

GESTÃO INTERESTADUAL COMPARTILHADA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NA CHAPADA DO APODI ENTRE OS ESTADOS DO CEARÁ E RIO GRANDE DO NORTE

João Manoel Filho^I, Marcelo Casiuch^{II}, Tiago Miranda^{III}, Edilton Feitosa^{IV}, Maria Marlúcia Santiago^V, Carla Salgado Vidal^V, Roberto Kirchheim^{VI}

- i. Coordenador técnico do projeto e estudos hidrogeológicos
- ii. Gerente administrativo
- iii. Mapeamentos e estudos geológicos
- iv. Estudos geofísicos
- v. Estudos hidrogeoquímicos
- vi. Modelo de gestão compartilhada

ABSTRACT

The present groundwater case study of Apodi aquifer system in Northeastern Brazil has been carried out over an area of 2538 km² in the frontier region between the states of Ceará (CE) and Rio Grande do Norte (RN). Apodi aquifer system is composed of an upper phreatic karstic groundwater reservoir known as Jandaira aquifer, used for irrigation and a lower confined reservoir named Açú aquifer, used for urban water supply. Increasing exploitation of Jandaira aquifer along with a rainfall shortage, has produced in 2004 excessive drawdown in groundwater levels and significant reduction in well yield. This unfavorable scenario, lead to difficulties in urban and rural water supply as well as in water supply for irrigation which is the main economic activity in the region of the Apodi plateau, particularly in Barauna county –RN. So, the Apodi Project has been conceived by Federal and State Water Authorities aimed towards a diagnostic of groundwater availability, quality, vulnerability and risk of contamination, as a basis for the proposal of a groundwater shared management model between the involved states. This task has been performed by PROJETEC-TECHNE ASSOCIATES, providing the basic scientific knowledge for the so called shared management. According to the results of the diagnostic the number of water wells in the region increased from 846 in 2002 to 1440 in 2009 and the global exploited flow rates increased from 3 m³/s to 7,71 m³/s. The mean annual rainfall in the 30 year period from 1979 to 2008 reaches 700 mm/year, but is extremely irregular ranging from 190 mm/year to approximately 2000 mm/year. In the same period the mean annual recharge is about 175 mm/year, being equally irregular and ranging from 5,6 mm/year to 594 mm/year. In terms of flow rates the available recharge in the study area is about 18,7 m³/s with 50% of probability, decreasing to as much as 2,95 m³/s with 90% of probability. The framework for a comprehensive management program to be developed by the present intrastate and Federal institutional structures is presented. The monitoring of groundwater quality including level and abstraction of water wells, enforcement of legal and institutional instruments besides control of water user attitudes are considerations to be taken into account. Both states CE and RN have the legal and institutional structure appropriate for implementing the management of water resources (PLANERH-CE 1992; PLANERH-RN, 1997).

Groundwater interstate management Brazil.

INTRODUÇÃO

A área de estudo, cobre uma superfície de 2.538 km² situada na região fronteira dos Estados do Rio Grande do Norte e Ceará. É delimitada por um polígono que se desenvolve de leste para oeste entre o Rio Apodi, na altura da cidade de Mossoró, e o Rio Jaguaribe, na altura da cidade de Quixeré (**figura 1**).

O conjunto de atributos físicos da região, aliando solos de boa qualidade e a disponibilidade de águas subterrânea e superficial (média pluviométrica da ordem de 850 mm/ano), constitui-se em fator fundamental para o desenvolvimento da fruticultura irrigada visando à exportação da produção para os mercados externos. O sistema aquífero Apodi é constituído de duas unidades: um aquífero livre superior (calcário da Formação Jandaíra) de natureza cárstica e um aquífero inferior confinado (arenito da Formação Açú).

A exploração crescente do aquífero cárstico Jandaíra produziu em 2004 rebaixamentos excessivos dos níveis estáticos e dinâmicos, levando ao comprometimento de poços tubulares e, como consequência, gerou retração econômica e problemas de abastecimento de água às comunidades urbanas e rurais da região. Este cenário ocorreu principalmente no entorno do município de Baraúna/RN, que possui a maior concentração de irrigantes na região da Chapada do Apodi, com expressiva importância econômica. Neste contexto, é que foi concebido um projeto para avaliação dos recursos existentes, e orientado para a expansão do conhecimento técnico e para a proposição de um modelo de gestão compartilhada das reservas subterrâneas dos referidos aquíferos entre os Estados do Rio Grande do Norte e Ceará, na Chapada do Apodi com o objetivo maior de ofertar garantia de acesso ao recurso.

As avaliações feitas no âmbito do referido projeto revelaram que o número de poços existentes aumentou de 846 em 2002 para 1440 em 2009 e que as extrações de água aumentaram, respectivamente, de 3 m³/s para 7,71 m³/s. O regime pluviométrico é extremamente irregular com média de 700 mm/ano (variável de 190 mm/ano a 2000 mm/ano no período de 1979 a 2008). Essa irregularidade naturalmente se reflete na recarga, cuja média, no mesmo período, foi de 175 mm/ano, variando de 5,6 mm/ano a 594 mm/ano.

Nesse projeto, desenvolvido pelo CONSÓRCIO PROJETEC-TECHNE, estiveram envolvidos a Agência Nacional de Águas (ANA) e os Órgãos Gestores Estaduais mediante conformação de uma Comissão Técnica de Acompanhamento e Fiscalização (CTAF) com reuniões permanentes para avaliação dos levantamentos e estudos empreendidos, o que constitui importante exemplo do tipo de arranjo institucional que se fará necessário.

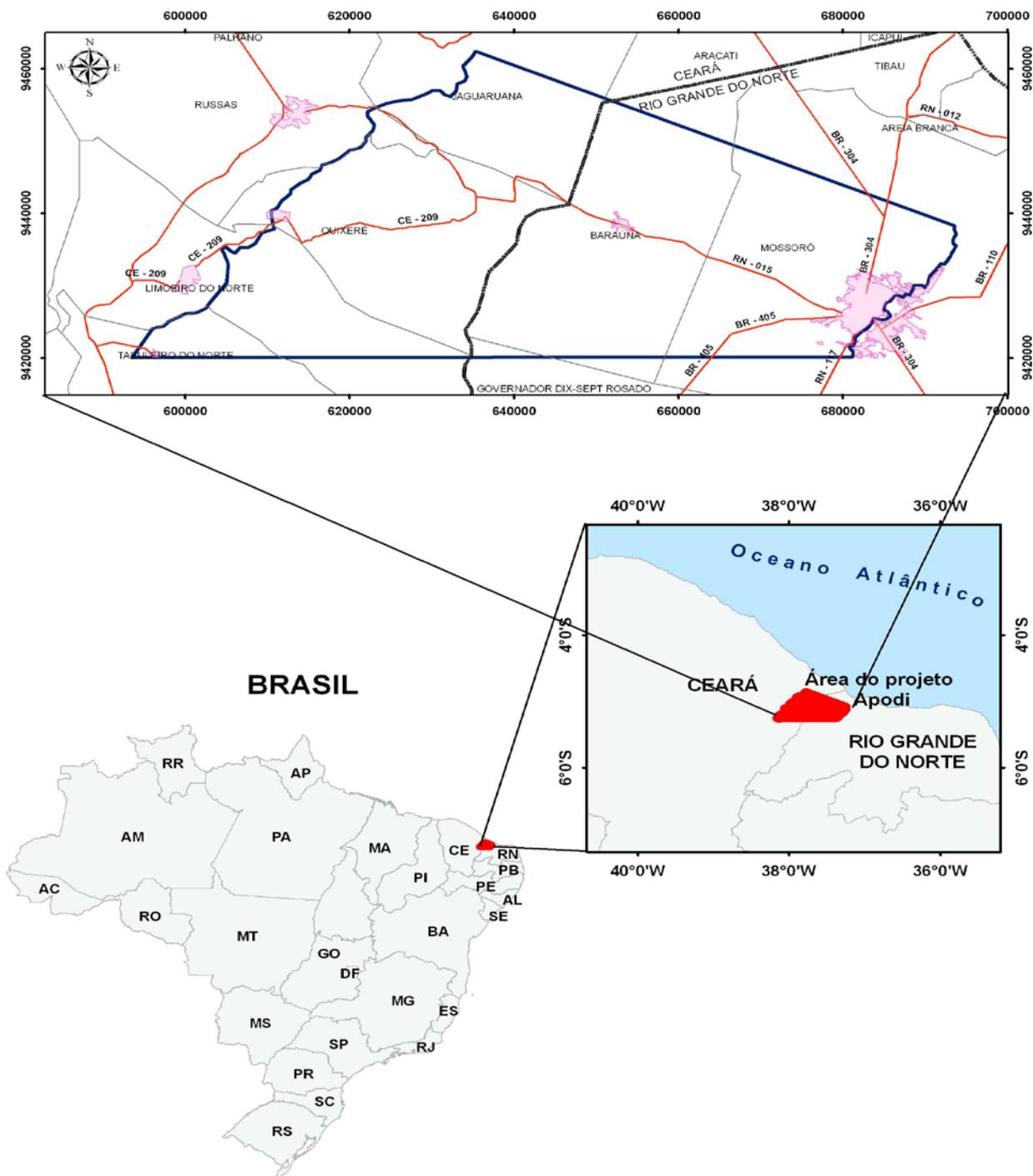


Figura 1 - Mapa de Localização da área de estudo.

METODOLOGIA

Definição do Marco Regulatório: sob essa denominação se entende um conjunto de diretrizes que permita exercer uma gestão compartilhada dos corpos hídricos que conformam os aquíferos Jandaíra e Açu na região da Chapada do Apodi entre os Estados do Rio Grande do Norte e Ceará, com base no conhecimento explícito de suas características físicas avaliadas durante o desenvolvimento do presente trabalho. Neste sentido, são destaques dentre os temas a serem considerados:

- Definição da área geográfica de abrangência e dos respectivos corpos hídricos para os quais o mesmo foi concebido;
- Proposta de convergência do arcabouço legal de águas subterrâneas de ambos os Estados envolvidos, alicerçado em conhecimento técnico construído de forma conjunta;
- Proposta de normatização dos instrumentos de gestão, outorga, cobrança, fiscalização, penalização, monitoramento e planejamento a curto, médio e longo prazo;
- Conjunto de programas de capacitação e reforço institucional a serem desenvolvidos em ambos os Estados;
- Proposta de arranjo institucional factível e passível de ser implementada pelos respectivos órgãos gestores estaduais.

O esquema da **figura 2** ilustra os vários aspectos e componentes do Marco Regulatório.

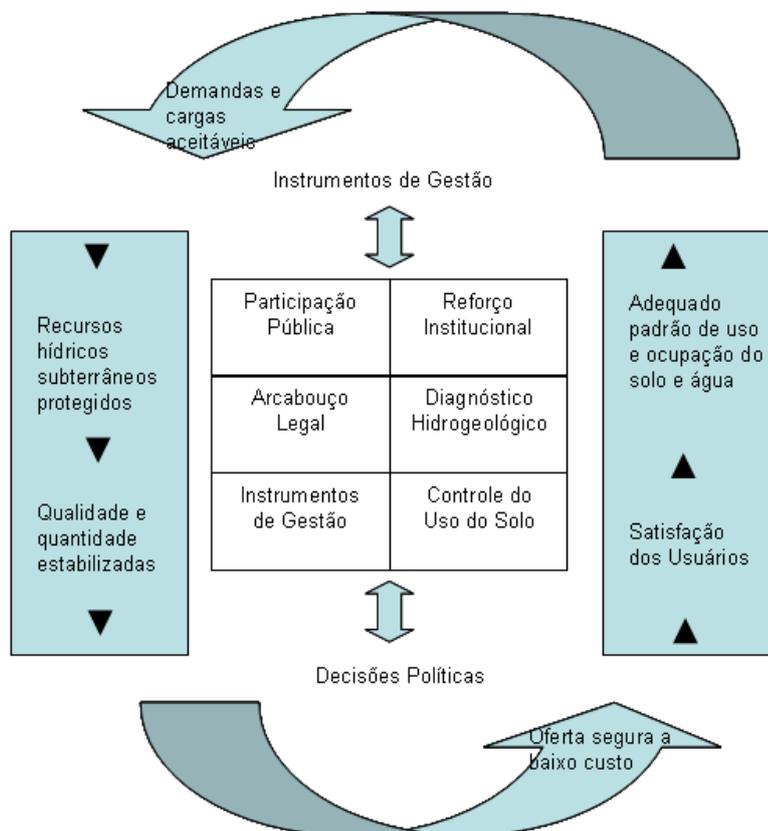


Figura 2 - Esquema das componentes do Marco Regulatório.

DESCOBERTAS E DISCUSSÕES

Bases de Conhecimento para a Gestão: dentre as informações levantadas e sistematizadas a respeito dos aquíferos na região do estado, se faz necessário destacar alguns aspectos intrínsecos ao próprio processo e seus resultados:

- Os aquíferos Jandaíra e Açu possuem fluxos interestaduais e são suficientemente independentes do ponto de vista hidráulico para serem abordados de forma individual.
- A principal área cárstica, onde manifesta-se o maior potencial do aquífero Jandaíra, a sub-bacia do Mata Fresca, encontra-se sob o domínio dos dois Estados. É fundamental que todo o conjunto de informações trazidas à tona pela iniciativa e o próprio Marco Regulatório em si, contemple e beneficie a ambos os Estados de forma paritária, para a realização de uma boa gestão.

- A área de estudo é afetada por grande irregularidade do regime pluviométrico, característico do clima semi-árido dominante. Ao lado de meses com chuvas anômalas gerando importantes recargas (Janeiro/2004 > 700mm e Março/2008 > 300mm), ocorrem longos períodos de estiagens. Este fato traz consigo um elemento de complexidade e de risco no que diz respeito aos volumes que efetivamente adentram o sistema aquífero na forma de recargas, e, em consequência, ao atendimento às demandas hídricas como um todo. Enquanto na sub-bacia do Mata Fresca a recarga é, sobretudo, do tipo canalizado (absorvendo, em média, 47,8% da chuva), ela é difusa, nos demais setores da área do Projeto. Tanto é assim que, em média, na bacia do rio Apodi, a leste, equivale a 12,3% da chuva e na bacia do rio Jaguaribe, a oeste representa apenas 7,4% da chuva.
- O cadastro de usuários de água subterrânea envolveu o levantamento de 1440 poços, dentre os quais 1325 são tubulares (92%); 63 amazonas (também chamados escavados ou cacimbas) representando 4,4% dos poços e finalmente, 52 poços mistos (poço tubular perfurado no interior de um poço amazonas) constituindo 3,6% das unidades levantadas.
- O estudo envolveu duas campanhas de medições de níveis e de amostragem de água em ambos os aquíferos Jandaíra e Açú.
- Foram cadastradas potenciais fontes de contaminação, dentre as quais: 30 postos de combustível, 12 poços de petróleo e uma Estação Coletora de Campo de Petróleo (Campo do Pajeú), 5 cemitérios, 2 lixões a céu aberto (Baraúna e Quixeré), 2 ferros-velhos; 2 usinas de reciclagem e 106 fontes de matéria orgânica (granjas, pocilgas, currais, fossas e efluentes de esgotos domésticos) e ainda 3 (três) depósitos de adubos e defensivos agrícolas. Uma vez sistematizados em categorias de contaminantes, resultaram: i) 43 pontos passíveis de contaminação por Fenóis e BTEX; ii) 10 pontos por metais pesados; iii) 3 pontos por agroquímicos. Admite-se que a poluição potencial difusa originária do uso de agroquímicos na fruticultura irrigada seja o maior problema regional passível de comprometer a qualidade da água subterrânea; iv) 106 pontos por matéria orgânica. Estas informações devem ser atualizadas continuamente para que novos e atuais mapas de risco de contaminação possam ser gerados.
- A distribuição dos poços de extração é bastante heterogênea com forte concentração em torno do Município de Baraúna no RN e a leste do Município de Quixeré no CE. Em contraposição, existem áreas, cujas águas subterrâneas não estão sendo exploradas. Sendo assim, muito provavelmente a concentração de poços é fortemente condicionada pela localização das manchas de solo com aptidão para agricultura irrigada. Esta heterogeneidade em termos de exploração de uso e ocupação do solo tem fortes impactos nas diretrizes de gestão.
- Não se pode perder de vista os fluxos interestaduais em ambas as unidades aquíferas na região de estudo. A principal área cárstica, onde manifesta-se o maior potencial do aquífero Jandaíra, a sub-bacia do Mata Fresca, encontra-se sob o domínio dos dois Estados. É fundamental que todo o conjunto de informações trazidas à tona pela iniciativa e o próprio Marco Regulatório em si, contemple e beneficie ambos os Estados de forma paritária, para a realização de uma boa gestão.

Caracterização Física: A região sob análise, do ponto de vista topográfico, pode ser dividida em compartimentos morfológicos, assim caracterizados:

- **Compartimento 1:** Área pertencente à Bacia Hidrográfica do Rio Jaguaribe situada a oeste e que drena os cursos d'água originados nas vertentes ocidentais da cuesta da Chapada do Apodi. A chuva média do compartimento é de 692,5 mm/ano. Aí dominam riachos temporários, de pequena extensão e forte declividade cujas nascentes são condicionadas por fontes que emergem nas encostas a partir dos calcários Jandaíra, nos períodos de recarga. Nessa bacia hidrográfica a drenagem superficial e subterrânea se realiza sobre os sedimentos da Formação Açú aflorante, representados por folhelhos e siltitos da Formação Quebradas. Nota-se que esta zona está totalmente compreendida nos limites do estado do Ceará.
- **Compartimento 2:** Área que pertence à Bacia Hidrográfica do Rio Apodi, situada a leste e que drena os cursos d'água formados a partir da linha divisória de águas superficiais que atravessa a área do projeto, de sudoeste para noroeste, em toda a sua extensão. A partir dessa linha divisória (cujas cotas chegam a 250 m na Serra Mossoró), a drenagem se realiza quase inteiramente no Município de Mossoró, através de cursos d'água orientados de NW para SE (riachos Cabelo Negro, Pajeú e Nogueira Grande), e orientados de NNW para SSE (Riacho Grande e Riacho do Junco), em direção ao vale do rio Apodi. A chuva média do compartimento varia de 191,4 mm/ano a 2319,2 mm/ano, configurando um quadro de extrema irregularidade. Nessa bacia, o desenvolvimento da rede de drenagem superficial se realiza principalmente sobre a Formação Barreiras e secundariamente sobre as porções dos calcários da Formação Jandaíra, interdigitadas por intercalações de folhelhos da Formação Quebradas. Nota-se que esta zona está totalmente compreendida nos limites do estado do Rio Grande do Norte.
- **Compartimento 3:** Área situada entre as bacias dos rios Apodi-Mossoró e Jaguaribe que ocupa a parte principal da área de estudo e inclui a região de fronteira entre os Estados do Ceará e Rio

Grande do Norte. A chuva média no compartimento varia de um mínimo de 185,1 mm/ano a 2175,8 mm/ano. O valor da média com 95% de confiança situa-se no intervalo de [584,3 a 861,3] mm/ano confirmando a irregularidade sugerida pelo balanço hídrico e já caracterizada nos outros compartimentos da área do projeto. De acordo com os resultados do balanço hídrico a chuva média anual com 50% de probabilidade é de 722,8 mm e igual a 247,3 mm com 90% de probabilidade. Neste compartimento foram identificadas duas sub-áreas com características hidrológicas e geológicas marcantes:

- **Sub-área cárstica sem drenagem superficial:** com 750 km² (445 km² no Ceará e 305 km² no Rio Grande do Norte) correspondente à porção da sub-bacia do Mata Fresca, que ocupa toda a parte centro sul e sudoeste da área do projeto formada por uma superfície estrutural plana, característica da Chapada do Apodi. Esta superfície se desenvolve com mergulho suavemente inclinado na direção geral NE, exibindo inúmeras pequenas depressões isoladas que na verdade são aberturas formadas por fenômenos cársticos. Toda essa área é destituída de rede de drenagem superficial, e nela as águas pluviais se infiltram diretamente nos sumidouros e cavernas existentes. Significa afirmar que todo excedente hídrico se converte em recarga efetiva.
- **Sub-área cárstica, com drenagem superficial incipiente:** com 575 km² (150 km² no Ceará e 425 km² no Rio Grande do Norte) pode ser caracterizada a partir da altura da rodovia Baraúna-Quixeré (RN-015/CE-209), como uma extensão da área cárstica anterior, porém com uma drenagem superficial incipiente, cuja existência se deve a transbordamentos de águas subterrâneas infiltradas nos carsts da zona sul. Nele se encontram os riachos formadores da drenagem Mata Fresca, a qual ultrapassa os limites da área do projeto e prossegue até o seu exutório final, na foz com o Oceano Atlântico.

Características Hidrogeológicas: a **tabela 1** apresenta os intervalos estratigráficos de interesse e sua respectiva nomenclatura geológica e hidrogeológica.

Tabela 1 - Arcabouço geológico e sua correlação hidrogeológica.

Cronologia	Litoestratigrafia		Litologia	Unidades Aquíferas	Características Principais
	Grupo	Formação			
Quaternário			Qa-Aluviões arenosos a argilosos	Aqüíferos livres muito restritos	
			Qp-Dunas de areias bem selecionadas, amarelas, inconsolidadas	Aqüíferos livres muito restritos	
			Qm-Depósitos de planícies de marés	Aqüíferos livres muito restritos	
Tercio-quaternário	Barreiras		TQb-Arenitos finos a médios com conglomerados, siltitos e argilitos intercalados	Aqüíferos livres	
			TQc-Paleocascalheiras incluindo arenitos médios	Aqüíferos livres	
Mesozóico/Cretáceo	Apodi	Jandaíra	Kj-calcários e calcarenitos diversos	Porção superior Aqüífero Livre	grande potencial
				Porção inferior Aqüífero livre a semi-confinado	potencial mediano
		Quebradas	Kq-folhelhos e carbonatos	Aquitardo	Camada semi-permeável
		Açu	Ka-arenitos finos a grosseiros e conglomerados	Aqüífero Confinado	grande potencial
	Areia Branca	Alagamar	Kal-arenitos e folhelhos	Limite impermeável	
	Pendência	Kp-folhelhos	Limite impermeável		
Pré-Cambriano			Granitóides e Metamorfitos indivisos	Limite impermeável	

Assim sendo, as unidades aquíferas de interesse na região do Projeto são individualizadas da seguinte forma:

- **Aquífero Açú e Aquífero Jandaíra.** O primeiro, mais profundo, é materializado pela Formação Açú e possui característica semi-confinada a confinada, constituído de vários níveis aquíferos separados por camadas argilosas com função de aquitardos internos. O aquífero Jandaíra, sotoposto ao anterior, é representado pela Formação Jandaíra. Ressalta-se que a unidade aquífera Jandaíra possui duas porções com comportamentos hidrogeológicos distintos, uma superior, correspondendo aos primeiros 100 m e outra inferior, relacionada as suas porções mais basais. A primeira é de natureza cárstica e pode ser considerada como de maior potencial hidrogeológico contrastando com a porção inferior que apresenta menor potencial hidrogeológico e mais escasso registro técnico. O nível da Formação Jandaíra atualmente explotado para irrigação, no Rio Grande do Norte e no Ceará, são os calcários superiores (calcário 1). De acordo com informações do poço exploratório P1-FP – Sítio Furna de Pedra, a zona carstificada produtora situa-se entre profundidades variando entre 40 e 50 m. Nas zonas onde os folhelhos ocuparam a posição do calcário 1, por interdigitação, o calcário 2 pode ser alcançado por perfurações a profundidades superiores a 60 m. Não sabemos, entretanto, se houve aí desenvolvimento apreciável de carstificação. Por essa razão, mas principalmente, por questões econômicas, o chamado calcário 1 (calcários mais superiores) permanece prioritário para captação de água subterrânea.
- **Distribuição Global dos Poços:** A distribuição dos poços cadastrados quanto à propriedade do terreno e quanto à situação operacional, nos anos de 2002 e 2009, para fins comparativos, é mostrada na **tabela 2**. Observa-se que, em 7 anos, houve um aumento de 70% no número de poços existentes, que passou de 846 para 1440. Aumento ainda mais significativo (cerca de 88%) ocorreu na participação do setor privado na propriedade dos poços, que passou de 634 em 2002 para 1195 em 2009.

Tabela 2 - Distribuição global dos poços cadastrados quanto à propriedade do terreno em setembro de 2002 e em setembro de 2009..

Poços Existentes				Operação	Não Instalados	Paralisados	Abandonados ou desativados
Ano	% Públicos	% Privados	Na área	%	%	%	%
set/02	25	75	846	56	11	17	16
set/09	16	84	1440	67	10	12	11

- **Poços em Operação:** A exploração de água subterrânea na área registrou um acréscimo de 7% no número de poços em operação, cujo percentual passou de 56% em 2002 (473 poços) para 63% em 2009 (908 poços). Ao mesmo tempo ocorreu uma redução no percentual de poços abandonados ou desativados, que passou de 16% para 11%. Quanto à situação operacional, foram identificados em funcionamento no aquífero Jandaíra somente 56% dos poços contra 46% no aquífero Açú. O índice de poços desativados (abandonados) chega a 16% no aquífero Jandaíra e 20% no aquífero Açú.
- **Distribuição dos poços por aquífero:** A distribuição, por aquífero, quanto à propriedade do terreno e situação operacional é mostrada na **tabela 3**. De 40 poços cadastrados no aquífero Açú 57% (23 poços) foram construídos em terrenos públicos e 43% (17 poços) em propriedades privadas. No aquífero Jandaíra, dentre 1398 poços cadastrados, 84% (1174 poços) se encontram em terrenos particulares e 16% (224 poços) em terrenos públicos.
- **Regime de Bombeamento:** O número de horas por dia de funcionamento dos poços (regime de bombeamento) informado em 630 poços (44% dos 1440 cadastrados) varia de 1 a 24 horas/dia, sendo que o regime operacional mais frequente (para 19,8% dos poços) corresponde a 12 horas/dia. Portanto, para fins de estimativa da produção de água subterrânea na região, o regime operacional adotado, com base na média ponderada pela frequência, é de 11 horas/dia.

Tabela 3 - Distribuição dos poços cadastrados por aquífero e quanto à propriedade do terreno em 2009.

Aquífero	Poços Existentes			Operação	Não Instalados	Paralisados	Abandonados ou desativados
	Públicos	Privados	Na área				
Jandaíra	25% (350)	75 % (1048)	100% (1398)	56% (783)	11% (154)	17 % (237)	16% (224)
Açú	57% (23)	43% (17)	100% (40)	46% (18)	9% (4)	25 % (10)	20% (8)
Aluvião		100% (2)	100% (2)	100 % (2)			

- **Produção de Água:** A produção global de água subterrânea é inferida com base nas vazões informadas e no regime médio de funcionamento dos poços. Levando em conta as frequências das diferentes faixas de vazão dos poços, chega-se à conclusão de que a disponibilidade efetiva atual oriunda dos poços existentes em operação é de 7,71 m³/s (666144 m³/dia), ou seja, essa é a descarga que se acha atualmente em uso proveniente de todos os poços existentes captando o ambos os aquíferos da região do estudo. A produção de água estimada nos Jandaíra e Açu no ano de 2009 é apresentada na **tabela 4**, tomando como referência as vazões informadas no cadastro de 1398 poços.

Tabela 4 - Produção de água subterrânea por aquífero na área do Projeto, estimada para o ano de 2009.

Produção Estimada por Aquífero para 2009		Existentes	Operação	Não Instalados	Paralisados	Abandonados
Jandaíra	Porcentagem	(100)	(56)	(11)	(17)	(16)
	Número de poços	1398	783	154	237	224
	Produção m ³ /s	11,82	6,62	1,30	2,01	1,89
Açu	Porcentagem	(100)	(46)	(9)	(25)	(20)
	Número de poços	40	18	4	10	8
	Produção m ³ /s	0,42	0,19	0,04	0,11	0,08

- A evolução histórica da produção no Aquífero Açu (expressa em termos de médias anuais em m³/s), segundo registros da CAERN, no período de 1991 – 2003, mostra que houve uma redução significativa na produção de água, que passou de 0,837 m³/s para 0,258 m³/s. Essa redução ocorreu pelo fato da CAERN ter abandonado ou desativado 10 poços depois da chegada de água proveniente da Barragem Armando Ribeiro Gonçalves, sendo 5 devido a problemas de contaminação por hidrocarbonetos e 5 por dificuldades operacionais produzidas por obstruções de tubulações causadas por incrustações de carbonato de cálcio.
- A produção de água subterrânea estimada do Açu para 2009 em Mossoró é de 0,385 m³/s obtida de 11 poços existentes em operação. Somando-se 0,031 m³/s de 2 (dois) poços operantes em Baraúna, chega-se a uma estimativa de 0,416 m³/s para o aquífero Açu na região.
- Atualmente a CAERN enfrenta problemas de falta água em Mossoró e não parece haver uma política bem definida de investimento prevista para ampliação do sistema através de novos poços, posto que já se encontra na ordem do dia um novo projeto de adução de água superficial, desta vez do Açude Santa Cruz, localizado 10 km ao sul de Apodi e cerca de 90 km de Mossoró.
- **Usos da Água:** A análise dos dados do cadastro de poços no que diz respeito ao uso da água permite traçar algumas conclusões importantes para o âmbito da gestão, entre elas:
 - 95% dos maiores usuários de água subterrânea (19 entre 20) captam águas do aquífero Jandaíra somando descargas de 4,44 m³/s;
 - O maior usuário é a Empresa Del Mont que dispõe de 44 poços com capacidade instalada de 4720 m³/h e vazão média por poço, de 107 m³/h, usado na fruticultura irrigada;
 - Além da Del Mont, exercem essa mesma atividade 14 (quatorze) outros usuários. Em conjunto os 15 usuários de água subterrânea para a irrigação de frutas tropicais, utilizam 162 poços com uma produção horária de 12113 m³ ou 3,36 m³/s;
 - Os 4 (quatro) usuários restantes utilizam 57 poços com uma produção total de 3870 m³/h ou 1,08 m³/s (22%) usada na carcinicultura;
 - Os 19 usuários do aquífero Jandaíra captam uma descarga total de 4,44 m³/s, de 57 poços para uso na carcinicultura e 3,36 m³/s de 162 poços para uso na fruticultura irrigada.
 - No aquífero Açu: dentre os grandes usuários, as águas do aquífero Açu são captadas apenas pela CAERN, para abastecimento urbano de água em Mossoró (11 poços) e Baraúna (2 poços), com produção total de 0,42 m³/s.
 - Em conjunto esses 20 (vinte) maiores usuários possuem uma reserva em exploração de 4,86 m³/s, explotável de 232 poços, que representam 26% dos 907 poços existentes em operação e extraem 59% da reserva em exploração de 7,71 m³/s.
 - As descargas médias por poço dos diferentes usuários variam de 25 m³/h a 195 m³/h.
 - Os percentuais de uso e de produção de água pelos 20 principais usuários permitem afirmar que 69% da água (12113 m³/h) é usada na fruticultura irrigada; 22% (3870 m³/h) na carcinicultura e 9% (1499 m³/h) no abastecimento urbano. Destes (20%) pertencem ao setor

público e (80%) ao setor privado. Os proprietários públicos, com 28% dos poços (98), respondem por 14% da produção (2039 m³/h) enquanto que os proprietários privados, com 72% dos poços (206) utilizam 12787 m³/h que representam 86% da produção.

- **Reservas Reguladoras:** Para o aquífero Jandaíra a avaliação da recarga a partir de dados hidrológicos e de clima foi realizada através do balanço hídrico diário de Thornthwaite (1979-2008) com estimativa da precipitação média pelo método de Thiessen, fazendo uso dos totais mensais de chuvas diárias. O balanço foi feito em escala regional, por setor de bacia hidrográfica existente na área do Projeto uma vez que a drenagem do escoamento (Q=I+R) calculado no balanço é controlada pelos referidos compartimentos (A1 Jaguaribe; A2 Mata Fresca; A3 Apodi), naturalmente separados por linhas divisórias de escoamento superficial e, no caso, até de água subterrânea. Os resultados são os indicados na **tabela 5**. ponto essencial a ser notado nesses resultados é a incerteza hidrológica indicada pelos dados analisados, que reduz a recarga de 18,75 m³/s (com 50% de risco) para 2,95 m³/s com 10% de risco. O alto risco de se contar com a reserva reguladora, na área do Projeto, decorre, portanto, da irregularidade climática do semiárido nordestino, onde se convive com um regime de chuvas irregulares da ordem de 700 mm/ano e com um regime de evapotranspiração potencial praticamente constante de 1850 mm/ano. Isto significa que a sustentabilidade da exploração vai depender das reservas permanentes. Para o aquífero Açú na área do projeto, considerando seu grau de confinamento, as recargas foram consideradas desprezíveis e não foram estimadas. As reservas reguladoras ou renováveis, avaliadas com 50% de risco (pela média de longo período), no aquífero Jandaíra na área do Projeto, ascendem a 590 Hm³/ano (18,7 m³/s). Deste somatório, 259 Hm³/ano (8,2 m³/s) referem-se ao Estado do Ceará e 332 Hm³/ano (10,5 m³/s) ao Estado do Rio Grande do Norte, ou seja, os volumes gerados por recarga em ambos os Estados são bastante similares, 44% para o CE e 56% para o RN.

Tabela 5 - Recarga avaliada por compartimento na área do Projeto, a partir do balanço hídrico (1979 – 2008).

Setor	Bacia Hidrográfica	Área Km ²	50% Probabilidade		90% Probabilidade	
			mm	m ³ /s	mm	m ³ /s
A1	Rio Jaguaribe	518	51,2	0,84	5,5	0,09
A2 Norte	Riacho Mata Fresca	575	351,5	6,42	59,8	1,09
A2 Sul	Riacho Mata Fresca	750	400,5	9,54	68,2	1,62
A3	Rio Apodi	695	88,9	1,96	6,8	0,15
Total		2538		18,76		2,95

- **Reservas permanentes:** Os estudos realizados resultaram nas seguintes estimativas das reservas permanentes: Para o aquífero Jandaíra são da ordem de 36240 Hm³, dos quais 8232 Hm³ referem-se ao Ceará (23% do total) e 28008 Hm³ (77% do total) referem-se ao Rio Grande do Norte, devido ao aumento das espessuras do Jandaíra na direção do território Potiguar. Para o aquífero Açú são da ordem de 33607 Hm³ dos quais 8325 Hm³ referem-se ao Ceará (25%) e 25282 Hm³ referem-se ao Rio Grande do Norte (75%), pelo mesmo motivo anterior, ou seja, aumento das espessuras saturadas na direção de Mossoró em território Potiguar.
- **Reservas Explotáveis:** Por definição e consenso dos órgãos gestores estaduais, as reservas explotáveis correspondem às reservas reguladoras e, por isso, possuem proporção idêntica.
- **Reservas em Explotação:** Para o aquífero Jandaíra as reservas em uso equivalem a 41% das reservas explotáveis totais (soma para ambos os Estados). Para o aquífero Açú, esta soma representa 48% das reservas explotáveis totais. Avaliando a situação de cada Estado de forma particular observa-se que:
 - Ceará: 22% das reservas explotáveis encontram-se em exploração no aquífero Jandaíra e 0% no aquífero Açú. As reservas em exploração no Jandaíra no Ceará correspondem a 23% do total das reservas da região.
 - Rio Grande do Norte: 56% das reservas explotáveis encontram-se em exploração no aquífero Jandaíra e 62% no aquífero Açú. As reservas em exploração no Jandaíra no Rio Grande do Norte correspondem a 77% do total. Este cenário mostra que o Rio Grande do Norte desenvolve uma exploração mais intensa das reservas reguladoras do aquífero Jandaíra.
- **Reservas Restantes:** Para ambos os aquíferos em ambos os Estados, as reservas restantes são complementares às reservas em exploração. As reservas restantes do Jandaíra no Ceará e Rio Grande do Norte correspondem, respectivamente, à 58% e 42% do total da região.

Outorgas na Área do Projeto As informações disponíveis sobre outorga de água na área de estudo fornecidas pelo Sistema de Outorga e Licença (SOL) da SRH/COGERH/CE contemplam principalmente os municípios de Jaguaruana, Quixeré, Limoeiro do Norte e Tabuleiro do Norte no Estado do Ceará e os municípios de Baraúna e Mossoró, no Rio Grande do Norte, segundo os dados da SEMARH/RN. Esses 6 (seis) municípios cobrem 99% da área do projeto. Nos municípios restantes (Aracati, Russas e Dix-Sept Rosado), que ocupam apenas 1% do território inexistem dados de outorga dentro área do projeto. Levando em conta os valores médios dos dados constantes dos processos de outorga da COGERH/CE (março de 2009), o regime médio de funcionamento estimado é de 10 horas/dia. Para os mananciais explotados pelo setor público e destinados ao abastecimento humano de água, o regime médio considerado será de 20 horas/dia. As outorgas de água subterrânea concedidas na área do projeto, até as datas indicadas na **tabela 6**, somam 650. As vazões per capita, são de 0,27 m³/hab.dia, em Jaguaruana; 2,69 m³/hab.dia, em Quixeré; 0,08 m³/hab.dia, em Limoeiro do Norte; 0,02 m³/hab.dia, em Tabuleiro do Norte; 0,70 m³/hab.dia, em Mossoró e 3,07 m³/hab.dia, em Baraúna. Os volumes diários estimados, com base nos regimes médios operacionais adotados, são, respectivamente de: Para o setor público: 2% (950 m³/dia) em Quixeré e 6% (260 m³/dia) em Limoeiro do Norte; 23% (38102 m³/dia) em Mossoró e 13% (8986 m³/dia) em Baraúna. Para o setor privado: 100% (8334 m³/dia) em Jaguaruana; 98% (49198 m³/dia) em Quixeré; 94% (3772 m³/dia) em Limoeiro do Norte; 100% (504 m³/dia) em Tabuleiro do Norte; 77% (126490 m³/dia) em Mossoró e 87% (61934 m³/dia) em Baraúna.

Tabela 6 - Situação geral das outorgas concedidas para água subterrânea na área do projeto.

Município	Número outorgas	Vazão m ³ /dia	Habitantes 2008	m ³ /hab.dia	Público (m ³ /dia)		Privado (m ³ /dia)	
					Valor	%	Valor	%
Jaguaruana	20	8334	30965	0,27	0	0	8334	100
Quixeré	109	50148	18652	2,69	950	2	49198	98
Limoeiro do Norte	11	4032	53289	0,08	260	6	3772	94
Tabuleiro do Norte	3	504	29369	0,02	0	0	504	100
Mossoró	111	164592	234390	0,70	38102	23	126490	77
Baraúna	396	70920	23098	3,07	8986	13	61934	87
Total	650	298530	389763	0,76	48298	16	250232	84

Fontes: COGERH (2009); SEMARH (2009).

O Caminho para a Gestão: O caráter compartilhado e transfronteiriço da dinâmica aquífera na região faz do zoneamento dos aquíferos uma estratégia fundamental, para a qual, valem as seguintes premissas:

- Embora sejam considerados corpos hídricos integrantes de uma mesma bacia sedimentar e de coincidência geográfica na área que encerra o marco regulatório, cada um dos aquíferos (Açu e Jandaíra) deve ter sua própria gestão, com instrumentos específicos para cada um deles;
- Dentro do polígono demarcado para o estudo existe uma região central denominada de sub-bacia Mata Fresca, a qual é seccionada pelo limite territorial-político de ambos os Estados e na qual efetivamente se processam fluxos interestaduais subterrâneos. Não faz sentido hidrogeológico considerar o efeito de fluxos interestaduais nas regiões a Oeste no Ceará na Bacia Hidrográfica do Baixo Jaguaribe e a Leste, no Rio Grande do Norte, na Bacia Hidrográfica do Apodi. Mesmo pertencendo à área delimitada para o estudo como um todo, os fluxos subterrâneos nas regiões citadas não são do tipo interestadual;
- Este fato não impede que as diretrizes e zoneamentos aqui estabelecidos não possam ser aplicados para estas regiões. Muito antes pelo contrário, o polígono inicial do marco regulatório deve ser mantido, sendo considerado extremamente salutar estender as diretrizes de gestão para toda a área original. Esta afirmação é corroborada pelo fato de que a gestão seguirá sendo de responsabilidade dos órgãos gestores estaduais, os quais terão plena autonomia de aplicar os instrumentos de gestão que se fizerem necessários. Entretanto, quanto maior for o equilíbrio e a sintonia destas ações, mais efetiva e sustentável será a gestão dos recursos da região como um todo, independente do Estado. Neste caso, ocorre a gestão compartilhada de fato;
- No âmbito da gestão compartilhada, não é cogitada a exploração do aquífero Açu. Isto porque, além de suas reservas serem constituídas exclusivamente de paleoáguas esse aquífero já vem sendo explotado na área do projeto, pela CAERN, Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte, para abastecimento urbano de água em Mossoró e Baraúna, há mais de 40 anos em regime de exaustão, também chamado de não equilíbrio. Admite-se que o rebaixamento máximo permissível (RMP) para esse aquífero deva ser de 1/3 da carga de confinamento, em consonância com a regra de preservação dos 2/3 da reserva disponível sob pressão;

- A ênfase da gestão compartilhada, portanto, se concentra no aquífero Jandaíra para o qual definiu-se como reserva explorável, a recarga natural média de longo período, com 50% de probabilidade, acrescida, eventualmente, em épocas críticas de estiagem, de uma parte da reserva permanente. A parcela recomendada para uso nestes casos corresponderia a 1/3 do seu volume, de modo a proporcionar uma descarga adicional de $(V_{rp}/150)$ m³/ano. Isto significa que essa decisão de longo alcance admite que a preservação de 2/3 do volume V_{rp} é bastante para as gerações futuras e suficiente para manter 2/3 da espessura saturada como zona de admissão de água para os poços de exploração. Deve ser entendido ainda que este é apenas um número geral de orientação, para o horizonte considerado de 50 anos. Ele pode variar de ano para ano de acordo com as necessidades de atendimento da demanda, desde que respeitada a condição de rebaixamento máximo permitível (RMP) de 1/3 da espessura saturada em zonas de exploração do aquífero (ZEA) a serem definidas no âmbito da área do projeto.
- Considera-se que este conceito de RMP facilita a gestão sustentável das outorgas de água subterrânea, na medida em que o foco do controle da exploração, tendo em vista a concessão e fiscalização do direito de uso, é transferido do poço para a zona de exploração. Isto significa que para fins de outorga, o controle do RMP não precisa ser feito por poço, mas sim por zona de exploração. Sem dúvida esta abordagem traz efeitos sobre a estratégia do monitoramento. As características das zonas (número de poços, volumes extraídos, reservas disponíveis) deverão ser levadas em conta no momento de desenhar a respectiva rede de monitoramento.
- As conclusões que podem ser obtidas através das simulações são as seguintes:
- No quadrante Noroeste do polígono estudado, em território Cearense, observam-se manchas críticas, ou seja, áreas onde teoricamente os níveis do aquífero Jandaíra, já estariam próximos dos valores de RMP (em magnitudes de espessura linear de aquífero saturado variando de 5 a 50 m). Estas manchas coincidem com áreas onde o Jandaíra apresenta as menores espessuras, mostrando um forte controle da distribuição das isópacas. São áreas de baixo potencial hidrogeológico.
- Logo ao norte da área urbana de Mossoró no RN ocorrem manchas críticas, estas sim associadas com as expressivas retiradas de água do aquífero Jandaíra.
- Toda a parte central do polígono, justamente em torno de Baraúna, o cenário de níveis é de maior conforto, em virtude das grandes espessuras saturadas que o aquífero ali desenvolve.
- De modo geral o grau de conforto diminui de forma concêntrica a partir da porção central sul do polígono.
- Da segunda simulação, a que relaciona a espessura saturada remanescente no aquífero rebaixando a superfície potenciométrica atual em 1/3, resultam cenários de tendências similares à anterior.
- De forma concêntrica a partir das áreas de maiores isópacas, ocorrem franjas de decrescente valor de espessuras saturadas remanescentes no aquífero.
- Nas bordas da área, principalmente a oeste, podem haver áreas com pouca espessura saturada disponível.
- Ambas as simulações foram discretizadas com o mesmo arranjo de células, conforme aplicado na ZEA, configurando assim uma camada adicional de diretrizes para a gestão. Sugere-se um controle do RMP por zona de exploração, em concordância com o preconizado a partir da ZEA. Além disto, estes resultados devem ser incorporados como argumento na rede de monitoramento permanente para a região estudada. Conforme já foi discutido anteriormente, as propriedades cársticas do aquífero Jandaíra impõem anisotropias e heterogeneidades ao seu comportamento hidrogeológico. Significa que estas simulações devem ser interpretadas como uma referência apenas e não como um valor absoluto. Nos chamados "piscinões" do aquífero Jandaíra, ou seja, em suas áreas altamente carstificadas, as quais exercem a função de recarga pontual, seguramente a extração de enormes vazões teria pouco efeito em termos de rebaixamentos. Significa que nestas áreas, a simulação não tem o menor sentido, sendo que, para estes casos, o controle sobre os volumes extraídos em função da ZEA é muito mais efetivo.
- Há a necessidade de implementar um programa de monitoramento automático de níveis e descargas de poços priorizando as zonas já diagnosticadas como críticas no atual estágio de conhecimento. Neste sentido é proposta em termos gerais sobre a área, uma rede de 40 sensores. Para bem avaliar os efeitos da exploração do aquífero ao longo da fronteira CE/RN são previstas 5 (cinco) seções transversais, com 2 (dois) poços em cada uma e ficando cada poço distante 1,5 km de cada lado da fronteira.
- O monitoramento de descargas dos poços deve ser incentivado e compartilhado especialmente com os principais usuários, a exemplo do que já vem sendo feito no Ceará pela COGERH.
- Os parâmetros químicos e microbiológicos a serem medidos devem ser de simples e acessível análise com a utilização de indicadores de baixo custo. A periodicidade da medição resulta de um equilíbrio entre a geração de informação de qualidade e a economia. O monitoramento deve ser

capaz de determinar variações normais ou naturais no aquífero e apoiar a detecção de alguma anomalia, que por ventura exista ou venha a se processar. As medições não devem ser tão frequentes a ponto de oferecer dados redundantes. Seu desenho deve permitir a detecção de grandes mudanças futuras de acordo com as formas de uso e ocupação do solo e água. De maneira sintética, são sugeridas as seguintes frequências: Microbiologia – periodicidade trimestral; Parâmetros físico-químicos (medidos a campo) – periodicidade trimestral; Íons maiores (determinação em laboratório) – periodicidade semestral; Metais, elementos orgânicos e pesticidas – periodicidade anual.

- Com utilização dos dados coletados, são recomendadas avaliações anuais através de modelagens analíticas e numéricas das zonas de exploração monitoradas, incluindo análise dos registros coletados, calibração de modelos de fluxo, e implementação de modelos de otimização de vazões, em escala de ZEA, compondo um Relatório Anual de Controle da Exploração, circunstanciado.

Mapas de Zoneamento: Com base nesta discussão foram desenvolvidos três zoneamentos distintos: (i) zoneamento que estabelece as zonas de exploração (ZEA), (ii) zoneamento da qualidade da água subterrânea, sua potabilidade e restrições ao uso e, (iii) zoneamento de vulnerabilidade e risco à contaminação. Em adição a estes zoneamentos, foi gerada uma simulação para rebaixamentos máximos permitidos (RMP).

- **Zonas de Exploração do Aquífero (ZEA):** O estabelecimento de zonas de exploração do aquífero baseia-se na condição heterogênea e na anisotropia dos aquíferos em termos de quantidade e qualidade, conforme foi descrito nos capítulos 2 e 3. A área global do estudo, um retângulo de 90 km x 38 km, foi dividida em 40 células regulares de 85,5 km² (9 km x 9,5 km), sendo que destas, 33 tiveram em seu interior porções significativas da área de estudo no domínio do aquífero Jandaíra.
- O zoneamento do tipo ZEA foi aplicado somente para o aquífero livre Jandaíra. Em cada uma das células foi equacionado um balanço tendo como vazão de entrada a recarga média de longo período e como descarga de saída, o somatório das vazões dos poços tubulares informadas no cadastro de usuários realizado em 2009 para a área do projeto. Este procedimento permitiu obter o mapa de zoneamento da exploração do aquífero Jandaíra em 2009, ou seja, um indicativo espacial dos excedentes e/ou dos déficits existentes em relação à recarga natural.
- Verificou-se que o número de poços existentes em operação em cada célula varia de 0 a mais de 130, estando concentrados principalmente nas células coincidentes com as regiões de Mossoró e Baraúna. Em algumas células existe déficit significativo em relação à recarga de longo período.
- Embora esta conclusão baseada em vazões informadas encerre algum grau de incerteza, os monitoramentos de nível que vêm sendo conduzidos pela SEMARH no Rio Grande do Norte, deverão certamente indicar, a curto prazo, até que ponto esse quadro é preocupante. A julgar pelo índice de concentração de poços, esta é a realidade.
- As conclusões que podem ser traçadas a partir do ZEA desenvolvido são as seguintes:
- As células com incidências de manchas vermelhas e laranja indicam déficit hídrico, ou seja, extrações em volumes superiores à recarga. Na verdade, do ponto de vista da gestão significa aplicar restrição quase que completa à abertura de novos poços além do controle sobre os poços existentes e sobre o uso atual da água extraída;
- O limite da cor alaranjado com o verde representa o limiar zero, ou seja, a linha onde as entradas equivalem às saídas. Assim sendo, também representa uma fronteira entre grupos de células com déficit hídrico e sem déficit hídrico;
- As cores azuis representam áreas de células onde existe certo conforto hídrico, ou seja, existem volumes disponíveis para serem outorgados;
- A situação do Rio Grande do Norte pode ser considerada mais crítica haja vista que as duas porções com déficits encontram-se em seu território, respectivamente nas imediações de Baraúna e Mossoró.
- Obviamente, este cenário representa apenas um “retrato” do aquífero tendo como base as últimas medições de níveis realizadas. Trata-se de uma simplificação, na qual não estão sendo considerados os fluxos transversais, ou seja, intercélulas. Novamente entra em cena a ênfase no programa de monitoramento, cujo desenho deverá contemplar o cenário recém descrito.
- **Zoneamento de Qualidade:** Os aspectos de qualidade por definição devem ser integrados na racionalidade da gestão. Em função dos aspectos qualitativos de ambos os aquíferos se pode definir zonas de restrições a certos tipos de usos assim como zonas que requerem uma integração entre as políticas públicas de recursos hídricos e ordenamento de uso e ocupação do solo. Em ambos os aquíferos ocorrem heterogeneidades significativas, as quais tornam-se perceptíveis a partir da distribuição das classes conforme se descreve a seguir:
- **Mapa de classes de água segundo o VMP (valor máximo permitido):** Sem todos os dados disponíveis para classificar as águas de acordo com o artigo 12 da Resolução 396 (CONAMA 2008), optou-se por classificar as águas em dois grupos: i) no primeiro a potabilidade das águas foi determinada utilizando dados de íons maiores, ferro, STD, dureza, cor e turbidez; ii) no segundo

grupo estão as águas que além da determinação das análises do primeiro grupo tiveram medidos alguns dos parâmetros, metais pesados, BTEX, fenóis, agrotóxicos e bactérias. A classificação foi feita em função dos VMP, considerando: **classe 1** as águas com todos os parâmetros com valores menores do que o VMP; **classe 2** com um parâmetro com valor maior do que o VMP; **classe 3** com dois parâmetros > VMP; **classe 4** as amostras com três ou mais parâmetros > VMP.

- **Mapa de classes de Sólidos Totais Dissolvidos (STD):** Os STD correspondem à massa total dos constituintes minerais presentes na água, por unidade de volume. Correspondem a toda matéria que permanece como resíduo após evaporação, secagem ou calcinação da amostra a uma temperatura pré-estabelecida, durante um tempo fixado. Com base nos valores estimados de STD, as águas são classificadas em doces, salobras ou salgadas. A distribuição de frequência de STD no aquífero Jandaíra segundo as faixas de água doce, salobra e salgada demonstra que a maioria das águas desse aquífero é salobra (70%) ou salgada (29%), ficando o percentual de água doce restrito a apenas 1%. As concentrações de STD dos 12 (doze) poços analisados para o aquífero Açú, estão situadas no intervalo de 376 a 549 mg/L, indicativos de águas de boa qualidade para consumo humano. O valor médio é de 532 mg/L.
- **Mapas de Aptidão de Uso para Irrigação:** O Departamento de Agricultura dos Estados Unidos desenvolveu um diagrama para classificar as águas quanto ao uso na agricultura considerando a Condutividade Elétrica como fator de salinidade e a Razão de Adsorção de Sódio como fator de risco de sódio (USSLS, 1954). Partindo-se destas determinações, os mapas mostram a distribuição das condutividades elétricas e a de sólidos totais dissolvidos das águas subterrâneas dos aquíferos Jandaíra e Açú. No que diz respeito ao aquífero Jandaíra, ocorrem dois grupos distintos de águas, respectivamente as águas condutividade elétrica inferior a 4500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dominantes na bacia do riacho Mata Fresca e no oeste da área e águas com condutividade elétrica superior a 4500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, dominantes na zona leste da área afetada pela língua salgada do vale do Apodi, nas proximidades de Mossoró. Estas últimas se encontram em uma zona de difusão iônica de sais marinhos, sendo inadequadas ao uso na irrigação, pois apresentam risco de sódio forte e muito forte e risco de salinidade muito alto a excepcionalmente alto. No primeiro e mais representativo grupo predominam águas do tipo **C3S1** (62%) que, embora tenham baixo risco de sódio, têm alto risco de salinidade, sendo águas adequadas somente para uso em solos bem drenados. A qualidade da água do aquífero Açú para irrigação é predominantemente do tipo **C2S1** que indica médio risco de salinidade e baixo risco de sódio. Na porção oeste da área em território Cearense, os sedimentos finos (folhelhos, argilitos, siltitos e arenitos finos) pertencentes à Formação Açú, do ponto de vista hidrogeológico é considerada um aquífero, sendo correlacionado ao aquífero Quebradas.
- **Mapas de Vulnerabilidade e Risco:** De forma complementar ao zoneamento da qualidade, o mapeamento da vulnerabilidade, enquanto propriedade intrínseca do aquífero, e o mapeamento do risco, função da vulnerabilidade e dos padrões de uso e ocupação do solo, são considerados indispensáveis na avaliação integrada das diretrizes de gestão.
- **Mapa potenciométrico:** A identificação das áreas de recarga a partir do mapa potenciométrico agrega outro importante nível de informação para efeitos da gestão. É a recarga que sustenta toda a dinâmica do aquífero Jandaíra e, portanto, as áreas onde a mesma se processa com maior intensidade devem ser preservadas.
- **Zoneamento de Rebaixamentos Máximos Permitidos (RMP):** No intuito de contar com níveis potenciométricos limites, a partir dos quais, dever-se-ia controlar as extrações ou até proibi-las, foram desenvolvidas simulações para o aquífero Jandaíra. Estas simulações representam uma abordagem analítica para o conceito do rebaixamento máximo permissível (RMP).

Diagnóstico Legal e Institucional: Ambos os Estados (CE e RN) dispõem de estrutura institucional e base legal adequada para implementar a gestão de recursos hídricos superficial e subterrânea (PLANERH-CE 1992; PLANERH-RN, 1997). No entanto, no que tange à administração das águas subterrâneas observa-se um certo descompasso se comparado ao nível de avanço dos recursos superficiais, ficando sempre em segundo plano na ordem das prioridades políticas. Esta situação é decorrente, dentre outros: i) da não existência de pressão para que sejam desenvolvidos mecanismos de administração e para que seja ampliado o conhecimento sobre a situação dos sistemas aquíferos; ii) do conceito, até pouco tempo em voga, de que as águas subterrâneas se constituíam unicamente em “reservas estratégicas” inibindo o aprimoramento do conhecimento técnico e do desenvolvimento de mecanismos legais e institucionais para a gestão das mesmas; iii) da aparente maior facilidade e menor custo de acesso às reservas superficiais; iv) do fato de que as águas superficiais possuem e permitem uma diversidade de usos maior do que as águas subterrâneas sendo igualmente maior a probabilidade de ocorrência de conflitos entre os diversos setores que a utilizam.

Arcabouço Legal e Institucional: Além da convergência técnica, alcançada a partir da construção da informação hidrogeológica de forma consensuada e conjunta, a iniciativa de formulação de um marco regulatório deve estar alicerçada em bases legais e institucionais sólidas e harmônicas. Para tanto se faz necessário empreender um diagnóstico legal e institucional no sentido de avaliar os espaços e caminhos já

instituídos de gestão em cada um dos Estados. E mais do que isso, buscar espaços comuns onde realizar na prática a gestão compartilhada de ambos aquíferos Açú e Jandaíra no âmbito da área definida nesta iniciativa.

Outorga dos Direitos de Uso: A outorga do direito de uso dos recursos hídricos é o instrumento pelo qual o poder público atribui ao interessado, público ou privado, o direito de usar privativamente o recurso hídrico. A outorga tem como objetivo assegurar o controle qualitativo e quantitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água. Relativamente às águas subterrâneas, a outorga é contemplada no caput do art. 12, parágrafo II, da Lei 9.433/97 (BRASIL 1997).

Cobrança pelo Uso da Água: No Brasil, a Constituição Federal de 1988, em vigor, incluiu as águas subterrâneas entre os bens estaduais e a Lei 9.433/97 instituiu a cobrança como um dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos. Embora tratada de forma genérica, a cobrança alcança as águas subterrâneas, na medida em que o Art. 20 da citada Lei estabelece em seu Art. 20 que “Serão cobrados os usos dos recursos hídricos sujeitos a outorga, nos termos do art. 12 desta Lei!”. Portanto, a cobrança pela exploração de águas subterrâneas no território brasileiro, por força de lei, depende da outorga do Poder Público (CNRH 2001a). Assim, o que independe de outorga (art. 5º da Resolução nº 16) não está sujeito à cobrança. Contudo, trabalho levado a efeito pela Assembleia Legislativa do Estado do Ceará (Ceará, 2008) aponta algumas dificuldades, deficiências e a necessidade de uma maior discussão sobre os mecanismos de cobrança, valores cobrados e aplicação dos recursos junto aos usuários, Comitês de Bacia e a sociedade em geral

Participação Pública na Gestão: A participação pública na gestão dos recursos hídricos é reconhecida por instituições e autores como primordial (OEA, 2009; Foster, 2010; Garduño *et al.*, 2009).

- **Rio Grande do Norte:** Embora o Rio Grande do Norte tenha desenvolvido valiosas experiências em participação social, a exemplo do programa de dessalinizadores para abastecimento rural, das adutoras para água potável e do Comitê de Bacia Hidrográfica Interestadual do Piranhas-Açu, para a região da Chapada do Apodi ainda não possuía, antes do desenvolvimento do marco regulatório, uma estratégia clara de participação pública. Muito provavelmente pela pouca informação técnica disponível que dispunha até o momento. O estabelecimento do Comitê de Bacia do Rio Apodi, que envolveria a região estudada em território Potiguar, certamente oportunizará espaços para que esta participação de fato ocorra.
- **Ceará:** A COGERH desenvolveu metodologias participativas para a gestão de recursos hídricos superficiais através dos Comitês de Bacias Hidrográficas (baixo e médio Jaguaribe) e comissões gestoras. O primeiro passo para envolver as águas subterrâneas nesta estratégia foi a de identificar os atores mais relevantes (com ênfase nos usuários) da região da Chapada do Apodi. Uma vez identificados, foram celebradas 12 reuniões em cada um dos municípios Cearenses no âmbito da referida região. Esta iniciativa acabou sendo suspensa, principalmente pela carência de dados técnicos mais sólidos sobre a situação dos aquíferos e as medidas de gestão e proteção factíveis de ser adotadas. Muito mais do que informar a comunidade e receber seus aportes sobre os problemas e suas formas de resolvê-los, a expectativa das reuniões era a de identificar representantes potenciais para as comissões gestoras de água subterrânea a serem estabelecidas dentro dos respectivos comitês.

CONCLUSÕES

O acervo de informações coletadas e retrabalhadas de forma conjunta nos dois Estados sobre os aquíferos da Chapada do Apodi representa as bases a partir das quais se desenha o Marco Regulatório. A definição e os elementos essenciais do mesmo foram apresentadas logo no início deste documento. A seguir portanto, definir-se-ão quais as etapas a serem cumpridas e quais as ações por executar para torná-lo uma realidade no cotidiano da gestão das águas subterrâneas em ambos os Estados.

A implementação do Marco Regulatório depende das seguintes etapas: i) Diretrizes básicas para a gestão envolvendo outorga, fiscalização, participação pública e monitoramento; ii) Sugestão de arranjo institucional para a gestão; iii) Plano de ação para o aprimoramento da gestão envolvendo diversos programas específicos e atividades técnicas prioritárias.

Diretrizes para Gestão: A partir do conhecimento adquirido de forma compartilhada dos aquíferos, suas dinâmicas, potencialidades e vulnerabilidades (no sentido literal), torna-se possível aprimorar os instrumentos e as ferramentas de gestão existentes, no caso outorga, cobrança, fiscalização, monitoramento e participação pública. Conforme já foi discutido, estas diretrizes para a gestão, por definição, variam dependendo do aquífero considerado, ou seja, se estamos lidando com o aquífero Açú ou com o Jandaíra. O aquífero Açú conta com diretrizes mais genéricas, compatíveis com o estado da arte do conhecimento técnico científico disponível e adquirido sobre o mesmo. Por outro lado, nota-se que para o aquífero Jandaíra, em função da qualidade e quantidade das informações disponíveis, as diretrizes são mais detalhadas.

Outorga: A outorga constitui-se em um dos pilares do Marco Regulatório. Sua transcendência baseia-se no fato de constituir-se em um dos principais mecanismos de controle de manutenção das funções aquíferas,

como também de obtenção de dados primários de extrema valia para avaliações futuras. Em ambos os Estados, o arcabouço legal prevê a concessão de outorga por parte do órgão gestor como instrumento de gestão. No entanto, tanto no Rio Grande do Norte como no Ceará, verifica-se uma carência de critérios técnicos pragmáticos para exercê-la, tornando-a muito restrita a visão do poço, em detrimento a uma visão de zona aquífera de caráter mais integrada. Neste sentido, com base no zoneamento torna-se possível identificar e sugerir para cada célula quais as ferramentas de gestão mais apropriadas tanto para o cenário de uso atual de exploração como para os usos futuros.

F(I) - Efeitos de fluxo interestadual – Avalia o grau de pertinência da questão transfronteiriça. Quanto mais próxima da linha de fronteira, maior a probabilidade de ocorrência de fluxos interestaduais. Automaticamente, trata-se de uma célula na qual os esforços de gestão são prioritários.

$\Sigma(Q)$ - Somatório de vazões – Critério dado pelos limites máximos de vazões outorgáveis para cada célula, em função do balanço hídrico e das reservas reguladoras.

Q(U) - Vazões unitárias máximas – Critério que fixa as vazões máximas outorgáveis para cada poço individual nas diferentes células. Basicamente, trata-se de um critério de caráter preliminar, cuja aplicação deverá ser calibrada no processo de implementação do referido marco regulatório. Dito critério possui relação direta com os balanços ZEA e nas simulações de RMP. Variam desde $< 150 \text{ m}^3/\text{dia}$, $< 250 \text{ m}^3/\text{dia}$ e $< 500 \text{ m}^3/\text{dia}$. Quanto menores as magnitudes do somatório de vazões outorgáveis, tanto menores deverão ser as vazões unitárias permitidas, caso contrário corre-se o risco de alcançar os limites máximos através de um número reduzido de poços. Isto vale para células com volumes outorgáveis $< 10.000 \text{ m}^3/\text{dia}$, nas quais se admite que o número de poços novos (considerando a hipótese de que operem no limite máximo permitido) não pode ser inferior a 15. A célula 32 é uma exceção dada sua pequena área dentro do polígono. Trata-se de um mecanismo que força a equidade na distribuição da água e o uso eficiente da mesma, salvaguardando vazões para abastecimento público e demandas produtivas de pequenos produtores sem prejudicar vazões maiores pontuais que porventura sejam requeridas pela agricultura irrigada e carnicultura. Vazões de $150 \text{ m}^3/\text{dia}$ representam um poço operando: (i) $15 \text{ m}^3/\text{h}$ durante 10 horas/dia; (ii) $19 \text{ m}^3/\text{h}$ durante 8 horas/dia ou mesmo; (iii) $25 \text{ m}^3/\text{h}$ durante 6 horas/dia. À medida que se constata um maior conforto hídrico, as vazões unitárias podem aumentar de acordo com as faixas propostas, ou seja, de até $250 \text{ m}^3/\text{dia}$ e $500 \text{ m}^3/\text{dia}$. Vazões maiores que os limites máximos somente deverão ser aceitas em casos especiais. Ainda assim, o critério do somatório das vazões deve estar sempre satisfeito, por definição. Além disto, os argumentos descritivos de uso da água extraída devem estar devidamente explícitos e descritos de forma coerente no memorial técnico da solicitação de outorga. Usos para abastecimento público são prioritários e merecem atenção especial.

Os seguintes critérios são sugeridos:

- $\Sigma(Q) < 20.000 - Q(U) = < 150 \text{ m}^3/\text{dia}$;
- $\Sigma(Q) > 20.000 - \text{RMP crítico} - Q(U) = < 150 \text{ m}^3/\text{dia}$;
- $\Sigma(Q) > 20.000 - \text{RMP médio} - Q(U) = < 250 \text{ m}^3/\text{dia}$;
- $\Sigma(Q) > 50.000 - \text{RMP crítico} - Q(U) = < 250 \text{ m}^3/\text{dia}$;
- $\Sigma(Q) > 50.000 - \text{RMP médio} - Q(U) = < 500 \text{ m}^3/\text{dia}$;

D(M) – Densidade máxima de poços - Diz respeito ao número médio de poços outorgados por km^2 nas células do zoneamento. A priori, deverá ser aplicado o índice médio constatado na área do projeto em 2009, que é 0,4 poços por km^2 . De toda maneira esse número deve ser encarado como um critério empírico a ser utilizado nas células que ainda possuem reservas outorgáveis. O mesmo deverá ser corrigido na medida em que se incrementa o inventário e a regularização de poços existentes. Como prioridade, o referido critério deveria ser aplicado nas células com fluxos interestaduais. Este critério está relacionado diretamente com as distâncias mínimas entre poços, as quais, considerando as limitações de escala e as heterogeneidades e características do aquífero em questão, não poderiam ser fixadas. A determinação de distâncias mínimas deve ser realizada célula a célula quando o marco regulatório e o monitoramento estejam em vigor e de acordo com as descargas a serem outorgadas em setores específicos da área do projeto.

P(R) - Medidas de proteção às zonas de recarga – Seleção de células nas quais a implementação do marco regulatório implica em integrar políticas de gestão hídrica com políticas de uso e ocupação do solo. Por definição são células nas quais a análise dos processos de outorga deve estar atenta a zonas discretas de recarga, ou seja, aos denominados piscinões. Para estes casos, vale a vazão máxima outorgável unitária, sempre que satisfeitos os demais critérios. Além disto, em torno das áreas de recarga deverá existir um perímetro de proteção, no qual deverão ser aplicadas restrições de uso e ocupação do solo.

P(Q) - Medidas de proteção da qualidade das águas subterrâneas – Seleção das células prioritárias do ponto de vista da manutenção da integridade dos aquíferos e qualidade da água por conta da vulnerabilidade e risco. Por definição, células com alto risco são consideradas prioritárias e induzem a uma maior integração com os órgãos gestores ambientais. Especial atenção deve ser dada a zonas com intenso uso de agroquímicos. Adicionalmente, como premissas de concessão de outorga, os seguintes critérios devem ser observados:

- Ênfase inicial nos bolsões de grandes usuários e áreas de potencial conflito;
- Grandes usuários devem ser atraídos para dentro do sistema;

- Todos os poços deverão ter controladores de vazão;
- Estabelecer prazos de validade para com revisões sistemáticas de acordo com novos balanços hídricos;
- Tornar as outorgas de uso de água subterrânea sujeitas a revisões periódicas (4 anos), diante dos dados de monitoramento e sua análise.

Monitoramento Quali-Quantitativo: O programa de monitoramento de poços é fundamental para a implementação e melhoramento sistemático do Marco Regulatório. É através da análise dos dados de quantidade e qualidade que serão auferidos a efetividade da outorga e sua consistência técnica. O desenho e a formatação final da rede serão realizados em função do zoneamento proposto, portanto trata-se de tema ainda em desenvolvimento. De todas as formas, existem algumas premissas já consensuadas:

- Desenho estratégico da rede de monitoramento contemplando as zonas distintas assim como os estados de forma equilibrada;
- Definição dos protocolos de medição de acordo com o tipo de aquífero, circulação de água subterrânea e padrões de uso e ocupação do solo;
- Definição dos responsáveis pelas respectivas medições – (repassar responsabilidades de monitoramento aos grandes usuários portadores de outorgas em vigência e aos futuros grandes usuários);
- Processo de incorporação dos resultados junto aos bancos de dados existentes mediante análise de consistência e interpretação;
- Desenvolvimento de relatórios analíticos e conclusivos sobre os diagnósticos dos recursos hídricos subterrâneos na região de abrangência do marco de gestão.

Em consonância com a Resolução 107/2010 (CNRH 2010) é sugerida a instalação de sensores tipo LTC (nível, temperatura e condutividade elétrica) em poços de 60 m de profundidade, perfurados em 6" para essa finalidade (dedicados). São previstos em cada poço 6 m de tubo de PVC geomecânico de 6", apenas para proteção da parte superior, ficando o restante do poço sem revestimento. No aquífero Jandaíra esse é o padrão recomendado para os poços. Por questões de segurança contra vandalismo recomenda-se que o tubo de boca do poço não apareça na superfície, mas fique situado no interior de uma caixa (por exemplo, de 0,5 m x 0,5 m x 0,4m) recoberta por uma tampa de concreto.

Para as campanhas semestrais de amostragem de água previstas na CNRH 107/2010, existem duas alternativas: i) selecionar na rede qualitativa de 100 poços estudados, uma rede de 40 poços (equipados) situados o mais próximo possível dos locais previstos para a perfuração dos poços dedicados ao monitoramento automático. Ou seja, a locação dos dedicados (mais flexível) já seria feita o mais próximo possível de poços existentes devidamente equipados e em condições de serem usados para a amostragem de água; ii) a segunda alternativa (recomendada) seria efetuar as amostragens semestrais de água diretamente na rede de 40 poços dedicados, equipados com colunas de 60 m de tubos de PVC geomecânico de 50 mm de diâmetro, com 6 m de filtros, para introdução de uma **bomba de válvula dupla**, especialmente projetada para coletas de água.

Preferencialmente, os poços devem ser perfurados em locais passíveis de vigilância por moradores (por exemplo, quintais de residências da zona rural). Os transdutores de pressão dotados de interface USB devem ser programados para uma leitura diária (por exemplo, às 7:00 horas da manhã). Com uma leitura diária os sensores terão maior longa vida de serviço e os dados serão mais do que suficientes para a finalidade pretendida, que é a evolução temporal do nível de água em uma zona de exploração. Portanto, não há necessidade de leituras horárias. A frequência proposta de coleta dos dados é trimestral, ou seja, de 4 (quatro) vezes por ano, para permitir uma análise sistemática dos dados pelo órgão gestor ao longo do ano e apresentação dos mesmos no relatório anual.

Arranjo Institucional para a Gestão dos Recursos Hídricos na Área do Projeto: Foi proposta a criação de uma Comissão formada por técnicos de órgãos envolvidos na gestão dos recursos hídricos dos dois Estados para acompanhar a gestão dos recursos hídricos na área do Projeto. Trata-se do plano de implementação do marco regulatório, o qual estabelece de forma direta e pragmática uma ordem de prioridade nas ações em ambos os Estados.

- **Ação 1: Apropriação das Informações Técnicas:** Atividade 1.1: Apropriação por parte dos órgão gestores de todo o material técnico gerado no âmbito da iniciativa em questão; Atividade 1.2: Incorporação dos bancos de dados e das informações do Sistema de Informações Geográficas (SIG) do Projeto; Atividade 1.3: Capacitação Específica em técnicas de geoprocessamento para incorporar as informações e manipulação dos dados geradas no projeto; Atividade 1.4: Buscar compatibilidade entre os sistemas de informações em ambos os Estados para facilitar o intercâmbio de informações. De preferência chegar a um consenso e adotar sistema único.
- **Ação 2: Arranjos Institucionais:** Atividade 2.1: Programação de reuniões por parte da CAGC APODI (local e data) com definição de pauta e participantes; Atividade 2.2: Encaminhamentos políticos para a assinatura do texto da resolução e seu reconhecimento como marco legal futuro; Atividade 2.3: Ênfase na necessidade de contar com divisões específicas de água subterrânea com orçamento e recursos humanos qualificados; Atividade 2.4: Desenvolver cronograma executivo para

as propostas de fortalecimento institucional em ambos os Estados. Os múltiplos eventos de coordenação do estudo hidrogeológico e desenvolvimento do seu respectivo marco regulatório acabou se convertendo em uma importante capacitação a todos os atores envolvidos. Na etapa de implementação do marco regulatório é necessário formalizar institucionalmente um grupo destacado exclusivamente para assuntos de gestão de água subterrânea e dotá-lo com corpo técnico permanente. Conforme definido nos capítulos introdutórios do Marco, se faz necessário amparar o referido Marco através de uma série de programas de capacitação e reforço institucional, entre eles: Capacitação de Empreendedores e Prestadores de Serviço; Capacitação Institucional e Reforço Institucional; Capacitação Específica para Municípios (Lic. Integrado) Editais Acadêmicos para Estudos Complementares (CNPq + Estado); Premiação para Iniciativas de Uso Racional e Diminuição de Vazões Extraídas (Dim. Tarifa); Programa de Regularização de Poços e Combate à Clandestinidade; Programa de Qualidade de Água Subterrânea Associado com Uso de Insumos Agrícolas. Atividade 2.5: Promover um modelo de gestão participativa (com mecanismos consensuados de coordenação entre as comissões gestoras dos comitês de bacias até o estabelecimento de um grupo de assessoramento de águas subterrâneas com participação dos usuários e órgãos públicos e privados. Contar com uma agenda de reuniões sistemáticas com os usuários em toda a região do estudo e com eles discutir passo a passo a implementação do referido marco regulatório e as diretrizes de outorga.

- **Ação 3: Regularização dos Poços e Inventário de Poços:** Atividade 3.1: Recomendação para finalizar inventário incluindo aspectos técnicos, sociais desenvolvendo o perfil dos usuários, conforme sugerido nas notas técnicas do GW-MATE. É necessário contar com um perfil de usos e usuários da água subterrânea para fins agrícolas, industriais e urbanos na região do estudo; Atividade 3.2: As campanhas para regularização de poços deveriam priorizar aqueles com extrações superiores a 2 m³/h com potencial para uso agrícola. Trata-se de uma estratégia explícita de controle aos maiores usuários e proteção dos usuários menores.
- **Ação 4: Implementação e operação da rede de monitoramento:** Atividade 4.1: Implementar e operar a rede de monitoramento em concordância com o número e localização dos Poços de Monitoramento sugeridos no estudo; Atividade 4.2: Desenvolver rotinas e destacar pessoal técnico para manipular os dados obtidos na rede de monitoramento e confeccionar mapas temáticos a partir do SIG do projeto (potenciometria, mapas hidroquímicos, simulações de nível, entre outros).
- **Ação 5: Atividades Técnicas Prioritárias:** Atividade 5.1: Desenvolvimento de estudos hidrogeológicos em escala piloto 1:25.000 nas células mais críticas buscando detalhar e quantificar os processos de recarga; Atividade 5.2: Refinamento dos critérios de gestão através de simulações de fluxo, utilizando técnicas de modelagem de aquífero; Atividade 5.3: Realizar estudos específicos sobre o aquífero confinado Açu. Adensando a malha de poços cadastrados e realizando sondagens exploratórias em locais estratégicos do referido reservatório. Confeccionar modelo conceitual de fluxo regional e avaliar a conexão hidráulica deste com os aquíferos subjacentes, no caso com o aquífero Jandaíra.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL 1997. Lei Federal nº. 9.433 de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Brasília.
- CEARÁ 2008. ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DO ESTADO DO. Cenário Atual dos Recursos Hídricos do Ceará, Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos, Assembleia Legislativa do Esta do Ceará: Eudoro Walter de Santana (Coordenador), Fortaleza, INESP, 174p.: il. – (Coleção Pacto das Águas), CDD- 628.1.
- CNRH 2001a. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução nº. 16, de 8 de maio de 2001. Estabelece critérios gerais para a outorga de direito de uso dos recursos hídricos. Brasília.
- CNRH 2001b. Conselho Nacional de Recursos Hídricos Resolução nº. 15, de 11 de janeiro de 2001. Estabelece diretrizes gerais para a gestão de águas subterrâneas. Brasília.

CNRH 2005. Conselho Nacional de Recursos Hídricos Resolução nº. 48, de 21 de março de 2005.

Estabelece critérios gerais para a cobrança pelo uso dos recursos hídricos. Brasília.

CNRH 2008a. Conselho Nacional de Recursos Hídricos Resolução nº. 91, de 05 de

novembro de 2008. Dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos. Brasília.

CNRH 2008b. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução nº. 92, de 05 de novembro de

2008. Estabelece critérios e procedimentos gerais para proteção e conservação das águas subterrâneas no território brasileiro. Brasília.

CNRH 2010. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução nº. 107, de 13 de abril de 2010.

Estabelece diretrizes e critérios para o planejamento, a implantação e a operação de redes nacionais de monitoramento integrado qualitativo e quantitativo de águas subterrâneas no território brasileiro. Brasília.

COGERH 2009. COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO

CEARÁ. Dados de processos de outorga. Documentos internos.

CONAMA 2008. Conselho Nacional do Meio Ambiente (2008). Resolução nº. 396, de 03 de abril

de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Brasília.

Foster, S. 2010. Notas sobre o Andamento do Projeto, SRH-CE/SEMARH-RN, Gestão dos recursos hídricos subterrâneos. GW-MATE.

Garduño, H.; Foster, S.; Contijoch, M. & Freitas, P. 2009. Proyectos de evaluación y gestión de

recursos hídricos subterráneos de SRH/COGERH-CEARA Y SEMARH-RIO GRANDE DO NORTE. Revisión de avances recientes y prioridades futuras.

OEA. 2009. ORGANIZAÇÃO DOS ESTADOS AMERICANOS. Aquífero Guarani: programa

estratégico de ação, Edição bilíngüe.– Brasil; Argentina; Paraguai; Uruguai.

PLANERH-CE. 1992. Plano Estadual de Recursos Hídricos do Ceará - Vol. 1: Diagnóstico,

Fortaleza.

PLANERH-RN. 1997. Plano Estadual de Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte – Relatório

Diagnóstico. Vol. 1, Natal.

SEMARH 2009. Estudo sobre fontes de receitas e custos do sistema de gestão dos recursos hídricos do Rio Grande do Norte – Relatório 7. Programa PROÁGUA Nacional.