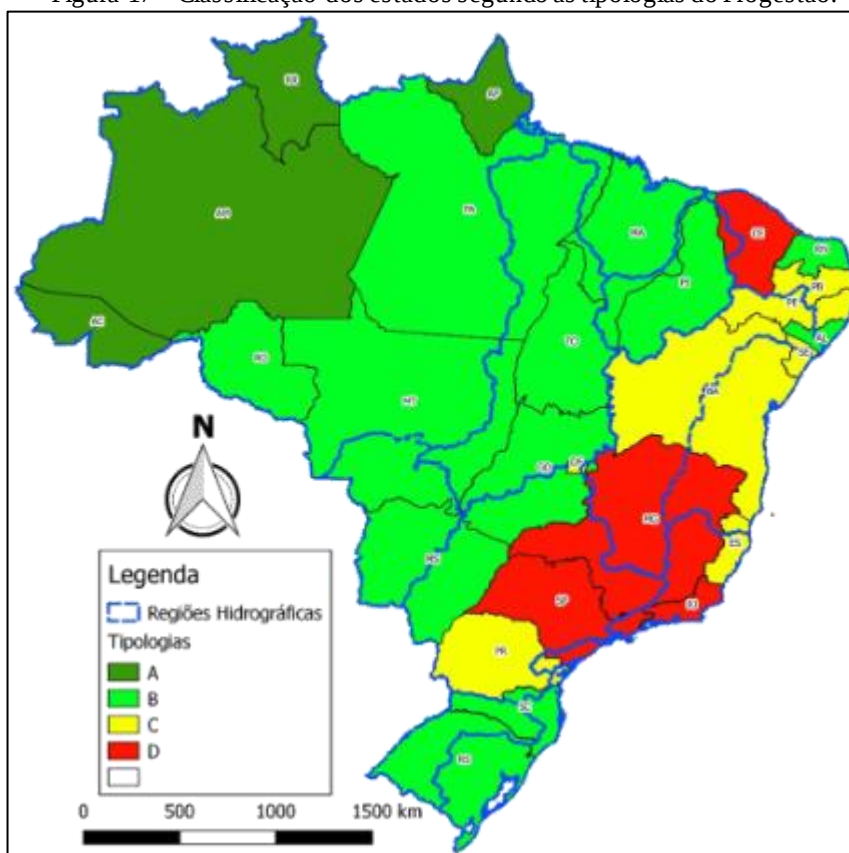
Fonte: ANA (2013), adaptado

Como se nota, o Brasil apresenta ao todo apenas onze federações com tipologia C e D. Esses estados possuem comitês de bacias em quase todas as suas unidades de gerenciamento.

Muitos, inclusive, como São Paulo, Rio de Janeiro, Pernambuco e Ceará possuem planos de bacia em mais de 70% das unidades (ANA, 2017).

É interessante perceber que dessas federações, apenas três não possuem dispositivos específicos para águas subterrâneas - Rio de Janeiro, Bahia e Espírito Santo – (ANA, 2016). As demais possuem leis específicas e em alguns casos decretos de regulamentação – Pernambuco, São Paulo, Minas Gerais, Distrito Federal – e os outros destinam um capítulo dentro da política estadual sobre águas subterrâneas.

Figura 17 - Classificação dos estados segundo as tipologias do Progestão.



Fonte: ANA (2016), adaptado

Uma dificuldade encontrada na composição desse trabalho foi quanto a uso das águas subterrâneas no país. De maneira geral, a informação mais presente está relacionada ao uso das águas subterrâneas para o abastecimento humano, contudo não se tem um levantamento nacional a respeito de outros usos, especialmente para a irrigação e indústria, que, como se viu em capítulos anteriores, são os principais usos das águas subterrâneas.

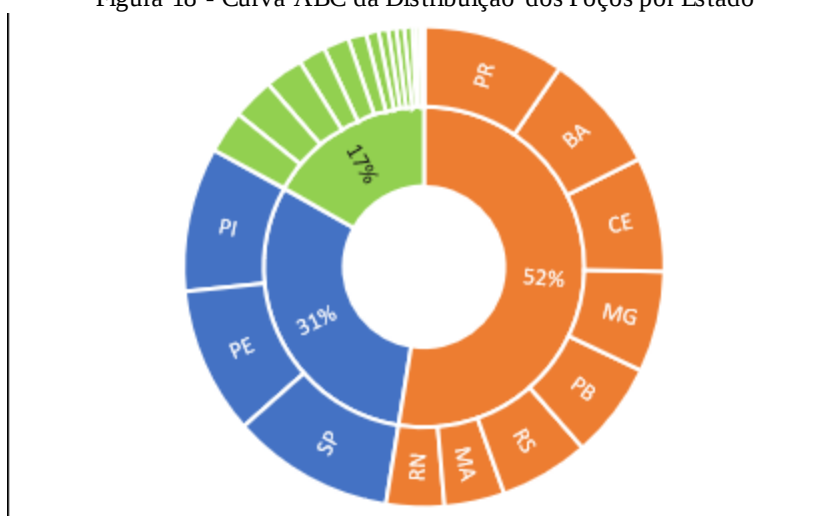
Com relação ao abastecimento, o Relatório Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil (ANA, 2017), mostra que 42% das cidades brasileiras (39 milhões de habitantes) são

abastecidas preponderantemente por águas subterrâneas. 12% das cidades utilizam fossa séptica como destinação final dos esgotos (ANA, 2017), o que pode representar um risco aos aquíferos caso elas estejam inadequadamente construídas e mantidas.

Aos demais usos, é possível citar a gestão de São Paulo, que produziu um relatório em 2013 sobre águas subterrâneas, relatando as potencialidades e demandas hídricas para o recurso em específico. O levantamento foi elaborado a partir do cadastro de 17.822 poços e mostrou que o principal uso era para a indústria (37%), seguido do abastecimento público (23%), uso doméstico (16%), irrigação (9,0%) e outros usos (16%). Detalhe, a maioria dos poços (62%) se estavam localizados na bacia do Paraná e outros 26% no embasamento cristalino, ou seja, 82% dos poços estão concentrados em apenas dois domínios hidrogeológicos (SÃO PAULO, 2013).

Ainda é possível citar o cadastro mantido pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), conhecido como SIAGAS (Sistema de Informações Sobre Águas Subterrâneas), permanentemente atualizado e que informa sobre a quantidade de poços perfurados no território nacional. Segundo o seu site, há mais 300 mil poços perfurados no território nacional (CPRM, 2018). Se for montado uma espécie de curva ABC com o número de poços perfurados por estado, eles podem ser divididos em três grupos, como mostra a Figura 18. É interessante observar que os estados de Pernambuco, Piauí e São Paulo; apesar de realidades socioculturais, econômicas e ambientais diferentes; apresentam aproximadamente a mesma quantidade de poços (quase 10% cada um).

Figura 18 - Curva ABC da Distribuição dos Poços por Estado



Fonte: O Autor

Apesar dos números, os dados presentes em cada cadastro variam, podendo conter apenas a localização até dados sobre qualidade e aquíferos perfurados.

A CPRM ainda mantém o RIMAS (Rede Integrada de Monitoramento de Águas Subterrâneas) no qual faz o monitoramento de alguns aquíferos, considerados estratégicos para a entidade. Para a escolha desses aquíferos foram levados em consideração os seguintes quesitos: (i) aquíferos sedimentares, (ii) importância socioeconômica da água, (iii) uso da água para abastecimento público, (iv) aspectos de vulnerabilidade e riscos, (v) representatividade espacial do aquífero e (vi) existência de poços para monitoramento (CPRM, 2004).

Também vale citar que a CPRM mantém com alguns estados parcerias para monitoramento das águas subterrâneas como, por exemplo, em São Paulo, em que sempre houve uma parceria (embora não formal) com o Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) e a Companhia de Saneamento do Estado do São Paulo (SABESP). Em Minas Gerais, está em fase de formalização entre o órgão gestor e a CPRM para realizar o monitoramento das águas. Nos demais estados, a CPRM sempre procurou conhecer e atender, na medida do possível e dentro dos critérios definidos para o projeto, as demandas apresentadas, respeitando a dominialidade dos estados quanto à água subterrânea.

Além disso, vale a citar bons exemplos de gestão, como é o caso do Sistema Aquífero Guarani (SAG) e as águas termais de Caldas Novas.

Com uma área de 1,1 milhão de km², o SAG abrange quatro países: Argentina, Paraguai, Uruguai e Brasil, sendo que este detém 62% do aquífero no seu território (FOSTER *et al.*, 2009). Em 2010, foi elaborado um acordo internacional entre os quatro países em prol da conservação e preservação o SAG, o qual somente em 2017, através do decreto legislativo nº 52, o Brasil veio a aprová-lo. O acordo cita a importância de ações coordenadas entre os países, a necessidade da divulgação das informações entre eles, mas reafirma a soberania dos países sobre suas respectivas porções do aquífero (BRASIL, 2017a). A principal medida do acordo é obrigar aos países membros o compartilhamento das informações e consulta sobre obras e intervenções a serem feitas no SAG.

Em de Caldas Novas (GO), as próprias empresas mineradoras se organizaram para formar uma organização que visasse a proteção e conservação dos aquíferos das fontes termais do município, principal atrativo turístico da região. A Associação das Empresas Mineradoras das Águas Termais de Goiás (AMAT) visa o interesse das mineradoras, todavia, como esse interesse está intimamente ligado as fontes termais, a AMAT desenvolveu um

projeto de recarga artificial dos aquíferos, que tanto a sua elaboração e implementação está sendo financiada pelos próprios empresários. Sousa (2011) relata que o projeto ainda está em fase experimental e por isso não se podem tirar conclusões a respeito dos seus benefícios. Mas o fato é que, como a principal atividade econômica estava sendo ameaçada ao uso irracional dos aquíferos, os próprios usuários tomaram algumas atitudes.

Ainda citando o trabalho de Sousa (2011), a autora relata que além do projeto de recarga, foi assinado também um Termo de Ajuste Comum entre o Ministério Público, Departamento Nacional de Produção Mineral – atual Agência Nacional de Mineração, a Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMARH). Por esse acordo, as mineradoras e demais usuários das águas termais do município deverão proteger e recuperar as áreas de proteção permanente (APP) situadas às margens dos rios ou de qualquer curso d'água e dentro de seis meses requerer o licenciamento à SEMARH. As empresas ficam proibidas de lançarem os efluentes diretamente nos corpos d'água, as águas termais deverão ser utilizadas apenas para fins balneários, além de implementação de ações de educação ambiental. Entretanto, Sousa (2011) relata a ausência do município no desenvolvimento dessas ações, tendo esse apenas promulgado uma lei visando a regulamentação os limites da infiltração na construção de empreendimentos, a retomada do Balneário Municipal, e um projeto de divulgação das propriedades terapêuticas das águas termais.

6.4.3 Resoluções CNRH

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) é um órgão consultivo e deliberativo, criado pela lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997, que estabelece a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) (BRASIL, 1997). É o órgão máximo do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), resolvendo em última instância administrativa os conflitos referentes a utilização das águas. Suas formas de manifestação são através de (i) resoluções, quando se tratar de deliberação vinculada à sua competência específica; extinção ou criação de comissões, câmeras ou grupos de trabalhos; (ii) moção, quando se tratar de manifestação dirigida a quaisquer órgãos e entidades, públicos ou privados, em caráter de alerta, recomendação ou solicitação de interesse da Política Nacional de Recursos Hídricos e do SINGREH; (iii) comunicação, quando se tratar de ato de expediente de competência do CNRH (CNRH, 2013).

De acordo com seu Regimento Interno, sua estrutura é composta por: Plenário, Comissão Permanente de Ética, e Câmeras Técnicas. Das Câmeras Técnicas existentes a que importa a esse trabalho é a Câmara Técnica de Águas Subterrâneas (CTAS).

Desde a sua criação foram produzidas ao todo seis resoluções – listadas no quadro 01 – que versam sobre às águas subterrâneas, dentre elas a já citada resolução nº 76/2007 (MMA, 2014), que se preocupa em integrar as informações entre as águas subterrâneas e as águas minerais. Também foram produzidas 10 moções mostrando a preocupação do Conselho a respeito de determinadas regiões do país – como Caldas Novas (GO), Vale do Gurgueia (PI) e o aquífero Guarani –, também com relação a formação dos profissionais e integração dos sistemas de informação acerca da hidrogeologia.

Quadro 1 - Resoluções do CNRH sobre águas subterrâneas.

Ato Admin.	Data de Publicação	Conteúdo
Resolução nº 15	11/01/2001	Estabelece diretrizes gerais sobre águas subterrâneas
Resolução nº 22	24/05/2002	Estabelece diretrizes gerais para inserção das águas subterrâneas nos Planos de Recursos Hídricos
Resolução nº 76	16/10/2007	Estabelece diretrizes gerais para a integração entre a gestão de recursos hídricos e a gestão de águas minerais, termais, gasosas, potáveis de mesa ou destinadas a fins balneários.
Resolução nº 91	05/11/2008	Dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos.
Resolução nº 92	05/11/2008	Estabelece critérios e procedimentos gerais para proteção e conservação das águas subterrâneas no território brasileiro.
Resolução nº 107	13/04/2010	Estabelece diretrizes e critérios a serem adotados para o planejamento, a implantação e a operação de Rede Nacional de Monitoramento Integrado Qualitativo e Quantitativo de Águas Subterrâneas.

Fonte: MMA, 2014

A resolução nº 15 apresenta diretrizes gerais para a gestão, destacando a implementação dos instrumentos de gestão da Política Nacional para as águas subterrâneas, além de reforçar a interdependência entre as águas subterrâneas, superficiais e meteóricas. Ela ainda determina que o SINGREH deve promover a integração entre os diversos órgãos no caso de aquíferos transfronteiriços, e ainda, que os Sistemas Estaduais de Gerenciamento devem incentivar os municípios a protegerem as áreas de recargas dos aquíferos, o reuso e de recarga artificial, com vista a aumentar a disponibilidade hídrica (MMA, 2014).

A resolução nº 22/2002 versa sobre o conteúdo mínimo dentro dos planos de recursos hídricos para águas subterrâneas, desde a caracterização hidrogeológica até a proposição de medidas mitigadoras e de proteção, além de também determinar que os planos subsequentes façam uma análise crítica das medidas tomadas e dos resultados alcançados (MMA, 2014).

A resolução nº 91/2008 estabelece o conteúdo mínimo dos planos de enquadramentos dos corpos hídricos e a ampla participação da população da bacia hidrográfica na sua elaboração (MMA, 2014). O processo de elaboração da proposta de enquadramento dar-se-á com ampla participação da comunidade da bacia hidrográfica, por meio da realização de consultas públicas, encontros técnicos, oficinas de trabalho e outros (MMA, 2014).

Vale ressaltar que essa resolução deve ser analisada em conjunto com a resolução CONAMA nº 396, de 03 de abril de 2008, que estabelece as classes de classificação das águas subterrâneas, segundo seus usos preponderantes, que será detalhado mais abaixo (MMA, 2014).

A resolução nº 92/2008 estabelece os critérios e procedimentos para as áreas de proteção e conservação dos aquíferos, focando nas áreas de recargas. É interessante perceber que nessa resolução também se obriga aos usuários a instalação de dispositivos capazes de medir o nível, a vazão e o volume de água captado, bem como a coletar água visando o monitoramento quali quantitativo das águas subterrâneas. No art. 10, é exigido que quando do monitoramento deverão ser considerados em especial as áreas: (i) proteção; (ii) restrição e controle; (iii) influência de empreendimentos que apresentem potencial de poluição e risco de contaminação; (iv) risco geotécnico; (v) superexploração; (vi) intrusão marinha; (vii) recarga e descarga; e (viii) recarga artificial (MMA, 2014).

Por último, a resolução nº 107/2010, que estabelece a rede de monitoramento para as águas subterrâneas, determina que a Agência Nacional de Águas será sua planejadora e coordenadora e a CPRM, a sua executora. Também são determinados os critérios para escolha dos pontos (art. 3º) e a frequência mínima de monitoramento (art. 5º) (MMA, 2014).

Sobre a rede de monitoramento, vale citar que ela apenas está planejada e de acordo com técnicos da ANA, há a intenção de se aproveitar a Rede Integrada de Monitoramento de Águas Subterrâneas (RIMAS).

6.4.4 Outros normativos

Existem duas legislações ainda a se considerar quando o tema é gestão de águas subterrâneas: a resolução CONAMA nº 396, de 03 de abril de 2008 (CONAMA, 2008), e a portaria do Ministério da Saúde PRC nº 05, de 28 de setembro de 2017 (MS, 2017). A primeira trata da classificação e enquadramento das águas subterrâneas segundo seus usos preponderantes, a segunda, sobre o padrão de potabilidade das águas. Os parágrafos seguintes detalham cada uma delas.

Dentre as competências do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) está a “de estabelecer normas, critérios e padrões relativos ao controle e à manutenção da qualidade do meio ambiente com vistas ao uso racional dos recursos ambientais, principalmente hídricos” (BRASIL, 1981). Assim, traz-se à tona a resolução nº 396, de 03 de abril de 2008, que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas.

Essa resolução estabelece seis classes (especial, 01, 02, 03, 04 e 05) para os sistemas aquíferos de acordo com a sua qualidade e o grau de interferência antrópica. Quanto maior a classe, menor é a exigência de qualidade. O padrão de qualidade de cada classe é apresentado no anexo da resolução, com exceção da Classe 5.

O enquadramento das águas subterrâneas deverá observar tais parâmetros, além de considerar os usos mais restritivos atuais ou pretendidos, com exceção da Classe 4, que será o uso menos restritivo. Já para a Classe 5, será considerado como critério de enquadramento as fontes com uma concentração de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) acima de 15.000 mg/L (CONAMA, 2008).

A resolução traz as diretrizes para a implementação de Áreas de Proteção de Aquíferos e Poços de Abastecimento, que deverão ser promovidas em conjunto com os órgãos ambientais de gestores de recursos hídricos (CONAMA, 2008). Já para as Áreas de Restrição e Controle de Uso deve também ser consultado os órgãos de saúde; devendo essas restrições serem observadas no licenciamento ambiental, zoneamento econômico-ecológico e na implementação dos demais instrumentos de gestão ambiental (CONAMA, 2008).

A portaria do Ministério da Saúde PRC nº 05/2017, também interfere na gestão de águas subterrâneas, uma vez que estabelece o padrão de potabilidade das águas e, como se verá mais a frente, o conhecimento dessa portaria é de fundamental importância para o Piauí, pois o consumo humano é um dos principais usos no estado. Na verdade, essa portaria reuniu o conteúdo de diversas portarias que versavam sobre ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde (MS, 2017), dentre elas a portaria MS PRT 2914, 14 de dezembro de 2011, que estabelecia o padrão de potabilidade da água. Vale ressaltar que o conteúdo não foi alterado, apenas que a partir de agora, o conteúdo da portaria 2914/2011 faz parte de uma resolução maior. Todo o seu conteúdo está disponível no anexo XX, da portaria MS PRC nº 05/2017.

No anexo a portaria determina os parâmetros e os limites de concentração para vários compostos e substâncias, dos quais vale citar o parâmetro microbiológico, que considera a *Escherichia Coli* e Coliformes Fecais como indicadores. Para a primeira, tem que haver uma exigência em 100 mL e para a segunda, a depender da quantidade e do porte do sistema de abastecimento é exigido como limite máximo a presença de apenas uma única amostra no mês ou ausência em 100 mL em 95% das amostras (MS, 2017). Especificamente para águas subterrâneas é delimitado o limite da turbidez no tratamento, sendo de 1,0 uT em 95% das amostras analisadas.

Como se percebe, a gestão brasileira de águas subterrâneas apresenta diversos níveis, sendo que ainda a gestão está muito focada nas águas superficiais. O nível de conhecimento da hidrogeologia também é variado, havendo casos como o do aquífero Guarani e do município de Caldas Novas, onde há um conhecimento robusto sobre o comportamento das águas subterrâneas e delimitação dos aquíferos, mas há também casos como o Piauí, em que há pouca informação e uma carência por pesquisas na área.

No âmbito federal somente agora é que se desenvolvem ações para promover o conhecimento na área e ajudar os estados na gestão desse recurso, já que a gestão compete a eles. Embora exista uma resolução do CNRH aprovando uma rede de monitoramento das águas subterrâneas, não há notícias sobre ela. A rede administrada pela CPRM é pequena e apenas contempla alguns aquíferos, o SIAGAS apresenta falhas no seu preenchimento e a maneira como o sistema foi planejado torna o trabalho de pesquisa árduo.

Contudo, como a gestão dessas águas é de responsabilidade dos estados, a nível federal compete auxiliar os estados na gestão seja através de estudos, seja através da capacitação, ou mesmo no financiamento de programas que possam melhorar a gestão. A rede

monitoramento, estabelecida pela resolução CNRH nº 107/2010 (MMA, 2014), quando implantada, pode trazer uma série de benefícios. O primeiro deles é a existência de um banco de dados com série histórica quanto aos níveis freáticos dos aquíferos, a padronização dos dados, frequência do monitoramento e das informações coletadas, e dependendo da maneira como seja planejada, pode também fornecer informações quanto aos ecossistemas dependentes de águas subterrâneas.

A União, através da ANA, ainda poderia incentivar os estados a fortalecer a gestão das águas subterrâneas através de programas de pagamentos por resultados, como já acontece em programas como o ProGestão e o ProComitê, afinal, por mais que a gestão dos recursos hídricos subterrâneos seja competência dos estados, a água é um recurso indissociável e indivisível competindo a União zelar pela preservação e conservação desse bem como um todo.

7 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Os Capítulos 7 e 8 referem-se a caracterização da área de estudo. Eles foram divididos da seguinte maneira: (i) caracterização da área – que se refere às características edafoclimáticas do estado, sendo concentrado nos aspectos qualitativos e quantitativos das águas subterrâneas – (ii) sistema estadual de gerenciamento de recursos hídricos – que será abordado o sistema de gerenciamento de uma maneira geral e a legislação sobre recursos hídricos do estado.

7.1 CARACTERÍSTICAS EDAFOCLIMÁTICAS

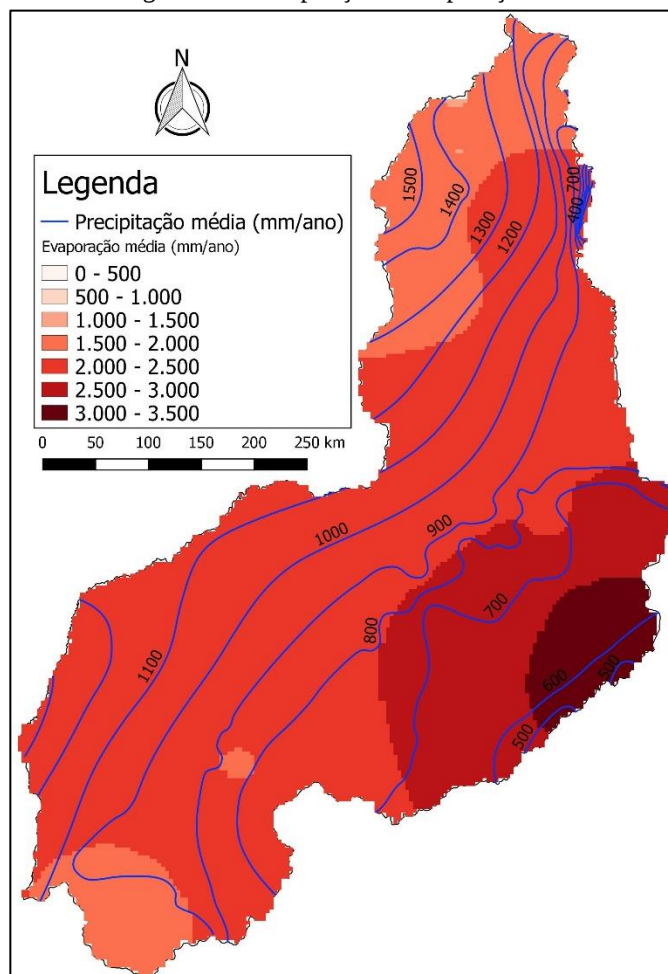
Hidrologicamente falando, o Piauí pode ser dividido basicamente em dois regimes: Fronteira úmida e seca. Essa divisão pode ser feita, porque como se disse anteriormente o Estado está localizado geograficamente numa faixa de transição, contendo características da região semiárida e pré-amazônica em seu território. A fronteira úmida - presente ao sul, oeste e norte – é composta por uma formação geológica sedimentar, com aquíferos ricos em água, rios perenes e um regime de chuvas constantes; já a fronteira seca está assente sobre um embasamento cristalino, que além da pouca água disponível, muitas vezes é salobra, um período chuvoso irregular e rios intermitentes ou temporários (SEMAR, 2010a). O mapa da Figura 19 mostra que enquanto a precipitação aumenta de sudeste para noroeste, com valores que variam de 600 mm a 1500 mm por ano; a evaporação tem sentido contrário com valores que podem superar 4.000 mm/ano. A figura 19 foi produzida a partir dos dados disponíveis no Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) e do Plano Estadual de Recursos Hídricos (SEMAR, 2010).

O valor máximo já registrado foi de 4.033,3 mm/ano em Paulistana (SEMAR, 2010a). Esses valores altos de evaporação gera um déficit hídrico, que pode chegar a 523 mm (SEMAR, 2010a).

As temperaturas no estado geralmente são muito altas, sendo a capital Teresina campeã, alcançando valores superiores a 40 °C com certa frequência nos meses de outubro, novembro e dezembro (CIRILO *et al.*, 2007), período conhecido popularmente como B-R-O-Bró. As temperaturas médias anuais do estado variam entre 26,5 °C e 27,5 °C (SEMAR, 2010a).

Dessas premissas, o estado apresenta três tipos de clima, segundo a classificação Koppen-Geiger: Aw' – quente e úmido, com chuvas de verão/outono que ocorrem no norte do estado -; Aw – quente e úmido, com chuvas de verão que acontece no centro-sul e sudoeste do estado – e BShw - semi-árido, caracterizado por uma curta estação chuvosa no verão, ocorre de oeste para leste, acarretando aumento da duração do período seco, no leste e sudeste do Estado.

Figura 19 - Precipitação x Evaporação



Fonte: O Autor

O Plano Estadual afirma que dado a posição geográfica, a diversidade climatológica propicia ao Piauí uma variedade de ecossistemas (SEMAR, 2010a). O estado possui, segundo o Ministério do Meio Ambiente três biomas e dois ecótonos: Cerrado, Caatinga, Mata Atlântica, Caatinga-amazônica e Cerrado-Caatinga; 30,0% de sua área total considerada como Unidade de Conservação (UCs), dos quais se destacam: o Parque Nacional da Serra da Capivara e o Parque Nacional da Sete Cidades, pelo seu valor histórico; a APA do Delta do

Parnaíba e o Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba, que além do seu valor turístico tem o objetivo de preservar o principal rio do estado.

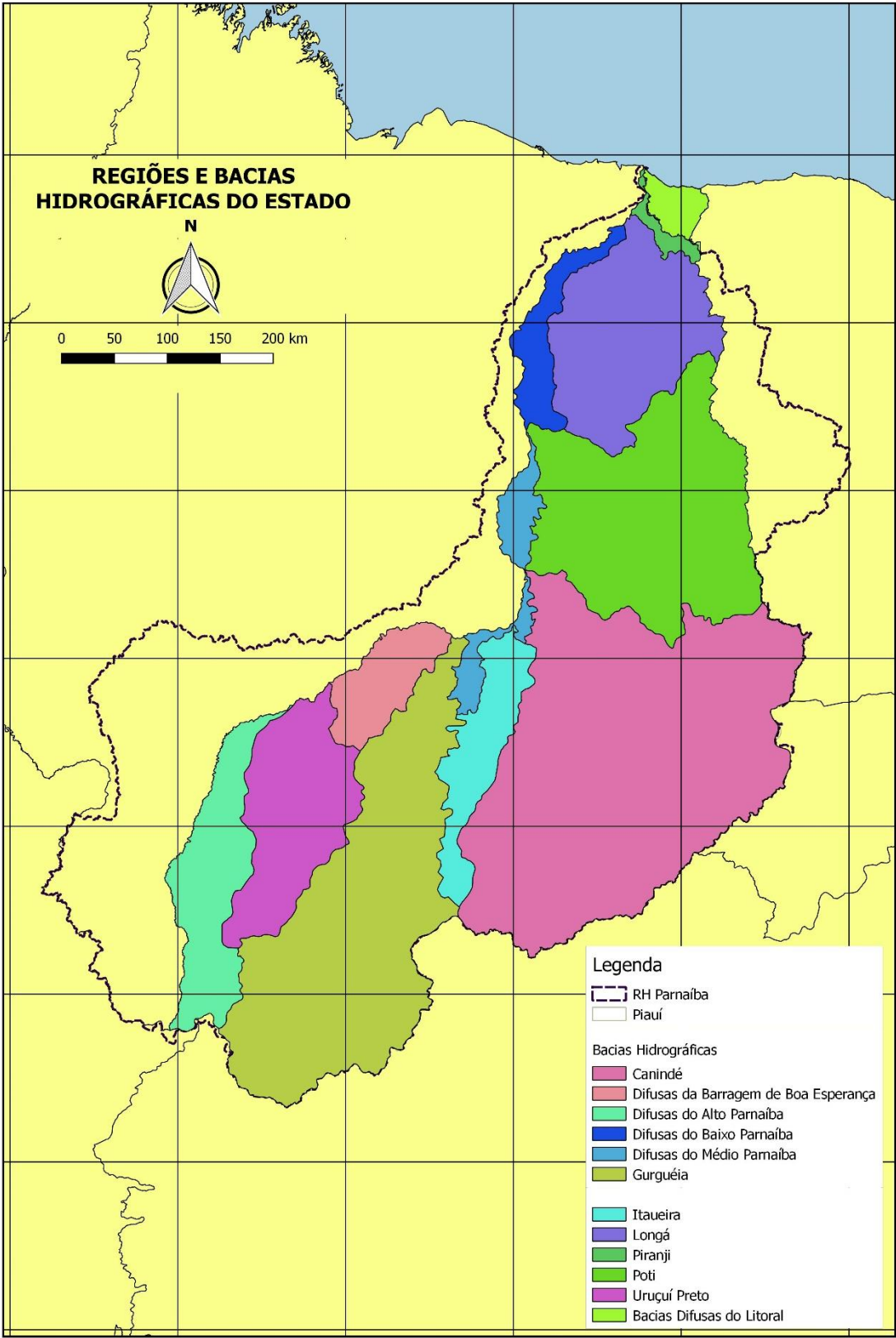
O estado também apresenta uma variedade considerável de formas de relevo. “A evolução do relevo do território piauiense foi condicionada principalmente à influência da tectônica, sem detrimento das influências litológicas” (FERREIRA e DANTAS, 2010).

Os autores dividiram o relevo em dois domínios morfoclimáticos e uma faixa de transição: - Domínio das Depressões Intermontanas e Interplanálticas das Caatingas – representado por três padrões morfológicos principais: superfícies de aplainamento da Depressão Sertaneja, chapadas sustentadas por rochas sedimentares e serras isoladas -; Domínio dos Chapadões Semiúmidos Tropicais do Cerrado - representado por topos dos chapadões sustentados por couraças ferruginosas; planaltos dissecados; depressões interplanálticas -; Faixa de transição morfoclimática – onde predominam superfícies aplainadas recobertas por matas de cocais.

Oficialmente o estado pertence a duas regiões hidrográficas: a Região Hidrográfica do Rio Parnaíba e a Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental, de acordo com a resolução CNRH nº 32, de 15 de outubro de 2003 (MMA, 2014). A primeira região detém quase 98,0% do estado (SEMAR, 2010a). O rio Parnaíba é o principal rio do estado e é divisa com Maranhão.

Nos limites estaduais, o Piauí é dividido em 12 (sub)basias hidrográficas: Alto, Médio e Baixo Parnaíba, Canindé, Poti, Longá, Itaueiras, Gurgueia, Uruçuí Preto, Difusas da Boa Esperança, Piranji e Difusas do Litoral, das quais apenas a última pertence a região Hidrográfica do Atlântico Nordeste Oriental. A Figura 20 apresenta a divisão do estado em bacias hidrográficas, bem como as regiões hidrográficas de acordo com a resolução CNRH nº 32/2003 (MMA, 2014) e CERH nº 01, 02 de janeiro de 2016 (SEMAR, 2015). Os arquivos utilizados na construção da figura estão disponíveis no SNIRH.

Figura 20 - Regiões e bacias hidrográficas no Piauí.



Fonte: O Autor

7.1.1 Geologia do Piauí

Como o presente trabalho visa a elaboração de um modelo para a gestão de águas subterrâneas no estado do Piauí, é interessante caracterizar a geologia do estado, uma vez que a definição de aquífero, dada por Filho (2000), é uma formação geológica que contém água e permite que quantidades significativas dessa água se movimentem em seu interior em condições naturais. Ainda citando Filho (2000), é fundamental estudar a geologia pois a distribuição dos aquíferos e aquíferos são controlados pela litologia, estratigrafia e estrutura das formações geológicas.

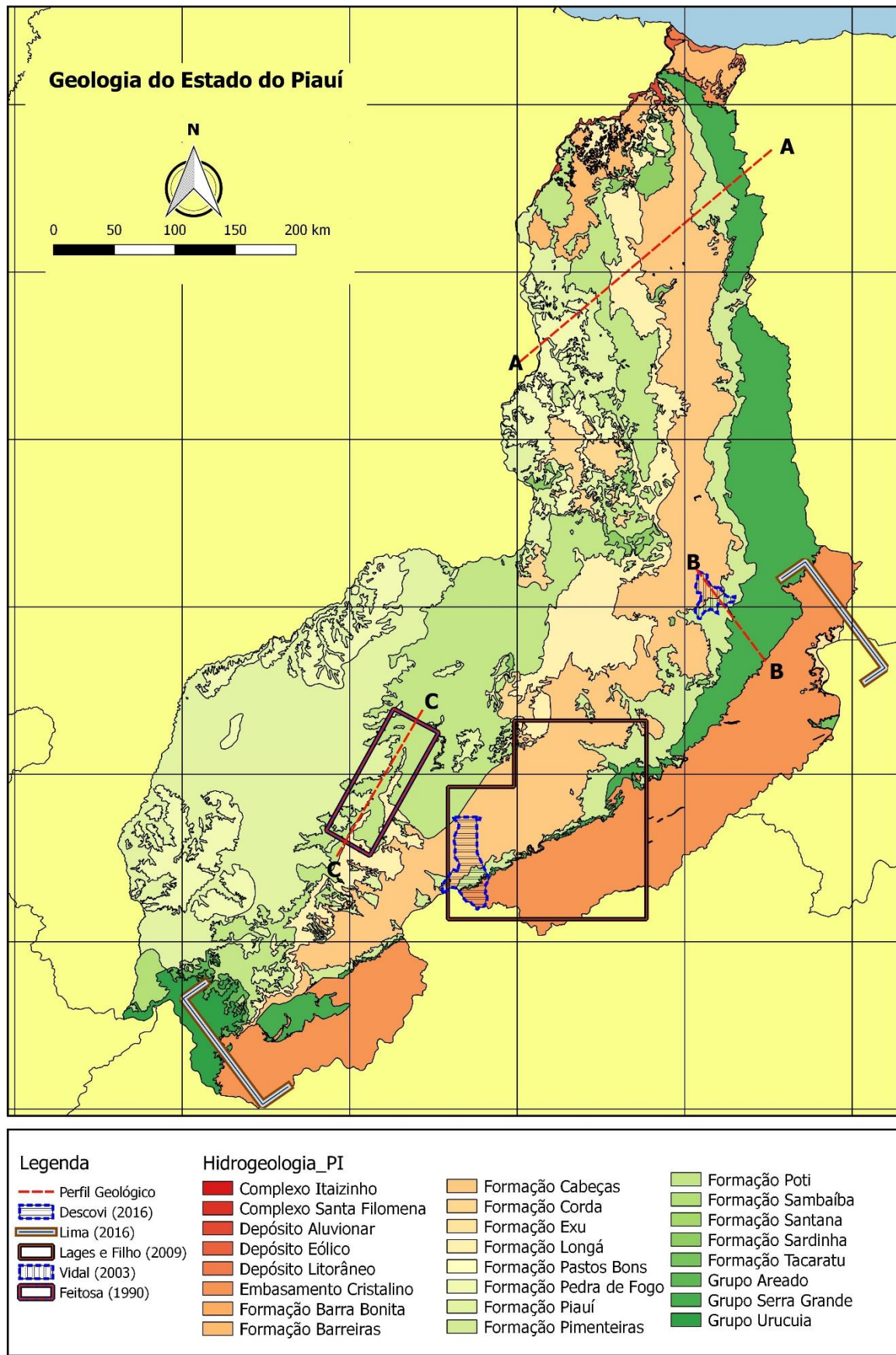
“O conhecimento da geologia de uma região, isto é, da sua litoestratigrafia e estrutura, é o ponto de partida para a compreensão da distribuição espacial dos aquíferos e aquíferos” (FILHO, 2000). Disso posto, foi encontrado diversos trabalhos caracterizando a geologia do Piauí, contudo aqueles com maior relevância são os produzidos pela CPRM (Serviço Geológico do Brasil). Desses se destaca o relatório Geodiversidade do Piauí de 2010, por esquematizar a estrutura geológica do estado e caracterizar cada formação. Fora esse, ainda pode citar o Plano Estadual (SEMAR, 2010c), mas que quando comparadas as referências bibliográficas com o trabalho anterior, percebe-se uma grande semelhança. Nos trabalhos pesquisados, nota-se que a maioria concentra sua área de estudo na borda sudeste da bacia sedimentar do Parnaíba, na parte semiárida do estado.

Talvez os trabalhos mais relevantes sobre a borda do sudeste a bacia sejam os da CPRM, com o Projeto Sudeste do Piauí I, de 1973, que analisou uma área de 12.100 km², fronteira com a Bahia, abrangendo parte das folhas SC. 23-X-D (São Raimundo Nonato) e SC.23-X-C (Bom Jesus), cujo objetivo era mapear a área e fazer um estudo da faixa pré-devoniana da borda. O outro projeto, de 2009, tem o objetivo mapear a distribuição do aquífero Serra Grande e compreender melhor as estruturas *grabeniformes* da região. A área do estudo é pouco mais que o dobro do primeiro (24.358 km²) e abrange as folhas SC. 23-X-B (São João do Piauí) e SC.23-X-C (São Raimundo Nonato). Também pode ser citado o relatório gerado para o aquífero Serra Grande a partir das investigações da Rede Integrada de Monitoramento de Águas Subterrâneas (RIMAS) em 2012 (CPRM, 2012).

Fora esses trabalhos, também se encontrou alguns trabalhos acadêmicos, embora reduzidos a pequenas áreas (não abrangendo mais de um município), tendo a borda sudeste como área de estudo, mas variando nos seus objetivos. A Figura 21 apresenta a localização geográfica dos trabalhos consultados abaixo listados:

- Feitosa (1990) – apresentou os estudos hidrogeológicos do aquífero Cabeças no Vale do Gurgueia. O seu trabalho deu origem ao relatório da CPRM sobre a Zona de Produção de Águas Subterrâneas (ZEPAS);
- Vidal (2003) - o autor estudou o aquífero Serra Grande afim de determinar sua disponibilidade e elaborar diretrizes para o seu gerenciamento no município de Picos;
- Descovi (2016) – a autora utiliza o método magnetotelúrico para investigar a geofísica e geologia do município de Caracol afim de identificar melhores locações e recuperações de poços;
- Lima (2016) – o autor estuda uma área de aproximadamente 45.000 km², indo de Alegrete do Piauí a Curimatá, com o intuito de caracterizar o estilo estrutural, a cinemática e a idade das estruturas relacionadas a reativação do Lineamento Transbrasiliano (LTB) na bacia e no seu substrato.

Figura 21 - Área de estudo dos trabalhos pesquisados



Fonte: O Autor

Como se percebe, a maioria dos trabalhos estão voltadas para a borda sudeste da bacia sedimentar do Parnaíba, mas como o presente trabalho tem como área de estudo todo o estado do Piauí, preferiu-se utilizar, como base para construção desse subitem, o produto denominado Geodiversidade do Piauí por ser mais abrangente, sendo complementado, quando cabível, pelos trabalhos acima citados.

Segundo esse documento, na área do Piauí encontram-se três províncias: Borborema, Parnaíba e Costeira (LIMA e BRANDÃO, 2010).

A **província do Borborema** está situada entre os crátons do São Francisco e São Luís e engloba os domínios afetados pela Orogênese Brasileira. Da base para o topo, sua estrutura estratigráfica é composta por: Mesoarqueano, Neoarqueano, Paleoproterozoico, Mesoproterozoico, Neoproterozoico e Cambriano. É composta por rochas metamórficas como gnaisses, xistos, mármore, anfibolitos e quartizitos, entre outros. Lima (2016) ressalta a importância da Orogênese Brasileira na arquitetura da bacia, principalmente na fronteira com a bacia sedimentar do Parnaíba, a sudeste, pois foi responsável pelas reativações das zonas de cisalhamentos.

A **província Costeira** situada ao norte do estado formada por terrenos cenozoicos. A província Costeira corresponde basicamente sedimentos inconsolidados e não-metamórficos de idade terciária e quaternária. É formado pelo grupo Barreiras e pelos depósitos de origem fluvioaluvionar, fluvio-marinha, marinha e eólico, que vão caracterizar o delta do rio Parnaíba.

O grupo Barreiras compreende uma superfície basicamente plana com pequenas ondulações e um sensível caimento na direção da linha de costa. “Mostra-se fracamente entalhada pela drenagem superficial, que isola as feições tabuliformes com pequenas amplitudes altimétricas entre os fundos dos vales e os interflúvios.” (LIMA e BRANDÃO, 2010). Repousa discordantemente sobre terrenos do domínio cristalino e da bacia paleomesozoica. Apresenta uma espessura variável, constituída por sedimentos arenoargilosos de cor avermelhada, amarela e creme, de granulação fina a grossa, mostrando horizontes conglomeráticos e níveis lateríticos, sem cota definida, muitas vezes associadas às águas subterrâneas.

Os depósitos eólicos podem ser de dois tipos: paleodunas e dunas recentes. As primeiras encontram discordantemente sobre os sedimentos do grupo Barreiras, se movimentam de nordeste para sudoeste e podem ser encontradas em níveis rebaixadas, quase próximo dos tabuleiros, e em outros onde ainda se preserva feições barcanóides. Dado a seu desenvolvimento pedogenético, favorecem a instalação de uma cobertura arbórea responsável

pela estabilização/fixação das dunas. Apresentam uma coloração acastanhada, acinzentada e/ou esbranquiçada, com granulometria bem definida, de média a fina.

As dunas recentes se apresentam em maiores proporções no Delta do Parnaíba e são principalmente caracterizadas pela ausência de cobertura vegetal que impeçam seu movimento. Morfológicamente, com relação a direção do vento movem-se também de nordeste para sudoeste e podem ser transversais; perpendicular a direção do vento com formas de meia-lua, com declives suaves contrastando com inclinações mais elevadas; e longitudinais, ocorrem em geometrias lineares e se movem concordantemente com a direção do vento.

O movimento das dunas é responsável pela formação de lagoas e promovem o assoreamento de ecossistemas aquáticos, estradas e residências, o que pode causar o aparecimento de áreas de riscos com possibilidade de soterramentos.

Os depósitos marinhos são compostos pelas praias, desde a linha da maré baixa até a base das dunas móveis. São acumulações de areias de granulação média a grossa. Funcionam como proteção a determinados setores da costa diminuindo a energia das ondas e evitando a ação erosiva. “No litoral do Piauí, o regime de ondas que se aproxima da costa provém, predominantemente, dos quadrantes leste e nordeste, gerando um transporte litorâneo de sedimentos com sentido geral de leste para oeste e de sudeste para noroeste.” (LIMA e BRANDÃO, 2010).

Os depósitos fluvioaluvionares e fluviomarinhos são ambientes deltaicos e estuarinos com uma sedimentação ativa. Os primeiros estão presentes nas planícies dos rios, principalmente nos rios Parnaíba e Longá, formados por argilas, areias, cascalhos e siltes, com ou sem matéria orgânica. Em alguns setores são controlados por fraturas e falhas, exibindo trechos longos e estreitos, enquanto nas partes mais baixas, esses depósitos são mais possantes e assumem larguras consideradas (LIMA e BRANDÃO, 2010).

Os ambientes fluviomarinhos são ambientes mistos, aonde há o contato entre águas doces e salgadas, encontram-se principalmente na área do delta e são responsáveis pela formação dos manguezais da região.

A **província do Parnaíba** é a que está presente em grande parte do estado, aproximadamente 75% (SEMAR, 2010a). Possui uma extensão de 600.000 km² abrangendo ainda os estados do Maranhão, Tocantins e Pará. A província é dividida em quatro supersequências: Bacia do Parnaíba propriamente dita, bacia do Alpargatas, bacia do Grajaú e bacia do Espigão Mestre. A maior parte de sua formação se deu no período Paleozoico e

possui uma espessura de 3.500 m. Segundo Bizzi *et al.* (2003 *apud* CORREIA FILHO, 2009) a bacia sedimentar do Parnaíba representa cerca da metade da província. A formação da província se deu do período Siluriano com o Grupo Serra Grande até o período Cretáceo, com as formações Codó e Grajaú. A CPRM (2012) produziu uma tabela onde mostra a litoestratigrafia da província do Parnaíba, baseada na revisão bibliográfica feita pelo estudo, e que se encontra abaixo reproduzida no Quadro 2. Vale lembrar que a tabela está organizada do período mais recente para o mais antigo, com as formações do topo para a base.

Quadro 2 - Litoestratigrafia da Província do Parnaíba.

Período	Grupo	Formação		Litologia
Quaternário		(4)Ql	Aluviões	Areais, siltes e argilas
Terciário	Barreiras	(4)ENb		Arenitos friáveis e níveis de argilas
Cretácio		(6)K1	Sardinha	Derrames de basáltico e diabásios
Jurássico	Mearim	(3)J2c	Corda	Arenitos homogêneos, friáveis, e siltitos
		(5)J2pb	Pastos Bons	Arenitos argilosos finos a médio
Triássico	Balsas	(2)T12s	Sambaíba	Arenitos homogêneos e friáveis
Permiano		(5)Ppf	Pedra de Fogo	Arenitos, siltitos, folhelhos e calcários
Carbonífero		(3)C2pi	Piauí	Arenitos finos a grossos com níveis de siltitos
	Canindé	(2)C1po	Poti	Arenitos finos a clásticos com intercalação de siltitos na parte superior
Devoniano	Canindé	(6)D3cll	Longá	Folhelhos cinza escuro, com níveis de arenitos e siltitos
		(1)D2c	Cabeças	Arenitos médios a grossos de cores clara com subordinadas intercalações de folhelhos e siltitos cinza vermelhos
		(6)D2p	Pimenteiras	Folhelhos e siltitos (cor vermelha), com finos níveis de arenito

FONTE: CPRM (2012) e Monteiro *et al.*, (2016)

Quadro 2 – Litoestratigrafia da Província do Parnaíba

Período	Grupo	Formação		Litologia
Siluriano	Serra Grande	(1)Ssgj	Jaicós	Arenitos muito grossos e conglomerados
		(1)Ssgt	Tianguá	Folhelhos, siltitos e arenitos finos
		(1)Ssgi	Ipú	Arenitos grossos
Pré-cambriano				Granitos, gnaisses e micaxistos

FONTE: CPRM (2012) e Monteiro *et al*, (2016)

Todavia um dos problemas da Figura 21 é que ela apenas mostra aquelas formações aflorantes no território do estado. Mas ao analisar o perfil geológico é possível perceber que as formações estão arrançadas em diferentes profundidades, sendo sobrepostas por outras camadas. As Figuras 22, 23 e 24 ilustram exatamente isso. Elas fazem referências aos cortes da Figura 21. A percepção desse fato é muito importante quando do estudo dos aquíferos, uma vez que eles podem apresentar características de confinado ou livre a depender do local, e ainda diferenças nas disponibilidades. A Figura 24, por exemplo, mostra que há uma descontinuidade nas camadas do subsolo, o que também irá alterar o volume de água disponível e passível de extração.

Figura 22 - Corte Esquemático A-A.

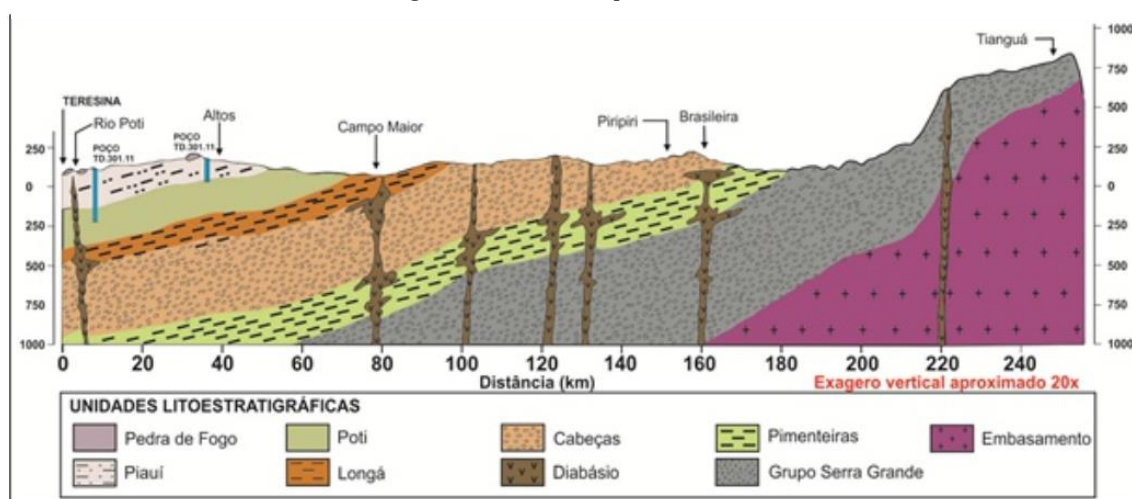
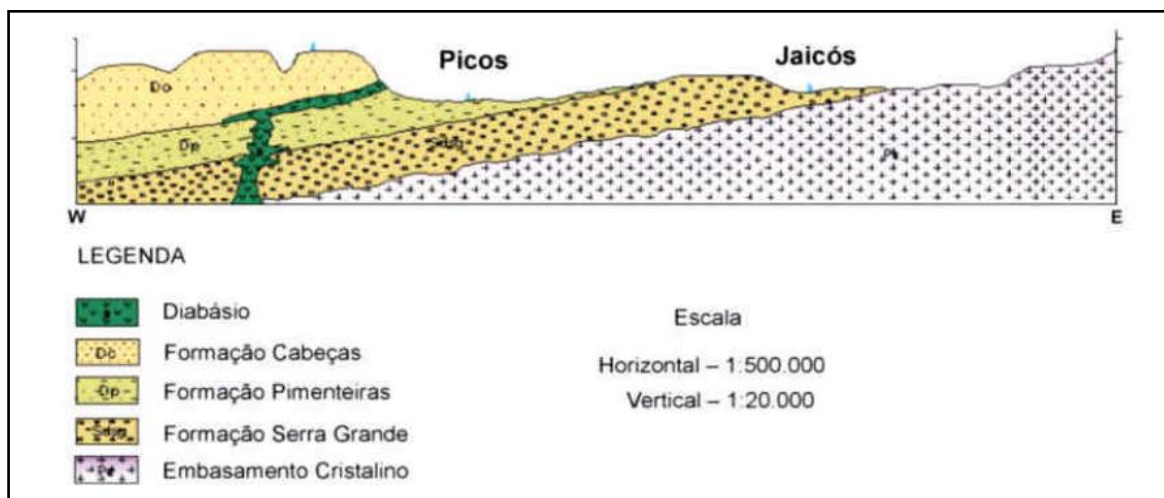
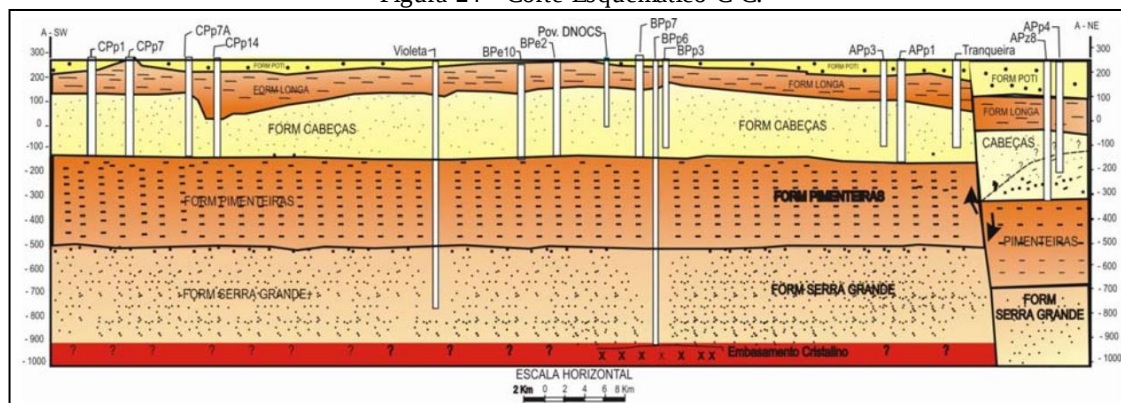
Fonte: Blankennagel (1962, *apud* VASCONCELOS 2014)

Figura 23 - Corte esquemático B-B.



Fonte: Vidal (2003)

Figura 24 - Corte Esquemático C-C.



Fonte: Feitosa (2010)

A bacia do Parnaíba é dividida em três grupos: Serra Grande, Canindé e Balsas. O grupo Serra Grande marca o início da sedimentação da bacia do Parnaíba, com deposição de arenitos conglomeráticos e conglomerados na base e arenitos mais finos no topo, intercalados por siltitos, folhelos e argilitos. Segundo Lima e Brandão (2010) essa estratificação evidencia a evolução climática com aumento progressivo da umidade durante o período de sedimentação. “É indicado um ambiente deposicional fluvioglacial a glacial, passando a nerítico até condições continentais (fluvial entrelaçado)” (LIMA e BRANDÃO, 2010).

O grupo Canindé inclui as formações Pimenteiras, Cabeças, Longá e Poti. A formação Pimenteiras consiste em uma formação pouco espessa de arenitos finos, argilosos e subangulosos, com cores cinza a avermelhados. A formação Cabeças é predominantemente arenosa, com uma estrutura sigmoidal, com significativa presença de arenitos médios a finos, alternados com siltitos laminares e folhelos micáceos. A formação Longá constituída de

folhelhos cinza-escuros, físseis e micromicáceos intercalados com siltitos cinza, micáceos laminados. A formação Poti formado por sedimentos arenitos finos-médios subangulosos e argilosos. Sua formação ocorreu em ambiente deltaico e em planícies de maré no início do Carbonífero.

O grupo Balsas engloba as formações Piauí, Pedra de Fogo, Motuca (mas não ocorre no Piauí) e Sambaíba. O grupo tem origem com o período do Carbonífero Superior (com a formação Piauí), passando pelo Permiano (com Pedra de Fogo), sendo finalizado no Triássico (formação Sambaíba), correspondendo ao final da desertificação da bacia do Parnaíba. A formação Piauí apresenta uma sequência de folhelhos e argilitos avermelhados na parte superior, mas parte inferior é formado por arenitos poucos argilosos de cor róseo-avermelhada.

A bacia do Alpargatas é formada por rochas sedimentares de idade jurássica, que capeiam rochas subvulcânicas e vulcânicas da Suite do Mosquito, associada à abertura do Atlântico Central (LIMA, 2016). É constituída pelas as formações Pastos Bons, Corda e Mosquito e Sardinha, sendo as duas últimas de origem vulcânica (LIMA E BRANDÃO, 2010).

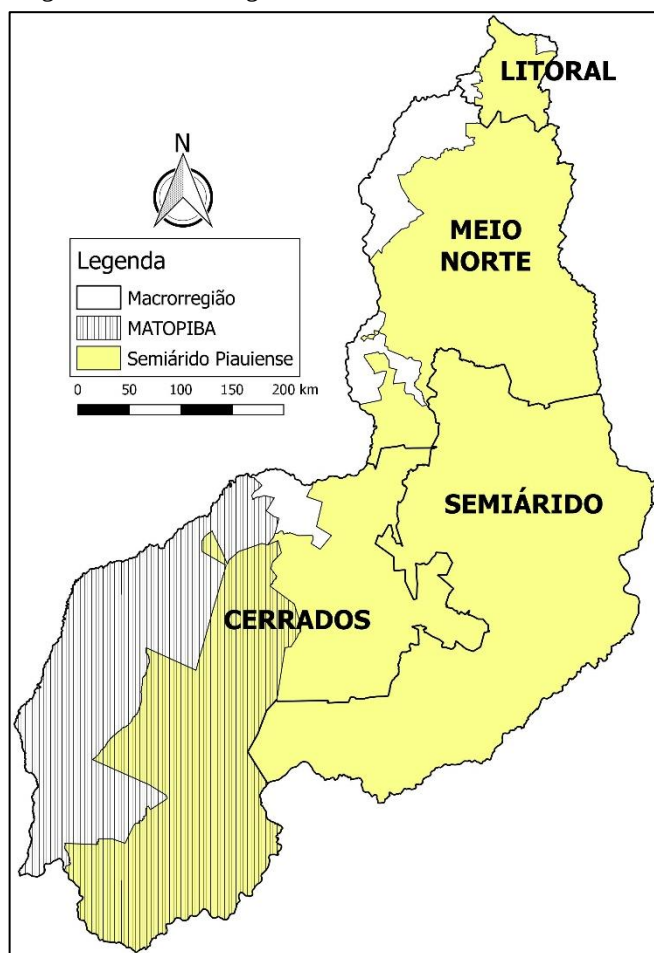
A bacia do Grajaú é composta pelas formações Codó, Grajaú e Itapecuru, das quais apenas a última não ocorre no Piauí. Tem uma formação predominantemente siliciclástica, podendo ocorrer calcário, anidrita e sílex, além de diabásio e basalto (CORREIA FILHO, 2009).

A Bacia Espigão-Mestre é uma bacia cretácea superposta à Bacia do Parnaíba. É representada pelos arenitos eólicos da Formação Urucuia, além dos sotopostos siltitos vermelhos da Formação Areado. Segundo Lima (2016), essa bacia apresenta arquitetura e geometria tectônica próprias.

7.2 POPULAÇÃO E ECONOMIA

Para composição desse item e dos subsequentes, achou-se mais interessante apresentar os dados por macrorregião, uma vez que a caracterização da área visa a todo o território estadual e não a uma parte específica. Apresentar os dados por macrorregião ajuda também a identificar as particularidades de cada uma em relação a outra, apesar de fazerem parte do mesmo estado. Nesse sentido a Figura 25 apresenta as macrorregiões do estado.

Figura 25 - Macrorregiões de desenvolvimento do estado.



Fonte: O Autor

De acordo com o Censo 2010, a população do Piauí era de 3.119.015 habitantes, divididos em 224 municípios (IBGE, 2013), entretanto a maior parte da população se concentra, atualmente, na capital Teresina, que detém 814.439 habitantes, ou seja 26,11% da população piauiense reside na capital. Com raríssimas exceções, pode-se dizer que os municípios piauienses são de pequeno porte, apresentando uma população inferior a 50 mil habitantes, sendo que 93,30% não supera 30 mil habitantes.

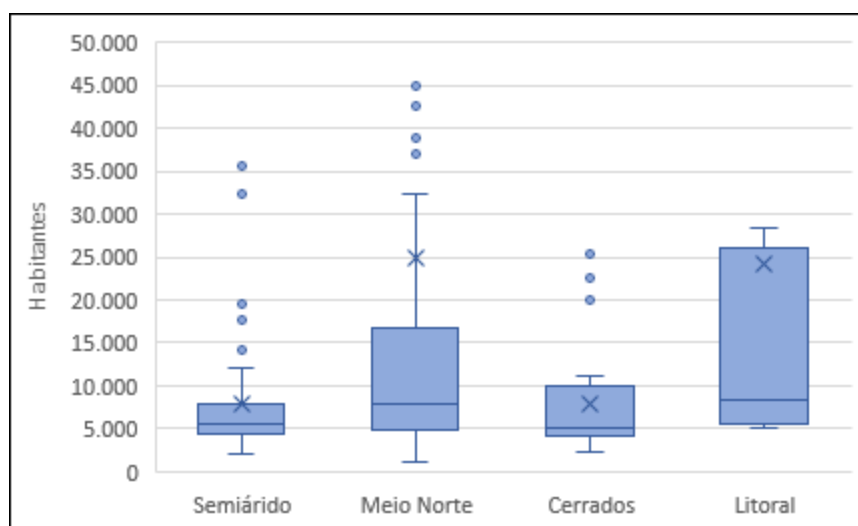
Em termos relativos, a macrorregião que apresenta o maior número de municípios de pequeno porte (inferior a 50 mil habitantes) é o Semiárido, com 39,73%. Ao menos um município de cada macrorregião de desenvolvimento apresenta uma população superior a 50 mil habitantes, sendo considerado de médio porte, e ainda no caso de Parnaíba e Teresina, são considerados municípios de grande porte, por apresentar uma população superior a 100 mil habitantes. O Quadro 03 apresenta os municípios de médio e grande porte do Piauí relacionados com a macrorregião, enquanto a Figura 26 mostra a variação dos municípios quanto a população.

Quadro 3 - Municípios de médio e grande porte do Piauí.

Macrorregião	Município	População (Censo 2010)
Semiárido	Picos	73.417
Cerrados	Floriano	57.707
Litoral	Parnaíba	145.729
Meio Norte	Piripiri	61.840
	Teresina	814.439

Fonte: O Autor

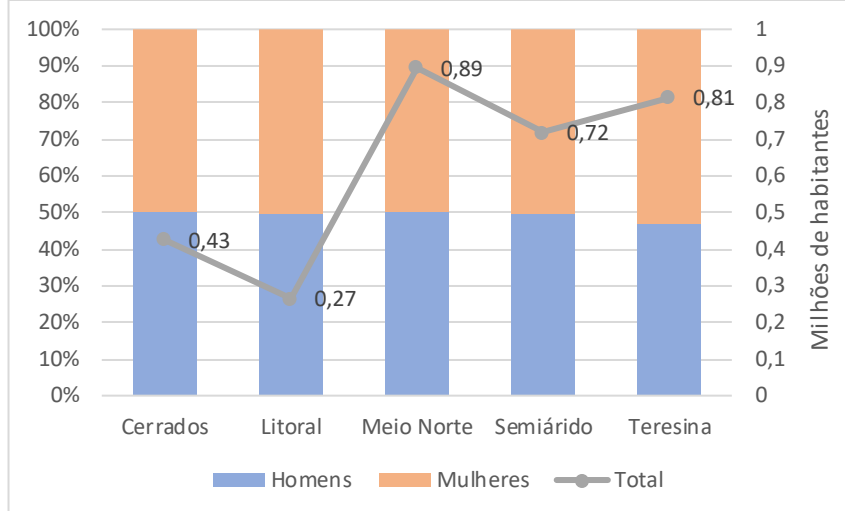
Figura 26 - Gráfico BoxPlot da população do Piauí por macrorregião.



Fonte: O Autor

Quando se analisa o percentual de homens e mulheres total e por macrorregião, percebe-se que os valores são muito próximos um do outro, com a quantidade de mulheres sendo um pouco superior ao de homens (50,98%) no total, mas se repetindo em cada macrorregião. Como mostra a Figura 27, produzida a partir dos dados disponíveis pelo Censo IBGE 2010.

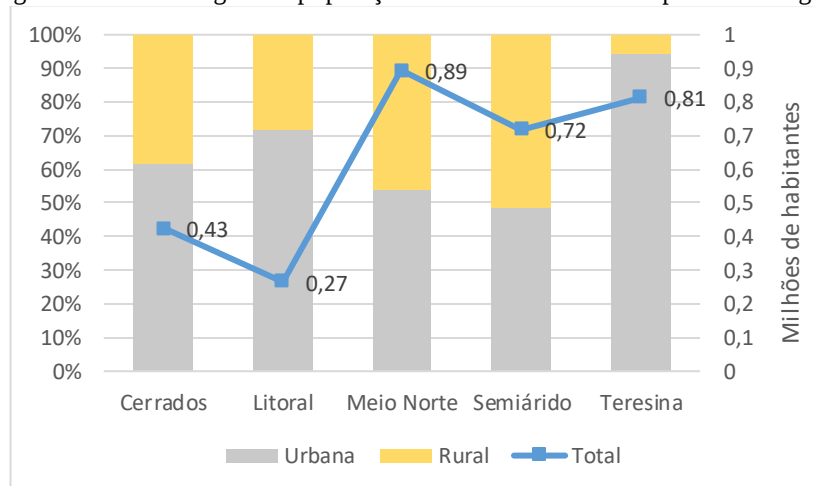
Figura 27 - Percentual de homens e mulheres da população do Piauí por macrorregião



Fonte: O Autor

Com relação ao percentual urbano e rural, a população urbana é quase duas vezes maior que a população rural e, com exceção do Semiárido, esta é superior que aquela, com exceção de Picos (município mais populoso do Semiárido). Um fato interessante é quando se analisa separadamente Teresina do restante dos municípios do Meio Norte. A capital piauiense possui 94,27% de sua população no perímetro urbano, o que gera um alto adensamento urbano, como pode ser observado pela Figura 28.

Figura 28 - Porcentagem da população urbana e rural do Piauí por macrorregião



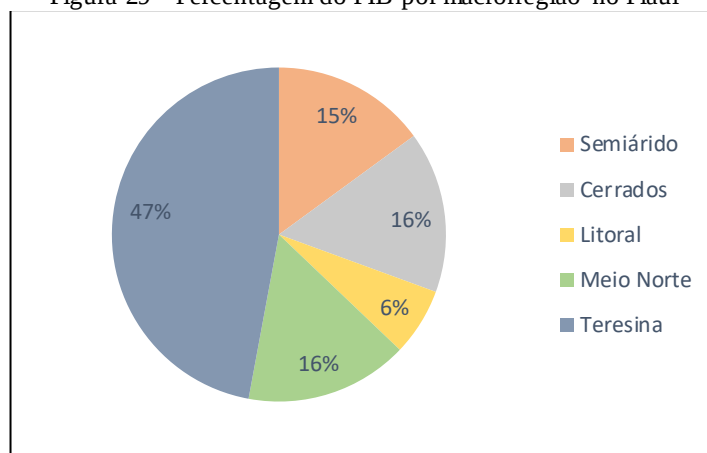
Fonte: O Autor

As macrorregiões de desenvolvimento também foram comparadas quanto ao PIB de 2014 e as atividades econômicas desenvolvidas naquele ano. Mais uma vez a capital Teresina se destaca dos demais municípios, apresentando o maior PIB de todos os municípios e sendo

responsável por quase 50% de todas as riquezas geradas no estado. Logo, de modo a evitar distorções entre as macrorregiões, preferiu-se retirar Teresina do Meio Norte e considerá-la separadamente.

No ano de 2014, o PIB do Piauí alcançou a cifra de R\$ 37.723.497,00, entretanto grande parte desse valor deve-se ao município de Teresina, que representou 47,09% do PIB (IBGE, 2017). Na verdade, quando se exclui Teresina da macrorregião Meio Norte, percebe-se que a representatividade de cada macrorregião no PIB é parecida, com o Litoral apresentando a menor percentagem (apenas 6,0%), mas isso pode ser explicado por ser a macrorregião com a menor quantidade de municípios. A Figura 29 traz o gráfico da porcentagem de cada macrorregião ao PIB do estado.

Figura 29 - Percentagem do PIB por macrorregião no Piauí



Fonte: O Autor

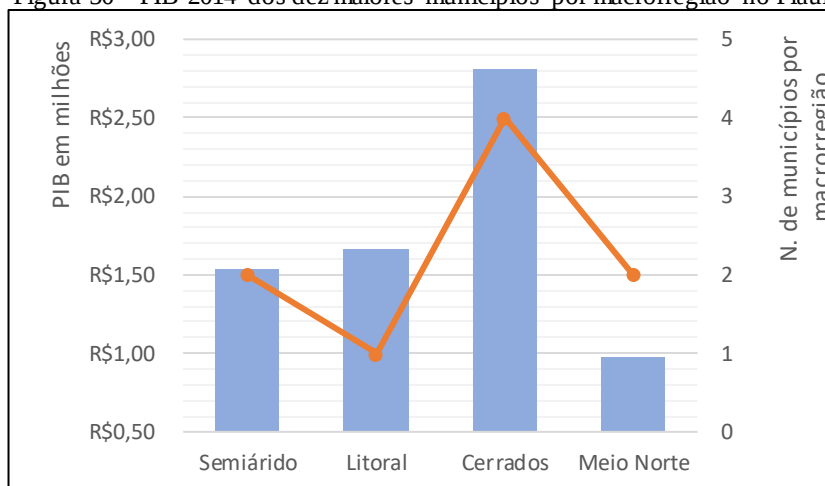
Entretanto, quando se observa apenas os dez municípios com os maiores PIB, essa representatividade se inverte um pouco com o Cerrados apresentando o maior PIB, seguido do Litoral, Semiárido e Meio Norte, como se pode perceber da análise conjunta do Quadro 4 e Figura 30. Vale lembrar que dessa análise não se inclui o município de Teresina, pelos motivos já expostos.

Quadro 4 - Dez municípios com os maiores PIB 2014 do Piauí.

	Município	PIB (R\$)	Macrorregião
1º	Teresina	R\$ 17.762.266,00	Teresina
2º	Parnaíba	R\$ 1.663.949,00	Litoral
3º	Picos	R\$ 1.214.900,00	Semiárido
4º	Uruçuí	R\$ 954.285,00	Cerrados
5º	Floriano	R\$ 911.051,00	Cerrados
6º	Piripiri	R\$ 535.169,00	Meio Norte
7º	Baixa Grande do Ribeiro	R\$ 481.692,00	Cerrados
8º	Bom Jesus	R\$ 457.869,00	Cerrados
9º	Campo Maior	R\$ 443.011,00	Meio Norte
10º	São Raimundo Nonato	R\$ 319.268,00	Semiárido

Fonte: O Autor

Figura 30 - PIB 2014 dos dez maiores municípios por macrorregião no Piauí.



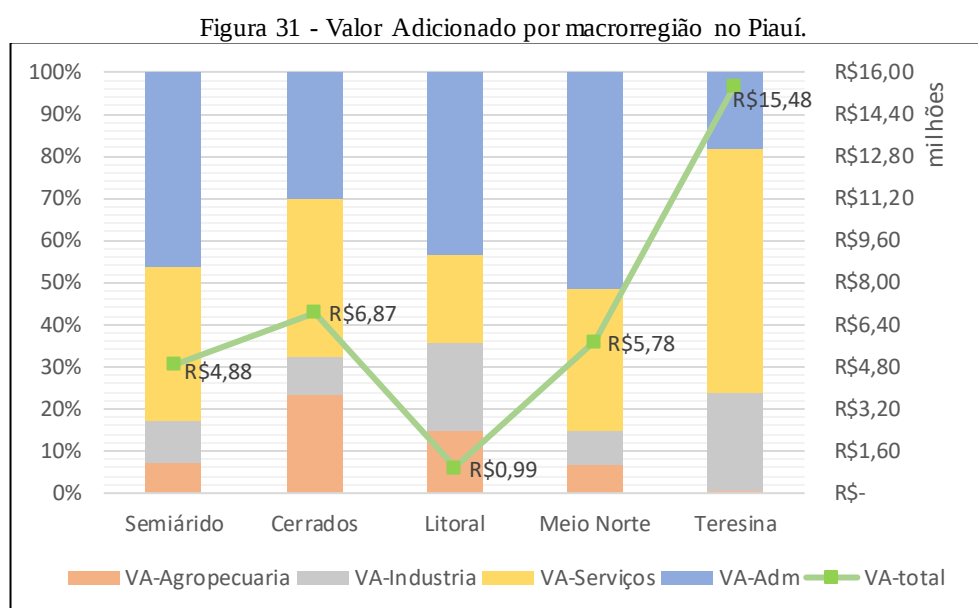
Fonte: O Autor

É interessante notar pelo gráfico da Figura 30, a importância do município Parnaíba, já que é o único representante do Litoral e mesmo assim representa o segundo maior PIB; enquanto a região Meio Norte, quando se retira Teresina, tem o menor PIB, apesar de conter dois municípios entre os dez maiores PIB. Juntos, esses dez municípios representam mais de 65,0% do PIB do estado.

Também da análise conjunta dos Quadros 03 e 04, nota-se que os municípios mais populosos figuram entre os maiores PIB do estado, contudo na macrorregião Cerrados foge a esse padrão. Isso porque o maior PIB da macrorregião é do município de Uruçuí, entretanto

esse é apenas o quarto município mais populoso, sendo superado por Floriano, Corrente e Bom Jesus.

Outra característica importante que diferencia o Cerrados das demais macrorregiões do estado é o valor adicionado da agropecuária. Enquanto nas demais regiões esse valor não supera os 15% do valor adicionado total, no Cerrados essa taxa é de 23,0% (Figura 31), sendo que no município de Baixa Grande do Ribeiro, o valor chega próximo a 70% do valor adicionado total (IBGE, 2017).



Fonte: O Autor

Na verdade, toda essa proeminência para o setor se deve em muito ao cultivo de grãos. É nessa região que está inserido o MATOPIBA (que pode ser visualizado na Figura 25), a última fronteira agrícola do Brasil. Spera *et al.* (2016), mostra que entre 2003 e 2013 a área de cultivo no Piauí quase quadruplicou de tamanho, saindo de 120.000 ha para 450.000 ha. Segundo estimativas da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), é esperado uma produção de 2.950 kg/ha de soja para a safra 2017/2018 (CONAB, 2018). Em outras palavras, seriam produzidos na região 24 milhões de toneladas.

Ainda, pela Figura 31, nota-se que o setor de serviços e a administração pública respondem por mais da metade do valor adicionado em todas as regiões analisadas. No Semiárido e Meio Norte, esse valor é superior a 80%. Nesse segundo, nota-se a grande participação da administração pública, que corresponde a 48,58% do valor adicionado. Esse

dado revela a grande vocação do estado para o terceiro setor e principalmente a dependência em relação ao Estado.

Com relação ao setor industrial, ela é, ainda que pequeno, o segundo setor que mais contribui para o valor adicionado, com exceção, como já se viu do Cerrados. Entretanto, segundo o CEPRO (2016), são o setor elétrico e o de saneamento que mais se destacam. Em Teresina, pode-se dizer também que se destacam a indústria de bebidas e relaminados.

Nobre (2010) chama a atenção que o tratamento adequado dos resíduos industriais em Teresina é pouco ou nenhum por parte das indústrias. Muitas acabam lançando seus resíduos em sumidouros, não fazem coleta seletiva e há ausência de um inventário de resíduos industriais. Em 2011, foram registradas 4,8 mil novas empresas no município segundo a Junta Comercial – JUCEPI - (FIEPI, 2013/2014).

7.3 SETOR DE SANEAMENTO BÁSICO

Dada a direta correlação com a gestão de recursos hídricos e ainda, como se viu no item anterior, é um dos subsetores que mais se destacam no PIB da indústria, resolveu-se discorrer um pouco sobre a gestão de saneamento básico, focado principalmente nos sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário. Para isso foi utilizado as informações presentes no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) do ano de 2015 (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2016).

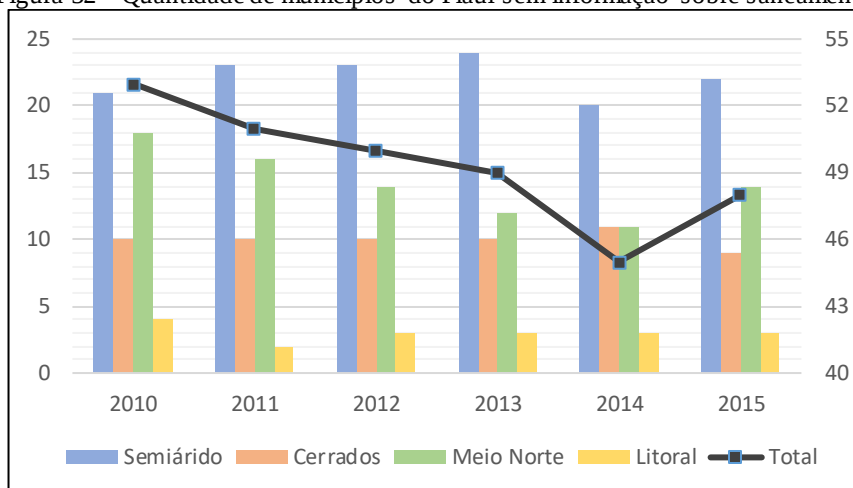
Das informações disponíveis no SNIS, vale dizer que no ano de 2015 dos 224 municípios, apenas 176 preencheram as informações referente ao SNIS, sendo que o Semiárido foi a região que apresentou o maior número de municípios sem informação com 22. Se for feito uma análise da quantidade de municípios que não apresentaram informações a partir do ano de 2010, ano de publicação do Plano Estadual, nota-se que, de maneira geral, que esse número apresentou o menor valor em 2014, tendo aumentado em 2015.

Essa diminuição foi proporcionada pela região Meio Norte, pois nas demais regiões esse número permaneceu constante na maior parte do período analisado, como pode ser observado pela Figura 32.

Com relação a prestação dos serviços de água e esgoto, nota-se que a AGESPISA, empresa estadual de saneamento, é a principal responsável por eles, contudo vale ressaltar que sua área de atuação tem diminuído, saindo de 155 municípios em 2010 para 150 em 2015; em contrapartida o número de prefeituras que assumiram os serviços aumentou, de 16 para 26 no

mesmo período (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2016). Porém, não é possível uma correlação direta entre esses dois valores, uma vez que é preciso levar em consideração também o número de municípios que não prestaram informações ao longo dos anos.

Figura 32 - Quantidade de municípios do Piauí sem informação sobre saneamento.

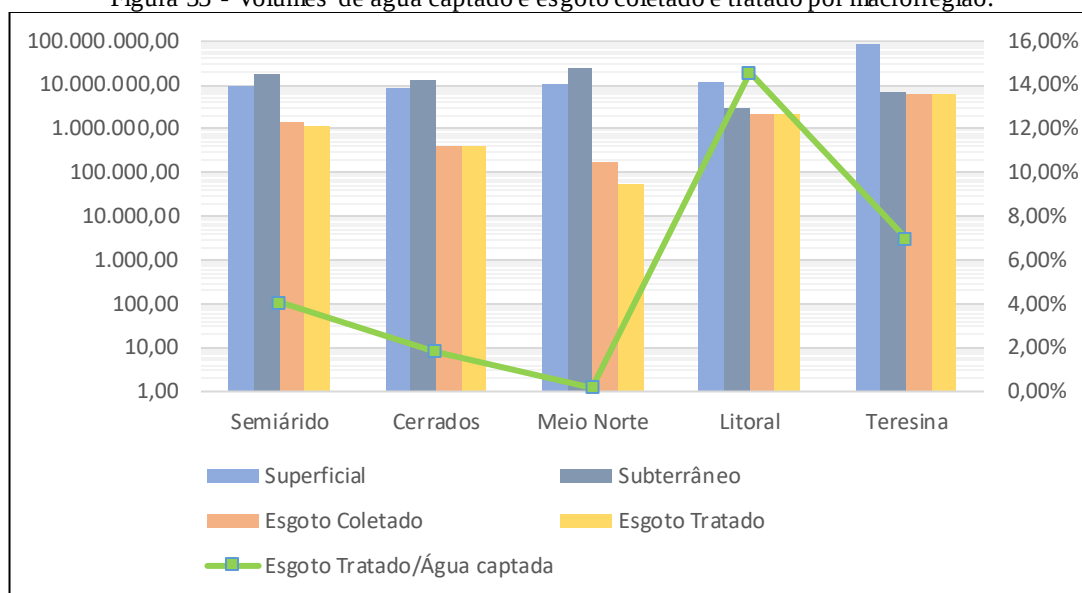


Fonte: O Autor

Outro dado importante é que dos 176 municípios, 92% apresentam apenas os serviços de abastecimento humano. Dos 14 municípios restantes, o esgotamento sanitário é prestado ou pela AGESPISA ou pela própria prefeitura. Nesse ponto, vale ressaltar o caso de Redenção do Gurgueia (Cerrados) aonde há informações sobre esgotamento sanitário, mas não sobre abastecimento de água.

Partindo para a questão dos volumes de água utilizados no abastecimento e do esgoto coletado e tratado, embora no SNIS não haja um campo que identifique o volume de águas subterrâneas utilizado, essa informação pode ser extraída das colunas de volumes tratados, dado as características do sistema de tratamento de água utilizado no estado. Por exemplo, quando o volume captado é superficial costuma-se utilizar uma estação de tratamento de água, enquanto para o volume que provém do subterrâneo, é feito apenas o tratamento simples, com desinfecção. Assim, foi produzido o gráfico da Figura 33 com as informações separadas por macrorregiões.

Figura 33 - Volumes de água captado e esgoto coletado e tratado por macrorregião.



Fonte: O Autor

Como já era esperado, o volume de esgoto tratado é muito baixo, fazendo com que o índice de cobertura não ultrapasse 16% em todas as regiões. A situação mais crítica é a região Meio Norte, com um índice de apenas 0,17%. A capital, Teresina, apresenta um índice de apenas 7,0%. Importante salientar que esses percentuais não devem ser confundidos com o índice de coleta de esgoto (IN015) pois esse utiliza os volumes de água consumido e de esgoto coletado, o que geraria percentuais maiores do que o apresentado. No caso da Figura 33, o que se quer ressaltar é a quantidade de água que é retirada dos mananciais e quanto dessa água é tratada antes de ser despejada nos rios.

Posto isso, a situação do esgotamento sanitário é crítica em todas as regiões. No Cerrados, das maiores cidades apenas Floriano possui uma rede de esgotamento sanitário.

Em outras palavras, grande parte dos municípios acabam utilizando soluções alternativas para o despejo dos esgotos, como fossas e sumidouros – em Bom Jesus, Demerval Lobão e Luís Correia as soluções alternativas atendem 80, 60 e 90% da população respectivamente, por exemplo. Caso essas estruturas não sejam construídas ou mantidas adequadamente, podem acabar contaminando os aquíferos.

Com relação ao volume de água captado, em todas as regiões, com exceção do Litoral e em Teresina, o volume referente a águas subterrâneas é maior (em média 1,9 vezes) indicando a grande importância desse recurso. Em Teresina e no Litoral, essa proporção se inverte com o volume de águas superficiais sendo 12 vezes maior na primeira e 4,25; na segunda.

Disso, pode-se concluir que:

- Embora o volume de água superficial para abastecimento humano seja maior, 70% dele está concentrado na capital Teresina;
- Quando Teresina é excluído do cenário, percebe-se em que três das quatro regiões o volume de águas subterrâneas é maior que o superficial;
- 58,92% dos municípios piauienses têm abastecimento exclusivo por águas subterrâneas;
- 20% tem abastecimento feito tanto por águas subterrâneas quanto por águas superficiais

Portanto, não é sensato descartar a importância dos recursos hídricos subterrâneos para a gestão de saneamento, pois nota-se claramente o prejuízo, ou o estado de calamidade pública, caso esse recurso se tornasse inviável para muitas cidades do Piauí.

7.4 DISPONIBILIDADES SUBTERRÂNEAS

Por se situar no nordeste brasileiro e conter mais de 60% do seu território no semiárido, não é difícil imaginar que as chuvas no Piauí sejam concentradas em poucos meses e apresente uma alta evaporação ao longo do ano. Além disso, dado a sua posição geográfica, os maiores regimes pluviométricos estão situados mais ao oeste e litoral do estado (Figura 19), onde também se concentram os rios de maiores expressões, dentre eles o Parnaíba.

Não é difícil imaginar, portanto, a grande demanda que existe por águas subterrâneas, especialmente para abastecimento humano como se viu no item anterior.

O Plano Estadual de Recursos Hídricos (SEMAR, 2010a) afirma que os recursos superficiais são quase 5 vezes maiores que os subterrâneos, o que pode sugerir que o estado esteja subutilizando as águas superficiais e super-utilizando as águas subterrâneas.

Assim, objetivo desse item é apresentar as disponibilidades dos recursos hídricos subterrâneos (dividindo em quantidade e qualidade), confrontando-os com as disponibilidades superficiais e as demandas a partir dos dados expostos nos itens anteriores.

7.4.1 Águas subterrâneas x superficial

Segundo o Plano Estadual (SEMAR, 2010a) a disponibilidade superficial calculada para o estado foi de 18,0 km³/ano, o que daria algo em torno de 5.771,05 m³/hab/ano, enquanto a disponibilidade subterrânea é de 4.515,70 hm³/ano, o que geraria uma disponibilidade per capita de 1.447,79 m³/hab/ano, ou seja, um quarto da superficial. Contudo são precisos alguns esclarecimentos sobre esses dados.

Primeiro é que para o cálculo da disponibilidade superficial é levado em conta a vazão dos rios e dos reservatórios. Além disso, quando se analisa a vazão de cada rio, percebe-se que os rios com maiores vazões estão situados nas bacias a oeste do estado. O rio Parnaíba, por exemplo, tem sua vazão variando de 194,05 m³/s, na bacia do Alto Parnaíba, a 710,92 m³/s, na bacia do Baixo do Parnaíba (SEMAR, 2010a).

Enquanto que para rios situados na bacia do rio Canindé, esses valores são muito pequenos, como é o caso do rio Guaribas, com uma vazão de 0,43 m³/s. O próprio rio Canindé, a depender da região pode ter vazões variando de 80,66 m³/s a 0,83 m³/s (SEMAR, 2010a).

A bacia do rio Canindé é a maior bacia do estado, ocupando mais de 30% do seu território e está toda inserida no semiárido.

Com relação a disponibilidade subterrânea, vale mencionar três fatos. Primeiro, 80% do território estadual está assente sobre a bacia sedimentar do Parnaíba, conferindo a este um volume de 1.917.924 hm³ em reservas permanentes, divididas em aquíferos e aquíferos de caráter regional e local (SEMAR, 2010a).

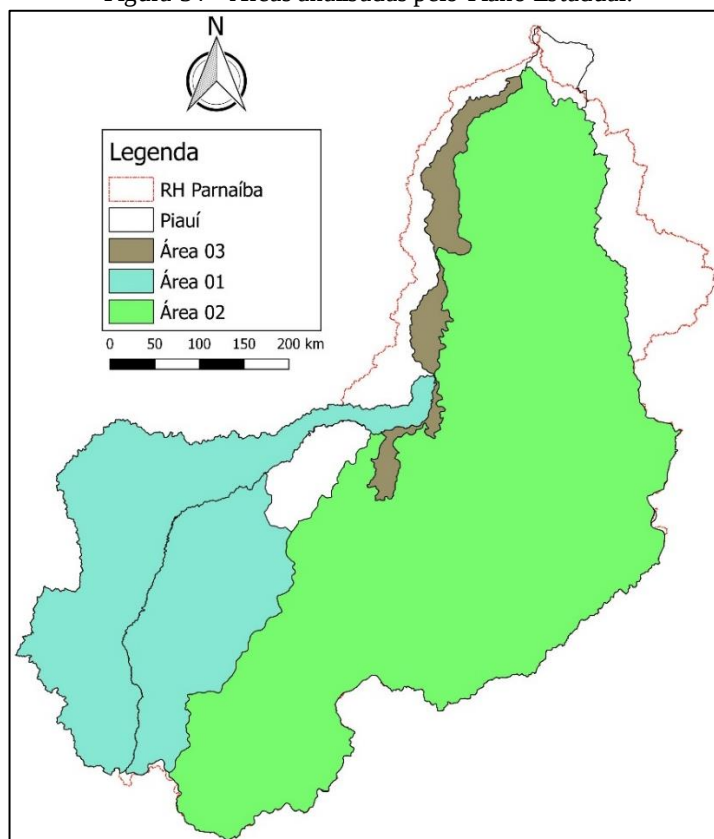
Segundo fato é que para a disponibilidade calculada, o Plano leva em conta a vazão de escoamento natural (VEN) de cada aquífero mais 0,1% a.a. das reservas permanentes, que, segundo o Plano (SEMAR, 2010a), é suficiente para gerar um incremento de 76% no VEN. Ainda vale ressaltar que esse percentual, ao longo de 50 anos, geraria um rebaixamento de apenas 5% nas reservas permanentes, não acarretando prejuízos ao aquífero.

O Plano também tenta quantificar a interação entre as águas superficiais e subterrâneas, analisando um conjunto de três áreas: Área 1 – bacia do alto Parnaíba, Balsas⁶⁹ e Uruçuí Preto - Área 2 – Longá, Poti, Canindé, Itaueira e Gurguéia -, Área 3 – Médio e Baixo Parnaíba – apresentados na Figura 34. De acordo com suas análises, o Plano considera que há

⁶⁹Essa é uma bacia da região do Parnaíba, mas pertencente ao estado do Maranhão.

pouca relação entre os escoamentos de base e natural dos aquíferos com as vazões médias na Área 1, supondo que a maior parte do escoamento superficial provenha do escoamento sub-superficial devido as condições de clima, relevo e cobertura vegetal.

Figura 34 - Áreas analisadas pelo Plano Estadual.



Fonte: O Autor

Já na Área 2, o escoamento de base dos aquíferos é responsável por 80% do escoamento superficial, restando ainda 15 m³/s de confinamento. É interessante notar que esse mesmo valor é o que falta para a Área 3, já que o escoamento de base dos aquíferos é de 15 m³/s, enquanto a vazão das águas superficiais é de 30 m³/s. Isso faz o Plano supor que os 15 m³/s confinados ascenderiam, alimentando os rios na Área 3, uma vez que a Área 2 está a leste dessa, coincidindo também com a área de acunhamento dos aquíferos profundos.

Levando em consideração todos estes fatos, apresenta-se a possibilidade de interpretá-los em termos de movimento das águas subterrâneas profundas. O escoamento natural dos aquíferos profundos, que entra parcialmente em confinamento na área 2, é forçado a tomar um rumo no sentido vertical, devido as condições geológicas estruturais, alimentando as unidades hidrogeológicas sobrepostas e podendo eventualmente resultar num incremento de vazões das águas superficiais. Esta situação ocorreria na área 3, onde os deflúvios dos rios na estiagem demonstram uma vazão maior do que a vazão do escoamento natural subterrâneo que contribui para o deflúvio dos rios. A diferença é da mesma ordem

da vazão do escoamento natural subterrâneo que anteriormente entra em confinamento na área 2. (SEMAR, 2010a).

Terceiro e último fato é que enquanto os rios e reservatórios sofrem com a evaporação, variando bastante de nível entre os meses chuvosos e mais secos, o mesmo não acontece com os aquíferos, que têm seus níveis mantidos praticamente constantes ao longo dos anos.

Vale ressaltar que este subitem não pretende relativizar a importância dos recursos, como se um fosse mais importante que o outro. Muito pelo contrário, apenas se mostrou como se encontram distribuídos tais recursos pelo estado. Além disso, como se viu e como se deve ser, há uma interação entre as águas subterrâneas e superficiais, o que chama a atenção para o manuseio, preservação e conservação de ambos os recursos de modo a respeitar o que diz a Política Estadual de Recursos Hídricos sobre o uso sustentável dos recursos hídricos.

7.4.2 Potencialidade hídrica

Como observado, 80% do território piauiense está assente sobre a bacia sedimentar do Parnaíba, complementam esse percentual a bacia San Franciscana, ao sul, os aquíferos costeiros ao norte, e o escudo cristalino na região sudeste para leste (CABRAL e SANTOS, 2007).

Considerando as unidades hidrolíticas, pode-se dizer que o estado do Piauí contém 84,30% de sua área em unidades granulares; 15,60% em unidades fraturadas e 0,1% de unidades cársticas (MONTEIRO *et al.*, 2016). Das unidades granulares, mais de 97% se encontram na bacia sedimentar do Parnaíba, sendo os outros 3,0% divididos pelas bacias San Franciscana, Costeira e do Araripe (MONTEIRO *et al.*, 2016).

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** 3 condensa algumas informações extraídas do Plano Estadual (SEMAR, 2010a) sobre diversos aquíferos e aquíferos presentes no estado. Ressalta-se que as informações mais completas referem-se aos aquíferos da bacia sedimentar do Parnaíba, isso porque o plano baseia seus estudos a partir de um produto feito pela SUDENE, em 1975, para a referida bacia nos estados do Piauí, Maranhão e Ceará (SEMAR, 2010a).

Tabela 3 - Características dos Aquíferos e Aquitardos da bacia do Parnaíba.

Aquífero ou Aquitardo	Reservas (hm ³ /ano)		Área (km ²)		Espessura Média (m)
	Permanentes	Reguladoras	Confinado	Livre	
Serra Grande	995.249,0	487,5	246.100,0	31.650,0	600,0
Poti/Piauí	541.488,0	1.052,0	71.550,0	92.850,0	400,0
Cabeças	256.443,0	636,0	188.850,0	39.400,0	250,0
Pedra de Fogo	42.396,0	189,0	26.600,0	31.750,0	130,0
Pimenteiras	27.908,0	41,0	228.250,0	17.350,0	200,0
Quaternário	12.400,0	9,0	--	6.250,0	20,0
Corda	12.026,0	6,5	1.260,0	14.710,0	70,0
Motuca	10.260,0	12,0	11.450,0	5.250,0	100,0
Pastos Bons	6.065,0	12,5	5.950,0	9.200,0	70,0
Sambaíba	3.234,0	14,0	1.350,0	2.650,0	200,0
Longá	2.880,0	0,0	164.800,0	20.150,0	180,0
Barreiras	500,0	31,0	--	4.965,0	60,0
Urucua/Corda/Pastos Bons	12.600,0	45,5	--	--	--
Corda/Pastos Bons	0,0	9,5	--	--	--
Pastos Bons/Motuca	1.600,0	9,5	1.650,0	1.900,0	90,0

FONTE: SEMAR, 2010a.

Da Tabela 3, nota-se que os maiores aquíferos, tanto em área como em reservas, são: Serra Grande, Poti/Piauí e Cabeças. Juntos, eles contêm 93,50% de toda a reserva permanente do estado (1.917.924 hm³/ano). O sistema Poti/Piauí recebe essa denominação porque são formações geológicas superpostas, o que em termos hidrogeológicos não apresentam uma grande significância sendo considerado como um só aquífero.

As reservas reguladoras desses três aquíferos também são as maiores, sendo o sistema Poti/Piauí apresentando o maior valor. Outra diferença entre os três é que enquanto o Serra Grande e o Cabeças se apresentam em maior proporção em estado confinado é quando esses aquíferos apresentam as maiores produções, o sistema Poti/Piauí apresenta-se em estado livre.

Uma particularidade dos aquíferos Cabeças e Serra Grande é que eles só contribuem em parte para o escoamento de base dos rios (entre 50 a 62%), enquanto que os demais aquíferos têm de 80 a 100% de sua vazão natural contribuindo para a vazão dos rios; o próprio sistema Poti/Piauí tem sua vazão integralmente convertida para o escoamento de base dos rios (SEMAR, 2010a).

Quanto aos parâmetros hidrodinâmicos, é preciso lembrar que variam de acordo com vários fatores, como a constituição litológica, carga potenciométrica e espessura do aquífero. Sendo assim, é importante que esses parâmetros sejam definidos para cada área de estudo

específica, como fazem Feitosa (1990) e Vidal (2003), que determinam os parâmetros dos aquíferos Serra Grande no Vale do Gurguéia e no município de Picos respectivamente. Contudo, apresentam-se nas Tabelas 04, 05 e 06; extraído do Plano Estadual (SEMAR, 2010a); que traz a variação desses valores para a bacia sedimentar do Parnaíba. Nesse trabalho foram trazidos apenas os valores para os aquíferos Serra Grande, Cabeças e Poti/Piauí.

Tabela 4 – Condutividade hidráulica dos principais aquíferos piauienses.

	Condutividade hidráulica (m/s)		
	Mín	Méd	Máx
Serra Grande	$1,0 \times 10^{-6}$	$5,3 \times 10^{-5}$	$3,0 \times 10^{-4}$
Cabeças	$6,8 \times 10^{-6}$	$5,3 \times 10^{-5}$	$2,7 \times 10^{-4}$
Poti/Piauí	$3,3 \times 10^{-7}$	$8,4 \times 10^{-6}$	$3,1 \times 10^{-5}$

Fonte: SEMAR (2010a)

Tabela 5 - Transmissividade dos principais aquíferos piauienses.

	Transmissividade (m/s)		
	Mín	Méd	Máx
Serra Grande	$1,2 \times 10^{-4}$	$9,1 \times 10^{-3}$	$5,2 \times 10^{-2}$
Cabeças	$1,0 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-2}$	$5,6 \times 10^{-2}$
Poti/Piauí	$6,7 \times 10^{-5}$	$2,1 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-2}$

Fonte: SEMAR (2010a)

Tabela 6 - Coeficiente de Armazenamento dos principais aquíferos piauienses.

	Coef. de armazenamento		
	Mín	Méd	Máx
Serra Grande	$2,4 \times 10^{-4}$	$4,2 \times 10^{-4}$	$7,1 \times 10^{-4}$
Cabeças	$6,0 \times 10^{-6}$	$7,6 \times 10^{-4}$	$2,9 \times 10^{-3}$
Poti/Piauí	$6,0 \times 10^{-5}$	$3,1 \times 10^{-4}$	$1,4 \times 10^{-3}$

Fonte: SEMAR (2010a)

É interessante notar das tabelas 04, 05 e 06 que os aquíferos Cabeças e Serra Grande apresentam parâmetros na mesma ordem de grandeza, enquanto o Poti/Piauí, são geralmente menores que os anteriores. Vale ainda notar a grande variabilidade dos valores quando se

compara as colunas de máxima, mínimo e média; em que esses valores na maioria dos casos podem ser maiores que dez vezes o outro.

Feitosa (1990) aponta que o aquífero Serra Grande apresenta uma grande variabilidade tanto na sua zona de afloramento quanto na parte do seu confinamento. Segundo o autor, na parte confinante, o limite inferior é bem irregular devido a grande movimentação do substrato cristalino, aumentando no sentido noroeste. Já o limite superior se mostra relativamente uniforme e gradativo, sendo sobreposto pelo aquífero Pimenteiras, sua camada confinante. A alimentação do aquífero é feita quase que exclusivamente pela infiltração da área aflorante (FEITOSA, 1990).

Ainda segundo o mesmo autor, o aquífero Cabeças apresenta espessuras que variam de 40 a 60 m, na parte aflorante, sendo que essa aumenta para o interior da bacia, podendo alcançar valores de até 300 m. O Plano Estadual (SEMAR, 2010a) cita que a alimentação do aquífero se dá por infiltração direta, pela infiltração dos rios e pela contribuição do Poti/Piauí. Segundo o Plano, a configuração piezométrica do aquífero Poti/Piauí indica a influência drenadora da rede hidrográfica da bacia sobre o sistema. Toda vez que o potencial hidráulico do sistema Poti/Piauí fosse maior que os demais aquíferos, ele poderia fornecer água aos aquíferos mais profundos, como o Cabeças.

O sistema Poti/Piauí, diferente do Cabeças e Serra Grande, apresenta sua parte aflorante mais a oeste do estado, sendo que a bacia do rio Gurgueia contém a maior área de afloramento – 20.645 km² (SEMAR, 2010a). Feitosa (1990) ressalta que no Vale do Gurgueia, o Poti/Piauí apresenta-se em condições de livre, com exceção apenas do extremo sudoeste, aonde é recoberto pelas formações Areado e Pedra de Fogo. Sua espessura, no vale, não ultrapassa os 100 m, mas, como mostra a **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, a média da sua espessura é de 400 m, o que demonstra que há lugares do estado em que o aquífero é bastante espesso.

O Plano (SEMAR, 2010a) ainda faz um levantamento das reservas reguladoras dos aquíferos por sub-bacia hidrográfica e constata que 3/4 desse volume estão situados nas bacias do Longá, Poti, Gurgueia, Alto e Médio Parnaíba. E que as bacias Longá, Poti, Gurgueia, Canindé e Baixo Parnaíba apresentam uma vazão de confinamento equivalente a 466 hm³/ano (18% da vazão natural), enquanto as demais bacias não apresentaram valor algum.

Vale lembrar que grande parte dessa potencialidade encontra-se em grandes profundidades. O Plano Estadual (SEMAR, 2010a) ao fazer o levantamento e sistematização dos poços perfurados no estado, mostra que, na maioria dos aquíferos e aquíferos, a

profundidade média dos poços é muitas vezes superior a 100,0 m, havendo casos, como no Serra Grande, de uma profundidade máxima de 1500 m. As vazões médias variam numa faixa de 8,0 a 22,0 m³/s (com exceção do embasamento cristalino que apresenta uma vazão inferior a 5,0 m³/s), sendo encontrado vazões máximas de até 600 m³/s (Cabeças).

Num relatório da CPRM (2015) cita que os aquíferos Serra Grande, Cabeças e Poti/Piauí apresentam uma produtividade alta a muito alta⁷⁰ quando na condição de confinados. Já quando livres varia de muito baixo a alto. A Tabela 4, na terceira coluna, ao trazer a unidade estratigráfica, o número entre parênteses representa a classe de produtividade da unidade segundo a classificação de Struckmeir e Margat (1995) modificada por Diniz (2012) e foi baseada no trabalho de Monteiro *et al.* (2016).

Feitosa, Feitosa e Demétrio (2012), ao estudar a produção dos aquíferos Cabeças e Serra Grande no Vale do Gurgueia, afirmaram que é possível extrair do Cabeças uma vazão de 20.000 m³/h durante 300 anos, sem que compromettesse a capacidade do aquífero, apenas utilizando a disponibilidade já instalada. Os autores recomendam a criação de uma Zona Estratégica de Produção de Água no Vale do Gurgueia, dada a alta potencialidade hídrica.

Como já mencionado no item anterior, a potencialidade do estado é de 4.515,70 hm³/ano, com uma disponibilidade instalada de 118,30 hm³/ano, ou seja, 2,60% da potencialidade.

Contudo, apesar desses valores, vale lembrar que o Plano baseia seus resultados em dados produzidos em 1975 pela SUDENE. Isso acontece porque apesar de haver banco de dados mais atuais como o SIAGAS, da CPRM, e o do órgão gestor; esses apresentam uma série de falhas. O primeiro, embora contenha uma enorme quantidade de poços cadastrados, muitas vezes a única informação encontrada é a localização, não sendo dado maiores detalhes sobre o aquífero explotado, a vazão, ou até mesmo se ele se encontra licenciado. Já o segundo, falha principalmente na identificação dos aquíferos, além disso, há falhas também de preenchimento nas coordenadas dos poços.

Soma-se a isso a falta de uma rede de monitoramento, impedindo, portanto, estimativas mais exatas sobre a potencialidade e reservas dos aquíferos.

⁷⁰A produtividade de um aquífero pode ser classificada em seis classes: Muito Alta (classe 1); Alta (classe 2); Moderada (classe 3); Baixa, porém localmente moderada (classe 4); Muito baixa, porém localmente baixa (classe 5); Pouco Produtiva ou Não Aquífera (classe 6). Para classificar uma unidade estratigráfica em uma dessas classes é preciso se levar em consideração a transmissividade, condutividade hidráulica, vazão específica e vazão horária. Mais detalhes estão expostos no trabalho de Monteiro *et al.* (2016).

7.4.3 Qualidade das águas subterrâneas

De uma maneira geral, a qualidade das águas subterrâneas no estado do Piauí é considerada boa, com um baixo índice de sólidos totais dissolvidos (inferior a 500 mg/L). Todavia no extremo norte e leste do estado, esse percentual vai aumentando para quantidades que podem ultrapassar os 1.000 mg/L (SEMAR, 2010b).

Vale lembrar que na região leste do estado é onde se encontra o embasamento cristalino. Júnior *et al.* (2006) analisaram a qualidade das águas subterrâneas na microrregião de Picos (macrorregião Semiárido) para uso em agricultura, aonde constata que quanto mais a leste, maiores são os riscos de sodificação do solo. Nessa região, para citar alguns dos parâmetros analisados, por exemplos, os valores de condutividade elétrica variam de 0,7 a 3,0 dS/m, havendo uma pequena área com valores superiores a 3,0 dS/m. Já para os valores de sódio, boa parte da região é caracterizada como uma moderada restrição para o uso da agricultura, pois apresenta valores superiores a 3,0 mmol/L.

No município de Picos; em específico; Oliveira *et al.* (2016) investigaram as condições sanitárias da qualidade das águas e constatou que das amostras coletadas 8,17% delas estavam contaminadas com coliformes fecais. Ainda que pequena a porcentagem, a autora lembra que esses agentes são os principais responsáveis pelas doenças entéricas.

Infelizmente, como se vê pelos trabalhos relatados, não há uma preocupação em determinar a qualidade das águas por aquífero, além disso elas se resumem a analisar a qualidade em relação ao padrão de potabilidade, já que o abastecimento humano é o principal uso das águas subterrâneas.

O Plano Estadual (SEMAR, 2010b) traz, entretanto, a análise iônica dos aquíferos Serra Grande e Cabeças. Contudo vale ressaltar que essas análises são baseadas em trabalhos de terceiros e limitados a certas áreas, uma vez que no escopo da licitação não estava previsto atividades de campo. Para ambos aquíferos foi utilizado o diagrama de Piper, do qual pode se afirmar o seguinte: para o Serra Grande há uma predominância de Bicarbonatas Mistas (46%), seguidas de cloretadas Sódicas (16%) e Cloretadas Mistas (12%); já para o Cabeças, Bicarbonatas Sódicas (50%) e Bicarbonatas Mistas (27%). Segundo Plano, águas carbonatadas representam águas recentemente infiltradas ou mais superficiais enquanto as cloretadas são reflexas de águas mais profundas, com um tempo de trânsito maior.

7.5 DEMANDAS HÍDRICAS

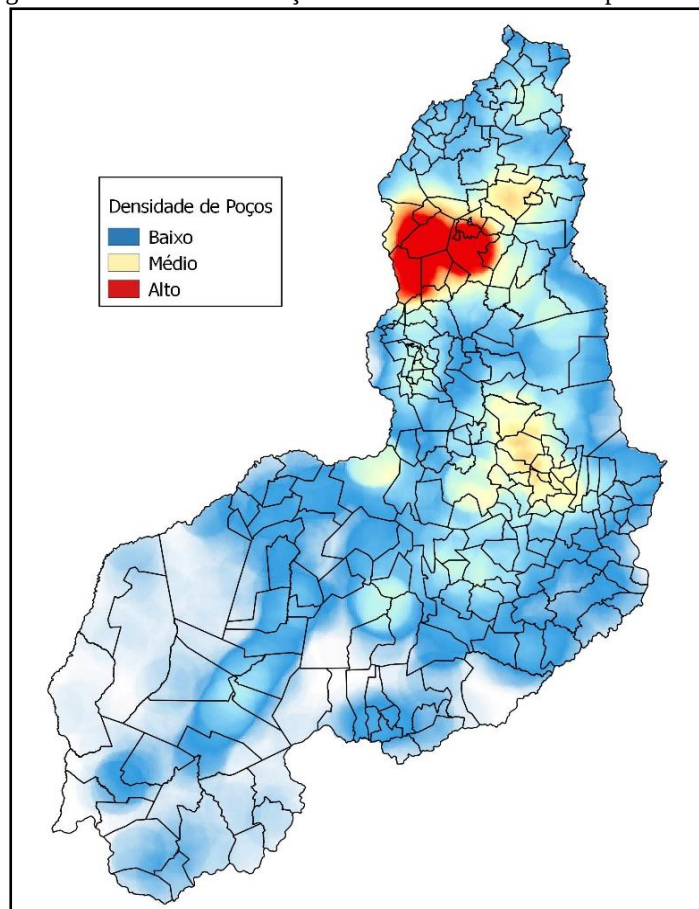
Segundo o SIAGAS (Sistema de Informações sobre Águas Subterrâneas), coordenado pela CPRM (Serviço Geológico do Brasil), o Piauí é o estado com o terceiro maior número de poços perfurados, com 29.172, representando 9,72% de todos os poços cadastrados na plataforma.

Vasconcelos *et al.* (2014) compararam a densidade demográfica dos municípios piauienses com a densidade de poços perfurados por municípios⁷¹. Os autores concluem que grande parte dos municípios possuem menos de 10 hab/km², o que já era esperado uma vez que a maior parte dos municípios possuem menos de 20 mil habitantes. Já com relação a densidade de poços, o estado se apresenta um pouco mais heterogêneo. Embora predomine uma densidade de 10 km²/poço, há uma grande quantidade de municípios com uma densidade maior que 50 km²/poço. Isso pode ser explicado, dado as grandes áreas dos municípios nessa região.

Segundo os autores, os municípios com maior número de poços são Oeiras, José de Freitas, Campo Maior e Teresina. De fato, quando se observa o mapa de calor produzido (Figura 35) a partir da localização dos poços cadastrados no SIAGAS, a região com a mais alta densidade se situa entre os três últimos municípios.

⁷¹ Vale ressaltar que as quantidades apresentadas pelos autores, no ano de publicação do estudo, são inferiores aos colhidos na plataforma SIAGAS atualmente.

Figura 35 - Densidade de Poços Cadastrados no SIAGAS para o Piauí



Fonte: O Autor

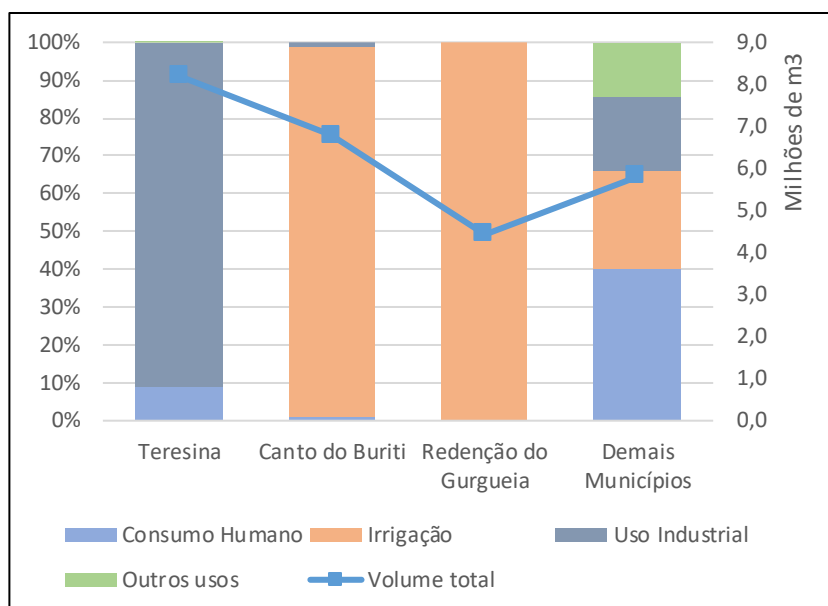
Infelizmente, apesar dessa grande quantidade de poços, nem sempre é possível encontrar informações completas no cadastro. Na verdade, muitas vezes a única informação que se tem é a localização do poço tubular. Outro grande defeito da plataforma é que não traz informações sobre o licenciamento do poço ou da outorga de recursos hídricos, o que torna árdua a tarefa para identificar usuários irregulares e mesmo confrontar com o cadastro presente no órgão gestor.

De uma maneira geral, quando são comparados o banco de dados do SIAGAS com o do órgão gestor, esse continha, em 2017, 6.350 processos de pedidos de outorga, sendo 95% para águas subterrâneas. Desses, apenas 46,16% haviam sido emitidos outorgas, os demais estavam em análise ou aguardando para serem analisados.

Foi feito um levantamento comparando as outorgas emitidas em 2016 e 2017, notou-se que em 2017 foram outorgados um volume quase 4 vezes maior que 2016, sendo quase completamente destinado para irrigação. As Figuras 36 e 37 apresentam os volumes outorgados em ambos os anos, destacando os principais usos e os municípios. Enquanto a

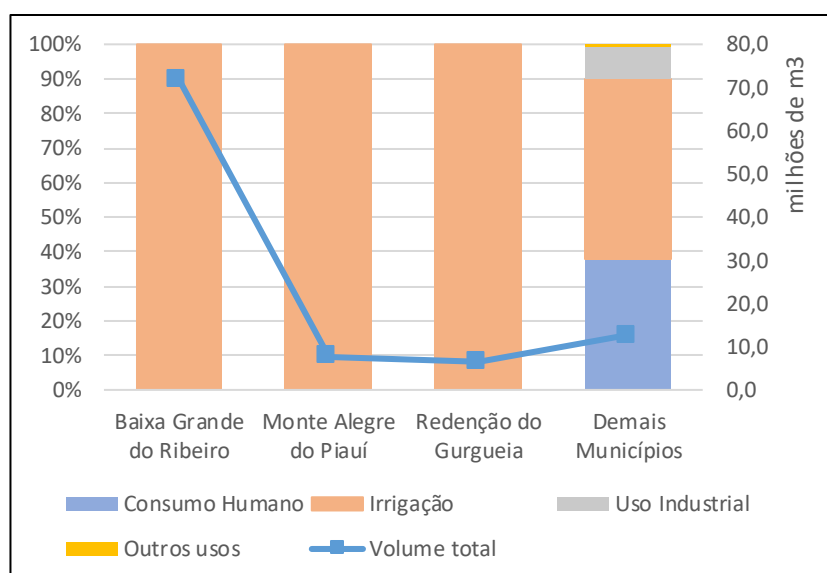
Figura 38 apresenta um panorama geral do estado considerando o volume médio outorgado por município e por finalidade.

Figura 36 - Volume outorgado pela SEMAR em 2016 por finalidade.



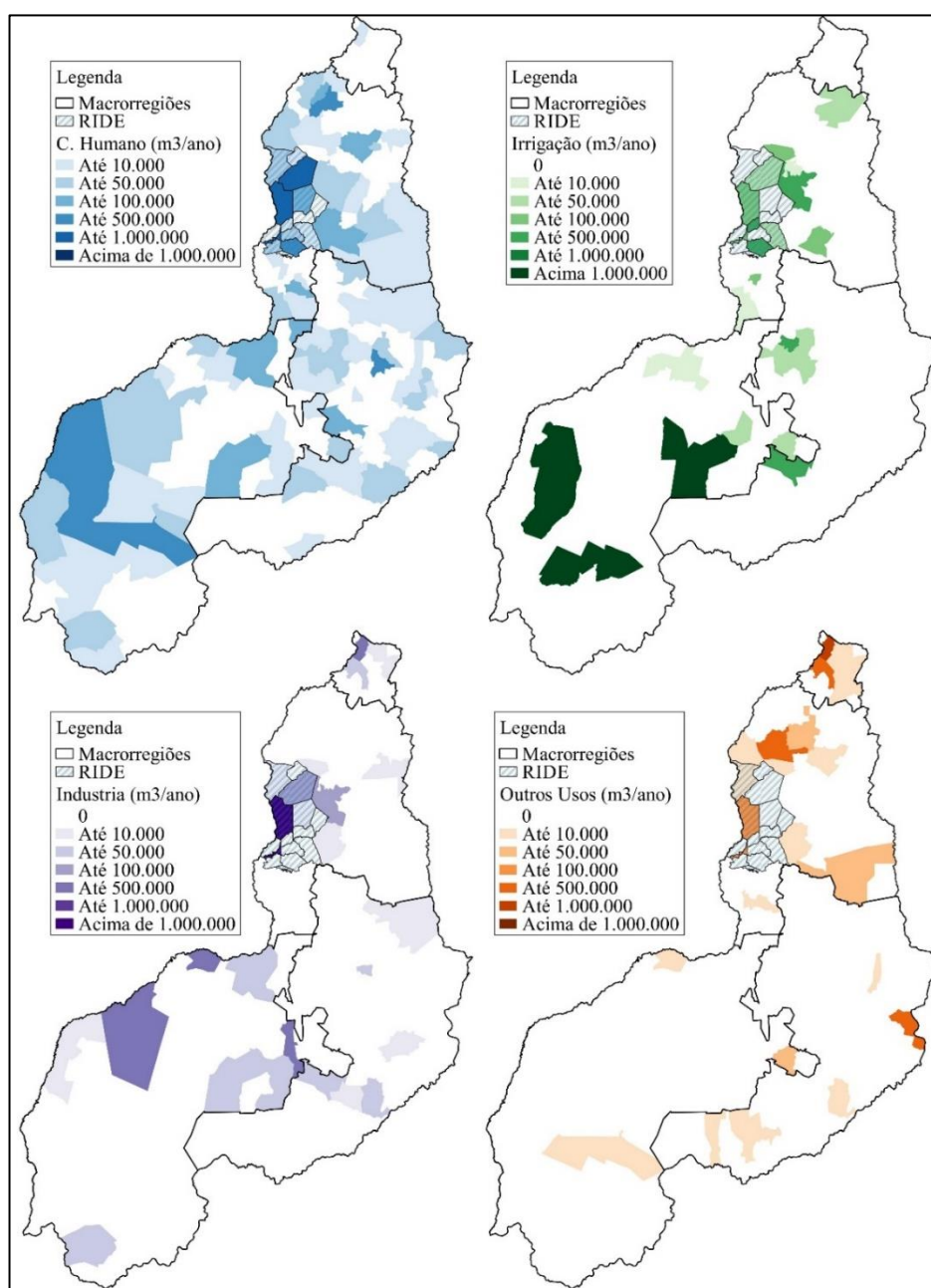
Fonte: O Autor

Figura 37 - Volume outorgado pela SEMAR em 2017 por finalidade.



Fonte: O Autor

Figura 38 - Volume médio outorgado por município no Piauí.



Fonte: O Autor

Pelas Figura 36 e 37, nota-se que a grande demanda é para irrigação, no entanto essa se concentra nos municípios do sul do estado, na região do Cerrados. Baixa grande do Ribeiro foi o município com o maior volume outorgado (aproximadamente 72 milhões de m³) para irrigação em 2017. Também vale dizer que os principais usos foram: irrigação, consumo humano (uso doméstico), e indústria. Esse último foi o principal uso outorgado em 2016, sendo Teresina a principal responsável.

Pela Figura 38 é possível notar que os pedidos para as finalidades de indústria e irrigação estão concentrados a alguns municípios, os para consumo humano (uso doméstico) são generalizados, contemplando quase todo o estado. Chama-se atenção para a capital Teresina, que se apresenta com uma grande versatilidade dos usos de água e em todos os mapas, com um volume significativo.

Embora seja pequeno o universo analisado, ele mostra certa congruência com os principais usos apresentado no Plano Estadual (SEMAR, 2010c), em que são eleitos a irrigação, o abastecimento humano, dessedentação animal e indústria. Com relação, a dessedentação animal não foi possível averiguar o volume destinado a essa, pois quando essa aparecia, dentre as finalidades, seu volume vinha junto com o consumo humano, não sendo possível conhecer a porcentagem do volume destinada a cada uso.

Ainda é possível averiguar como é prejudicial a enorme quantidade de usuários irregulares. No item 7.3 vê-se que o volume utilizado para abastecimento humano é de quase 50 milhões m³/ano, contudo no levantamento feito traz apenas um volume de 8 milhões m³/ano, sendo que esse volume refere-se ao consumo humano (uso doméstico); o abastecimento humano propriamente dito, aquele fornecido por concessionárias de água, não teve uma participação significativa nos volumes outorgados.

Esse exemplo mostra a precariedade do banco de dados do órgão gestor e, conseqüentemente, a dificuldade em fazer uma análise mais exata sobre o uso das águas subterrâneas. É necessário e imprescindível que sejam feitos um levantamento e um amplo cadastro dos usos e usuários de águas subterrâneas.

Outro exemplo, é o uso da água para irrigação, principalmente na macrorregião do Cerrados, entretanto não é possível dizer qual(is) as culturas utilizadas e, conseqüentemente, saber a eficiência dos sistemas utilizados, uma vez que no documento de outorga não traz essas informações. Além disso, vale citar que a soja, principal cultura da região, faz uso da agricultura de sequeiro.

Esse desconhecimento e a conseqüente ingerência dos recursos subterrâneos têm gerado situações adversas no estado. O Plano Estadual relata que apesar da demanda ser muito inferior (um quarto) da potencialidade, em algumas regiões encontram-se em risco de entrar em depleção dos níveis:

- a) Na bacia do Rio Longá o sistema aquífero Poti/Piauí já ultrapassou o seu limite de exploração, pelo que foi salientado em vermelho o valor negativo do valor dos recursos exploráveis, devendo haver uma gestão muito segura e estudos específicos de detalhe para investigar melhor a situação atual e futura;
- b) O mesmo sistema aquífero Poti/Piauí se acha próximo do limite de exploração nas sub-bacias do Poti (4,6 hm³/ano) e Canindé (7,68 hm³/ano);

c) O aquífero Pedra de Fogo está quase totalmente comprometido na sub-bacia do Poti, com apenas 0,09 hm³/ano;

d) O aquífero Cabeças que apresenta as maiores condições de exploração nas sub-bacias do Longá e Gurguéia, apresenta-se próximo ao limite de exploração na sub-bacia de Itaueira, com apenas 2,22 hm³/ano. (SEMAR, 2010a)

Por isso, ele elege algumas áreas de restrição a exploração, dividindo em dois grupos: zonas de controle do aquífero, que seriam um risco moderado de comprometimento do aquífero, e zona de proteção do aquífero, que exigira um nível mais rigoroso de proteção, “devendo ser imediatamente providenciados estudos hidrogeológicos locais” (SEMAR, 2010a). As zonas estão abaixo listadas e apresentadas pela Figura 39:

- P1 – Zona de Proteção do Sistema aquífero Poti/Piauí estendendo-se na sub-bacia dos cursos difusos do Baixo Parnaíba e no baixo curso da sub-bacia do Longá;
- P2 – Zona de Proteção do sistema aquífero Poti/Piauí e do aquífero Pedra de Fogo estendendo-se em parte da sub-bacia dos cursos difusos do Baixo Parnaíba (no entorno do município de Teresina) e baixo curso da sub-bacia do Longá;
- P3 – Zona de Proteção dos aquíferos Cabeças e Poti/Piauí na sub-bacia do Itaueira;
- C1 – Zona de Controle do aquífero Serra Grande no alto curso das sub-bacia do Longá e do Piraji;
- C2 – Zona de Controle do aquífero Serra Grande no alto curso da sub-bacia do Gurguéia;
- C3 – Zona de Controle dos aquíferos Cabeças e Poti/Piauí na sub-bacia do Canindé;
- C4 – Zona de Controle do aquífero Pedra de Fogo na sub-bacia da Barragem de Boa Esperança;
- C5 – Zona de Controle do aquífero Poti/Piauí na sub-bacia do Uruçuí Preto.

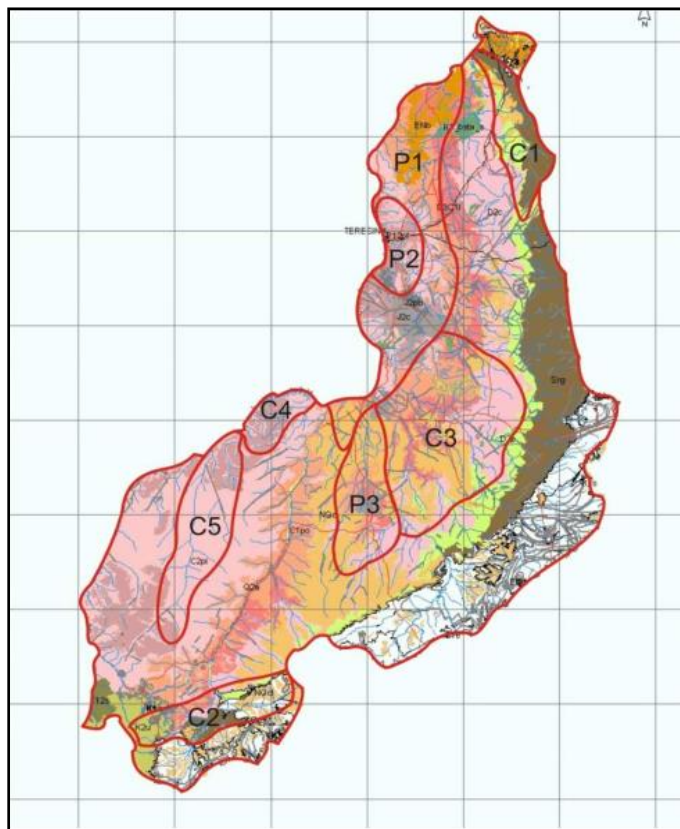
Dessas zonas, destaca-se as zonas P1 e P2, pois estão situadas a oeste do estado, próximas as margens do rio Parnaíba. Além disso, a zona P2 está dentro da P1 e basicamente engloba a RIDE Grande Teresina, uma área de grande adensamento populacional e também responsável pelos grandes volumes retirados dos mananciais subterrâneos.

A zona de controle C3, situada na bacia do rio Canindé, foca o aquífero Cabeças, contudo é nessa zona aonde se encontra o município de Picos, que Vidal (2003) aponta que o Serra Grande é o aquífero mais explorado e por causa disso, tinha sofrido um rebaixamento de 30 m na região estudada, na época. Talvez fosse necessário acrescentar mais uma zona de proteção dentro da C3, contornando esse município.

O Plano também não estabelece nenhuma zona para o Vale do Gurgueia, nos Cerrados, mas vale lembrar que o Vale é uma região conhecida principalmente pelos poços. Ainda vale

citar os autores Feitosa *et al.* (2012), que recomendam que a região seja considerada uma ZEPA (Zona Estratégica de Produção de Água Subterrânea), porque, segundo eles, é possível extrair do Cabeças uma vazão constante de 20.000 m³/h, por até 300 anos.

Figura 39 - Zonas de Proteção e Controle de Aquífero.



Fonte: Plano Estadual (SEMAR, 2010a)

Por último, o Plano (SEMAR, 2010a) alerta que se não forem tomadas medidas para contornar o uso abusivo dos recursos hídricos, aquíferos como o sistema Poti/Piauí poderão chegar ao seu limite num prazo de 8,6 anos na bacia do rio Longá. Assim é necessário que sejam feitas mudanças na gestão de recursos hídricos visando a sustentabilidade do uso das águas subterrâneas.

Do exposto até aqui, nota-se que o grande número de usuário irregulares e o desconhecimento da real demanda por águas subterrâneas são os principais entraves para uma gestão adequada. Além disso, a falta de controle e monitoramento propiciam um uso irracional do recurso e, embora a sua grande disponibilidade, já esteja sofrendo as consequências adversas desse uso.

8 SISTEMA ESTADUAL DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS

O Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SEGERH) foi criado pela lei nº 5.165, de 17 de agosto de 2000 (SEMAR, 2015) e as entidades que o compõem são:

- Conselho Estadual de Recursos Hídricos – CERH-PI;
- Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos – SEMAR;
- Comitês de Bacia Hidrográficas – CBH;
- Agências de Águas; e
- Órgãos dos poderes públicos estadual e municipal cujas competências se relacionam com a gestão de recursos hídricos.

Seus objetivos estão listados no art. 33 da lei supracitada, dos quais podem-se destacar: coordenar a gestão integrada de recursos hídricos; planejar, regular e controlar o uso, a preservação e a recuperação dos recursos hídricos e coordenar o Sistema Estadual de Informações sobre Recursos Hídricos (SEIRH). Contudo como se verá, muitas dessas funções acabam ficando a cargo do órgão gestor (SEMAR), sobrecarregando-o, limitando suas ações e contribuindo para o enfraquecimento da gestão.

Apesar das entidades citadas acima, existem apenas dois comitês de bacia: (i) Comitê da bacia do Rio Gurguéia; (ii) comitê da bacia do rio Canindé/Piauí, porém nenhum deles conta com uma agência de águas. Quanto aos órgãos públicos estadual e municipal, o Plano Estadual (SEMAR, 2010c) apresenta uma série de entidades que atuam na gestão, contudo de forma confusa, contribuindo para o enfraquecimento da gestão de recursos hídricos no estado e do órgão gestor.

8.1 CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS

O CERH-PI é o órgão deliberativo, consultivo e normativo central do sistema - I, art. 34, lei nº 5.165/2000 – (SEMAR, 2015), apresentando uma série de competências que vão desde o estabelecimento de diretrizes para a implementação da Política Estadual até a definição de procedimentos de outorga e cobranças pelo uso dos recursos hídricos. Sua formação é tripartite (Estado, usuários e sociedade civil), porém quando se analisa o decreto que aprova o seu regulamento - decreto nº 10.880, de 24 de setembro de 2002 - e

posteriormente o decreto nº 15.986, de 26 de março de 2015, que alterou sua estrutura; percebe-se que mais de 60% dos seus membros são formados por entidades do governo.

Segundo o art. 4º do decreto nº 10.880/2002 (SEMAR, 2015), os conselheiros do CERH-PI estão divididos em 04 categorias, com a seguinte representação: (i) 09 membros da administração estadual, (ii) 06 da administração municipal, (iii) 04 membros representando os usuários de recursos hídricos, (iv) 11 membros da sociedade civil.

Por essa organização, nota-se que o poder público apresenta 50,0% das cadeiras do Conselho, contudo se considerar que nos membros dos usuários está incluído a AGESPISA e nos membros da sociedade civil; DNOCS, IBAMA e CODEVASF; a representação do Estado vai para 63,33%. Jacobi (2003) alerta para o fato das decisões definidas por essa representação majoritária do governo, pois aumenta em muito o poder de manipulação dos consensos e dos resultados.

Um fato interessante é que o decreto nº 10.880/2002, inclui entre os usuários, representantes dos CBHs, mas não prevê vagas para as categorias de usuários do estado como fazem os Conselho Nacional (CNRH), e os conselhos estaduais de São Paulo (CRH-SP) e Pernambuco (CRH-PE), por exemplo. O único usuário de fato que tem direito a voz e voto é a AGESPISA, os demais não estão representados dentro do CERH-PI.

Ainda quando comparado com outros conselhos, uma diferença significativa é quanto a existência de câmeras técnicas. Nos três conselhos acima mencionados, as suas estruturas básicas incluem, de uma maneira geral, plenária e câmeras técnicas, mas no Piauí, só estão previstos a presidência, membros do conselho e secretaria executiva. Consequentemente não se tem dentro do CERH uma câmara especializada para águas subterrâneas como acontece nos demais.

Quanto a atuação, percebe-se que desde a adesão do estado ao PROGESTÃO, o CERH-PI tem mantido reuniões regulares, mas ainda carece de uma autonomia maior. As pautas das reuniões ainda são comandadas pela SEMAR e para aprovar demandas dessa.

A situação é semelhante quando se considera os comitês existentes. Existem no estado apenas dois comitês de bacias: Comitê da Bacia dos rios Canindé e Piauí e o Comitê da Bacia do rio Gurgueia, criados pelos decretos nº 13.585, de 18 de março de 2009, e 15.562, de 14 de março de 2014, respectivamente (SEMAR, 2015).

Os decretos de criação dos comitês são semelhantes entre si, diferindo apenas na composição, pois o CBH Canindé/Piauí contém 50% a mais de conselheiros do que o CBH

Gurgueia. Isso pode ser explicado pelo tamanho das bacias, já que a primeira é a maior bacia do estado, ocupando 30,09% da sua área⁷², enquanto a outra ocupa apenas 19,41%.

Outro ponto que chama a atenção é que apenas os representantes do estado deverão ser nomeados pelo governador, as demais representações deverão ser eleitas, até mesmo os representantes dos municípios - art. 4º - (SEMAR, 2015). Além disso, mais uma vez não são definidas as categorias de usuários, nem tampouco a quantidade de votos, que deverão ter nos CBHs. O art. 3º, inciso II, de ambos os decretos, apenas determina que 50% dos votos sejam da sociedade civil e usuários da bacia.

Art. 3º - O Comitê será composto por:

I - Até dezesseis representantes do poder público, distribuídos de forma paritária entre os representantes dos poderes executivo estadual e municipais;

II - Até dezesseis representantes de usuários e de entidades da sociedade civil, com atuação na sua área de recursos hídricos, com sede ou representação na bacia hidrográfica, de forma paritária. (SEMAR, 2015).

Chama a atenção ainda para esse art., pois quando se compara com a resolução CNRH nº 05, de 10 de abril de 2000, em seu art. 8º, inciso I (MMA, 2014), que determina que a quantidade de votos dos poderes da União, Estado, Distrito Federal e Municípios não ultrapasse 40%, porém isso não é respeitado nos decretos estaduais.

Na estrutura básica dos comitês também não são previstos câmaras técnicas ou grupos de trabalhos especializados, o que remete ao mesmo problema do CERH. Mas ainda o principal problema é a falta de atuação dos comitês. Só agora recentemente é que eles passaram a ter reuniões periódicas. No ano de 2016, ambos os comitês renovaram seus conselhos, o que era a primeira eleição desde a sua criação.

Ainda, como o estado, por intermédio da SEMAR, pretende aderir ao PROCOMITÊ, programa de fortalecimento dos comitês de bacias gerido pela ANA, é possível que a atuação deles melhore, já que para receberem os recursos do programa são necessários cumprir as metas estabelecidas, assim como no PROGESTÃO.

8.2 O ÓRGÃO GESTOR DE RECURSOS HÍDRICOS

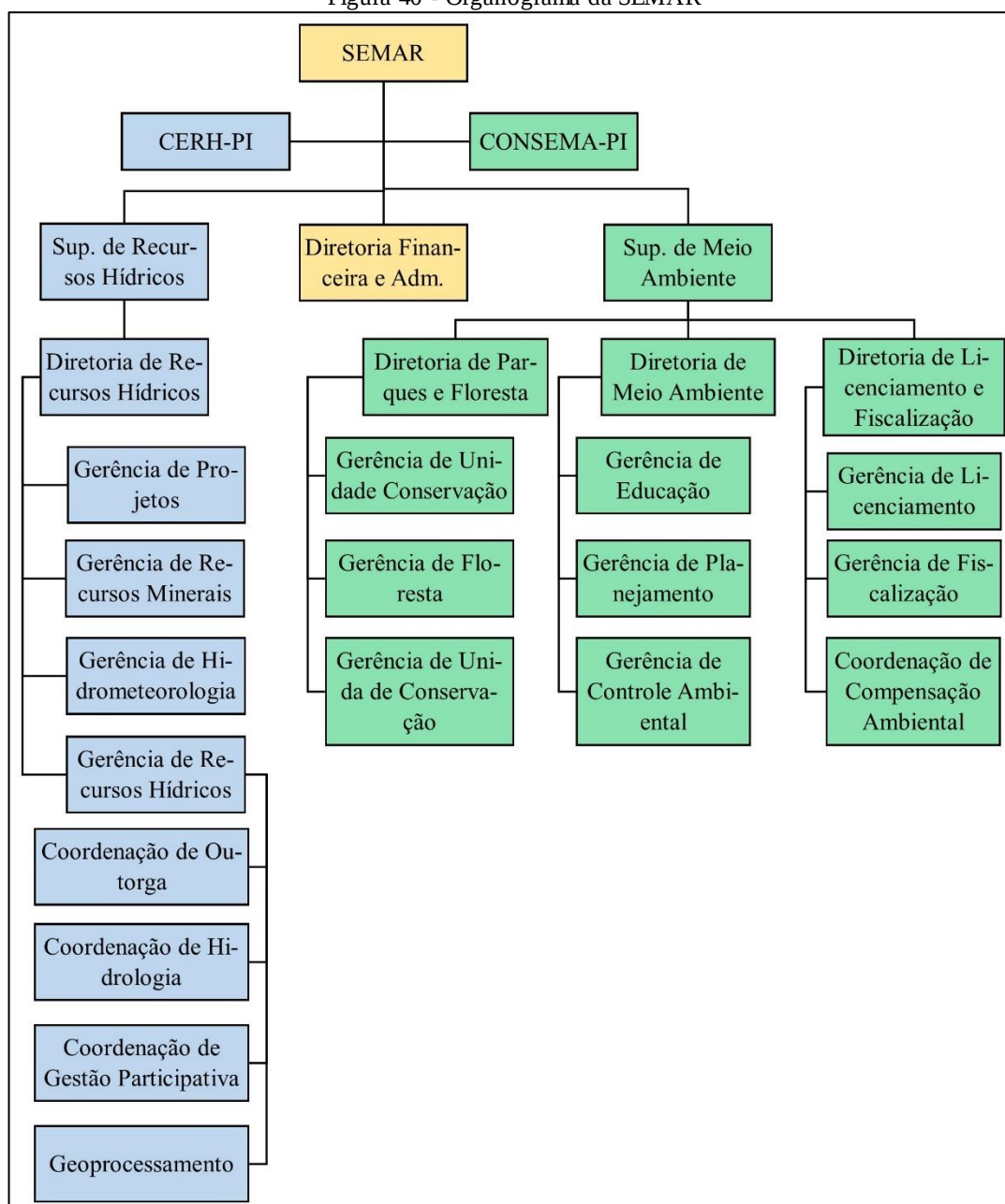
Como já mencionado, a SEMAR é o órgão gestor de recursos hídricos. Foi criada pela lei estadual nº 4.797, de 24 de outubro de 1995, sendo sua estrutura definida pela lei complementar nº 28, de 09 de junho de 2003, alterada pela lei complementar nº 113, de 04 de

⁷² Atualmente a área do estado do Piauí é de 251.611,929 km² segundo o IBGE.

agosto de 2008, que delimitou os espaços de meio ambiente e de recursos hídricos dentro da Secretaria (SEMAR, 2015).

Quanto a estrutura organizacional, a SEMAR se mostra complexa na parte de meio ambiente, com essa apresentando diretorias e departamentos especializados para a gestão de meio ambiente, mas estrutura de recursos hídricos é simplista, praticamente linear e vertical, concentrando-se basicamente no instrumento de outorga (SEMAR, 2010c). A Figura 40 apresenta o organograma do órgão gestor destacando as superintendências de meio ambiente e recursos hídricos.

Figura 40 - Organograma da SEMAR



FONTE: SEMAR, 2010c.

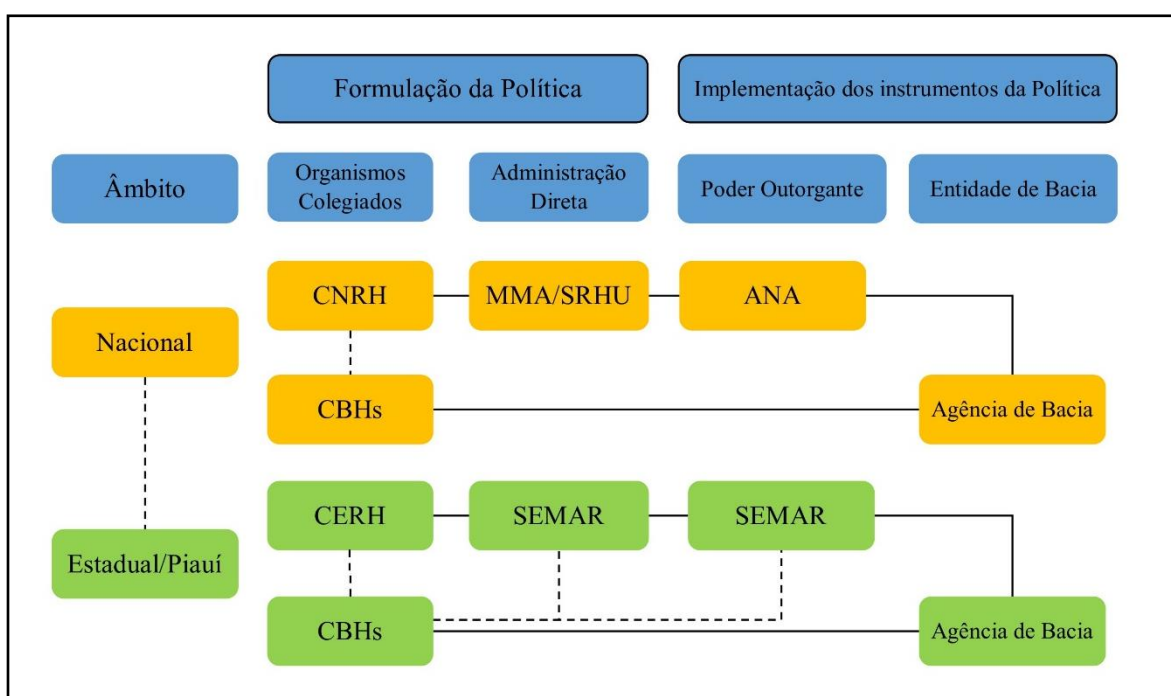
“Deixa-se de lado, portanto, toda a perspectiva de fortalecimento da área de recursos hídricos que embasa o Plano Estadual de Recursos Hídricos, fundamental para implementação de uma Política de Recursos Hídricos no Estado.” (SEMAR, 2010c).

Mas sem um monitoramento adequado das fontes e dos usos, e sem a aplicação dos demais instrumentos de gestão, a análise e emissão de outorga torna-se um procedimento burocrático, sem qualquer análise mais concisa e complexa do uso dos recursos hídricos e dos impactos desse para o meio ambiente e demais usuários. De fato, como se verá no item seguinte a análise da outorga é simplista.

Quanto às suas competências, a SEMAR não é somente o órgão gestor de meio ambiente e de recursos hídricos, mas também o responsável por formular e executar ambas políticas – alínea b, art.2º, lei nº 4.797/1995 – (SEMAR, 2015), o que difere da estrutura padrão apresentada pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA).

Na escala federal, a competência para formular a política é exercida pelo Conselho Nacional (CNRH) e pela Secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental (SRHU), enquanto a Agência Nacional de Águas tem a função de implementar os instrumentos de gestão, principalmente a outorga. Na escala estadual todas as funções são exercidas pela SEMAR como se pode ver pela Figura 41.

Figura 41 - Sistema de gerenciamento nacional e estadual dos recursos hídricos



Fonte: Adaptado do site do MMA.

Ainda como competências, acrescenta-se a fiscalização, o planejamento, coordenação supervisão das ações relativas aos recursos hídricos; preservação, conservação e uso racional; pesquisa e fomento na área e educação ambiental - art. 2º, lei nº 4.797/1995 – (SEMAR, 2015). Além disso, o órgão passou a ter competência para a fiscalização da segurança de barragens do estado com a publicação da lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010 (BRASIL, 2010).

Contudo, o corpo técnico da SEMAR atualmente é de 170 funcionários⁷³, sendo que apenas 05 não atuam na sede, em Teresina. Dos 165 funcionários, apenas 21 fazem parte da Superintendência de Recursos Hídricos (SRH), desses apenas 03 são servidores efetivos, auditores fiscais ambientais.

Para o Plano Estadual esse é o principal gargalo da SEMAR. Para ele seria ideal que fosse realizado concurso público, principalmente para ocupar as 100 vagas destinadas aos analistas ambientais e especialistas em meio ambiente⁷⁴ (SEMAR, 2010c).

Também pode-se citar a alta rotatividade de profissionais, já que para cumprir metas de programas como Progestão/Pacto das Águas e Piauí: Pilares do Desenvolvimento, a SEMAR acaba contratando profissionais temporários, mas uma vez findo o programa e, conseqüentemente o recurso, esses profissionais são dispensados e a Secretaria tende a voltar a sua pequena força de trabalho. Além disso, os avanços produzidos pelos programas tendem a não continuar, pois o órgão volta a ficar sobrecarregado e já não há mais técnicos responsáveis por cuidar daquela área.

Com o órgão gestor sobrecarregado e com dificuldades para cumprir suas competências, não é difícil imaginar que outros órgãos, para suprimir essas falhas na gestão, absorveram certas competências mesmo quando não previstas no seu escopo. O Plano Estadual de Recursos Hídricos (SEMAR, 2010c) caracterizou isso como pulverização de competências, e exemplifica o fato mostrando as várias instituições tanto estaduais quanto federais que exercem alguma função na gestão de recursos hídricos, como é o caso da AGESPISA, concessionária de saneamento estadual, que exerce funções de planejamento, administração e regulamentação dos recursos hídricos quando na verdade deveria se preocupar com a gestão de abastecimento de água e esgotamento sanitário dos municípios. O

⁷³Informação retirada do Portal da Transparência. Disponível em: <http://transparencia.pi.gov.br/apex/f?p=101:4:32897275844003::NO:::>. Acessado em: 11/09/2017

⁷⁴Com a publicação da lei nº 6.556, de 07/07/2014, tanto os analista e especialistas passaram a se chamar auditores fiscais ambientais, apresentando um novo plano de cargos e salários.

Plano (SEMAR, 2010c) relata ainda casos mais graves como a Secretaria de Fazenda e de Educação promovendo obras de poços tubulares para atender pequenas comunidades rurais.

A própria SEMAR chegou a exercer funções que não competiam a ela, como a execução de obras de adutoras, o que com certeza representa um conflito ético, pois o órgão ambiental (fiscal) é o mesmo que está executando a obra. Embora atualmente essa função seja do Instituto de Desenvolvimento do Piauí (IDEPI), a SEMAR ainda tem sob sua responsabilidade a conclusão das obras da adutora Bocaina/Piauí II na bacia do rio Canindé.

Assim, para se pensar num modelo de gestão de recursos hídricos é preciso levar em conta a estrutura do órgão gestor e que também sejam previstas medidas para o seu fortalecimento. Nesse sentido, o Plano (SEMAR, 2010c) elenca algumas medidas para isso, divididas em dois blocos: fortalecimento interno – que compreende realização de concurso público, capacitação, treinamento, reestruturação e descentralização -, e fortalecimento externo – elaboração e divulgação do Plano, celebração de acordos e convênios com a ANA, CHESF e DNOCS, e implantação das unidades de gerenciamento.

Infelizmente, dessas atividades apenas a capacitação dos servidores tem sido cumprida, mas há uma promessa para realização de um concurso público para contratação de 24 auditores fiscais ambientais, criadas pelo projeto de lei nº 32, 04 de agosto de 2017 (PIAÚÍ, 2017b).

Ainda é preciso citar a lei nº 6.995, de 17 de março de 2017, que definiu programas e investimentos estratégicos e com eles, criou coordenadorias estratégicas para cuidar de cada programa. Uma dessas coordenadorias foi a Coordenadoria de Recursos Hídricos. Segundo a essa lei, o programa de Gestão dos Recursos Hídricos tem os seguintes objetivos:

- a) promover a conservação e gestão dos recursos hídricos em articulação com a política ambiental e com participação social, com vistas a proporcionar o uso múltiplo da água de forma sustentável;
- b) implantar o Sistema Estadual de Monitoramento dos Recursos Hídricos e o Plano de Gestão de Recursos Hídricos por Bacia Hidrográfica;
- c) desenvolver ações para infraestrutura, recuperação, manutenção e modernização de barragens, visando melhorar suas condições operacionais e de capacidade de armazenamento (PIAÚÍ, 2017a).

A lei ainda altera a lei complementar nº 28, de 09 de junho de 2003, acrescentando o art. 12-B, em que cita que as coordenadorias são órgãos independentes, dotados de autonomia gerencial, financeira, orçamentária e contábil (§ 1º, art. 12-B).

Da leitura dos parágrafos anteriores, pode-se observar que essa coordenadoria apresenta atividades conflitantes com o órgão gestor e com outras entidades do SEGERH,

além disso, o fato de não estar vinculada à SEMAR ou ao CERH-PI contribui ainda mais para enfraquecimento do Sistema e a pulverização de competências relatada anteriormente.

Assim, o órgão gestor estadual, além de não conseguir cumprir com suas responsabilidades, tem que lidar com outros órgãos ou entidades assumindo suas competências, gerando uma grande confusão na gestão de recursos hídricos, mas principalmente na sua credibilidade perante a sociedade, o que como foi levantado no projeto da Governança das Águas Subterrâneas é um dos principais problemas enfrentados por diversos países a ser sanado.

8.3 LEGISLAÇÃO SOBRE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

A legislação sobre recursos hídricos do estado do Piauí é pequena, basicamente composta por decretos. Como marco inicial para a gestão de recursos hídricos pode-se colocar a criação da Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMAR), por meio da lei nº 4.797, de 24 de outubro de 1995 (SEMAR, 2015), que desvinculou a pasta da antiga Secretaria de Meio Ambiente, Ciência, Tecnologia e do Desenvolvimento Urbano.

Mas foi apenas com a publicação da lei nº 5.165, de 17 de agosto de 2000, que estabeleceu a Política Estadual de Recursos Hídricos e a criação do Sistema Estadual de Gerenciamento, que se definiu as diretrizes para a gestão de recursos hídricos. A referida lei, muito semelhante a Política Nacional de Recursos Hídricos, além de estabelecer as competências de cada entidade do Sistema de Gerenciamento, também destinou uma parte inteira sobre as águas subterrâneas (SEMAR, 2015).

Ressalta-se a importância disso. Uma lei é o segundo maior nível dentro da hierarquia brasileira, só sendo superada pela constituição. Para que uma lei seja modificada, alterada ou revogada há a necessidade de se seguir um processo legislativo e a depender do tipo de lei (se complementar ou ordinária), pode ainda ser exigido a maioria absoluta dos votos da câmara (BRASIL, 1988). Esse mesmo procedimento não é seguido, por exemplo para um decreto, que é um ato impessoal e imperativo do chefe do executivo, facilmente revogado pelo mesmo autor. As resoluções e portarias são atos internos de um determinado órgão, ainda mais fáceis de serem alterados. Vale ainda dizer que decretos, resoluções e portarias devem estar em consonância com as leis de referências, não podendo criar nada, apenas detalhar o que diz a lei, caso contrário, podem ser invalidados.

Dado essa visão geral do que é uma lei e do que representa, volta-se ao conteúdo da Política Estadual, em específico a parte sobre águas subterrâneas. Começa-se falando sobre as áreas de proteção estabelecidas nos art. 51 a 56.

As áreas de proteção estabelecidas na lei são três:

- Área de Proteção Máxima - que se refere à proteção de zonas de recarga de aquíferos altamente vulneráveis a poluição e a zonas essenciais para o abastecimento humano;
- Área de Restrição e Controle - disciplina das extrações e controle máximo das fontes poluidoras já implantadas e restrições a fontes potencialmente poluidoras;
- Área de Proteção de Poços e Outras Captações – aquela área de proteção dos poços e a distância mínima entre poços e outras captações.

Nota-se que essas áreas são as mesmas definidas pela resolução CNRH nº 92/2008 (MMA, 2014).

Em 04 de novembro de 2015, se valendo desses artigos, a SEMAR, por meio da portaria nº 101, proibiu a perfuração de poços no vale do Gurgueia (art. 31), mais precisamente na área de estudada por Feitosa *et al.* (2012) (SEMAR, 2015). Embora seja baseado na lei, possua até mesmo justificativas técnicas para isso, ao tomar essa decisão de forma unilateral, sem consultar o comitê da bacia do rio Gurgueia, nem tampouco o CERH-PI, a decisão enfraquece o sistema, além de gerar conflitos entre as entidades.

O art. 58, da lei nº 5.165/2000, fala sobre os poços jorrantes, determinando que esses sejam dotados de dispositivos que impeçam o desperdício de água ou desequilíbrio ambiental. Em menção a isso, no ano de 2008, a SEMAR, contratou uma empresa com o objetivo vistoriar os poços jorrantes no vale do Gurgueia, emitir parecer sobre sua estrutura e, por fim, colocar o registro neles. Foram eleitos 100 poços que podiam receber registros, dos quais foram implantados em 40, numa primeira etapa. Todavia a segunda etapa não foi realizada, e numa vistoria de 2015, constatou-se que dos 40 poços, apenas dois ainda continham registro, sem contudo, obedecer as regras de operação estabelecidas.

O último artigo que se chama a atenção é o art. 63, que obriga, num prazo de 360 dias contados da publicação da lei, que todos os poços sejam regularizados com pedido de outorgas emitidos. Uma vez que não se tenha pensado na logística para essa operação e nem tampouco na capacidade do órgão gestor, a obediência a esse artigo torna-se um pouco problemática.

Nessa mesma problemática, pode-se citar a lei nº 6.474, de 23 de dezembro de 2013, que criou o Cadastro Estadual de Fontes e Usuários de Recursos Hídricos do Piauí, regulamentada pelo decreto nº 16.142, de 14 de agosto de 2015 (SEMAR, 2015). Por esses dispositivos, o estado obriga a SEMAR a cadastrar todos os usuários de recursos hídricos num prazo de 05 anos - art. 7º lei nº 6.474/2013 – (PIAUI, 2013). Porém, recai-se novamente na falta de corpo técnico para executar a atividade.

Dos decretos referentes à gestão de recursos hídricos, não há um único específico para a gestão de águas subterrâneas, porém pode-se citar o decreto nº 11.341, de 22 de março de 2004; juntamente com a resolução CERH nº 04, de 26 de abril de 2005, os quais tratam dos critérios para emissão de outorga preventiva e de direito de uso, que serão abordados no item seguinte.

8.3.1 Outorga de águas subterrâneas

A outorga juntamente com o Fundo Estadual de Recursos Hídricos são os únicos instrumentos aplicados no estado, porém a outorga é o instrumento melhor desenvolvido. Como se pode notar pela Figura 40 é o único instrumento que possui um departamento especializado na Superintendência de Recursos Hídricos (SRH). Ao todo são 7 aparatos legais que influenciam direta ou indiretamente a análise dos pedidos de outorga:

- Decreto nº 11.341, de 22 de março de 2004 – regulamenta a outorga preventiva de uso e a outorga de direito de uso de recursos hídricos do Estado do Piauí, nos termos da lei nº 5.165, de 17 de agosto de 2000 (SEMAR, 2015);
- Decreto nº 16.478, de 11 de março de 2006 – institui a certidão especial de regularidade ambiental - CERTAL para pequenos produtores rurais, e revoga o art. 4º do decreto nº 14.921, de 14 de agosto de 2012, e dá outras providências (SEMAR, 2015);
- Decreto nº 16.669, de 01 de agosto de 2016 - Dispõe sobre a cobrança destinada aos custos operacionais decorrentes dos processos de emissão ou de renovação de outorgas preventivas e de uso de recursos hídricos no Estado do Piauí, revoga o Decreto nº 12.184, de 24 de abril de 2006, e dá outras providências (SEMAR, 2015);
- Resolução CERH-PI nº 001, de 26 de outubro de 2004 – estabelece procedimentos específicos para o licenciamento ambiental e fiscalização de

obras de perfuração de poços, na região entre os rios Parnaíba e Poti, no perímetro urbano de Teresina (SEMAR, 2015);

- Resolução CERH-PI nº 004, de 26 de abril de 2005 – dispões sobre critérios e procedimentos provisórios para outorga preventiva e outorga de direito de uso de recursos hídricos (SEMAR, 2015);
- Portaria GAB SEMAR nº 101, de 04 de novembro de 2015 – dispõe sobre a autorização para perfuração e recuperação de poços tubulares no Estado do Piauí e dá outras providências (SEMAR, 2015).

Pela leitura dos tópicos acima, depreende-se que existem dois tipos de outorga: (i) preventiva e (ii) outorga de direito de uso. A primeira é pré-requisito para a segunda e se destina a reservar a vazão passível de ser outorgada não garantindo o uso do recurso hídrico - §1º, art. 2º, decreto nº 11.341/2004 – (SEMAR, 2015), já a segunda é o ato administrativo que garante o uso do recurso hídrico ao usuário.

O decreto também estabelece quais são os usos que independem de outorga, ou seja, aqueles usos insignificantes, no entanto, é com a resolução CERH nº 004/2005 que são estabelecidos os limites. Nesse trabalho apenas se destacou os limites referentes as águas subterrâneas: (i) poços com vazão de uso de até 2,0 m³/h, ou exclusivamente para pesquisa; (ii) volume para abastecimento das necessidades de núcleos populacionais rurais de até 600 habitantes (SEMAR, 2015).

Vale dizer também que, apesar de dispensar a outorga para os usos acima, a resolução obriga o cadastro, ficando em consonância com a lei estadual nº 5.165/2000 e o decreto nº 11.341/2004. Ainda, estabelece que quando o somatório das captações e derivações desses tipos de usuários atingirem 20,0% da vazão de referência ou do explícito conflito de uso em um dado manancial, não serão dispensados de outorga - § 2º, art 3º, resolução CERH 004/2006 – (SEMAR, 2015).

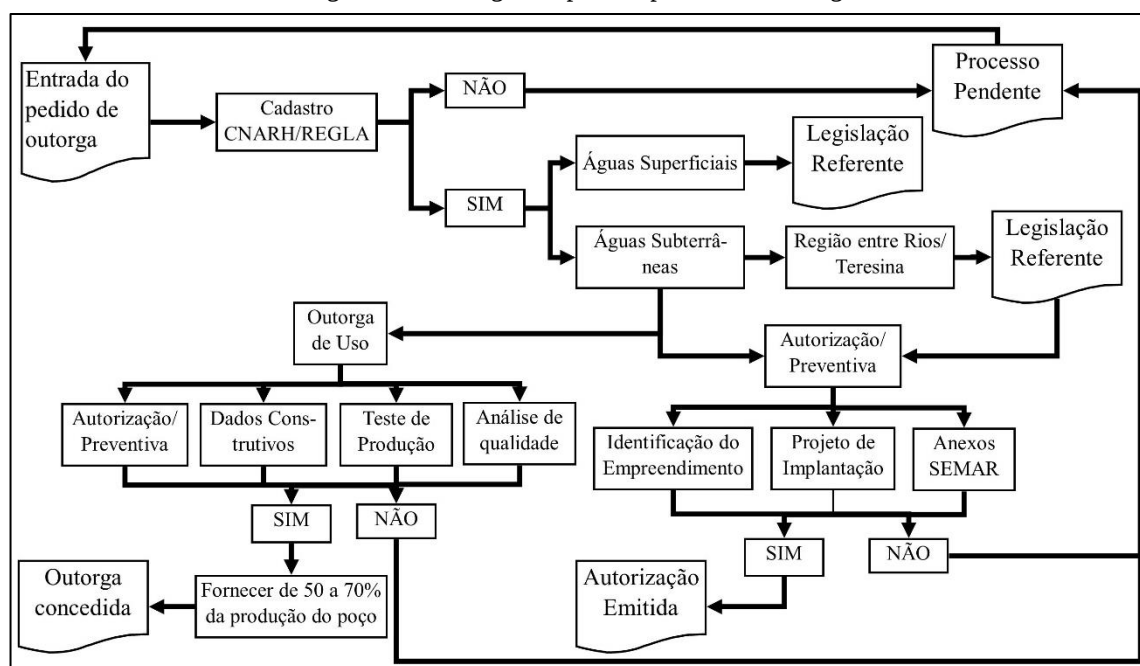
Também foi criado uma resolução aprovando procedimentos específicos para a região entre rios da capital Teresina. As justificativas para isso são dadas dentro da própria resolução: (i) características litoestruturais das formações geológicas que predispões as obras de perfuração de poços a desmoronamento; (ii) a dificuldade de estudos plenamente confiáveis por métodos indiretos, dado a alta densidade de ocupação, impossibilitando a avaliação do grau de risco das obras.

Com a publicação da portaria GAB SEMAR nº 101/2015 (SEMAR, 2015) houve alteração no licenciamento de poços. Anteriormente, o usuário de águas subterrâneas possuía

ao todas cinco licenças ambientais (licença prévia, licença de instalação, licença de operação, outorga preventiva e outorga de uso), com a publicação dessa portaria, o número de licenças reduziu para três (autorização, outorga preventiva e outorga de direito de uso), sendo que a autorização para perfuração de poços é emitida em conjunto com a outorga preventiva.

Ao analisar essas legislações é possível montar um fluxograma para obtenção das licenças ambientais, que está representado na Figura 42. O leitor deve reparar que as documentações necessárias para composição do processo de pedido de outorga preventiva e autorização para perfuração de poços estão reunidas em três conjuntos: (i) identificação do empreendimento, que se refere a documentos explicitando quem será o usuário, aonde será perfurado o poço tubular e qual a finalidade; (ii) projeto de implantação, referente ao projeto básico para construção do poço, abarcando o diagnóstico socioeconômico e geológico e hidrogeológico; (iii) anexos SEMAR, que são termos de referência preparados pelo próprio órgão para auxiliar o usuário e padronizar os pedidos. Neles são incluídos: mapa de localização, formulário para a finalidade de uso, perfil construtivo do poço tubular, entre outros.

Figura 42 - Fluxograma para os pedidos de outorga



Fonte: O Autor

Chama-se atenção para o procedimento anterior a emissão da outorga de uso: “Fornecer de 50 a 70% da produção do poço”. Na verdade, ele se refere ao art. 7º da resolução CERH nº 04/2005 (SEMAR, 2015), que determina que a vazão máxima para emissão da

outorga para poço tubular deve ser de no máximo 50% do teste de bombeamento do poço, com duração mínima de 24 horas. Porém, para o consumo humano essa porcentagem é de até 70%.

O que se percebe desse fluxograma é a falta do cálculo do balanço hídrico da fonte. De fato, se o usuário apresentar todos os documentos exigidos e se a vazão pedida estiver dentro dos requisitos do parágrafo anterior não há motivos para que não se emita a outorga. Como já mencionado, a falta de monitoramento e a aplicação dos demais instrumentos, impossibilita uma análise mais criteriosa. Isso acaba gerando casos como o relatado no item 7.5, em que 10% da disponibilidade do aquífero Cabeças foi autorizado para um único uso. É claro que, como atenuantes, apenas foram emitidas outorgas preventivas, além disso a legislação dar amplos poderes ao órgão gestor de rever a qualquer tempo o ato administrativo; o que nesse caso é essencial.

9 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O capítulo a seguir apresenta um resumo do que foi encontrado, fazendo as devidas comparações entre os modelos e com o que diz o projeto Governança das Águas Subterrâneas. O Quadro 5 traz um resumo do que foi encontrado até o momento. A seguir será discutido cada um dos itens.

Vale ressaltar que quando analisado o modelo brasileiro, foi considerado a nível nacional, ou seja, a atuação da União. É claro que em alguns momentos são citados bons exemplos estaduais e até mesmo níveis locais

9.1 NÍVEL DA GESTÃO

O projeto Governança das Águas Subterrâneas estabelece que a gestão deve ser descentralizada e local, mas integrada com as esferas de poder. Como as águas subterrâneas são um recurso essencialmente local, o ideal é que haja agências locais de gerenciamento, com uma equipe capacitada, com o vasto conhecimento do recurso e da realidade local para tomada de decisões. Elas ainda devem ser responsáveis pelo envolvimento dos *stakeholders* na gestão.

Os outros níveis de gestão (estadual e nacional) devem ser responsáveis pelo suporte financeiro, estratégias de monitoramento, alocação de recursos, regulamentações; ou seja, devem ocupar um nível mais estratégico.

Porém, o que se nota é que há uma preferência pela escala regional, ficando a gestão centralizada nesse nível. O Projeto critica esse tipo de gestão, pois é no nível local que o trabalho é mais intenso, onde são necessários profissionais com perfis de líderes, capazes de resolver problemas, mas também com um know-how suficiente para saber coletar, analisar e interpretar os dados do monitoramento.

Apenas a Califórnia prioriza a gestão local, determinando a criação das agências sustentáveis e da elaboração dos planos diretores, os demais a gestão é centralizada no estado. No caso brasileiro, há a previsão de agências de bacias, porém não há uma regulamentação para sua criação, e a sua operação está condicionada aos recursos financeiros provenientes da cobrança. Nesse sentido são poucas as agências existentes, mas um bom exemplo é o estado do Ceará, em que existem inspetorias do órgão gestor espalhadas pelas unidades de gerenciamento.

Quadro 5 - Comparação Entre os Modelos Analisados.

Governança	Austrália	Califórnia	Israel	Brasil	Piauí
Nível de gestão	Estadual, centralizada	Local, descentralizada	Nacional, centralizada	Estadual, descentralizada	Estadual, centralizada
Quadro Legal	NWI, Planos Diretores, Mercado das Águas, Títulos de Água	SGMA, Planos Diretores, direito ribeirinho, cobrança de taxas	Water Law; Planos Diretores; cobrança pelo uso; várias outras leis infraconstitucionais	PNRH; Planos Diretores; cobrança pelo uso; resoluções do CNRH, CONAMA e MS	PERH; Plano Diretor; resoluções do CERH e portarias SEMAR
Liderança	Entidades estaduais	Agências Sustentáveis	Water Authority	Órgãos estaduais	SEMAR
Informação e conhecimento	NGIS, water accounting;	BMP; Bulletin 118	Possui sistema de informação nacional, divulgando os resultados regularmente	SIAGAS; Conjuntura	Não possui
Monitoramento	Cada estado possui sua rede de monitoramento, mas há uma preocupação na padronização dos dados	As agências locais são incentivadas a fazer parte do CASGEM.	Feito pelo Water Authority. Todos os usuários são monitorados	Há uma pequena rede concentrada em alguns aquíferos (RIMAS)	Não possui

Quadro 5 - Comparação Entre os Modelos Analisados

Governança	Austrália	Califórnia	Israel	Brasil	Piauí
Envolvimento dos Atores	A sociedade tem que ser consultada na elaboração dos planos diretores e ser informada sobre os usos e títulos de água	A sociedade tem que participar de todo o processo de elaboração dos planos diretores, há procedimentos específicos para informação da população	Não há uma participação efetiva. Governo se preocupa com programas de conscientização ambiental.	CNRH, CBHs	CERH, CBH
Integração com outras políticas	Integração com o saneamento e a exigência de gestão conjunta com as águas superficiais e meio ambiente	Integração com o setor de saneamento, mas a necessidade de integração é delegada aos planos	Ampla integração com setor de saneamento	Exigido na política, mas delegado aos planos	Exigido na política, mas delegado aos planos.
Financiamento da gestão	É permitido cobrar dos usuários	É permitido cobrar dos usuários pela extração ou outra atividade regulada	Cobrança pelo uso dos recursos hídricos, diferenciada por finalidade	Previsão de cobrança pelo uso e aplicação em alguns casos	Previsão de cobrança pelo uso
Diretrizes para os Planos	Estabelecido no NWI	Estabelecido no SGMA	Sem uma lei específica.	Resolução nº CNRH 22/2002	Não tem

Fonte: O Autor

Na Austrália, embora o NWI tenha firmado um pacto pelo fortalecimento da gestão das águas no país, os estados-membros têm autonomia sobre a gestão das águas. Situação semelhante à brasileira, a União fica com um papel de ditar procedimentos gerais e dar incentivos para a gestão.

Em Israel a gestão é nacional, centralizada e concentrada. Como se pode depreender da leitura do Capítulo 6, o Estado é detentor da água presente no seu território, inclusive das águas da chuva, e muito embora haja a previsão de outorga de direito de uso, essa é muito difícil de ser emitida como afirma OCDE (2015).

No Piauí, a gestão também se caracteriza por ser centralizada e concentrada, contudo diferente de Israel, a gestão é precária e o órgão gestor não consegue atender a todas as competências que lhe foram atribuídas.

O Quadro 6 traz um resumo das informações encontradas.

Quadro 6 - Nível de Gestão dos Casos Analisados.

País	Nível de Gestão		
Austrália	Estadual	Descentralizada	
Califórnia	Local	Descentralizada	
Israel	Nacional	Centralizada	Concentrada
Brasil	Estadual	Descentralizada	
Piauí	Estadual	Centralizada	Concentrada

Fonte: O Autor

9.2 ARCABOUÇO LEGAL

O projeto da Governança das Águas Subterrâneas (FAO, 2016a) recomenda que os direitos de uso da água sejam separados do direito de propriedade do solo, as águas subterrâneas sejam públicas, licenças para poços tubulares e extração de água, transparência e compartilhamento de dados, e controle da poluição. Com relação a esse último, os modelos brasileiro e de Israel são, sem dúvida, o que mais se destacam, apresentando parâmetros específicos para as águas subterrâneas de acordo com a classe. Em Israel, os parâmetros de qualidade das águas são ditados pelo Ministério da Saúde, enquanto no Brasil existem a resolução CONAMA nº 396/2008 (CONAMA, 2008) e a portaria PRC MS nº 05/2017 (MS, 2017). Os demais modelos, apenas trazem, na sua legislação, aspectos genéricos da qualidade, preocupando-se muito com a intrusão salina.

Com relação aos outros aspectos apontados, a Califórnia mais uma vez destoa dos demais. Isso porque o estado não respeita os dois primeiros quesitos. No estado impera o direito ribeirinho. Entretanto, com a promulgação do SGMA os usuários ficam obrigados a informar as agências locais sobre o volume extraído e a sua finalidade. Além disso, os usuários precisam preencher um formulário anualmente informando uma série de parâmetros para as agências.

O modelo australiano é um caso interessante, pois o NWI é um acordo feito entre os estados membros que devem perseguir os objetivos em comuns através do desenvolvimento dos oito pontos-chaves. O NWI determina que os estados devam seguir os princípios da gestão adaptativa (“aprendendo fazendo”). Além disso, o meio ambiente é considerado um usuário de recursos hídricos e para tal os estados devem identificar os ecossistemas dependentes das águas, caracterizá-los, identificar o volume e a qualidade da água necessária para esse ecossistema, bem como a sua resiliência às mudanças.

O NWI incentiva o mercado das águas, pois entende que ele pode propiciar um uso mais eficiente do recurso, contudo ele só pode ser aplicado, em regiões que possuam um grande conhecimento do regime hídrico. Também cita-se a questão dos títulos de água, que podem ser provisórios ou vitalícios. Esses títulos são fornecidos pelos órgãos gestores após análises, assim como as outorgas de direito de uso, entretanto, o usuário pode vender o uso dessa água a outrem desde que informe aos órgãos competentes.

O modelo brasileiro e de Israel são bem parecidos quando se trata do número de atos normativos a respeito da gestão das águas, em que ditam aspectos específicos da gestão, porém a análise das leis do segundo ficou prejudicada, pois não foi possível encontrar arquivos em inglês. As poucas informações conseguidas provêm de artigos e dos relatórios da OCDE, no qual se verificou que houve algumas alterações no Water Law, sendo esse responsável apenas pela regulação da gestão da água, havendo outros normativos para regular a qualidade, o planejamento, a construção e a proteção ao meio ambiente.

Ainda vale dizer que, embora sejam emitidos documentos para direito de uso da água, é algo bem raro de algum usuário conseguir. Como se viu mais acima, o Estado detém o controle de toda a água e essa é distribuída pelo NWC e/ou pelas concessionárias que distribuem aos usuários.

No modelo brasileiro, além das resoluções dos conselhos nacionais, citam-se os casos dos estados como São Paulo, Pernambuco e Goiás com leis específicas e outros que destinam uma parte de um ato normativo para as águas subterrâneas como a resolução do Conselho Estadual do Amazonas e lei que promulgou a Política Estadual do Piauí.

Para finalizar, é exposto a Quadro 7 trazendo um resumo do quadro legal dos casos analisados.

Quadro 7 - Arcabouço legal dos casos analisados.

País	Quadro Legal			
	Lei Principal	Existência de Planos Diretores	Financiamento da gestão	Outros Normativos
Austrália	NWI	Sim	Mercado das Águas (títulos de água)	Não verificado
Califórnia	SGMA	Sim	Cobrança de Taxas	Não verificado
Israel	Water Law	Sim	Cobrança pelo uso	Não verificado
Brasil	PNRH	Sim	Cobrança pelo uso os recursos hídricos	Resoluções do CNRH, CONAMA, MS
Piauí	PERH	Sim	Previsão de cobrança	Resoluções CERH e portarias SEMAR

Fonte: O Autor

9.3 LIDERANÇA

Para o Projeto é essencial que haja alguém ou alguma instituição com papel de líder, pois a esse caberá executar as ações da gestão, motivar o envolvimento dos atores, buscar apoio político e também dar credibilidade à gestão. Em todos os modelos analisados, esse papel é exercido por instituições públicas. Mas enquanto na Califórnia, há uma preferência (um requisito) por agências locais, nos demais essa função é exercida por agências estaduais.

Em todos os modelos também nota-se uma preocupação em haver ações coordenadas com instituições de escala nacional. Assim, na Califórnia há as agências locais que se comunicam com o Departamento de Recursos Hídricos (DWR); na Austrália os órgãos gestores estaduais com a Agência de Meteorologia (BoM), e a Comissão de Produtividade (PC) e acima deles o Conselhos dos Estados Australianos (COAG); em Israel a liderança é exercida pela Autoridade da Água, órgão gestor, mas também pode ser citado o Mekorot, um empresa pública que fornece e administra o abastecimento de água; e no Brasil há os órgãos gestores estaduais.

Vale ressaltar que a identificação do líder nem sempre significa que ele tenha a devida credibilidade para gerir as águas subterrâneas. É o caso do Piauí, em que apesar da SEMAR ser o órgão gestor e, por lógica, o líder; percebe-se no estado uma pulverização e competências da gestão e uma alta descredibilidade do órgão, num cenário em que há um alto número de usuários irregulares, e ações de gestão são executadas por órgãos em que nada tem a ver com a gestão de recursos hídricos.

Para finalizar, é exposto a Quadro 8 trazendo um resumo do quadro legal dos casos analisados.

Quadro 8 - Liderança dos casos analisados.

País	Liderança
Austrália	Órgãos estaduais
Califórnia	Agências Locais
Israel	Autoridade da Água
Brasil	Órgãos estaduais
Piauí	SEMAR

Fonte: O Autor

9.4 INFORMAÇÃO, CONHECIMENTO E MONITORAMENTO

Para o Projeto, há quatro pilares que sustentam a informação e o conhecimento: (i) coleta de dados, (ii) armazenamento, processamento e interpretação de dados; (iii) compartilhamento da informação, (iv) tradução e disseminação.

Há uma preocupação nos modelos australiano e californiano em seguir esse padrão. Ambos possuem uma rede de monitoramento, um sistema de informação e divulgação dos dados à população. Mais uma vez, o modelo australiano chama a atenção, porque há uma preocupação em padronizar os dados coletados e facilitar a sua análise e, por conseguinte, a sua divulgação. No país houve uma preocupação em padronizar as unidades geológicas, sua delimitação, a frequência do monitoramento, e estabelecer procedimentos para o processamento dos dados. Também se destaca o Water Accountig, que é o relatório emitido anualmente pelo BoM informando a porcentagem do volume de água utilizada pelo meio ambiente e demais usuários de águas subterrâneas.

Na Califórnia, com a introdução do CASGEM (Monitoramento dos Níveis Piezométricos das Águas Subterrâneas), não há um problema com a padronização do

monitoramento. Na verdade, a principal preocupação é a sua operacionalização, já que muitas bacias estão localizadas em áreas pouco adensadas, logo elas devem pedir auxílio financeiro e técnico ao DWR.

Em Israel, todas essas funções são exercidas pela Autoridade da Água. O país mantém todos os usos sob monitoramento e medição e regularmente divulga seus dados na página da Autoridade da Água.

No caso brasileiro, há apenas a rede administrada pela CPRM. - o RIMAS – que se concentra em alguns aquíferos no território. Contudo há a intenção da implantação de uma rede em nível nacional e mais abrangente para monitorar aspectos quantitativos e qualitativos. Os Quadros 9 e 10 apresentam um resumo

Quadro 9 - Análise da informação e conhecimento.

País	Informação, Conhecimento	
	Sistema de informação	Relatório Conjuntura
Austrália	NGIS	water accounting
Califórnia	Possui sistema de informação	BMP e Bulletin 118
Israel	Possui sistema de informação nacional, divulgando os resultados regularmente	
Brasil	SIAGAS	Conjuntura
Piauí	Não possui	

Fonte: O Autor

Quadro 10 - Análise da Rede de Monitoramento.

País	Monitoramento
Austrália	Cada estado possui sua rede de monitoramento, mas há uma preocupação na padronização dos dados
Califórnia	As agências locais são incentivadas a fazer parte do CASGEM.
Israel	Feito pelo Water Authority. Todos os usuários são monitorados
Brasil	RIMAS
Piauí	Não possui

Fonte: O Autor

9.5 ENVOLVIMENTO DOS ATORES

O Projeto em vários momentos lembra que o envolvimento dos atores no processo de gestão é importante. O Projeto entende que a participação dos vários atores na gestão leva a

boas políticas e melhores planos de gerenciamento. Além disso, com o envolvimento deles, cresce a importância do tema e as ações tornam-se mais fáceis de serem implementadas.

Em todos os modelos foram notados dispositivos para a participação popular. Tanto o modelo australiano quanto o californiano exigem a participação da sociedade na elaboração dos planos diretores, sendo o segundo mais incisivo, exigindo que a população participe desde a elaboração para a produção do plano. No primeiro, a participação popular tem um caráter mais consultivo. Em Israel, embora o governo faça campanhas para a conscientização ambiental e no conselho da Autoridade da Água seja destinado assentos para a sociedade, as pessoas que ocupam tais assentos são indicadas pelo Ministério de Energia, o que faz com que a gestão das águas fique nas mãos do governo.

O modelo brasileiro estabelece procedimentos para a participação. São as chamadas arenas de debates, que são os conselhos e comitês. Cada uma dessas arenas possuem um regimento e constituição própria, mas sendo respeitado o disposto na lei nº 9.433/1997 (BRASIL, 1997). Quanto a efetividade do modelo, Jacobi (2005) cita que ainda há muito que ser feito, isso porque apesar do grande número de comitês formados, muitos enfrentam problemas de atuação. Geralmente, os órgãos gestores tratam essas arenas como uma etapa burocrática do processo de gestão; há uma dificuldade na participação dos pequenos usuários; há dificuldade na mobilização dos atores; e muitos não estão capacitados ou não entendem como funciona a gestão de recursos hídricos. Esse parece ser exatamente o caso do Piauí. O Quadro 11 resume as informações apresentadas.

Quadro 11 - Envolvimento dos Atores

País	Envolvimento dos Atores
Austrália	A sociedade tem que ser consultada na elaboração dos planos diretores e ser informada sobre os usos e títulos de água
Califórnia	A sociedade tem que participar de todo o processo de elaboração dos planos diretores, há procedimentos específicos para informação da população
Israel	Não há uma participação efetiva. Governo se preocupa com programas de conscientização ambiental.
Brasil	CNRH, CBHs
Piauí	CERH, CBHs, Comissões Gestores de Açudes

Fonte: O Autor

9.6 INTEGRAÇÃO COM OUTRAS POLÍTICAS

É importante que a gestão das águas subterrâneas não seja tratada de modo isolado, que seja entendido como ela afeta, impacta as demais políticas. O projeto Governança das Águas Subterrâneas estabelece dois tipos de links que devem ser vistos: os internos, de impacto direto, e os externos, impacto indireto. Os primeiros estão relacionados com a gestão das águas superficiais e saneamento, já o segundo refere-se às políticas de uso e ocupação do solo, do espaço subsuperficial e a energia.

Dos modelos analisados, percebe-se que os links internos são bem definidos na gestão. Tanto o modelo australiano quanto o californiano, há uma preocupação com o saneamento, principalmente com o componente do abastecimento público. Ainda, no australiano, o NWI estabelece que onde houver uma interação direta entre águas superficiais e subterrâneas, esses recursos devem ser geridos como se fossem um.

O modelo australiano apresenta uma visão interessante quanto à integração com a gestão de meio ambiente ao inserir o conceito de ecossistemas dependentes de águas subterrâneas (GDE). Como já se mencionou anteriormente, deve se identificar tais ecossistemas e a sua necessidade pelas águas subterrâneas. Esses ecossistemas devem ser monitorados e as tomadas de decisões devem levar em consideração a sua preservação e conservação.

Nesse ponto, o governo australiano por intermédio do BoM produziu um extensivo trabalho identificando todos os GDE e, ainda, elaborou duas cartilhas para auxiliar os estados no gerenciamento e caracterização deles. O problema dessa gestão refere-se ao fato que os impactos não são percebidos a curto prazo e nem tampouco de fáceis identificação, o que pode acabar frustrando os gestores. Logo, é preciso um monitoramento constante e de longo prazo.

Israel é o que mais se destaca nesse quesito. Dado a sua gestão centralizada e concentrada, o estado consegue monitorar todos os usos e usuários de água. Além disso, as políticas de alocação de água levam em conta diversos fatores desde os climáticos até o tipo de cultura, no caso da agricultura.

No modelo brasileiro, no art 3º da PNRH é dado um pequeno rol de políticas que devem ser integradas (meio ambiente; uso e ocupação do solo; diversidades físicas, demográficas, econômicas, sociais, culturais), entretanto a integração entre as políticas fica a cargo dos planos diretores que ao fazer o planejamento devem considerar todas as interferências na gestão.

Quanto aos links externos, não se destacou nenhuma ação de gestão, embora haja a exigência de, quando da elaboração dos planos diretores, que eles sejam identificados e levados em consideração. O Quadro 12 apresenta um resumo das análises feitas.

Quadro 12 - Integração entre as Políticas.

País	Integração entre as políticas
Austrália	Integração com o saneamento e a exigência de gestão conjunta com as águas superficiais e meio ambiente
Califórnia	Integração com o setor de saneamento, mas a necessidade de integração é delegada aos planos
Israel	Ampla integração com setor de saneamento
Brasil	Exigido na política, mas delegado aos planos diretores
Piauí	Exigido na política, mas delegado aos planos diretores

Fonte: O Autor

9.7 FINANCIAMENTO DA GESTÃO

Nessa parte é discutido como conseguir recursos para financiar a gestão e o fortalecimento das águas subterrâneas. O Projeto cita a direta relação entre a economia e o uso das águas subterrâneas e a necessidade de redirecionar recursos para a sua preservação e proteção. Nesse ponto entra em pauta a valoração da água, e os instrumentos financeiros de gestão como forma não só de promover o uso consciente, mas também de financiar a gestão.

Embora o modelo australiano exija que haja uma política de preços para financiamento da gestão, ele não é muito claro sobre quais instrumentos utilizar. Na verdade, o NWI traz uma série de recomendações sobre a precificação da água para as regiões metropolitanas e zonas rurais, além disso, exige que sejam públicos todos os custos com o gerenciamento dos recursos hídricos. Uma das exigências feitas é quanto ao cálculo do preço da água: que seja incluído nele os impactos ao meio ambiente, mas somente quando for viável.

Os modelos californiano e brasileiro estabelecem a cobrança pelo uso de recursos hídricos, embora nesse ainda é um instrumento pouco aplicado. O californiano ainda deixa a critério das agências para que essas cobrem por outras atividades como forma de financiar a gestão, no entanto, tanto os preços como as taxas devem ser justificadas à população.

No modelo de Israel são cobradas duas taxas: (i) uma referente ao custo de abastecimento e operação do sistema; (ii) e outra pela extração de água. Os usuários são enquadrados em cotas de volume em que para cada cota é definido um valor pelo metro cúbico da água. Ainda há os investimentos feitos pelo próprio governo para desenvolver novas tecnologias para aumentar a oferta hídrica. O Quadro 13 traz um resumo das informações encontradas.

Quadro 13 - Financiamento da gestão.

País	Financiamento da gestão
Austrália	É permitido cobrar dos usuários
Califórnia	É permitido cobrar dos usuários pela extração ou outra atividade regulada
Israel	Cobrança pelo uso dos recursos hídricos, diferenciada por finalidade
Brasil	Previsão de cobrança pelo uso e aplicação em alguns casos
Piauí	Previsão de cobrança pelo uso

Fonte: O Autor

9.8 DIRETRIZES PARA O PLANO DIRETORES

Os planos de gerenciamento deverão ser criados a partir da caracterização dos aquíferos, do seu estado atual, oportunidades e riscos, dos objetivos do gerenciamento, do monitoramento, da avaliação e ajustamentos para um novo ciclo. É importante citar que nem todos os aquíferos necessitam de um plano de gerenciamento. Esse deve ser produzido principalmente para aquíferos prioritários, que devem ser escolhidos ou ranqueados a partir da consideração de fatores sociais, econômicos, dos objetivos do gerenciamento, do foco ambiental, e outros fatores.

Dos modelos, o californiano é o que segue a risca o que diz o Projeto. Embora todos contenham diretrizes gerais para a elaboração dos planos, o californiano estabelece que esse devem ser feitos primeiramente para as bacias prioritárias, havendo prazos para sua elaboração e execução. Foi estabelecido uma metodologia para a escolha das bacias prioritárias, que levam uma série de oito fatores como, densidade demográfica, número de poços perfurados, vulnerabilidade, dependência socioeconômica, entre outros.

Essas bacias foram classificadas em quatro níveis: alta prioridade, média prioridade, baixa e muito baixa prioridade. Aos dois primeiros foram estabelecidos os prazos para a produção do plano. Por essa classificação também há uma preferência para o monitoramento.

Nos demais modelos, há diretrizes gerais para o estabelecimento dos planos diretores nas leis principais, com exceção de Israel. Na verdade, existe um plano diretor para o país, chamado de Master Plan, produzido em 2012 e com horizonte de projeto de 08 anos.

O Quadro 14 apresenta um resumo das informações encontradas.

Quadro 14 - Diretrizes para os Planos Diretores.

País	Diretrizes para os Planos Diretores
Austrália	Estabelecido no NWI
Califórnia	Estabelecido no SGMA
Israel	Sem uma lei específica
Brasil	Resolução nº CNRH 22/2002
Piauí	Não tem

Fonte: O Autor

9.9 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO

Como se nota, há uma certa congruência entre os modelos analisados e o projeto Governança das Águas subterrâneas, principalmente no que diz respeito ao monitoramento e divulgação das informações. Ainda há uma preocupação com a participação da sociedade na gestão (embora seja notada que essa aconteça em diversos níveis) e também com as formas para o financiamento da gestão.

Contudo eles destoam do Projeto quanto ao nível de gestão, em que há uma preferência para uma gestão centralizada e a nível mais estadual. Também quanto as licenças, apenas a Califórnia não segue esse princípio, embora haja um acompanhamento dos usos feitos. Com relação a integração entre outras gestões, nota-se uma certa heterogeneidade. Embora a maioria encarregue os planos diretores para isso, há uma preocupação maior com as políticas de saneamento (destacando o componente de abastecimento de água). A Austrália, ao implementar a análise de risco e gestão dos ecossistemas dependentes de águas subterrâneas promove uma interessante integração entre o meio ambiente e recursos hídricos.

Comparando essas regiões com o Brasil e, principalmente com o Piauí, nota-se que o estado precisa percorrer um longo caminho para uma gestão adequada das águas subterrâneas. Contudo, por mais desejável que seja adotar algumas técnicas explanadas aqui, tem que se ter em mente o estágio da gestão no Piauí, mas especificamente a sua estrutura inicial, pois não se pode exigir do estado um monitoramento do nível de Israel, quando não tem nem uma rede

básica. Ainda precisa-se levar em consideração o corpo técnico do órgão gestor e a capacidade técnica dos seus profissionais e dos membros dos comitês e conselho.

Dentro do corpo técnico da SEMAR não há um único profissional especializado em geologia ou hidrogeologia, na verdade os técnicos concursados apresentam formação em gestão ambiental, tendo pouco entendimento sobre hidrologia. É certo que com o empenho da Agência Nacional de Águas, promovendo cursos sobre gestão de recursos hídricos, esse problema tem sido em parte contornado, porém como a principal demanda para outorgas é para águas subterrâneas, os cursos de capacitação oferecidos pela agência deixam a desejar.

Ainda há a questão dos instrumentos de gestão. Hoje, no estado, apenas é utilizado a outorga, contudo é feito uma análise muito simplista e que desconsidera outros parâmetros, concentrando-se apenas na produção do poço. Além disso, sem a aplicação dos demais instrumentos e de ações como monitoramento, torna-se difícil uma análise mais complexa e exata do pedido, o que acaba por tornar o instrumento um ato meramente burocrático.

Quando se compara a gestão no estado com as deficiências apontadas pelo projeto Governança das Águas Subterrâneas, nota-se que são preenchidas todas as seis deficiências. Logo, é premente que elas sejam sanadas antes de elaborar modelos mais complexos, mas que possibilitariam um maior suporte para a gestão.

Portanto, levando em consideração esses aspectos, o modelo proposto foi elaborado sob três eixos: (i) monitoramento; (ii) promoção e ampliação do conhecimento; (iii) critérios para outorga. Como não se pode mexer na estrutura do órgão gestor, nem tampouco exigir dele ações para as quais não possui capacidade, pensou-se num modelo com o intuito de executar o básico, considerando a pequena força de trabalho da SEMAR.

O monitoramento é, sem dúvida, o que mais irá exigir empenho. Como se viu nos Capítulos 4 e 6, a obtenção de dados é fundamental para uma gestão adequada, portanto o monitoramento é imprescindível, mas dado a incipiência da gestão no Piauí, foi pensando em um programa de forma gradual e progressiva a fim de atingir os objetivos do monitoramento.

O eixo “Promoção e Ampliação do Conhecimento” tem o objetivo de promover o conhecimento sobre águas subterrâneas e a realidade do estado e fortalecer o Sistema de Gerenciamento Estadual. Existem muitos estudos já realizados no Piauí em áreas específicas que dão uma boa noção da disponibilidade hídrica subterrânea, ainda há o diagnóstico feito pelo Plano Estadual (SEMAR, 2010a), todavia é preciso fazer com que essas informações sejam divulgadas e compreendidas pela sociedade em geral, o que poderá promover uma conscientização e aumentar a preocupação da sociedade perante o recurso utilizado.

O último eixo visa melhorar o instrumento de outorga através de novos critérios que serão propostos, mas também promovendo uma análise integrada para incrementar e tornar mais seguro a emissão de outorgas por parte do órgão gestor.

planos diretores cabe também a aprovação pelo CERH-PI, contudo a proposta deve ser previamente aprovada pelo CBH, como dita a lei estadual 5.165/2000 (SEMAR, 2015), por isso a segunda seta vermelha ligando CBHs a CERH-PI.

Das ações/instrumentos escolhidos, a aplicação de áreas prioritárias é fundamental para fortalecimento da gestão de águas subterrâneas, pois a partir delas os instrumentos de outorga, plano diretor e monitoramento deverão sofrer reajustes a fim de considerá-la. Ao longo de toda a construção do modelo também foi pensado numa forma de integração entre os instrumentos (por isso as setas em sentidos duplos na Outorga, Planos Diretores e Monitoramento). O Relatório Anual sobre Águas Subterrâneas (RAAS) deve reunir todas as informações conseguidas nos demais instrumentos, tendo como missão informar a sociedade e divulgar as ações de gestão.

10.1 OBJETIVOS

Art. 1º São objetivos desse ato:

- I - Assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos;
- II - Propiciar a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, com vistas ao desenvolvimento sustentável;
- III - Buscar a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais;
- IV - Identificar e promover a preservação e conservação dos ecossistemas dependentes de águas subterrâneas;
- V - Incentivar a gestão conjunta entre águas subterrâneas e superficiais;
- VI - Promover a gestão local das águas subterrâneas;
- VII - Capacitar e ampliar o conhecimento quanto às águas subterrâneas.

Deve-se prestar atenção que os três primeiros são idênticos aos estabelecidos na Política Nacional e Estadual, isso porque não é intuito do plano propor objetivos diversos das leis, ao contrário, que eles sejam coerentes. Por isso, a menção deles na proposta vem para reforçar o que dizem as políticas.

Os demais objetivos elencados têm a ver com as análises feitas nos três modelos e o projeto Governança das Águas Subterrâneas. O quarto objetivo reforça a ideia da gestão de recursos hídricos integrada com a gestão de meio ambiente. Um fato interessante dos modelos

analisados é que na Austrália e em Israel o tratamento dado ao meio ambiente é de um usuário de recursos hídricos, assim quando se estabelece que um dos objetivos deve ser o de identificar e promover a conservação e preservação dos ecossistemas, pretende-se encontrar a quantidade e qualidade de água necessária para eles e a identificação de bioindicadores que possam apontar qualquer alteração nas águas subterrâneas.

O quinto objetivo frisa o fato da gestão conjunta entre águas superficiais e subterrâneas. Como se nota pelos Capítulos 3, item 3.2, e 4; há uma preferência pela gestão das águas superficiais, entretanto os dois tipos fazem parte do ciclo hidrológico e interagem entre si, sendo que os efeitos de um são sentidos no outro, vide o caso relatado por Kebede *et al.* (2017) e Valença *et al.* (2017).

A gestão das águas no Piauí ainda é muito incipiente, contudo não é o intuito desse trabalho desenvolver um tipo de gestão em detrimento do outro. Por isso, o quinto objetivo se faz necessário. É preciso entender como e aonde acontece essa interação, e nesses locais é necessário que os recursos sejam gerenciados como um só.

O sexto objetivo foca no que diz o Projeto: apesar de ser amplamente distribuída, as águas subterrâneas são um recurso essencialmente local. Além, como o Projeto defende, é no nível local onde o trabalho é mais intenso, sendo exigido tomadas de decisões rápidas e prudentes. Assim, esse deve ser o nível de gestão a ser perseguido pelo órgão gestor.

O sétimo e último objetivo vem ao encontro de um problema muito comum apontado pelo Projeto e que também se nota no estado: a falta de conhecimento sobre águas subterrâneas. O não-conhecimento da dinâmica das águas no subsolo e as leis que a regem criam barreiras para uma gestão adequada e ainda, por parte da sociedade, o fato de ser um recurso não-visível, acaba se tornando abstrato e de difícil compreensão. Esse objetivo visa não só promover o conhecimento, mas também incentivar a preocupação quanto à utilização do recurso, promover a consciência ambiental.

10.2 DEFINIÇÕES

Art. 2º Para efeitos desse ato, consideram-se:

- I - Águas subterrâneas – aquelas que ocorrem no subsolo de forma natural ou artificial de forma suscetível de extração e utilização;
- II - Ecossistema dependente de águas subterrâneas (EDAS) – ecossistemas que dependem direta ou indiretamente da quantidade e da qualidade das águas

subterrâneas para manutenção da fauna e da flora, dos processos ecológicos e dos serviços que eles propiciam.

III - Efeito indesejável – impactos negativos decorrentes do mau uso das águas subterrâneas, que podem ser entendidos como: subsidência dos solos, degradação da qualidade das águas, rebaixamento crônico dos níveis d'água tornando inviavelmente econômico a sua captação; intrusão salina ou redução significativa do armazenamento;

IV - Poço ou obra de captação - qualquer obra; sistema, processo, artefato ou sua combinação, empregados pelo homem com o fim principal ou incidental de extrair água subterrânea;

V - Sistema hidrogeológico – formação geológica capaz de armazenar água, podendo transmiti-la ou não. Fazem parte os aquíferos, aquíferos e aquíclides

VI - Usuários – pessoa física ou jurídica que utiliza as águas subterrâneas para suas necessidades fisiológicas ou insumo de processo produtivo, ou ecossistemas que dela necessita para cumprir suas funções ecológicas;

VII - Volume de extração sustentável – volume máximo anual de água capaz de ser extraída de um aquífero sem que cause algum efeito indesejável;

Esse tópico conceitua as expressões que serão usadas no corpo do ato. Ele é importante para que o interessado possa entender do que se trata cada uma das expressões utilizadas. Vale ressaltar que os conceitos de ecossistemas dependentes de águas subterrâneas e efeito indesejável foram baseados nos modelos australianos e californiano respectivamente.

O conceito de poço ou obra de captação foi extraído do decreto do estado de São Paulo nº 32.955, de 07 de fevereiro de 1991 (SÃO PAULO, 1991), que regulamenta a lei do estado sobre águas subterrâneas e no qual é baseado o capítulo sobre águas subterrâneas da Política Estadual - art. 50 a 57, da lei nº 5.165/2000 – (SEMAR, 2015).

O conceito de extração sustentável foi baseado nas pesquisas feitas pelo autor e pretende que sejam considerados os pilares do desenvolvimento sustentável e não apenas os aspectos hidrológicos no cálculo do volume de água que pode ser extraído.

Preferiu-se utilizar o conceito de sistema hidrogeológico por ser mais abrangente, pois, embora os aquíferos e aquíclides não possam transmitir água na mesma intensidade que o aquífero, eles têm a capacidade para armazená-la e podem ser explorados.

O conceito de usuário preocupa-se em agrupar todos os usuários e usos que podem ser feitos das águas subterrâneas. Nele também foi considerado o meio ambiente como um usuário, devido aos ecossistemas dependentes de águas subterrâneas. Além disso, essa é uma visão compartilhada nos modelos analisados, como por exemplo na Austrália e Califórnia, que apresentam o volume anual de água destinado ao meio ambiente, e em Israel com o programa de restauração dos rios.

10.3 INSTRUMENTOS DE GESTÃO

Art. 3º Sem prejuízo para os instrumentos estabelecidos na Política Estadual de Recursos Hídricos, são considerados também instrumentos para a gestão das águas subterrâneas:

- I - Áreas prioritárias;
- II - Zonas de proteção;
- III - Os planos diretores de águas subterrâneas;
- IV - Outorga de direito de uso das águas subterrâneas;
- V - Monitoramento;
- VI - Relatório anual sobre águas subterrâneas;

Novamente tem-se a preocupação em não ir de encontro à Política Estadual. O objetivo é que, além dos instrumentos elencados na lei nº 5.165/2000 (SEMAR, 2015), também sejam utilizados esses para auxiliar a gestão de águas subterrâneas. É importante dizer que esses instrumentos fazem referência a Figura 43 e, portanto, devem ser uma ação conjunta entre as entidades do SEGERH. A seguir são detalhados cada um dos instrumentos pensados.

10.3.1 Áreas prioritárias

Art. 4º Respeitado os limites da bacia hidrográfica, a gestão das águas subterrâneas se dará segundo áreas prioritárias.

Art. 5º O órgão gestor de recursos hídricos, quando sentir a necessidade ou motivado pelos comitês de bacias ou pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos, deverá subdividir a bacia hidrográfica em áreas prioritárias para a gestão de águas

subterrâneas, classificando-as em quatro níveis de prioridades: baixa, média, alta e muito alta.

Art. 6º A classificação das áreas deverá levar em consideração os seguintes critérios:

I - Região hidrográfica prioritária;

II - População;

III - Poços;

IV - Abastecimento humano;

V - Dependência socioeconômica das águas subterrâneas;

VI - Impactos ambientais;

VII - Critérios ambientais;

VIII - Demais critérios que se julgar necessário.

Art. 7º Compete ao órgão gestor elaborar metodologia para a classificação das áreas, cabendo ao Conselho de Recursos Hídricos sua análise e aprovação por meio de resolução.

Art. 8º Cabe ao Conselho Estadual de Recursos Hídricos e aos Comitês de Bacias decidirem o prazo para a revisão periódica da classificação da área.

Esse instrumento é inspirado no modelo californiano. Considerando a incipiência da gestão de recursos hídricos no Piauí, capacidade operativa do corpo técnico, julga-se mais prudente estabelecer áreas prioritárias para a gestão a fim de que a SEMAR possa perceber quais são aquelas áreas que já apresentam ou podem apresentar algum efeito indesejável, como os explicitados anteriormente e tomar medidas necessárias para minimizá-los ou evitá-los.

Embora julgue um instrumento interessante, fica a critério da SEMAR e dos CERH e CBHs aplicá-lo ou não. Entretanto caso seja decidido utilizá-lo tanto a classificação quanto a metodologia utilizada para classificar deverá ser produzida em conjunto com todas as entidades do SEGERH.

Posto isso, também se propõe nesse trabalho uma metodologia para classificação das áreas de acordo com os critérios estabelecidos. Na verdade, ela se compõe de uma soma simples da pontuação considerada para cada critério, como se pode perceber pelas Tabelas 7 e 8. Chama-se atenção que os limites inferiores estabelecidos são excludentes. Ainda quando da análise dos critérios impactos ambientais e critérios ambientais; quando a área não se

enquadrar em nenhum dos critérios deve ser atribuído valor zero. A Figura 44 mostra o fluxograma para a classificação da área.

Tabela 7 - Critérios de classificação das áreas prioritárias.

Pont.	RH	População	Poços	Abast. humano	Impactos Ambientais	Critérios ambientais	Dep. econômica
	a	b	c	d	e	f	g
1	Alto Parnaíba	Até 10 mil	Até 100	Solução individual	--	--	até 10 hm3/ano
2	Poti	de 10 a 20 mil	de 100 a 150	--	--	--	de 10 a 50 hm3/ano
3	Baixo Parnaíba	de 20 a 40 mil	de 150 a 200	--	Não existe, mas há riscos	--	de 50 a 100 hm3/ano
4	Médio Parnaíba	de 40 a 60 mil	de 200 a 300	fonte secundária	--	Existência UC	de 100 a 200 hm3/ano
5	Canindé	acima de 60 mil	acima de 300	exclusivo	Existe	Existência GDE, áreas de recarga	acima de 200 hm3/ano

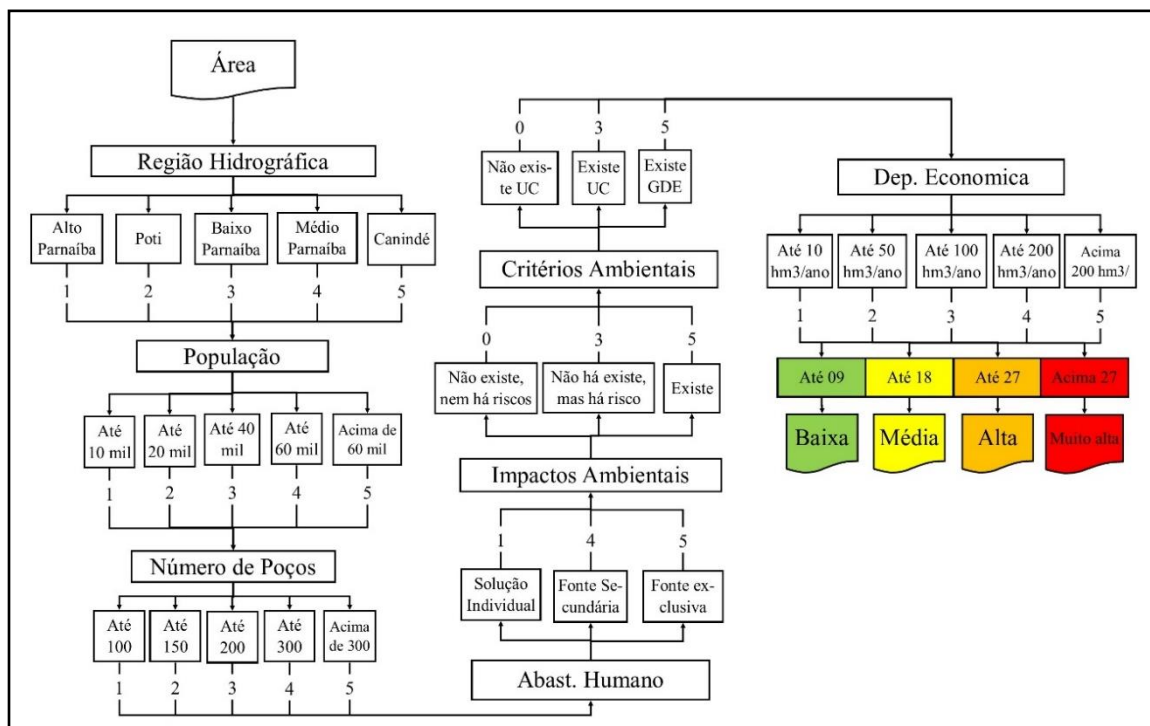
Fonte: O Autor

Tabela 8 - Pontuação para classificação.

Baixa	Média	Alta	Muito alta
até 9	de 10 a 18	de 19 a 27	acima de 27
Classificação = a + b + c + d + e + f + g			

Fonte: O Autor

Figura 44 - Fluxograma para classificação das áreas prioritárias.



Fonte: O Autor

Posto isso, vale uma breve explanação do porquê dos critérios escolhidos. O primeiro, região hidrográfica, refere-se a um decreto aprovado em 2015 (decreto estadual nº 16.142, de 14 de agosto) que estabeleceu as regiões hidrográficas prioritárias no estado. Cada região hidrográfica agrupa de 3 a 5 bacias hidrográficas estaduais, com exceção das regiões Canindé e Poti, que agrupam as bacias de mesmo nome. Tanto a divisão quanto a ordem de prioridade foram baseados nas diretrizes do Plano Estadual (SEMAR, 2010c).

Os critérios população, poços e abastecimento humanos tiveram inspiração na metodologia da Califórnia. Os grupos populacionais escolhidos foram baseados na amostragem feita no Capítulo 7, item 7.2; enquanto o grupo de poços foi baseado no trabalho de Vasconcelos *et al.* (2014). Para o abastecimento humano foram escolhidos apenas três critérios: (i) solução individual – significa que o abastecimento humano é feito por águas superficiais, mas há pedidos de outorga para o uso doméstico; (ii) fonte secundária – o abastecimento humano utiliza ambas as fontes superficiais e subterrâneas; (iii) exclusivo – o abastecimento humano é proveniente unicamente dos recursos hídricos subterrâneos.

Quanto aos impactos ambientais, referem-se aos efeitos deletérios sofridos pelo meio ambiente. Para essa classificação, o gestor deverá ter em mente os impactos negativos já sofridos por causa do mau uso das águas subterrâneas ou aqueles que poderão ocorrer num curto prazo de tempo caso não se tome alguma atitude, ou ainda que embora não haja riscos,

as águas subterrâneas estão muito suscetíveis a tais impactos dado a suas condições naturais ou as atividades humanas que são desenvolvidas no local.

O sexto critério, o gestor deve-se basear na existência ou não de unidades de conservação (UC); e nesse caso observar se são margens de cursos d'água superficiais, nascentes, olhos d'água, zonas costeiras e demais áreas em que possam haver interação entre as águas superficiais e subterrâneas; ou a identificação ou não de ecossistemas dependentes de águas subterrâneas e áreas de recargas.

O último critério, “dependência econômica”, refere-se ao uso das águas subterrâneas para atividades econômicas diversas, desconsiderando o uso para o abastecimento humano feito pelas concessionárias. Os valores estabelecidos foram baseados nos cenários calculados pelo Plano Estadual (SEMAR, 2010c) considerando os dois principais usuários de águas subterrâneas (irrigação e indústria), de acordo com a participação das águas subterrâneas no volume total utilizado. O ideal é que para classificação quanto a esse critério seja feito uma média dos valores anuais das outorgas liberadas. Quanto maior a série histórica melhor.

O inciso VIII, do art. 6º, ainda deixa a critério do órgão gestor a seleção de outro critério, que não previsto anteriormente, para classificar a área. Ao mesmo tempo que ele indica que o profissional não deve se prender somente aos sete critérios anteriores; pode também servir como um critério de desempate para áreas de mesmas prioridades.

Um cuidado que precisa se ter é: a classificação tem que ser revista frequentemente de acordo com as mudanças sofridas na área. Assim, recomenda-se que essa revisão aconteça anualmente, porém fica a critério do órgão gestor e do CERH estabelecer o prazo para revisão.

10.3.2 Planos diretores de águas subterrâneas

Art. 9º Deverão ser elaborados planos diretores de águas subterrâneas para as áreas com prioridades alta e muito alta a fim de estabelecer ações e programas visando o uso adequado do recurso e a sua conservação e preservação.

Art. 10 Os Planos Diretores terão caráter operativo e devem considerar os usos múltiplos das águas subterrâneas, as peculiaridades de função dos sistemas hidrogeológicos e os aspectos de qualidade e quantidade para a promoção do desenvolvimento social e ambientalmente sustentável.

Art. 11 Os Planos Diretores terão como conteúdo mínimo:

I - O diagnóstico socioeconômico e ambiental da realidade local;

Caracterização espacial do sistema hidrogeológico;

II - Caracterização física, química e biológica das águas subterrâneas;

III - Cômputo das águas subterrâneas no balanço hídrico;

IV - Identificação e caracterização dos ecossistemas dependentes de águas subterrâneas;

V - Identificação e caracterização dos efeitos indesejáveis a que estão sujeitas as águas subterrâneas;

VI - Estimativa das recargas, descargas, reservas permanentes exploráveis e do volume de extração sustentável do sistema hidrogeológico;

VII - Zonas de Proteção de acordo com a lei nº 5.165/2000, quando for o caso;

VIII - Proposta para alocação de água;

IX - Horizonte de projeto;

X - Os objetivos do plano;

XI - Ações e programas de acordo com seus objetivos;

XII - Estabelecimento de metas, prazos e indicadores para averiguação do seu cumprimento.

Art. 12 Caso julguem necessário, os Comitês de Bacia ou o Conselho de Recursos Hídricos poderá exigir a elaboração de planos de diretores a outras áreas que não aquelas estabelecidas no art. 16.

Art. 13 Os Planos Diretores deverão buscar integração com o Plano Estadual de Recursos Hídricos e os Planos de Bacias, quando existirem, bem como com outras políticas que influenciem na gestão das águas subterrâneas.

Art. 14 Os Comitês de Bacia e o Conselho de Recursos Hídricos deverão participar de todas as etapas de elaboração do plano, desde a contratação da consultoria, quando for o caso, até a apresentação final do produto.

§ 1º Deverá ser formado uma comissão de análise, formada por membros do CERH, CBHs e órgão gestor para avaliar e aprovar as etapas do Plano Diretor;

§ 2º A comissão de análise deverá informar ao CERH e CBHs, por meio de relatórios, o estágio de produção do Plano Diretor.

Art. 15 O Plano Diretor, após elaborado, deverá ser submetido a consulta pública por um prazo mínimo de 60 dias na área de interesse, devendo haver ampla divulgação e incentivo a participação da sociedade.

Nem toda área necessita de um plano diretor. Embora esse seja desejável para todos os aquíferos, ele se torna imprescindível ou fundamental para aquelas áreas onde há uma grande demanda pelo uso das águas subterrâneas, ou em áreas vulneráveis ambientalmente a determinados impactos, entre outras. Assim, os planos diretores deverão ser obrigatórios para aquelas áreas com alta e muito alta prioridades. Eles devem ter o caráter operativo, ou seja, o menor nível de gestão, procurando estabelecer ações práticas para o gerenciamento. Também devem estar integrados com os demais planos já em implantados na área, além de levar em consideração as demais políticas.

O conteúdo mínimo estabelecido foi estabelecido levando em consideração o que diz o projeto Governança das Águas Subterrâneas, a lei estadual nº 5.165/2000 (SEMAR, 2015) sobre as zonas de proteção e a resolução CNRH nº 22/2004 (MMA, 2014). Ainda, chama a atenção para os §1º e §2º do art. 14. Mais uma vez frisa-se a participação dos CBHs e CERH-PI e no caso, quando se submete o plano a consulta pública, tem o objetivo maior de informar a população local sobre ele e promover o seu interesse na gestão de águas subterrâneas.

A Figura 45 apresenta o fluxograma para a produção dos Planos Diretores. Notem que a Comissão de Análise tem papel central, pois as etapas do plano dependem da sua aprovação. As setas duplas tracejas e em vermelho, no fluxograma, indicam que o estágio seguinte só começará após a aprovação do estágio anterior. Ademais, a formação de uma comissão para a elaboração do plano foi a forma encontrada para propiciar a participação de todos os atores e entidades do SEGERH no Plano Diretor.

Art. 19 Deverão ser promovidos estudos para identificação do volume ideal e necessário para a conservação dos ecossistemas dependentes de águas subterrâneas, considerando a realidade socioeconômica e a resiliência do ecossistema;

Art. 20 Em locais onde seja constatado a direta interação entre águas subterrâneas e superficiais, a análise da outorga deverá ser feita considerando os sistemas como um só, levando em consideração todos os usos feitos a jusante e a montante do sistema;

Art. 21 O órgão gestor de recursos hídricos, quando julgar necessário, poderá exigir dos usuários outorgados um relatório anual a respeito do volume de água utilizado, da qualidade, da finalidade e do estado de conservação do poço ou obra de captação para fins informativos para composição do relatório anual sobre águas subterrâneas

Infelizmente não é possível ir muito além nos critérios para emissão de outorgas dado a situação atual da gestão no estado. Conquanto não é possível avançar nesse fato, procurou-se trazer para a análise dos pedidos uma visão de todo o contexto onde se insere as águas subterrâneas. Assim, o analista deve considerar outros fatores, além da produção do poço: (i) volume de extração sustentável; (ii) alocação de água; (iii) zonas de proteção; (iv) interferências entre poços adjacentes; (v) possíveis pontos de poluição e contaminação; (vi) proximidade do poço com fontes de águas superficiais; (vii) existências de ecossistemas dependentes de águas subterrâneas; (viii) balanço hídrico.

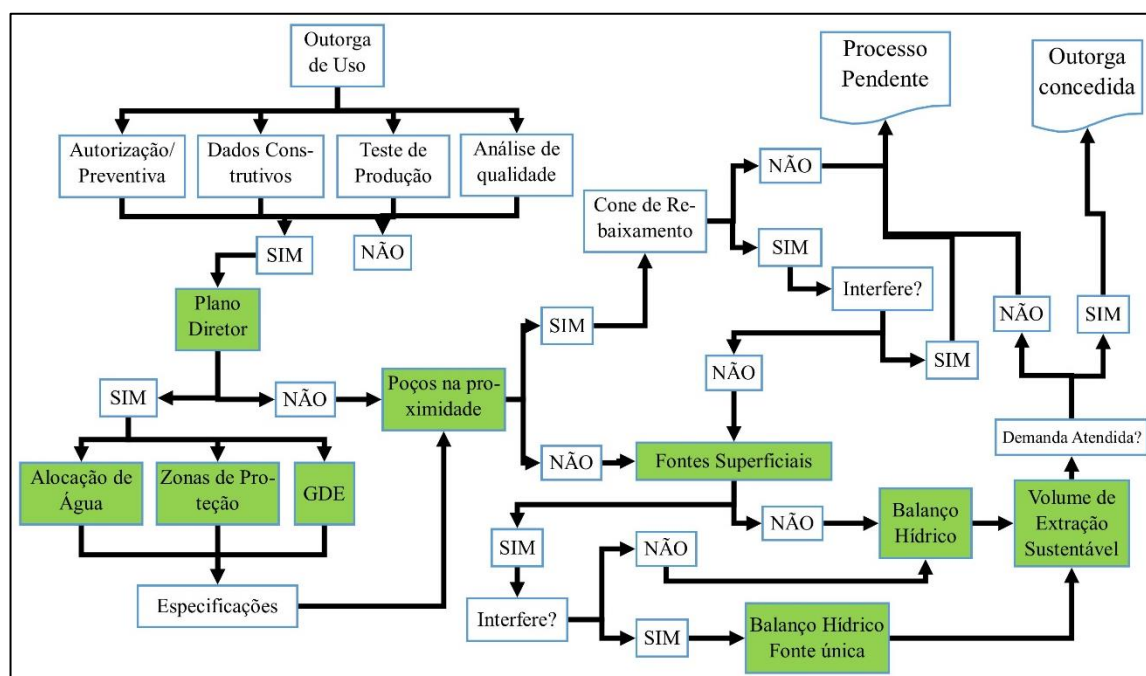
A expressão volume de extração sustentável é baseada nos modelos californiano e australiano e refere-se aquele volume capaz de se captar de um aquífero sem que sejam produzidos efeitos indesejáveis (impactos negativos). Importante frisar, que o estabelecimento desse volume deve levar em conta não apenas conceitos hidrológicos, mas também sociais e econômicos. Outra questão, é que não se deseja que ele seja aplicado imediatamente, mas que tanto o analista do pedido de outorga quanto os membros do CERH e CBH tenham em mente de que ele é necessário e que são fundamentais estudos para a sua aplicação.

A Figura 46 apresenta o fluxograma para análise da outorga considerando os novos critérios, destacados em verde. Vale destacar que se condiciona os critérios de alocação de água, zonas de proteção, e ecossistemas dependentes de águas subterrâneas a existência ou não de plano diretor. Na verdade, com exceção do balanço hídrico e volume de extração sustentável, em todos os critérios procura-se saber se o pedido de outorga o atende ou não. Em caso afirmativo, o analista deverá observar as implicações desses critérios para o pedido e

verificar se é possível ou não emitir a outorga. À medida que foram produzidos estudos esses critérios poderão ser cada vez mais trabalhados e melhorados.

No caso do balanço hídrico e do volume de extração sustentável são necessários estudos para determinar as variáveis e a disponibilidade do sistema hidrogeológico localmente. Contudo, como início, poderiam ser usados os valores estabelecidos no Plano Estadual (SEMAR, 2010c), bem como também os critérios para utilização das reservas permanentes. É claro que, no caso, o balanço hídrico seria de caráter global, mas reforça-se, a intenção é melhorar a análise da outorga e consequentemente a gestão de recursos hídricos.

Figura 46 - Fluxograma proposto para outorga.



Fonte: O Autor

Por último, o art. 29, como descrito no seu texto, de auxiliar a elaboração do relatório anual sobre águas subterrâneas. Não se espera que seja exigido de todos os usuários outorgados, por motivos já esclarecidos, sendo mais sensato que ele seja usado para grandes usuários.

Como se viu no Capítulo 7, 7.5, grande parte do volume outorgado se concentra em três principais usuários: irrigação, indústria e consumo humano e da análise dos anos 2016 e 2017, se concentraram também em poucos municípios. Assim seria sensato exigir um relatório desses usuários nesses municípios. Esse relatório também ajudaria a compor o relatório de águas subterrâneas, abordado no item 10.3.5.

10.3.4 Monitoramento

Art. 22 É objetivo da rede de monitoramento coletar dados e produzir informações acerca das águas subterrâneas no estado.

Art. 23 Compete ao órgão gestor a coordenação e execução da rede de monitoramento.

Parágrafo único. O órgão gestor poderá delegar a execução da rede de monitoramento a pessoas jurídicas de direito público ou privado, sem fins lucrativos, através de termos de cooperação, sendo estabelecidos metas e prazos para a implantação e operação da rede.

Art. 24 A rede de monitoramento deverá ser implantada preferencialmente nas áreas classificadas como prioridades alta e muito alta e, posteriormente nas demais.

Art. 25 Quando da sua implementação, a rede de monitoramento deverá considerar o seguinte:

I - Plano Diretor da área prioritária;

II - As diretrizes da Rede Nacional de Monitoramento Integrado Qualitativo e Quantitativo de Águas Subterrâneas, instituída pela resolução CNRH nº 107/2010;

III - A coleta, o armazenamento, o processamento, acessibilidade e a disponibilização dos dados para os atores de gestão e a sociedade em geral;

IV - A frequência mínima de monitoramento

Art. 26 Os dados coletados e as informações produzidas pela rede de monitoramento deverão compor o relatório anual sobre águas subterrâneas;

Art. 27 A proposta da rede de monitoramento deverá ser submetida a aprovação dos Comitês de Bacias e, no caso da inexistência desses, do Conselho Estadual de Recursos Hídricos.

A Figura 47 traduz a proposta apresentada acima na forma de um fluxograma. Note que o inciso III, do art. 25 está resumido no grupo Conhecimento e Informação, que é justamente os princípios elencados pelo projeto Governança das Águas Subterrâneas nessa área. Também condiciona a elaboração do plano de monitoramento e, conseqüentemente a sua implantação, por áreas prioritárias, como uma forma de integrar os instrumentos.

Como já se mostrou ao longo do trabalho a questão do monitoramento é imprescindível para a gestão das águas subterrâneas, por isso ele é colocado como um dos instrumentos de gestão. Entende-se que a sua competência é do órgão gestor, contudo deixa-

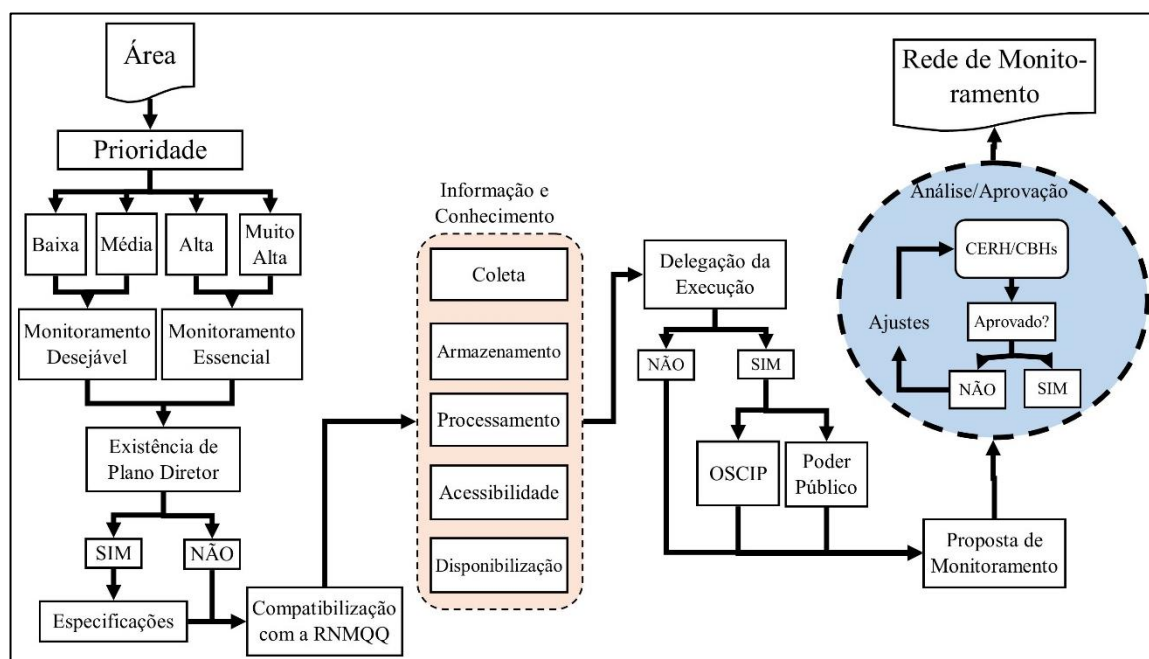
se espaço para que esse possa firmar acordos de cooperação com outras entidades no sentido de operacionalizar a rede de monitoramento.

Há também uma preocupação em integrar a rede de monitoramento com a rede planejada e exigida pela resolução CNRH nº 107/2015 - art. 33 – (MMA, 2014), por isso não se entra em detalhes quanto a operação da rede, a frequência do monitoramento, nem os parâmetros a serem monitorados. Nesses quesitos deverão se seguir o que diz a resolução do CNRH.

Ainda há a preocupação de que essas informações estejam disponíveis e acessíveis a todos os interessados de forma que eles possam utilizá-las e manuseá-las para produção de conhecimento ou mesmo para divulgação das informações.

No fim sabe-se que a implantação desse instrumento será um verdadeiro desafio não só por causa das condições atuais da SEMAR, mas também porque exige investimento financeiro, pois no estado ainda não é aplicado a cobrança pelo uso dos recursos hídricos, o que poderia ser uma solução a esse problema, tornando a rede dependente do interesse político para o seu financiamento.

Figura 47 - Fluxograma do monitoramento



Fonte: O Autor

10.3.5 Relatório anual sobre águas subterrâneas

Art. 29 Deverá ser preparado o Relatório Anual sobre a Situação das Águas Subterrâneas no estado (RAAS), contendo como conteúdo minimamente:

I - Volumes outorgados no ano;

II - Principais usos;

III - Volume destinado aos ecossistemas dependentes de águas subterrâneas;

IV - Número de poços perfurados no estado;

V - Balanço Hídrico;

VI - Os aquíferos mais solicitados;

VII - Disponibilidade hídrica;

VIII - Áreas prioritárias e áreas de proteção;

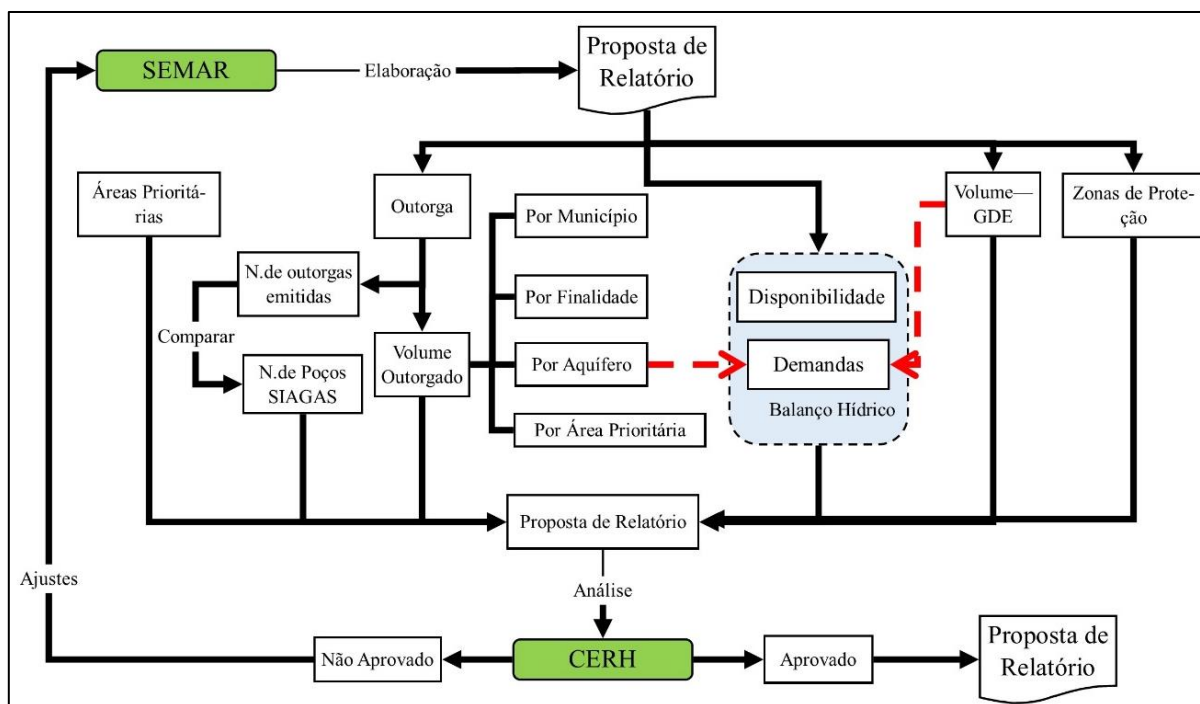
Art. 30 O relatório deverá ser elaborado pelo órgão gestor e aprovado pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos até março do ano seguinte ao referido ano do relatório.

Art. 31 O relatório deverá ser amplamente divulgado, sendo disponibilizado uma cópia no sítio eletrônico do órgão gestor.

O objetivo do relatório é divulgar as ações da SEMAR, mas também trazer a atenção da sociedade para as águas subterrâneas. O conteúdo mínimo estabelecido no art. 36 pode ser conseguido a partir das informações das outorgas liberadas e, para o cálculo do balanço hídrico podem ser usadas as informações constantes no Plano Estadual (SEMAR, 2010c). À medida que forem implantados os demais instrumentos, as informações contidas no relatório devem ser incrementadas.

É possível perceber pela Figura 48, a seguir, que procurou-se convergir todas as informações produzidas pelos instrumentos anteriores dentro do RAAS. Assim, o relatório além de informar a sociedade em geral, poderia servir como uma forma dessa, do Conselho e CBH acompanhar a aplicação dos instrumentos e a sua eficiência na gestão de águas subterrâneas.

Figura 48 - Fluxograma para o RAAS.



Fonte: O Autor

10.4 DISPOSIÇÕES FINAIS

Art. 32 O Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos deverá buscar a implementação da cobrança pelo uso dos recursos hídricos como forma de financiar as ações listadas nesse ato;

Art. 33 O enquadramento das águas subterrâneas deverá ser feito segundo o que diz a resolução CONAMA nº 396/2008;

Art. 34 Os planos diretores de águas subterrâneas poderão fazer parte dos planos de bacia desde que sejam respeitados o disposto nos arts. 16 a 20;

Art. 35 Os dados coletados pela rede de monitoramento deverão estar disponíveis no sistema estadual de informações sobre recursos hídricos

Art. 36 O Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos deverá propiciar e incentivar a capacitação dos seus membros e demais interessados quanto a gestão das águas subterrâneas;

Art. 37 Este ato entra em vigor na data de sua publicação.

Nas disposições finais procurou-se fazer disposições genéricas sobre os instrumentos da Política Estadual, frisando a importância da implantação da cobrança como forma de financiar a rede de monitoramento.

No penúltimo artigo também é frisado a importância da capacitação como forma de fortalecer a gestão de águas subterrâneas, devendo o SEGERH se empenhar para elaborar tais cursos e incentivar seus membros e a sociedade a participar.

11 CONCLUSÃO

O presente trabalho tratou de discutir a gestão das águas subterrâneas. Foi abordado a sua problemática no Brasil e no mundo, traçando uma linha histórica desde o momento em que a demanda por águas subterrâneas crescia até o surgimento do projeto Governança das Águas Subterrâneas, elaborado pela FAO. Nessa parte, foi mostrado como a agricultura irrigada foi determinante para a exploração das águas subterrâneas e como a negligência dos órgãos gestores para com o recurso propiciaram o momento atual, onde em muitos lugares do globo, elas são um recurso importante tanto para o desenvolvimento social quanto econômico.

Também foi discutido a diferença entre gestão e governança e como a impressão no conceito desse gera uma confusão com aquele. Ainda se abordou o conteúdo do projeto, focando no guia para o fortalecimento da gestão das águas subterrâneas. Foi nesse ponto, ao anotar as deficiências apontadas pelo projeto, percebeu-se que o Piauí possui todas as seis e que precisa percorrer um árduo caminho para sanar todas as falhas.

No outro momento foi destacado a atuação de três regiões quanto a gestão de águas subterrâneas: Austrália – que através de um acordo entre os estados promove uma gestão integrada e adaptativa -; Califórnia – que recentemente promulgou uma lei específica para águas subterrâneas se concentrando na gestão local, promovendo a criação de agências locais – e Israel – onde o estado tem o total controle sobre os recursos hídricos.

Na análise dos três, notou-se que a importância do monitoramento para a gestão e como cada um possui um sistema de informação e incentiva a participação popular. Também é perceptível a o envolvimento do governo na gestão dos três. A Austrália foi criado um centro de pesquisas e capacitação para águas subterrâneas, em Israel há um incentivo em desenvolver novas tecnologias para o aumento da oferta hídrica e, na Califórnia, há o incentivo para participar do programa de monitoramento e com a publicação da nova lei, deixa-se margem para a intervenção do Estado, onde a gestão não estiver adequada aos princípios da lei.

Um fato interessante é que a gestão brasileira, embora seu nível de gestão esteja muito abaixo dos demais modelos, destaca-se pela participação da sociedade na gestão, possuindo arenas de debates e procedimentos específicos para a participação. É claro que o nível de participação varia de estado para estado, mas quando comparado, por exemplo, com Israel, nota-se que nesse a sociedade tem uma participação passiva e, embora tenha representantes dentro do conselho do órgão gestor, eles são indicados pelo governo.

Quando se caracterizou o estado do Piauí quanto ao uso das águas subterrâneas, percebeu-se que, apesar de serem amplamente utilizadas, existem três grandes usos: irrigação, consumo humano e indústria. Desses a irrigação responde em média por mais de 70% do volume anual outorgado. O consumo humano é o segundo maior uso com mais de 60% dos municípios piauienses apresentando um abastecimento exclusivo por essa fonte. A indústria é o terceiro maior uso, contudo sua participação se concentra na RIDE Grande Teresina., o que é outro fato interessante. Grande parte do volume outorgado, nos anos analisados, se concentra em poucos municípios, sendo que na região dos Cerrados há uma demanda muito grande para irrigação principalmente nos municípios de Baixa Grande do Ribeiro, Canto do Buriti e Redenção do Gurguéia, já para Teresina (região Meio Norte) a grande demanda é para o uso industrial.

Vale ressaltar que essa análise feita é baseada apenas em dois anos: 2016 e 2017, e pode ser que sejam anos atípicos, contudo dado a precariedade do sistema de informação da SEMAR e ao curto prazo de execução dos trabalhos não se pode fazer o levantamento de outros anos. Também precisa-se lembrar que o universo de usuários do órgão gestor é pequeno, cerca de um quinto quando comparado com o banco de dados do SIAGAS, ou seja, há a possibilidade que esses dados não reflitam a realidade, no entanto eram os dados que estavam disponíveis.

Quando analisado a gestão e as entidades que compõe o SEGERH, foram listados outros problemas como, a falta de atuação e interesse dos membros do CERH e CBHs na gestão, o acúmulo de funções da SEMAR, a sua credibilidade perante a sociedade e a pequena capacidade operativa; o que, como mencionado acima, são semelhantes aos problemas apontados pela FAO na gestão de águas subterrâneas.

Disso posto; feito as devidas ressalvas; tendo em mente o que o Projeto requisitava para o fortalecimento da gestão de águas subterrâneas e o que foi aprendido ao estudar a gestão da Austrália, Califórnia e Israel, deu-se início a construção do modelo.

O modelo foi preparado na forma de um ato normativo, pois é a intenção desse trabalho é criar um marco regulatório na gestão das águas subterrâneas do estado. Não foi decidido que tipo de ato (se lei, decreto ou resolução) preferindo deixar a cargos das entidades responsáveis pela gestão decidirem, assim como sua adoção ou não.

No modelo são dadas diretrizes gerais para a gestão e estabelecidos alguns instrumentos adicionais aos da política estadual para gerir os recursos hídricos subterrâneos. Os instrumentos escolhidos foram: (i) áreas prioritárias – por onde a gestão deveria ser feita; (ii) áreas de proteção de poços – numa referência ao que diz a política estadual; (iii) planos

diretores – planos específicos para águas subterrâneas; (iv) outorga de direito de uso – sendo colocado novos critérios para análise e emissão de outorga; (v) monitoramento – principal instrumento e essencial para a gestão; (vi) relatório anual sobre águas subterrâneas – como uma forma de informar a população em geral, mas também de trazer à tona a preocupação sobre o uso, preservação e conservação do recurso.

Se comparado o modelo construído com os modelos internacionais analisados, nota-se que não é possível adotar várias ações praticadas por esses. Isso acontece porque a gestão de recursos hídricos no estado do Piauí ainda é muito incipiente. Elementos como o monitoramento são poucos aplicados e dependente da gestão de órgãos federais. A outorga de direito de uso, apesar de ser o instrumento utilizado, carece de informações que poderiam auxiliar a sua análise, tornando o instrumento um processo meramente burocrático. Há também a pulverização de competências, o que enfraquece órgão gestor e contribui para o enfraquecimento da gestão.

Numa outra ponta, é preciso lembrar também que a cobrança pelo uso dos recursos hídricos ainda não implementada no estado, embora exista um decreto com diretrizes para isso. Sem a aplicação desse instrumento, o financiamento da gestão é dependente das receitas destinadas para tal, logo a implantação de um sistema de informações para águas subterrâneas nos moldes do GGIS, WHYMAP ou NGIS (na Austrália) não se mostra viável para a situação atual.

Apesar dessa situação, o estado tem tentado melhorar a sua gestão, ao participar de programas de resultados coordenados pela ANA e também, mais recentemente foi publicado um edital para contratação de servidores públicos efetivos. Toma-se isso como uma ótima oportunidade para apresentação do modelo elaborado e, caso aprovado, a sua implementação. Embora a dificuldade financeira represente um obstáculo, considera que muitas das atividades propostas possam ser executadas considerando a capacidade atual do órgão gestor como é o caso das áreas prioritárias, do relatório anual sobre águas subterrâneas e dos novos critérios para outorga.

Assim, os modelos analisados serviram como ideias para compor o presente modelo. Além disso, levando em conta o Projeto Governança das Águas Subterrâneas e as deficiências elencadas por ele, o modelo proposto tenta sanar diretamente quatro (liderança inadequada, falta de consciência dos riscos a longo prazo, falta de conhecimento do recurso e seu status e falta de interesse dos atores) e de modo indireto os outros dois (falta de um sistema legal atuante, falta de integração com outras políticas).

O trabalho tem muito a contribuir para o estado e também para comunidade acadêmica. Primeiro porque, durante a pesquisa, foram poucos os trabalhos brasileiros tratando sobre gestão de águas subterrâneas, desses se destaca o trabalho de Vidal (2003), que traz uma nova metodologia para extração sustentável baseado no limite econômico. Todavia, sentiu-se falta de trabalhos abordando a questão da agricultura irrigada e as águas subterrâneas. Na verdade, até onde se pesquisou, não há um levantamento a nível nacional sobre a utilização das águas subterrâneas, com exceção do abastecimento humano. Outros assuntos como o binômio energia-água e ecossistemas dependentes de águas subterrâneas também não se viram abordado em trabalhos brasileiros.

O segundo motivo é que com esse trabalho são abertos novos campos de pesquisas, os quais o autor gostaria de trabalhar, mas também de vê-los desenvolvidos no país. Assim como recomendação, sugere-se estudar os seguintes assuntos: (i) como as mudanças climáticas afetam as águas subterrâneas; (ii) como as políticas de subsídio para energia no meio rural afetam o uso das águas subterrâneas; (iii) analisar a evolução do uso das águas subterrâneas no Brasil; e (iv) estudos para identificação de ecossistemas dependentes de águas subterrâneas.

Assim, espera-se que o trabalho possa ter contribuído para o desenvolvimento da ciência no país e quanto ao modelo proposto, a análise da sua eficiência só será possível quando ele for implementado.

REFERÊNCIAS

ANA - Agência Nacional De Águas. **Pacto Nacional pela Gestão das Águas: Construindo uma visão Nacional. Volume I - Aspectos Conceituais**. Agência Nacional de Águas. Brasília (DF), p. 18. 2013.

_____. **Conjuntura dos Recursos Hídricos 2017: Relatório Pleno**. ANA. Brasília-DF, p. 100. 2017.

_____. Progestão no Estado. **Progestão - Agência Nacional de Águas**, 2016. Disponível em: <<http://progestao.ana.gov.br/progestao/mapa/ba>>. Acesso em: 16 fev 2018.

_____. Programa de Consolidação do Pacto Nacional pela Gestão das Águas. **Progestão - Agência Nacional de Águas**, 2016. Disponível em: <<http://progestao.ana.gov.br/>>. Acesso em: 15 fev 2018.

_____. Sistema Nacional de Informação sobre Recursos Hídricos (SNIRH) - Metadados. **Semiárido**, 2017. Disponível em: <<http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home>>. Acesso em: 15 ago. 2017.

_____. Sistema Nacional de Informação sobre Recursos Hídricos (SNIRH). **Metadados**. Disponível em: <<http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home>>. Acesso em: 15 ago. 2017.

AUSTRÁLIA. nº 137, de 15 de agosto de 2007. **Water Act 2007**, Canberra (ACT), ago 2007.

AUSTRÁLIA. **National Groundwater Strategic Framework**. Australian Government. [S.l.], p. 18. 2016.

BARRETEAU, O.; CABALLERO, Y.; HAMILTON, S.; JAKEMAN, A. J.; RINAUDO, J.. Disentangling The Complexity of Groundwater Dependent Social-ecological System. In: JAKEMAN, A. J.; BARRETEAU, O.; HUNT, R. J.; RINAUDO, J.; ROSS, A.. **Integrated**

Groundwater Management: Concepts, Approaches and Challenges. [S.l.]: SpringerOpen, 2016. Cap. 3, p. 49-74. ISBN 978-3-319-23576-9.

BECKER, N. Introduction. In: BECKER, N. **Water Policy in Israel:** Context, Issues and Options. [S.l.]: Springer, Dordrecht, v. 4, 2013. Cap. 1, p. 1-14. ISBN 978-94-007-5911-4.

BENNET, M.; GARDNER, A. Groundwater Policy and Regulation. In: BENNET, M.; GARDNER, A. **Groundwater Regulation in a Drying South West.** 1. ed. Adelaide (SA): The National Center for Groundwater Research and Training, v. 1, 2014. Cap. 1, p. 1-17.

BOM - Bureau Of Meteorology. **InfoSheet 15. The National Groundwater Aquifer Framework.** Bureau of Meteorology. Melbourne (VIC), p. 2. 2013a.

_____. **National Aquifer Framework - User Guide.** Bureau of Meteorology. Melbourne (VIC), p. 28. 2016a.

_____. **National Groundwater Information System - Data Product Specification.** Bureau of Meteorology. Melbourn (VIC), p. 32. 2017.

BORGES, A. Governança e Política Educacional: a Recente Agenda do Banco Mundial. **Revista Brasileira de Ciências Sociais**, São Paulo-SP, 18, n. 52, jun. 2003. Disponível em: <<http://anpocs.org/index.php/universo/acervo/biblioteca/periodicos/rbcs/184-rbcs-52>>. Acesso em: 14 out. 2017.

BRASIL. Decreto-lei nº 7.841, de 08 de agosto de 1945. Código de Águas Minerais. **Diário [da] República Federativa do Brasil**, Brasília (DF), 20 ago 1945. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/1937-1946/Del7841.htm>. Acesso em: 15 fev. 2018.

_____. Lei nº 6.931, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação. **Diário [da] República Federativa do Brasil**, Brasília (DF), 02 set. 1981. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938compilada.htm>. Acesso em: 12 fev. 2018.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**, Brasília (DF): Senado, 5 out 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/ConstituicaoCompilado.htm>. Acesso em: 15 fev 2018.

_____. Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. **Diário [da] República Federativa do Brasil**, Brasília (DF), 9 jan. 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/l9433.htm>. Acessado em: 09 set. 2017.

_____. Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. Institui a Política Nacional de Segurança de Barragens. **Diário [da] República Federativa do Brasil**, Brasília (DF), 21 set. 2010a. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12334.htm>. Acesso em: 09 set. 2017.

_____. **Parecer nº 1.283**. Comissão de Constituição e Justiça (CCJ). Brasília (DF), p. 10. 2010b.

_____. Decreto Legislativo nº 52, de 2017. Aprova o texto do Acordo sobre o Aquífero Guaraní, firmado em San Juan, República Argentina, em 2 de agosto de 2010. **Diário [do] Senado Federal**, Brasília (DF), 23 fev. 2017a. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decleg/2017/decretolegislativo-52-3-maio-2017-784714-acordo-152560-pl.html>>. Acesso em: 14 jan. 2018.

_____. Lei nº 13.575, de 26 de dezembro de 2017. Cria a Agência Nacional de Mineração (ANM) e extingue o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). **Diário [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 27 dez 2017b. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/L13575.htm>. Acesso em: 15 fev 2018.

CABRAL, J. J. S. P. Movimento das Águas Subterrâneas. In: FEITOSA, F. A. C.; FILHO, J. M. **Hidrogeologia - Conceitos e Aplicações**. 2ª. ed. Fortaleza: CPRM, 2000. Cap. 3, p. 35-54.

CABRAL, J. J. S. P.; KOIDE, S.; SIMOES, S.; MONTENEGRO, S. M. G. L.. Recursos Hídricos Subterrâneos. In: PAIVA, J. B. D. D.; PAIVA, E. M. C. D. D. **Hidrologia Aplicada a Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas**. 1ª. ed. Porto Alegre: ABRH, v. 1, 2001. p. 237-277.

CABRAL, J. J. S. P.; FARIAS, V. P.; SOBRAL, M. C.; PAIVA, A. L. R.; SANTOS, R. B.. Groundwater Management in Recife. **Water International**, Londres, 33, n. 1, 26 maio 2008. 86-99.

CABRAL, J. J. S. P.; SANTOS, S. M. Água Subterrânea do Nordeste Brasileiro. In: CIRILO, J. A., CABRAL, J. J. S. P.; FERREIRA, J. P. C. L.; OLIVEIRA, M. J. P. M.; LEITÃO, T. E.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; GOES, V. C.. **O Uso Sustentável dos Recursos Hídricos em Regiões Semi-áridas**. Recife (PE): Ed. Universitária da UFPE, 2007. Cap. 3, p. 65-104.

CAICEDO, N. L. Água Subterrânea. In: TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L. D. **Hidrologia - Ciência e Aplicação**. 4ª. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2014. Cap. 8, p. 289-334.

CALIFÓRNIA. Water Code. **Part 2.74 Sustainable Groundwater Management**, Sacramento (CA), 2014. Disponível em: http://leginfo.ca.gov/faces/codes_displayText.xhtml?lawCode=WAT&division=6.&title=&part=2.74.&chapter=9.&article=. Acesso em: 05 jan 2018.

CARVALHO, H.; PONTE, C.; VELOSO, N.; REIS, E.; COELHO, P. SILVA, M. M.. Risco de Intrusão Salina e Desenvolvimento Sustentável - Gestão Integrada de Águas Subterrâneas. **Revista Territorium [S.I.]**, Coimbra, v. I, n. 23, p. 137-152, novembro 2016. ISSN 1647-7723.

CEPRO - Fundação Centro De Pesquisas Sociais e Econômicas do Piauí. **Produto Interno Bruto dos Municípios do ano de 2014**. Fundação Centro de Pesquisas Sociais e Econômicas do Piauí. Teresina (PI), p. 53. 2016.

CIRILO, J. A.; NETTO, S. C. C.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ASFORA, M. C.. Caracterização do Semi-árido Brasileiro. In: CIRILO, J. A., CABRAL, J. J. S. P.; FERREIRA, J. P. C. L.; OLIVEIRA, M. J. P. M.; LEITÃO, T. E.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; GOES,

V. C.. **O Uso Sustentável dos Recursos Hídricos em Regiões Semi-áridas**. Recife (PE): Ed. Universitária da UFPE, 2007. Cap. 2, p. 33-64.

CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Portaria nº 437, de 08 de novembro de 2013. Aprova o Regimento Interno do Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Diário [da] República Federativa do Brasil**, Brasília (DF), 11 nov. 2013. Disponível em: <http://www.cnrh.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=7>.

COAG - Council of Australian Government. **Council of Australian Government's Meeting**. COAG. Canberra (ACT). 2004.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos. Safra 2017/2018. Vol. 5, n. 6 - Sexto Levantamento**. Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). Brasília (DF), p. 129. 2018.

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 396, de 03 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas. **Diário [da] República Federativa do Brasil**, Brasília (DF), 07 abril 2008. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=562>>. Acesso em: 12 fev. 2018.

CORREIA FILHO, F. L. **Projeto Borda Sudestes da Bacia Sedimentar do Parnaíba: relatório final**. Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Teresina (PI), p. 154. 2009.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. RIMAS - Projeto Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas. **RIMAS - Projeto Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas**, 2004. Disponível em: <<http://rimasweb.cprm.gov.br/layout/apresentacao.php>>. Acesso em: 16 fev 2018.

_____. Total de Poços Cadastros. **SIAGAS - Sistema de Informação sobre Águas Subterrâneas**, 2004. Disponível em: <<http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/>>. Acesso em: 16 fev 2018.

_____. **Projeto Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas: relatório diagnóstico Aquífero Serra Grande, Bacia Sedimentar do Parnaíba.** Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Belo Horizonte (MG), p. 49. 2012.

_____. **Síntese Hidrogeológica do Estado do Piauí.** Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Teresina (PI), p. 12. 2015.

_____. SIAGAS - Sistema de Informação sobre Águas Subterrâneas. **Serviço Geológico Brasileiro - CPRM.** Disponível em: <<http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/>>. Acesso em: 12 fev. 2018.

DESCOVI, P. L. M. **Uso do método Magnetotelúrico aplicado à água subterrânea na Borda Sudeste da Bacia do Parnaíba no semiárido Piauí, Brasil.** 2016. 66f. Monografia (Bacharelado em Geofísica) - Universidade Federal Fluminense. Niterói (RJ), 2016.

DWR - Department of Water Resources. **Bulletin 118 California's Groundwater.** Department of Water Resources (DWR). Sacramento (CA), p. 266. 2003.

_____. **Groundwater Elevation Monitoring Guidelines.** Department of Water Resources. Sacramento (CA), p. 36. 2010.

_____. **California Groundwater Elevation Monitoring (CASGEM). Basin Priorization Process.** Department of Water Resources. Sacramento (CA). 2014a.

_____. **CASGEM Groundwater Basin Priorization.** Department of Water Resources. Sacramento (CA), p. 2. 2014b.

_____. **Bulletin 118 - Interim Update 2016.** Department of Water Resources. Sacramento (CA), p. 58. 2016.

_____. Statewide Groundwater Update. In: (DWR), D. O. W. R. **California's Groundwater Update 2013 - A compilation of Enhance Content for California Water Plan Update 2013.** [S.l.]: [s.n.], 2013. Cap. 2.

_____. **Statewide Groundwater Update**. Department of Water Resources. Sacramento (CA), p. 98. 2015.

_____. **Submittal of Report – Status Report on Implementation of the California Statewide Groundwater Elevation Monitoring Program Years 2012-2015**. Department of Water Resources. Sacramento (CA), p. 21. 2016.

EUROPEAN COMMISSION. Directive 2000/60/EC. **Water Framework Directive**, 23 out. 2000. 93.

_____. Grounwater - Current Legislative Framework. **European Commission**, 2016. Disponivel em: <http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/groundwater/framework.htm>>. Acesso em: 02 ago. 2017.

_____. The EU Water Framework Directive - integrated river basin management for Europe. **EUROPEAN COMMISSION**, 2016. Disponivel em: http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/index_en.html>. Acesso em: 02 ago. 2017.

EVANS, R. S.; COOK, P. G.; HOWE, P.; CLIFTON, C. A.; IRVINE, E.. A Toolbox for Assessing The Ecological Requirements of Groundwater Dependent Ecosystem in Australia. In: RIBEIRO, L.; STIGTER, T. Y.; CHAMBEL, A.; MELO, T. C. ; MONTEIRO, J. P.; MEDEIROS, A.. **Groundwater and Ecosystem**. Boca Raton (FL): CRC Press, 2013. Cap. 1, p. 1-8.

FANACK. Water Infrastructure. **Fanack - Water of the Middle East & North Africa**, 2016. Disponivel em: https://water.fanack.com/israel/water-infrastructure/#_ftn1>. Acesso em: 27 abr 2018.

FAO - Food and Agriculture Organization of The United Nations. **Shared Global Vision for Groundwater Governance 2030 and a Call-for-action**. [S.l]: [s.n.], 2016a. Disponivel em: <http://www.fao.org/3/a-i5508e.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2017.

_____. **A Global Framework for Actions to Achieve the Vision on Groundwater Governance**. FAO. [S.l], p. 124. 2016b. (978-92-5-109258-3).

FEITOSA , A. C.; FEITOSA, C.; DEMETRIO, J. G. **O Vale do Gurguéia - Uma Zona Estratégica de Produção de Água Subterrânea**. XVII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVIII Encontro Nacional de Perfuração de Poços. Bonito (MS): [s.n.]. 2012.

FEITOSA, F. A. C. **Estudo Hidrogeológico do Aquífero Cabeças no Médio Vale do Rio Gurgueia**. 118f. 1990. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Federal de Pernambuco. Recife (PE), 1990.

FEITOSA, F. A. C. Hidráulica de Poços. In: FEITOSA, F. A. C.; FILHO, J. M. **Hidrogeologia - Conceitos e Aplicação**. 2. ed. Fortaleza - CE: CPRM/REFO, LABHID-UFPE, 2000. Cap. 11, p. 243-302.

_____. **Zonas Estratégicas de Águas Subterrâneas - Vale do Gurguéia/PI - Cenários de Exploração**. Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Recife (PE), p. 69. 2010.

FEITOSA, F. A. C.; FILHO, W. D. C. **Execução de Teste de Bombeamento em Poços Tubulares**. CPRM. [S.l.], p. 24. 1998.

FERREIRA, R. V.; DANTAS, M. E. Relevô. In: PFALTZGRAFF, P. A. S.; TORRES, F. S. M.; BRANDÃO, R. L. **Geodiversidade do Estado do Piauí**. Recife (PE): CPRM, 2010. Cap. 5, p. 45-64.

FIENEN, M. N.; ARSHAD, M. The International Scale of Groundwater Issue. In: JAKEMAN, A. J.; BARRETEAU, O.; HUNT, R. J.; RINAUDO, J.; ROSS, A.. **Integrated Grounwater Management: Concepts, Approaches and Challenges**. [S.l.]: SpringOpen, v. 1, 2016. Cap. 2, p. 21-48.

FIEPI - FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO PIAUÍ. **Cadastro Industrial do Piauí 2013/2014**. Federação das Indústrias do Piauí (FIEPI). Teresina (PI). 2013/2014.

FILHO, J. M. Ocorrência de Águas Subterrâneas. In: FEITOSA, A. C.; FILHO, J. M. **Hidrogeologia - Conceitos e Aplicação**. 2ª. ed. Fortaleza: CPRM, 2000. Cap. 2, p. 13-34.

FOSTER, S.; KOUNDOURI, P.; TUINHOF, A.; KEMPER, K.; NANNI, M; GARDÑO, H.. **Groundwater Dependent Ecosystem: The Challenge of Balanced Assessment and Adequate Conservation**. The World Bank - GW-MATE. [S.l], p. 8. 2006.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; VIDAL, A.; SCHMIDT, G.; GARDUÑO, H.. **The Aquifer Guarani Initiative - Towards Realistic Groundwater Management in Transboundary Context**. The World Bank - GW-MATE. [S.l], p. 23. 2009.

FREEZE, A. R. Propriedades e Princípios Físicos. In: FREEZE, A. R.; CHERRY, J. A. **Águas Subterrâneas**. Tradução de Everton Oliveira. São Paulo: [s.n.], 2017. Cap. 2.

FREITAS, D. A. D.; CABRAL, J. J. S. P; PAIVA, A. L. R.; VERAS, T. B.. **Considerações sobre a Zona Hiporreica na Interação Água Superficial - Água Subterrânea**. II Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrânea. São Paulo(SP): [s.n.]. 2011.

GIORDANO, M. Global Groundwater: Issues and Solutions. **Annual Review of Environment and Resources**, 34, 28 julho 2009. 153-178. Disponível em: <www.annualreviews.org>. Acesso em: 06 jan. 2018.

GLOBAL WATER PARTNERSHIP. The Need for an Integrated Approach. **Global Water Partneship - Towards a water secure world**, 2017. Disponível em: <<https://www.gwp.org/en/About/why/the-need-for-an-integrated-approach/#lang>>. Acesso em: 07 dez. 2017.

GREEN, T. R. Linking Climate Change and Groundwater. In: JAKEMAN, A. J.; BARRETEAU, O.; HUNT, R. J.; RINAUDO, J.; ROSS, A.. **Integrated Groundwater Management: Concepts, Approaches and Challenges**. [S.l]: SpringerOpen, v. 1, 2016. Cap. 5, p. 97-141. ISBN 978-3-319-23576-9.

HAGER, F. P. V.; SILVA, J. R. C.; ALMEIDA, W. M.; OLIVEIRA, W. A. **A Problemática da Gestão das Águas Subterrâneas no Brasil**. XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Florianópolis - SC: [s.n.]. 2002. p. 17.

HAN, Z.; MA, H.; SHI, G.; HE, LI; WEI, L.; SHI, Q.. A review of groundwater contamination near municipal solid waste landfill sites in China. **Science of Total Environment**, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.201>>. Acesso em: 22 nov. 2017.

HARRINGTON, N.; COOK, P. **Groundwater in Australia**. 1. ed. Adelaide (SA): The National Center for Groundwater Research and Training, v. 1, 2014.

IBGE - Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. Censo Demográfico 2010. **Sidra - Sistema IBGE de Recuperação Automática**, 2013. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/200#resultado>>. Acesso em: 15 ago. 2017.

_____. Produto Interno Bruto dos Municípios. **SIDRA- Sistema IBGE de Recuperação Automática**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5938#resultado>>. Acesso em: 15 ago. 2017.

IGRAC - International Groundwater Resources Assessment Centre. **Global Groundwater Information System - GGIS**. International Groundwater Resources Assessment Centre. Delft (Netherlands), p. 16. 2015.

JACOBI, P. R. Espaços Públicos e Práticas Participativas na Gestão do Meio Ambiente no Brasil. **Sociedade e Estado**, Brasília (DF), 18, n. 1/2, jan./dez. 2003. 315-338.

JAKEMAN, A.; BARRETEAU, O.; HUNT, R. J.; RINAUDO, J.; ROSS, A.; ARSHAD, M.; HAMILTON, S.. Integrated Groundwater Management: An Overview of Concepts and Challenges. In: JAKEMAN, A. J.; BARRETEAU, O.; HUNT, R. J.; RINAUDO, J.; ROSS, A.. **Integrated Groundwater Management - Concepts, Approaches and Challenges**. 1. ed. [S.l.]: SpringerOpen, v. 1, 2016. Cap. 1, p. 3-20. ISBN 978-3-319-23576-9.

JÚNIOR, A. S. A.; SILVA, E. F. F.; BASTOS, E. A.; MELO, F. B.; LEAL, C. M. . Uso e Qualidade da Água Subterrânea para irrigação no Semi-árido piauiense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande (PB), 10, n. 4, 2006. 873-880.

KALLIORAS, A.; PLIAKAS, F.; DIAMENTIS, I.; KALLERGIS, G.. SWOT Analysis in Groundwater Resources Management of Coastal Aquifers: a Case Study from Greece. **Water International**, 4, n. 35, setembro 2010. 425-441.

KEBEDE, S.; ABDALLA, O.; SEFELNASR, A.; TINDIMUGAYA, C.. Interaction of Surface Water and Grounwater in the Nile River Basin: Isotopic Piezometric Evidence. **Hydrogeology Journal**, 25, n. 3, maio 2017. 707-726.

KISLEV, Y. **The Water Economy in Israel**. Tradução de M. Erez. Jerusalém (ISR): Taub Center, 2011.

KISLEV, Y. Water in Agriculture. In: BECKER, N. **Water Policy in Israel: Context, Issues and Options**. [S.l.]: Springer, Dordrecht, v. 4, 2013. Cap. 4, p. 51-64. ISBN 978-94-007-5911-4.

LIMA, E. A. M.; BRANDÃO, R. L. Geologia. In: PFALTZGRAFF, P. A. S.; TORRES, F. S. M.; BRANDÃO, R. L. **Geodiversidade do Estado do Piauí**. Recife (PE): CPRM, 2010. Cap. 2, p. 15-24.

LIMA, F. G. F. **Interpretação do Lineamentos Estruturais na Borda Sudeste da Bacia do Parnaíba**. 2016. 100f. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal (RN), 2016.

LLAMAS, M. R.; MARTÍNEZ-SANTOS, P. Intensive Groundwater Use: Silent Revolution and Potential Source of Social Conflicts. **Journal of Water Resources Planning and Management**, 131, set./out. 2005. 337-342.

MAGEN, M. D. **The Parliamentary Committee of Inquiry on the Israeli Water Sector**. Knesset. Jerusalém, p. 152. 2002.

MCGOVERN, E. D. et al. **Thematic Paper nº 5: Groundwater Policy and Groundwater**. Food and Agricultural Organization of United Nations. ROME, p. 51. 2013.

MEGDAL, S. B. et al. Innovative Approaches to Collaborative Groundwater Governance in the United States: Case Studies from Three High-Growth Regions in the Sun Belt. **Environmental Management**, New York, 29 maio 2017.

MEKOROT. The National Water Carrier. **Mekorot - Israel National Water Co.** Disponível em:

<<http://www.mekorot.co.il/Eng/newsite/Projects/NWC/Pages/TheNationalWaterCarrier.aspx>

>. Acesso em: 10 fev 2018.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). **Série Histórica**, 2016. Disponível em: <<http://app3.cidades.gov.br/serieHistorica/>>. Acesso em: 20 ago. 2017.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Conjunto de normas legais: recursos hídricos**. 8ª. ed. Brasília (DF): Gráfica e Editora Movimento, 2014.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. **Ministério do Meio Ambiente**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/agua/recursos-hidricos/sistema-nacional-de-gerenciamento-de-recursos-hidricos>>. Acesso em: 08 set. 2017.

MONTEIRO, A. B.; DINIZ, J. A. O.; PAULA, T. L. F.; FILHO, F. L. C.. **Taxonomia Hidrogeológica do Estado do Piauí**. XIX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Campinas (SP): [s.n.]. 2016.

MORAN, T.; WENDELL, D. **The Sustainable Groundwater Management Act of 2014: Challenges and Opportunities for Implementation**. Stanford. Water in the West. Palo Alto (CA), p. 44. 2015.

MS - Ministério da Saúde. Portaria nº 05, de 28 de setembro de 2017. Consolidação das Normas sobre Ações e Serviços de Saúde do Sistema Único de Saúde. **Diário [da] República Federativa do Brasil**, Brasília (DF), 03 out. 2017. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005_03_10_2017.html>. Acesso em: 12 fev. 2018.

MURRAY, B. R.; ZEPPEL, M. J. B.; HOSE, G. C.; EAMUS, D.. Groundwater-dependent ecosystems in Australia: It's more than just water for rivers. **Ecological Management & Restoration**, 4, n. 2, ago 2003. 110-113. Disponível em: <<https://doi.org/10.1046/j.1442-8903.2003.00144.x>>. Acesso em: 20 nov. 2017.

NOBRE, C. P. V. **O Licenciamento no Setor Industrial de Teresina - Piauí**. 2010. 97f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal do Piauí. Teresina (PI), 2010.

NWC - National Water Commission. National Groundwater Action Plan. **Australian Government - National Water Commission**, 2012. Disponível em: <<http://webarchive.nla.gov.au/gov/20120316185948/http://www.nwc.gov.au/ngap>>. Acesso em: 20 nov. 2017.

_____. Groundwater. **Australian Government - National Water Commission**, 2012. Disponível em: <<http://webarchive.nla.gov.au/gov/20120316190805/http://www.nwc.gov.au/groundwater>>. Acesso em: 20 nov. 2017.

_____. **Australian Government - National Water Commission**, 2015. Disponível em: <<http://nwc.gov.au/>>. Acesso em: 20 nov. 2017.

OECD - Organisation for Economic and Co-Operation Development. **Environmental Performance Reviews: Israel. Chapter 04 - Water**. Organisation for Economic and Co-operation Development. [S.l.], p. 22. 2011.

_____. **Israel. Water Resources Allocation: Sharing Risks and Opportunities**. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). [S.l.], p. 10. 2015.

OLIVEIRA, K. M.; FONTENELES, V. R.; LIMA, C. E.; LUZ, L. E.; TEXEIRA, S. A. T.; SILVA, D. M. C.. Qualidade Sanitária da Água Doce de Poços Artesianos do Município de Picos - Piauí. **Revista Intertox de Toxicologia Risco Ambiental e Sociedade**, 9, n. 2, jun 2016. 99-112.

PC - Productivity Commission. **National Water Reform - Draft Recommendations**. Productivity Commission. [S.l.], p. 43. 2017.

PIAUÍ. Lei nº 6474, 23 de dezembro de 2013. Institui o Cadastro Estadual de Fontes e Usuários de Recursos Hídricos do Estado do Piauí e dá outras providências. **Diário [do] Estado do Piauí**, Teresina (PI), 26 dez. 2013. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=263690>>. Acesso em: 10 jul. 2017.

PIAUÍ. Lei n 6.995, 17 de março de 2017. Dispõe sobre a estruturação e organização dos programas e investimentos estratégicos. **Diário [do] do Estado do Piauí**, Teresina (PI), 04 abr. 2017a.

_____. **Projeto de Lei nº 32, de 04 de agosto de 2017**. Assembléia Legislativa. Teresina (PI), p. 7. 2017b.

PRAVEENA, S.; ARIS, A. Z. A review of groundwater in Island Using SWOT Analysis. **World Review of Science, Tecnology and Sust. Development**, 6, n. 2/3/4, 2009. 186-203.

QUEIROZ, E. T.; SILVA, J. D. G. F.; BARRETO, A. M. **Águas Minerais do Brasil: Distribuição, Classificação e Importância Econômica**. Departamento Nacional de Produção Mineral. Brasília, p. 135. 2004.

RICHARDSON, S.; IRVINE, E.; FROEND, R.; BOON, P.; BARBER, S.. **Australian Groundwater-Dependent Ecosystems Toolbox part 1: Assessment Framework**. National Water Commission. Canberra (ACT), p. 109. 2011.

ROHDE, M.; FROEND, R.; HOWARD, J. A Global Synthesis of Managing Groundwater Dependent Ecosystems Under Sustainable Groundwater Policy. **Groundwater**, fev. 2017.

ROSS, A. Groundwater Governance in Australia, The European Union, and the Western USA. In: JAKEMAN, A. J.; BARRETEAU, O.; HUNT, R. J.; RINAUDO, J.; ROSS, A.. **Integrated Groundwater Management: Concepts, Approaches and Challenges**. [S.l.]: SpringerOpen, 2016. Cap. 6, p. 145-172. ISBN 978-3-319-23576-9.

SANTOS, I. N.; BATISTA, I. H.; ALBUQUERQUE, C. C. **Abastecimento Público de Água: um Estudo na Região Metropolitana de Manaus-AM**. XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Florianópolis-SC: ABRH. 2017. p. 8.

SÃO PAULO. **Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo**. Departamento de Águas e Energia Elétrica. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. São Paulo (SP), p. 44. 2013.

SCHWARZ, J.; BEAR, J.; DAGAN, G. Groundwater Development in Israel. **Groundwater**, 54, n. 1, jan, fev 2016. 143-148. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/gwat.12384>>. Acesso em: 04 fev 2018.

SEMAR - Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Piauí. **Plano Estadual de Recursos Hídricos. Tomo II - Estudos Quantitativos de Águas Subterrâneas**. Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Piauí. Teresina (PI), p. 140. 2010a.

_____. **Plano Estadual de Recursos Hídricos. Tomo III - Qualidade da Água, Consolidação e Prognóstico**. Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Piauí (SEMAR). Teresina (PI), p. 938. 2010b.

_____. **Plano Estadual de Recursos Hídricos. Relatório Síntese**. Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Piauí (SEMAR). Teresina(PI), p. 180. 2010c.

_____. **Legislação de Recursos Hídricos do Estado do Piauí**. Teresina (PI): [s.n.], 2015.

SETTI, A. A. et al. **Introdução ao Gerenciamento dos Recursos Hídricos**. Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasília (DF), p. 226. 2001.

SHAH, T. The Groundwater Economy of South Asia: An Assessement of Size, Significance and Social-ecological Impacts. In: GIORDANO, M.; VILLHOTH, K. G. **Agricultural Groundwater Revolution: Opportunities and Threats to Development**. Colombo: CABI, 2007. Cap. 2, p. 7-37.

SHAH, T.; BURKE, J.; VILLHOLTH, K.; ANGELICA, M.; CUSTODIO, E.; DAIBES, F.; HOOGESTER, J.; GIORDANO, M.; GIRMAN, J.; VAN DER GUN, J.; KENDY, E.; KIJNE,

J.; LLAMAS, R.; MASIYANDIMA, M.; MARGAT, J.; MARIN, L.; PECK, J.; ROZELLE, S.; VINCENT, L.; SHARMA, B.; WANG, J.. Groundwater: a Global Assessment of Scale and Significance. In: MOLDEN, D. **Water for Food, Water for Life: a Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture**. Londres-UK: International Water Management Institute (IWMI), 2007. Cap. 10, p. 396-423.

SHAH, T.; BHATT, S.; SHAH, R. K.; TALATI, J.. Groundwater governance through electricity supply management: Assessing an innovative intervention in Gujarat, western India. **Agricultural Water Management**, 95, n. 11, 27 maio 2008. 1233-1242. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.04.006>>. Acesso em: 18 out. 2017.

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia - Ciência e Aplicação**. 4ª. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2014. Cap. 2, p. 35-52.

SILVEIRA, A. L.; LOUZADA, J. A.; BELTRAME, L. F. Infiltração e Armazenamento no Solo. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2014. p. 335-372.

SOUSA, S. P. D. **Caldas Novas (GO): o uso das águas termais pela atividade turística - das aparências a realidade**. 2011. 173f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Campus Catalão. Catalão, 2011.

SPERA, S. A.; GALFORD, G. L.; COE, M. T.; MACEDO, M. N.; MUSTARD, J. F.. Land-use change affects water recycling in Brazil's last agricultural frontier. **Global Change in Biology**, 26, n. 10, 29 fev 2016. 3405-3413.

SUDENE - Superintendencia de Desenvolvimento do Nordeste. **Nova Delimitação do Semiárido**. Superintendencia de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE). Brasília (DF), p. 63. 2018.

TURRAL, H.; FUGALLAR, I. Institutional Directions in Groundwater Management. In: GIORDANO, M.; VILLHOLTH, K. G. **The Agricultural Groundwater Revolution:**

Opportunities and Threats to Development. Colombo: CABI, 2007. Cap. 15, p. 320-361. ISBN 978-1-84593-172-8.

UENO, S. Common Pool Resources and Social Dilemmas: Case Study of Effective Groundwater Management Policy Kummamoto, 2013.

UNEP - United Nations Environment Programme. **Vital Water Graphics - An Overview of the State of the World's Fresh and Marine Waters**. UNEP. Nairobi, Quenia, p. 88. 2002.

VALENÇA, J. M. M. S.; Cabral, J. J. S. P.; Santos, S. M.; Neto, G. F.; Gil, M. L.. Análise Integrada do nível de água subterrânea e superficial na região da barragem de Bocaina. **Revista de Gestão de Água da America Latina**, Porto Alegre, 14, n. 11, 2017.

VAN DER GUN, J. **Groundwater and Global Change: Trends, Opportunities and Challenges**. 1. ed. Paris: United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization (UNESCO), 2012.

VASCONCELOS, M. B.; SOUSA, N. G.; GENARO, D. T.; LUZ, C. A.; TUPINAMBÁ, M. K. F.. Histórico das Perfurações de Poços Tubulares no Estado do Piauí. **Revista de Geologia**, Fortaleza (CE), 27, n. 2, jul-dez 2014. 11-126.

VIDAL, C. L. R. **Disponibilidade e Gerenciamento Sustentável do Aquífero Serra Grande no Município de Picos-PI**. 2003. 208f.Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) - Universidade de São Paulo. São Paulo (SP), 2003.

WEINBERG, G.; LIVSHITZ, Y.; GIVATI, A.; ZILBERBRAND, M.; TAL, A.; WEISS, M.; ZURELI, A.. **The Natural Water Resources Between The Mediterranean Sea and the Jordan River**. The Water Authority. Jerusalém, p. 71. 2012.

WHYMAP. WHYMAP - World-Wide Hydrogeological Mapping and Assessment Programme. **WHYMAP**, 2017. Disponível em: <https://www.whymap.org/whymap/EN/Home/whymap_node.html>. Acesso em: 02 ago. 2017.

ZUFFO, A. C.; ZUFFO, M. S. R. Experiência Internacional na Gestão das Águas. In: ZUFFO, A. C.; ZUFFO, M. S. R. **Gerenciamento de Recursos Hídricos: Conceituação e Contextualização**. 1. ed. Rio de Janeiro (RJ): Elsevier, v. 1, 2016. Cap. 3.

APÊNDICE A – PROPOSTA RESOLUÇÃO

Elaborada por Pedro Benjamin Carreiro Lima Monteiro como um dos produtos do Mestrado em Gestão e Regulação em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Pernambuco no âmbito da Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (PROFÁGUA)



GOVERNO DO ESTADO DO PIAUÍ CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO PIAUÍ

RESOLUÇÃO Nº XX, DE XX DE XXXXX DE XXXX

Estabelece diretrizes para o fortalecimento da gestão de águas subterrâneas no Estado do Piauí, novos critérios para análise de outorga de direito de uso para águas subterrâneas e dá outras providências.

O CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS – CERH, no uso de suas competências conferidas nos termos dos art. 35 e 40, da Lei nº 5.165, de 17 de agosto de 2000, regulamentado pelo decreto nº 10.880, de 24 de setembro 2002, e conforme disposições do seu regimento Interno e,

CONSIDERANDO que as águas subterrâneas são um recurso amplamente utilizado no Estado do Piauí, superando em várias partes a demanda por águas superficiais;

CONSIDERANDO que já existem regiões onde há superexploração dos aquíferos, reduzindo sua vida útil, e que os efeitos deletérios dessa superexploração demoram a surgir até que sejam tarde demais;

CONSIDERANDO que para boa gestão de águas subterrâneas é necessário o envolvimento dos atores, considerar a interação com as águas superficiais, com o meio ambiente, e demais políticas públicas e o monitoramento para conhecimento do comportamento do recurso; resolve:

Art. 1º - São objetivos desse ato:

- I - Assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos;
- II - Propiciar a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, com vistas ao desenvolvimento sustentável;
- III - Buscar a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais;
- IV - Identificar e promover a preservação e conservação dos ecossistemas dependentes de águas subterrâneas;
- V - Incentivar a gestão conjunta entre águas subterrâneas e superficiais;
- VI - Promover a gestão local das águas subterrâneas;
- VII - Capacitar e ampliar o conhecimento quanto às águas subterrâneas.

Art. 2º - Para efeitos desse ato, consideram-se:

- I - Águas subterrâneas – aquelas que ocorrem no subsolo de forma natural ou artificial de forma suscetível de extração e utilização;
- II - Ecossistema dependente de águas subterrâneas (EDAS) – ecossistemas que dependem direta ou indiretamente da quantidade e da qualidade das águas subterrâneas para manutenção da fauna e da flora, dos processos ecológicos e dos serviços que eles propiciam.
- III - Efeito indesejável – impactos negativos decorrentes do mau uso das águas subterrâneas, que podem ser entendidos como: subsidência dos solos, degradação da qualidade das águas, rebaixamento crônico dos níveis d'água tornando inviavelmente econômico a sua captação; intrusão salina ou redução significativa do armazenamento;
- IV - Poço ou obra de captação - qualquer obra; sistema, processo, artefato ou sua combinação, empregados pelo homem com o fim principal ou incidental de extrair água subterrânea;
- V - Sistema hidrogeológico – formação geológica capaz de armazenar água, podendo transmiti-la ou não. Fazem parte os aquíferos, aquíferos e aquíclides
- VI - Usuários – pessoa física ou jurídica que utiliza as águas subterrâneas para suas necessidades fisiológicas ou insumo de processo produtivo, ou ecossistemas que dela necessita para cumprir suas funções ecológicas;
- VII - Volume de extração sustentável – volume máximo anual de água capaz de ser extraída de um aquífero sem que cause algum efeito indesejável;

Art. 3º - Sem prejuízo para os instrumentos estabelecidos na Política Estadual de Recursos Hídricos, são considerados também instrumentos para a gestão das águas subterrâneas:

- I - Áreas prioritárias;
- II - Zonas de proteção;
- III - Os planos diretores de águas subterrâneas;
- IV - Outorga de direito de uso das águas subterrâneas;
- V - Monitoramento;
- VI - Relatório anual sobre águas subterrâneas;

Art. 4º - Respeitado os limites da bacia hidrográfica, a gestão das águas subterrâneas se dará segundo áreas prioritárias.

Art. 5º - O órgão gestor de recursos hídricos, quando sentir a necessidade ou motivado pelos comitês de bacias ou pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos, deverá subdividir a bacia hidrográfica em áreas prioritárias para a gestão de águas subterrâneas, classificando-as em quatro níveis de prioridades: baixa, média, alta e muito alta.

Art. 6º - A classificação das áreas deverá levar em consideração os seguintes critérios:

- I - Região Hidrográfica prioritária;
- II - População;
- III - Poços;
- IV - Abastecimento humano;
- V - Dependência socioeconômica das águas subterrâneas;
- VI - Impactos ambientais;
- VII - Critérios Ambientais;
- VIII - Demais critérios que se jugar necessário.

Art. 7º - Compete ao órgão gestor elaborar metodologia para a classificação das áreas, cabendo ao Conselho de Recursos Hídricos sua análise e aprovação por meio de resolução.

Art. 8º - Cabe ao Conselho Estadual de Recursos Hídricos e aos Comitês de Bacias decidirem o prazo para a revisão periódica da classificação da área.

Art. 9º - Deverão ser elaborados planos diretores de águas subterrâneas para as áreas com prioridades alta e muito alta a fim de estabelecer ações e programas visando o uso adequado do recurso e a sua conservação e preservação.

Art. 10 - Os Planos Diretores terão caráter operativo e devem considerar os usos múltiplos das águas subterrâneas, as peculiaridades de função dos sistemas hidrogeológicos e os aspectos de qualidade e quantidade para a promoção do desenvolvimento social e ambientalmente sustentável.

Art. 11 - Os Planos Diretores terão como conteúdo mínimo:

- I - O diagnóstico socioeconômico e ambiental da realidade local;
- II - Caracterização espacial do sistema hidrogeológico;
- III - Caracterização física, química e biológica das águas subterrâneas;
- IV - Cômputo das águas subterrâneas no balanço hídrico;
- V - Identificação e caracterização dos ecossistemas dependentes de águas subterrâneas;
- VI - Identificação e caracterização dos efeitos indesejáveis a que estão sujeitas as águas subterrâneas;
- VII - Estimativa das recargas, descargas, reservas permanentes exploráveis e do volume de extração sustentável do sistema hidrogeológico;
- VIII - Zonas de Proteção de acordo com a lei nº 5.165/2000, quando for o caso;
- IX - Proposta para alocação de água;
- X - Horizonte de projeto;
- XI - Os objetivos do plano;
- XII - Ações e programas de acordo com seus objetivos;
- XIII - Estabelecimento de metas, prazos e indicadores para averiguação do seu cumprimento.

Art. 12 - Caso julguem necessário, os Comitês de Bacia ou o Conselho de Recursos Hídricos poderá exigir a elaboração de planos de diretores a outras áreas que não aquelas estabelecidas no art. 16.

Art. 13 - Os Planos Diretores deverão buscar integração com o Plano Estadual de Recursos Hídricos e os Planos de Bacias, quando existirem, bem como com outras políticas que influenciem na gestão das águas subterrâneas.

Art. 14 - Os Comitês de Bacia e o Conselho de Recursos Hídricos deverão participar de todas as etapas de elaboração do plano, desde a contratação da consultoria, quando for o caso, até a apresentação final do produto.

§ 1º - Deverá ser formado uma comissão de análise, formada por membros do CERH, CBHs e órgão gestor para avaliar e aprovar as etapas do Plano Diretor;

§ 2º - A comissão de análise deverá informar ao CERH e CBHs, por meio de relatórios, o estágio de produção do Plano Diretor.

Art. 15 - O Plano Diretor, após elaborado, deverá ser submetido a consulta pública por um prazo mínimo de 60 dias na área de interesse, devendo haver ampla divulgação e incentivo a participação da sociedade.

Art. 16 - Sem prejuízos para o que determina a lei nº 5.165/2000, o decreto estadual nº 11.341/2004 e a resolução CERH-PI nº 04/2005, a outorga de águas subterrâneas deverá ser concedida quando verificados os seguintes critérios:

I - Volume de extração sustentável;

II - Alocação de Águas;

III - Zonas de Proteção;

IV - Interferência entre os poços adjacentes;

V - Possíveis pontos de poluição e contaminação;

VI - Proximidade do poço com fontes de águas superficiais;

VII - A existência de ecossistemas dependentes de águas subterrâneas;

VIII - Balanço hídrico.

Art. 17 - Não será concedida outorga de águas subterrâneas quando todo o volume de extração sustentável já tiver sido outorgado.

Art. 18 - O volume de extração sustentável deverá ser calculado tendo como base os parâmetros hidrogeológicos e a realidade socioeconômica e ambiental da área.

Art. 19 - Deverão ser promovidos estudos para identificação do volume ideal e necessário para a conservação dos ecossistemas dependentes de águas subterrâneas, considerando a realidade socioeconômica e a resiliência do ecossistema.

Art. 20 - Em locais onde seja constatado a direta interação entre águas subterrâneas e superficiais, a análise da outorga deverá ser feita considerando os sistemas como um só, levando em consideração todos os usos feitos a jusante e a montante do sistema.

Art. 21 - O órgão gestor de recursos hídricos, quando julgar necessário, poderá exigir dos usuários outorgados um relatório anual a respeito do volume de água utilizado, da qualidade, da finalidade e do estado de conservação do poço ou obra de captação para fins informativos para composição do relatório anual sobre águas subterrâneas.

Art. 22 - É objetivo da rede de monitoramento coletar dados e produzir informações acerca das águas subterrâneas no estado.

Art. 23 - Compete ao órgão gestor a coordenação e execução da rede de monitoramento.

Parágrafo único. O órgão gestor poderá delegar a execução da rede de monitoramento a pessoas jurídicas de direito público ou privado, sem fins lucrativos, através de termos de cooperação, sendo estabelecidos metas e prazos para a implantação e operação da rede.

Art. 24 - A rede de monitoramento deverá ser implantada preferencialmente nas áreas classificadas como prioridades alta e muito alta e, posteriormente nas demais.

Art. 25 - Quando da sua implementação, a rede de monitoramento deverá considerar o seguinte:

I – Plano Diretor da área prioritária;

II – As diretrizes da Rede Nacional de Monitoramento Integrado Qualitativo e Quantitativo de Águas Subterrâneas, instituída pela resolução CNRH nº 107/2010;

III – A coleta, o armazenamento, o processamento, acessibilidade e a disponibilização dos dados para os atores de gestão e a sociedade em geral;

IV – A frequência mínima de monitoramento

Art. 27 - Os dados coletados e as informações produzidas pela rede de monitoramento deverão compor o relatório anual sobre águas subterrâneas;

Art. 28 - A proposta da rede de monitoramento deverá ser submetida a aprovação dos Comitês de Bacias e, no caso da inexistência desses, do Conselho Estadual de Recursos Hídricos.

Art. 29 Deverá ser preparado o Relatório Anual sobre a Situação das Águas Subterrâneas no estado (RAAS), contendo como conteúdo minimamente:

- I - Volumes outorgados no ano;
- II - Principais usos;
- III - Volume destinado aos ecossistemas dependentes de águas subterrâneas;
- IV - Número de poços perfurados no estado;
- V - Balanço Hídrico;
- VI - Os aquíferos mais solicitados;
- VII - Disponibilidade hídrica;
- VIII - Áreas prioritárias e áreas de proteção;

Art. 30 - O relatório deverá ser elaborado pelo órgão gestor e aprovado pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos até março do ano seguinte ao referido ano do relatório.

Art. 31 - O relatório deverá ser amplamente divulgado, sendo disponibilizado uma cópia no sítio eletrônico do órgão gestor.

Art. 32 - O Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos deverá buscar a implementação da cobrança pelo uso dos recursos hídricos como forma de financiar as ações listadas nesse ato.

Art. 33 - O enquadramento das águas subterrâneas deverá ser feito segundo o que diz a resolução CONAMA nº 396/2008.

Art. 34 - Os planos diretores de águas subterrâneas poderão fazer parte dos planos de bacia desde que sejam respeitados o disposto nos arts. 16 a 20.

Art. 35 - Os dados coletados pela rede de monitoramento deverão estar disponíveis no sistema estadual de informações sobre recursos hídricos.

Art. 36 - O Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos deverá propiciar e incentivar a capacitação dos seus membros e demais interessados quanto a gestão das águas subterrâneas.

Art. 37 – Esta resolução entra em vigor na data de sua publicação.