

MÉTODOS E CRITÉRIOS DE USO E PROTEÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE- ESTADO DE PERNAMBUCO- NORDESTE DO BRASIL

**Almany Costa Santos¹; Aldo da Cunha Rebouças²; Waldir Duarte Costa³ &
Ana Cláudia de Aguiar Accioly⁴**

Resumo - A área pesquisada compreende a Região Metropolitana do Recife (RMR), Estado de Pernambuco, nordeste Brasileiro e Corresponde a 2,81% do Estado, onde se concentra 42% da população. Este trabalho faz parte do “Projeto HIDROREC” (IDRC-Canadá/Universidade Federal de Pernambuco (Costa et al, 1998). Neste trabalho subdividiu-se a RMR em 4 Domínios Hidrogeológicos principais: Domínio da Bacia Pernambuco - Paraíba, Domínio da Bacia Cabo, Domínio do Embasamento Cristalino e Domínio da Planície do Recife, cujos principais sistema aquíferos intersticiais são: Aquífero Beberibe (explorado nos Domínios da Bacia PE-PB e da Planície do Recife), Aquífero Cabo (explorado nos Domínios da Bacia Cabo e da Planície do Recife) e Aquífero Boa Viagem (composto por sedimentos diversos do Quaternário explorado em todos os Domínios), sendo o primeiro o sistema mais importante da região. A partir dos dados hidrogeológicos elaborou-se o Mapa de uso e proteção das águas subterrâneas da RMR, que constitui-se de Zonas com características hidrogeológicas semelhantes, definidas para cada Domínio, ressaltando os principais problemas decorrentes da exploração desordenada desses recursos.

Palavras-chave - uso e proteção; aquífero Beberibe; gestão de aquífero; Região Metropolitana do Recife

¹ Universidade Federal de Pernambuco, Av. Ac. Hélio Ramos-CTG-UFPE-PE Cidade Universitária Pernambuco-Brasil. FAX: 81-271-8239. E-mail: almany@npd.ufpe.br

² Universidade de São Paulo – Rua do Lago, IG-USP- Butantã-São Paulo-Brasil. E-mail: aldocr@mandic.com.br

³ Universidade Federal de Pernambuco - Av. Ac. Hélio Ramos-CTG-UFPE-PE Cidade Universitária Pernambuco-Brasil. FAX: 81-271-8239.E-mail: waldir@costa.com.br

⁴ Doutoranda USP. Bolsista FACEPE/CPRH. ana_claudia_accioly@hotmail.com

INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos da Região Metropolitana do Recife (RMR) são limitados, e há dificuldades em satisfazer o incremento das necessidades de água, com qualidade, para os diferentes usos, o que na ausência de estratégias de proteção e uso dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos adequados, determinam um contínuo aumento do comprometimento da qualidade e das situações de conflitos de usos, exigindo a tomada constante de medidas casuísticas e imediatistas para a resolução dos problemas crônicos de abastecimento de água potável da RMR e que inevitavelmente vão surgindo a cada período de escassez hídrica prolongada (períodos de seca) (Santos, 2000).

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A RMR está situada na zona fisiográfica do Litoral-Mata Atlântica no Estado de Pernambuco - Brasil (fig.1), abrangendo os municípios de Abreu e Lima, Araçoiaba, Cabo de Santo Agostinho, Camaragibe, Igarassu, Ipojuca, Itamaracá, Itapissuma, Jaboatão dos Guararapes, Moreno, Olinda, Paulista, Recife e São Lourenço da Mata, totalizando uma área de 2.766 km², correspondente a 2,81% da área do Estado de Pernambuco, na qual concentra-se cerca de 42% (3.087.967 habitantes) da população pernambucana. Está localizada entre os paralelos 7° 40' 56" e 8° 38' 00" latitude sul e os meridianos 34° 49' 00" e 35° 15' 52" longitude oeste de Greenwich.

FINALIDADES

Este trabalho faz parte da execução do "Projeto HIDROREC" convênio IDRC-Canadá/Universidade Federal de Pernambuco, que abrangeu parte da área estudada, e tem como objetivo principal fornecer um diagnóstico de uso dos recursos hídricos subterrâneos da RMR através de um zoneamento de uso e proteção das águas subterrâneas de áreas de características semelhantes, dispondo os dados e o conhecimento científico de forma sintética como ferramenta de apoio aos gestores dos órgãos públicos e privados.

GEOLOGIA DA ÁREA

A RMR abrange três compartimentos geológicos estruturais distintos: a Bacia Sedimentar Pernambuco Paraíba ao norte; a Bacia Vulcano-Sedimentar Cabo ao sul, e o Complexo Gnáissico-Migmatítico, que aflora a oeste e é o substrato das duas bacias (Lima Filho, 1998).

O **Embasamento cristalino** constitui-se de rochas pertencentes ao Complexo Migmatítico Granítico do Terreno Pernambuco-Alagoas, que é constituído por um conjunto de rochas graníticas/gnáissicas dos mais variados tipos texturais, predominando os migmatitos, gnaisses e granitos.

A **Bacia vulcano-sedimentar do Cabo** ocupa toda a faixa costeira sul do Estado de Pernambuco e possui uma forma alongada na direção N40E, e uma largura média de 10 km na porção emersa. O limite desta bacia é feito ao sul pelo Alto de Maragogi (limite dos estados de Pernambuco e Alagoas), ao norte pelo Lineamento Pernambuco

com direção aproximada E-W (na planície do Recife), e a oeste limita-se por falhas normais com o Terreno Pernambuco-Alagoas. Em discordância é recoberta pelos sedimentos de idade Cretácea até o recente preenchendo a Bacia. Trata-se de uma

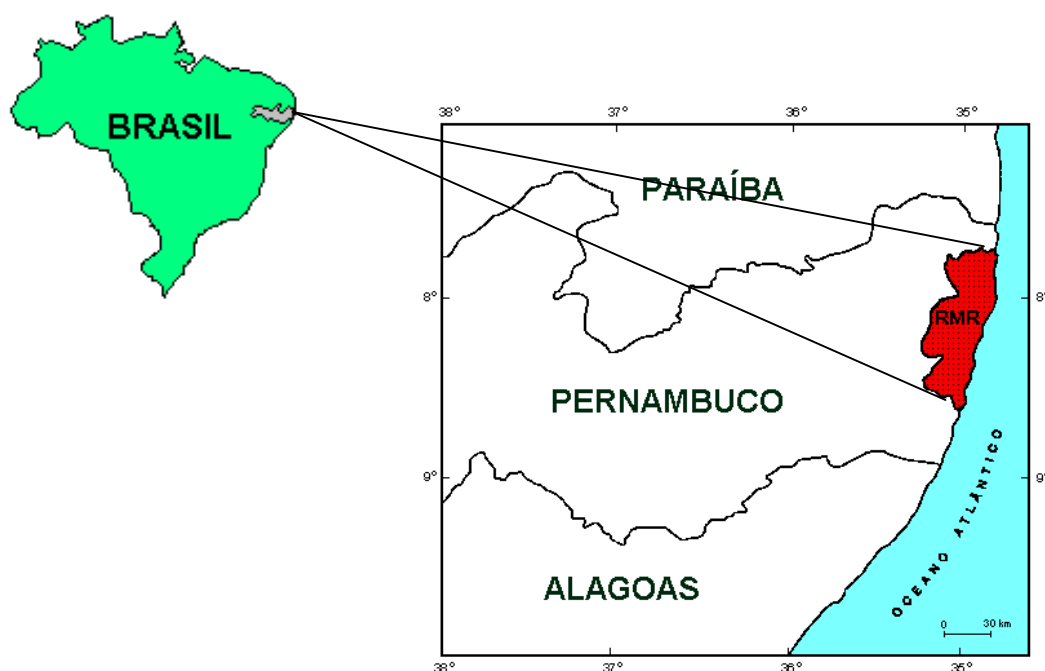


Fig. 1. Mapa de Localização da Região Metropolitana do Recife (RMR)

bacia do tipo rift (Rift do Cabo) com espesso pacote sedimentar, atingindo mais de 3.000 metros de espessura. Do ponto de vista hidrogeológico diferencia-se da Bacia Pernambuco-Paraíba pelo menor potencial quantitativo das suas águas subterrâneas. Dispostas nesta Bacia ocorrem as seguintes Formações sedimentares/vulcano-sedimentares: Formação Cabo (Cretáceo Inferior); Formação Estivas (Cretáceo Médio); Formação Ipojuca (Cretáceo Inferior a Superior) e a Formação Algodoads (Coniaciano).

Dentre estas Formações são importantes sistemas aquíferos as Formações Cabo e Algodóais.

A Bacia Sedimentar Costeira Pernambuco-Paraíba (PE-PB), situada na porção norte da RMR, é formada por uma seqüência de rochas sedimentares cretáceas pertencentes ao Grupo Paraíba que mergulham suavemente para leste, com inclinação da ordem de 28 m/km e cuja espessura aumenta gradativamente na direção do oceano atlântico (leste). Esta seqüência sedimentar (figura 2 – Mapa Geológico), é estratigraficamente subdividida em, da base para o topo: Formação Beberibe basal, arenítica de idade cretácea (santoniano-campaniano); Formação Gramame, calcária do cretáceo superior (maastrichtiano); Formação Maria Farinha, calcária do terciário inferior (Paleoceno); Formação Barreiras, sedimentos areno-argilosos continentais de idade terciária-quadernária (pliocênicos - pleistocênicos).

Aparecem ainda, os sedimentos diversos do Quaternário como: aluviões, sedimentos de praia, terraços marinhos holocênicos e pleistocênicos, de mangue, flúvio-lagunares e, ainda outros sedimentos indiferenciados que recobrem praticamente toda a planície do Recife.

HIDROGEOLOGIA

Com base nas descrições litológicas dos perfis dos poços existentes e nos parâmetros hidrodinâmicos obtidos, foi possível definir esta área em domínios hidrogeológicos com base nas características principais dos aquíferos explorados.

Os diversos aquíferos existentes na RMR podem ser enquadrados nos seguintes domínios hidrogeológicos : **(1)** Planície do Recife; **(2)** Bacia Pernambuco–Paraíba (Bacia PE-PB); **(3)** Bacia Cabo; **(4)** Embasamento Cristalino.

DOMÍNIO DA PLANÍCIE DO RECIFE

Este Domínio localiza-se na região leste da RMR, abrangendo uma área de 110 km² (4% da RMR), correspondendo **morfológica** e geologicamente a uma planície fluvio-marinha, situada nos limites das Bacias Sedimentares do Cabo e **Pernambuco-Paraíba**. O sistema aquífero na planície do Recife é produtivo e constitui-se essencialmente por três camadas aquíferas, a saber: **(a)** Aquífero Boa Viagem ; **(b)** Aquífero Cabo ; **(c)** Aquífero Beberibe.

O primeiro aquífero citado ocorre a partir da superfície. Trata-se de um aquífero freático ou livre, de idade Quaternária, que é composto por sedimentos diversos (aluvionares, dunares, de praia, eluvionares, etc.) com permeabilidades elevadas.

As duas últimas formações aquíferas cretáceas são resultantes das várias invasões e regressões do mar no ambiente lacustre existente nesta região à época. Em consequência, estas camadas rochosas apresentam alternância de camadas argilosas, siltosas e arenosas, produto da sedimentação desenvolvida em ambiente marinho e/ou fluvial-continental. As formações argilosas resultantes não têm assim uma estrutura contínua, formando camadas lenticulares de até alguns metros de espessura.

Neste domínio hidrogeológico os sedimentos da Bacia Sedimentar PE-PB são caracterizados pela ausência da Formação Maria Farinha que apenas aparece a partir de Olinda, e pelo modo de ocorrência da Formação Gramame que aparece em subsuperfície como lentes delgadas em áreas restritas, mais precisamente na porção nordeste da Planície do Recife. Os sedimentos da Formação Beberibe constituem o aquífero mais explorado neste domínio.

A maior parte dos poços perfurados neste domínio, é de uso privado (condomínios, empresas, residências e hospitais) e estes possuem profundidades médias de 140 metros e máximas de 220 metros. Atualmente estes poços utilizam revestimentos de tubos de PVC geomecânicos . As vazões de exploração e específica média, nestes poços, variam entre 8 a 19 m³/h e 0,5 a 4,5 m³/h/m, respectivamente para os principais aquíferos explorados. Os principais aquíferos ocorrentes neste domínio estão referenciados na tabela descrita a seguir (tabela 1), na ordem do mais recente para o mais antigo.

IDADE	AQUÍFERO	ESPESSURA MÉDIA (m)	CONSTITUIÇÃO LITOLÓGICA
Quaternário	Boa Viagem	40	Areias, siltes e argilas
Cretáceo Superior	Beberibe	80	Arenitos com intercalações de

			siltitos e argílitos
Cretáceo Inferior	Cabo	70	Arenitos, siltitos e argílitos.

Tabela 1. Seqüência dos Aqüíferos do Domínio da Planície do Recife

Na tabela 2 encontram-se descritas as principais características médias dos poços perfurados neste domínio:

PARÂMETROS	AQÜÍFEROS		
	Cabo	Beberibe	Boa Viagem
Vazão (m ³ /h) por poço	8	19	17
Nível Estático (m)	31	26	9
Nível Dinâmico (m)	53	41	17
Vazão Específica (m ³ /h/m)	0,5	2,8	4,5
Profundidade do Poço (m)	126	126	27
Resíduo Seco (mg/l)	290	180	465
N.º de Poços Cadastrado *	465	437	451
Área de Ocorrência (km ²)	46	54	106

- Número de poços utilizados do cadastro em anexo para o cálculo das características médias dos aqüíferos do Domínio da Planície do Recife.

Tabela 2. Síntese das Características Médias dos Poços Perfurados nos Aqüíferos do Domínio da Planície do Recife com base nos dados do cadastro hidrogeológico elaborados pelo Projeto HIDROREC.

Foram calculados os seguintes parâmetros hidrodinâmicos médios para este Domínio (Tabela 3):

PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS	AQÜÍFEROS		
	Cabo	Beberibe	Boa Viagem
K (m/s)	$1,6 \times 10^{-5}$	$2,5 \times 10^{-5}$	$3,7 \times 10^{-4}$
μ	$1,0 \times 10^{-2}$	-	$1,8 \times 10^{-3}$
S	$1,0 \times 10^{-4}$	$3,7 \times 10^{-4}$	-

K = Condutividade Hidráulica

μ = Porosidade eficaz (condição de livre)

S = Coeficiente de Armazenamento (condição de confinado)

Tabela 3. Parâmetros Hidrodinâmicos Médios dos Aqüíferos do Domínio da Planície do Recife

DOMÍNIO DA BACIA PE-PB

Localiza-se na porção nordeste da Região costeira, estendendo-se desde o município de Olinda ao de Itamaracá, perfazendo uma área de 790 km². Ocorrem três

aqüíferos neste domínio hidrogeológico: o Beberibe, o Barreiras e os dos Sedimentos Diversos (tabela 4).

IDADE	AQÜÍFERO	ESPESSURA MÉDIA (m)	CONSTITUIÇÃO LITOLÓGICA
Quaternário	Sedimentos diversos	20	Areias, siltes e argilas
Tercio-Quaternário	Barreiras	50	Arenitos argilosos e argilas
Cretáceo	Beberibe	200	Arenitos, siltitos e argilitos.

Tabela 4. Seqüência dos Aqüíferos do Domínio da Bacia PE-PB

As principais características médias dos poços perfurados neste domínio estão descritos na Tabela 5 a seguir :

PARÂMETROS	AQÜÍFEROS		
	Beberibe	Barreiras	Sedimentos Diversos
Vazão (m ³ /h)	58	16	25
Nível Estático (m)	35	13	4
Nível Dinâmico (m)	55	24	13
Vazão Específica (m ³ /h/m)	3,1	1,9	5,4
Profundidade (m)	228	51	18
Resíduo Seco (mg/l)	295	165	< 500
N.º de Poços Cadastrado	171	26	73
Área de Ocorrência (km ²)	360	550	100

Tabela 5. Síntese das Características Médias dos Poços Perfurados nos Aqüíferos do Domínio da Bacia PE-PB.

A análise dos dados levantados no presente trabalho, permitiu adotar os parâmetros hidrodinâmicos médios descritos na tabela 6, para os aqüíferos desse Domínio.

PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS	AQÜÍFEROS		
	Beberibe	Barreiras	Sedimentos diversos
K (m/s)	$3,8 \times 10^{-5}$	$1,4 \times 10^{-5}$	10^{-4}
μ	$5,0 \times 10^{-2}$	$3,5 \times 10^{-2}$	10^{-2}
S	$2,2 \times 10^{-4}$	-	-

K = Condutividade Hidráulica

μ = Porosidade eficaz (condição de aqüífero livre)

S = Coeficiente de armazenamento (condição de aqüífero confinado)

Tabela 6. Parâmetros Hidrodinâmicos Médios dos Aqüíferos do Domínio Bacia PE-PB.

DOMÍNIO DA BACIA CABO

Este Domínio localiza-se na região sudeste da RMR, abrangendo uma área com cerca de 300 km² (11% da RMR), correspondendo geologicamente à Bacia Vulcano-

Sedimentar do Cabo. Os principais aquíferos ocorrentes neste domínio estão referenciados na tabela 7, na ordem do mais recente para o mais antigo.

IDADE	AQUÍFERO	ESPESSURA MÉDIA (m)	CONSTITUIÇÃO LITOLÓGICA
Quaternário	Sedimentos diversos	20	Areias, siltes e argilas
Tercio-Quaternário	Barreiras	40 – 60	Arenitos, areias e argilas
Coniaciano	Algozoais	80	Arenitos
Cretáceo Inferior	Cabo	>1.000	Conglomerados arcóseos, arenitos, siltes e argilitos.

Tabela 7. Seqüência dos Aquíferos do Domínio da Bacia Cabo

Estes aquíferos embora pouco estudados e explorados pelo poder público, desempenham um papel social de grande relevância na região, pois a grande maioria da população rural é abastecida através de poços rasos e cacimbas, escavados de forma rudimentar a pá e picareta, pelos habitantes locais. Algumas indústrias do parque industrial de Suape, de Ipojuca também abastecem-se exclusivamente com água subterrânea. Os Parâmetros Hidrodinâmicos Médios dos Aquíferos do Domínio da Bacia Cabo encontram-se descritos na tabela 8.

PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS	AQUÍFEROS			
	Cabo	Algozoais	Barreiras	Sedimentos Diversos
K (m/s)	$2,0 \times 10^{-4}$	$1,5 \times 10^{-4}$	$1,7 \times 10^{-5}$	10^{-3} a 10^{-5}
μ	$1,0 \times 10^{-2}$	$1,0 \times 10^{-2}$	$2,0 \times 10^{-3}$	$3,0 \times 10^{-2}$
S	$2,0 \times 10^{-4}$	-	-	-

K = Condutividade Hidráulica

μ = Porosidade eficaz (condição de aquífero livre)

S = Coeficiente de armazenamento (condição de aquífero confinado)

Tabela 8. Parâmetros Hidrodinâmicos Médios dos Aquíferos do Domínio da Bacia Cabo

DOMÍNIO DO EMBASAMENTO CRISTALINO

Este Domínio engloba todas as rochas metamórficas e ígneas aflorantes na RMR numa extensão aproximada de 1.577 km², ou seja 57% da RMR, ocupando o extremo oeste desta região. Estas rochas estão fraturadas ou fissuradas por esforços tectônicos regionais oriundos da intensa tectogênese superimposta a esta porção da Província Borborema ou por alívio de pressão em processo erosivo. As rochas cristalinas da área em estudo estão, segundo dados da literatura e observações de campo, afetadas por uma deformação transcorrente originária de megacisalhamentos que são ramificações do Lineamento PE. A maioria destes cisalhamentos orientam-se segundo à direção NE-SW (Oliveira, 1993; Lima Filho, 1998). Estes cisalhamentos provavelmente estão associados

a um sistema de fraturas, que pode ser controlador, juntamente com o regolito (manto de alteração ou intemperismo), da potencialidade dos aquíferos fissurais neste domínio.

As superfícies potenciométricas dos principais aquíferos explorados na RMR, encontram-se muito rebaixadas em áreas de intensa exploração de água subterrânea. Nestas áreas a qualidade das águas subterrâneas vem sendo comprometida por camadas aquíferas superiores e/ou corpos d'água de superfície (rios), salinizados e/ou poluídos através de:

- Indução de fluxo descendente, principalmente quando há uma conexão hidráulica entre os aquíferos explorados e os corpos d'água salinizados e/ou poluídos,
- Poços mal construídos
- Poços antigos, abandonados, onde há uma ruptura do revestimento.

O MAPA DE USO E PROTEÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA RMR

O mapa de Uso e Proteção das águas subterrâneas na RMR foi efetuado a partir da subdivisão em zonas dos Domínios Hidrogeológicos propostos para esta região. Estas zonas foram delineadas observando vários fatores contemplados na avaliação e distinção de cada uma delas.

Os fatores considerados para a elaboração deste mapa foram os seguintes :

** Geologia; * Geometria do aquífero; * Existência ou ausência de confinamento do aquífero, * Risco à poluição e salinização das águas subterrâneas, * Característica hidrodinâmica do aquífero.*

A influência dos fatores acima citados nos aquíferos da RMR, se reflete principalmente nas condições de exploração e na qualidade das águas subterrâneas dos diferentes domínios hidrogeológicos. Também foram considerados o tipo e a profundidade da obra de captação d'água em cada zona, a vazão de exploração, a profundidade do nível estático e dinâmico e as características físico-químicas das águas subterrâneas, dentre outros de menor importância.

Após a análise das características geológicas, estruturais, estratigráficas e hidrogeológicas/hidroquímicas (Costa Filho, 1997; Costa et al, 1998; Custódio & Llamas, 1977; Custódio & Llamas, 1986; Manso et al, 1993; Santos, 2000), em junção com o estudo da vulnerabilidade dos aquíferos principais de cada Domínio e do risco de contaminação destes, foram elaboradas recomendações e restrições de exploração de água subterrânea para cada área homogênea específica (zonas de uso e proteção) de cada Domínio Hidrogeológico.

No mapa de uso e proteção das águas subterrâneas (Figura 3), foram definidas 14 unidades hidrogeológicas com características inerentes a cada domínio proposto para a RMR. Estas unidades que constituem as zonas de uso e proteção estão descritas de forma sintética na tabela 9. Nesta tabela estão dispostos os dados médios do NE (nível estático), RS (resíduo seco) e Prof. (profundidade) do aquífero principal ocorrente em cada zona de uso e proteção. A vazão descrita é a vazão máxima de exploração recomendada para cada zona de acordo com as peculiaridades de cada uma.

As zonas definidas encontram-se abaixo descritas:

BI - Zona de ocorrência do sistema aquífero Beberibe livre. A zona abrange toda a área de afloramentos da Formação Beberibe, sua área aflorante chega a ocupar quase a totalidade dos municípios de Itapissuma e Igarassu, além de partes dos municípios de Paulista e Abreu e Lima. Trata-se de uma zona de alta vulnerabilidade e risco de poluição muito elevado, pois em parte desta zona encontram-se instaladas várias atividades potencialmente poluidoras (indústrias, lixões, postos de combustíveis e cemitérios). Recomenda-se um monitoramento contínuo das águas subterrâneas nesta zona.

Bc - Zona de ocorrência do sistema aquífero Beberibe confinado. As áreas de afloramentos das Formações Maria Farinha e Gramame sobrepostas a Formação aquífera Beberibe. Abrange parte dos municípios de Paulista, Abreu e Lima, Igarassu e Itamaracá.

B-Ba - Zona de ocorrência do sistema aquífero Beberibe sotoposto ao aquífero Barreiras. É nesta zona onde encontram-se instaladas a maior parte das indústrias e postos de gasolina da RMR-norte. Adicionalmente encontram-se em atividade vários poços da concessionária de águas para o abastecimento público gerando não só um conflito de uso quanto a utilização destes recursos, como uma zona de elevado risco de contaminação das águas subterrâneas do aquífero Beberibe quando sotopostas a sedimentos permeáveis da Formação Barreiras (aquitarado).

B-BV1 - Zona da orla costeira de ocorrência do sistema aquífero Beberibe confinado ao longo da RMR- norte (Domínio da Bacia PE-PB e Planície do Recife norte). Na planície do Recife, esta zona é delimitada no Projeto HIDROREC como uma área de restrição de vazão de exploração. Nesta zona o rebaixamento da superfície potenciométrica é acentuado (50 m) o que propicia o avanço da cunha salina.

B-BV2 - Zona de Ocorrência do sistema aquífero Beberibe sotoposto ao aquífero Boa Viagem. Esta zona difere da anterior por situar-se mais afastada da linha de costa. Nesta zona o aquífero mais explotado é o Beberibe através de poços tubulares profundos

(> 60 metros) e secundariamente o aquífero Boa Viagem através de poços rasos (< 20 metros), para o abastecimento de residências, lava-jatos, etc. A qualidade da água do aquífero Boa Viagem nesta zona varia muito pois depende da sua variação litológica.

BV - Zona na qual o sistema aquífero principal de captação é o Boa Viagem Livre. O maior problema desta zona é a existência de camadas descontínuas de argilas escuras ricas em matéria orgânica decomposta (paleo-mangues) que confere a água subterrânea um elevado teor de sais e a ocorrência de bolsões de gases.

Ca - Zona na qual o sistema aquífero principal é o Cabo livre. A zona abrange toda a área de afloramentos da Formação Cabo. Trata-se de uma zona de alta vulnerabilidade e risco de poluição muito elevado, pois em parte desta zona encontram-se instaladas várias atividades potencialmente poluidoras (Zona Industrial do Cabo). Recomenda-se um monitoramento contínuo das águas subterrâneas.

Ca-BV1 - Zona de Ocorrência do sistema aquífero Cabo confinado no Domínio da Planície do Recife. Esta zona é delimitada no Projeto HIDROREC como uma área de restrição máxima de vazão de exploração. No Bairro de Boa Viagem verifica-se um alto regime de super-exploração na RMR. Há um elevado risco de avanço da cunha salina.

Ca-BV2 - Zona de ocorrência do sistema aquífero Cabo confinado sotoposto ao sistema aquífero Boa Viagem, no Domínio da Bacia cabo.

Ca-Ba - Zona de ocorrência do aquífero Cabo como sistema confinado principal, e o aquífero Barreiras como sistema secundário.

Ca-Ag - Zona na qual afloram os sedimentos aquíferos pertencentes ao sistema Algoduais. Este sistema é bastante captado nesta porção da RMR através de poços rasos.

Cr - Zona de ocorrência correlata ao Domínio do Embasamento Cristalino. Seu sistema aquífero principal é o fissural/regolito.

Cr-Ba - Zona de ocorrência do sistema aquífero Barreiras sobreposto ao embasamento cristalino. Um exemplo desta zona é a região de Aldeia, onde há poços de captação de indústrias de água mineral e poços para abastecimento residencial, hospitalar, etc.

NA – Zona Imprópria para perfurações de poços. Áreas de ocorrências de mangues.

Tabela 9. Zonas de Uso e Proteção das Águas Subterrâneas na Região Metropolitana do Recife

UNID	FORMAÇÕES	AQUÍFERO PRINCIPAL	NE (m)	VAZÃO (m ³ /h)	RS mg/l	PROF (m)	AQUÍFERO SECUNDÁRIO	RISCO DE POLUIÇÃO	RECOMENDAÇÕES	Restrições
BI	Beberibe	Beberibe freático	30	30	< 300	150	-	Muito Elevado	Proteção Sanitária dos poços, Projeto de Saneamento Básico; Preservação das áreas com vegetação para a recarga do aquífero. A utilização de manilhas porosas para os projetos de drenagem de águas pluviais. Instalação de perímetros de Proteção de poços de abastecimento público. Monitoramento das águas subterrâneas.	Restringir a instalação de fontes potenciais de poluição (lixões, cemitérios, indústrias, postos de gasolina etc.)
Bc	Maria Farinha, Gramame e Beberibe	Beberibe confinado	35	50	< 300	300	-	Baixo	Construção do poço com isolamento das camadas superiores calcárias.	Vazões muito elevadas (>50m ³ /h)
B-Ba	Barreiras e Beberibe	Beberibe confinado	35	50	< 300	200	Barreiras	Moderado a elevado	Para vazões elevadas sugere-se a captação do aquífero Beberibe. Para baixas vazões de captações (<5m ³ /h) sugere-se a exploração do aquífero Barreiras. Monitoramento dos Efluentes industriais, Monitoramento dos rios, e das águas subterrâneas.	Instalações de lixões e remoção de sedimentos da Formação Barreiras e da vegetação.
B-Bv ₁	Sedimentos Recentes; Maria Farinha; Gramame e Beberibe	Beberibe confinado	35	50	< 300	360	Boa Viagem	Baixo	Captação de vazões inferiores a 30 m ³ /h para evitar o elevado risco para a salinização das águas subterrâneas por avanço da cunha salina.	Vazões muito elevadas. (>50m ³ /h)

Tabela 9. Zonas de Uso e Proteção das Águas Subterrâneas na Região Metropolitana do Recife-continuação

UNID	FORMAÇÕES	AQUÍFERO PRINCIPAL	NE (m)	VAZÃO (m ³ /h)	RS mg/l	PROF. (m)	AQUÍFERO SECUNDÁRIO	RISCO DE POLUIÇÃO	RECOMENDAÇÕES	Restrições
B – Bv ₂	Sedimentos Recentes e Beberibe	Beberibe confinado	26	5	<200	~ 120	Boa Viagem	Baixo a Moderado	Respeitar as áreas de restrição de exploração instituídas pelo Projeto HIDROREC e regulamentadas pelo Dec. 20.423/98. Construir o poço com bom isolamento das camadas superiores do aquífero Boa Viagem.	Captações vazões muito elevadas acima das recomendadas pelo Projeto HIDROREC).
Bv	Sedimentos recentes	Boa Viagem freático	9	3	465	50	-	Moderado a Elevado	Construir os poços com proteção sanitária e manter distância de fontes potenciais de poluição (fossas negras, cemitérios, postos de gasolina e indústrias). Análises bacteriológicas e físico-químicas periódicas.	Captações de elevadas vazões e o consumo de águas impróprias.
Ca	Cabo	Cabo freático	20	10	300	80	-	Elevado	Construir os poços com proteção sanitária e manter distância de fontes potenciais de poluição (fossas negras, cemitérios, postos de gasolina e indústrias). Análises bacteriológicas e físico-químicas periódicas.	Instalações de atividades potencialmente poluidoras.
Ca-Bv ₁	Sedimentos recentes, Ipojuca, Algodoads, Estiva e Cabo	Cabo confinado	21	3	300	140	Boa Viagem e Algodoads	Baixo	Respeitar as áreas de restrição de exploração instituídas pelo Projeto HIDROREC e regulamentadas pelo Dec. 20.423/98. Captação de baixas vazões para evitar o elevado risco para a salinização das águas subterrâneas por avanço da cunha salina.	Captações vazões muito elevadas (acima das recomendadas pelo Projeto HIDROREC) Captações no aquífero Boa Viagem.
Ca-Bv ₂	Sedimentos recentes, Ipojuca, Algodoads, Estiva e Cabo	Cabo confinado	21	11	300	100	Boa Viagem e Algodoads	Baixo a Moderado	Construção do poço com isolamento das camadas superiores.	Captações vazões muito elevadas (>50m ³ /h) .

Tabela 9. Zonas de Uso e Proteção das Águas Subterrâneas na Região Metropolitana do Recife - continuação

UNID	FORMAÇÕES	AQUÍFERO PRINCIPAL	NE (m)	VAZÃO (m ³ /h)	RS mg/l	PROF. (m)	AQUÍFERO SECUNDÁRIO	RISCO DE POLUIÇÃO	RECOMENDAÇÕES	Restrições
Ca – Ba	Barreiras e Cabo	Cabo Confinado	21	11	300	150	Barreiras	Baixo	Respeitar as áreas de restrição de exploração instituídas pelo Projeto HIDROREC e regulamentadas pelo Dec. 20.423/98.	Captações vazões muito elevadas. acima das recomendadas pelo Projeto HIDROREC)
Ca – Ag	Algodoads e Cabo	Algodoads	6	10	300	60	Cabo	Moderado	Construir os poços com proteção sanitária e manter distância de fontes potenciais de poluição (fossas negras, cemitérios, postos de gasolina e indústrias). Análises bacteriológicas e físico-químicas periódicas A utilização de manilhas porosas para os projetos de drenagem de águas pluviais. Desenvolvimento de estudos hidrogeológicos detalhados.	Fossas negras e Instalações de atividades potencialmente poluidoras.
Cr	Embasamento Cristalino	Fissural e regolito	10	3	200	50	-	Baixo	Construir os poços com proteção sanitária e manter distância de fontes potenciais de poluição (fossas negras, cemitérios, postos de gasolina e indústrias). Análises bacteriológicas e físico-químicas periódicas	Obras de captação próximas de atividades potencialmente poluidoras das águas subterrâneas.
Cr-Ba	Barreiras, Embasamento Cristalino	Barreiras freático	20	3	160	50	Fissural	Baixa a Moderada	Proteção Sanitária dos poços, Projeto de Saneamento Básico. Preservação das áreas com vegetação para a recarga do aquífero. A utilização de manilhas porosas para os projetos de drenagem de águas pluviais.	Obras de captação próximas de atividades potencialmente poluidoras das águas subterrâneas.
NA	Sedimentos de mangue	-	-	-	-	-	-	-	Não Instalação de obras de captação de águas subterrâneas.	A Instalação de poços de captação

DISCUSSÕES - ESTRATÉGIAS DE USO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Para cada Domínio foram definidas zonas hidrogeologicamente homogêneas e elaborou-se um diagnóstico contendo as principais características hidrogeológicas e as estratégias de uso e proteção para seus aquíferos. Algumas destas zonas aparecem em mais de um Domínio mostrando a sua continuidade hidrogeológica na RMR.

Domínio da Bacia PE-PB: Nesta área afloram os sedimentos pertencentes a Formação aquífera Beberibe, que é a mais importante da RMR (Zona BI). A Zona BI é a de maior risco de poluição deste domínio, principalmente entre Abreu e Lima e Igarassu onde há a maior concentração de atividades potencialmente poluidoras aliado a vulnerabilidade muito alta intrínseca deste aquífero principal. O outro sistema aquífero importante neste contexto é o Barreiras. Estes dois sistemas apresentam boa qualidade físico-química de suas águas. O primeiro é intensamente explorado pela concessionária d'água potável na RMR norte para o abastecimento público, ao passo que o segundo é intensamente explorado pela população rural (sítios, granjas, clubes de campo, etc.).

Da análise em conjunto dos mapas potenciométrico e de cloretos e de resíduo seco observa-se um centro de rebaixamento acentuado (até 50 metros) entre Olinda e Abreu e Lima (Zona Homogênea B-Ba), estando este associado a intensa exploração de águas subterrâneas para o abastecimento público que vem gerando uma anomalia hidroquímica das águas do aquífero Beberibe, o que pode caracterizar um avanço da interface marinha. As reservas hídricas superficiais são insuficientes para a demanda da RMR norte logo os recursos hídricos subterrâneos são bastante utilizados. As reservas reguladoras deste Domínio é da ordem de $185,1 \times 10^6$ (m³/ano) das quais o aquífero Beberibe participa com cerca de 78%.

Domínio da Planície do Recife: Este Domínio abrange a área mais urbanizada da RMR (os municípios de Recife e Jaboatão dos Guararapes) e é o que apresenta os maiores conflitos de uso das águas subterrâneas devido a sua intensa exploração por particulares (condomínios, hotéis, clubes, hospitais, colégios, indústrias, etc.) e pela concessionária de água. Os aquíferos mais explorados são os sistemas Beberibe e Cabo e secundariamente o aquífero Boa Viagem. Este último apresenta um grau de vulnerabilidade elevado. A deficiência no abastecimento d'água do município de Recife levou a uma super-exploração ao longo da faixa de praia, entre o Cais do Porto e a Praia de Piedade (Zonas B-BV₁ e Ca-BV₁) onde a grande densidade de poços nesta faixa tem gerado um cone de rebaixamento significativo em torno de 50 metros dos níveis potenciométricos causando problemas de avanço da interface marinha e salinização das águas subterrâneas por

indução de fluxo descendente de águas salinizadas de camadas superiores. Para que não haja um comprometimento total das reservas da zona BV1 é necessário o controle efetivo das vazões dos poços ali instalados e que a Lei 11.427/97 seja de fato aplicada. As reservas reguladoras deste Domínio é da ordem de $62,5 \times 10^6$ (m³/ano).

Domínio da Bacia Cabo: Neste Domínio afloram os sedimentos pertencentes a Formação aquífera Cabo, sendo esta o principal sistema aquífero explotável (Zona Ca) deste Domínio seguido pelo Aquífero Algodoads (Zona Ca-Ag). Estes sistemas aquíferos ainda são sub-utilizados. A zona Ca é a que apresenta uma elevada vulnerabilidade intrínseca ao aquífero e o elevado grau de risco de contaminação pois o polo industrial desta região acha-se colocado sobre esta formação aquífera. Neste Domínio a maior exploração é efetuada no aquífero Boa Viagem (sedimentos recentes) que concentra-se na zona Ca-Bv₂. As águas subterrâneas deste aquífero apresentam mal cheiro e elevados teores de sais, além de apresentar um elevado risco de contaminação. As reservas reguladoras deste Domínio é da ordem de $73,5 \times 10^6$ (m³/ano).

Domínio do Embasamento Cristalino: Neste Domínio ocorre duas unidades principais (Zona Cr e Zona Cr-Ba) e é nele onde se encontram os mananciais de superfície que abastecem a região Metropolitana do Recife.

O principal problema associado ao uso dos recursos hídricos subterrâneos na RMR, é sem duvida nenhuma a super-exploração das águas subterrâneas em áreas restritas, que representa a extração de volumes de água subterrânea acima dos limites de recarga do aquífero.

A partir do banco de dados elaborado com os dados dos poços cadastrados durante o desenvolvimento da pesquisa, foram definidas as áreas críticas de maior extração de água subterrânea, e conseqüentemente com os maiores rebaixamentos dos níveis potenciométricos (Zona B-BV1 e Zona B-Ba).

O rebaixamento dos níveis potenciométricos podem provocar uma subsidência considerável da ordem de vários metros. Exemplos clássicos de subsidência do subsolo associada a super-exploração de aquíferos ocorreram no México e Estados Unidos.

Na cidade de Long Beach, Califórnia-EUA (Custódio & Lhamas, 1986), a subsidência do terreno provocada pela extração de águas subterrâneas provocou prejuízos materiais e financeiros da ordem de mais de 100 milhões de dólares. Na cidade do México a litologia de sub-superfície (sedimentos argilosos) aliada a intensa exploração de águas subterrâneas de extratos inferiores causaram uma subsidência do terreno de até 0,5

metros por ano. A subsidência é causada principalmente pela compactação do material aquífero e secundariamente pela compressão elástica, sendo este processo irreversível.

O agravamento da erosão marinha na linha de costa da RMR (Zona B-Bv1) pode ser um indício de subsidência por super-exploração de poços, com conseqüente compactação do material aquífero, constata-se ainda que nas áreas onde há um intenso rebaixamento da superfície potenciométrica há uma coincidência com as áreas onde há uma intensificação do avanço do mar, como por exemplo nas praias de Olinda, Boa Viagem e mais recentemente nas praias do município de Paulista (Janga, Pau Amarelo, Conceição e Maria Farinha).

É importante a diminuição dos volumes explorados dessas áreas críticas, otimizando e racionalizando a exploração das águas subterrâneas. É urgente o estabelecimento de um programa de proteção das águas subterrâneas para diminuir os impactos presentes e futuros sobre o aquífero, bem como definir, em função do uso e atual grau de ocupação das áreas críticas, um plano de monitoramento para avaliar a ocorrência dos fenômenos de subsidência do solo e de suscetibilidade à contaminação natural e antrópica dos aquíferos.

Particularmente, quanto à questão de exploração da água subterrânea, o número e a taxa de bombeamento dos poços deverão ser dimensionalmente ajustados às características físicas e hidráulicas do aquífero. Em caso contrário, os fenômenos de subsidência do solo e de avanço da cunha salina forçosamente ocorrerão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- COSTA, W.D., SANTOS, A.C., COSTA FILHO, W. D., FILHO, J. M., MONTEIRO, A.B., E SOUZA, F. J. A. DE - 1998 - Estudo Hidrogeológico da Região Metropolitana do Recife - Projeto HIDROREC- Convênio IDRC(Canadá) e UFPE/FADE. Relatório inédito.
- COSTA FILHO, W. D., 1997. Estudo Hidroquímico nos aquíferos da Planície do Recife. Dissertação de Mestrado. Recife-PE, UFPE. 225p.
- CUSTÓDIO, E. & LLAMAS, M.R., 1977. Estudo Sobre as Possibilidades de Intrusão Marinha no Aquífero Beberibe, Região Costeira de Olinda-Goiana (PE). Rev. Bras. Geoc., São Paulo, vol.8, p 239-255.
- CUSTODIO, E.G. & LLAMAS, M.R., 1986. Hidrogeologia Subterrânea. Barcelona. Ed. Omega, 2v.il. .

- FIDEM, 1997. Perfil Municipal. Ano II, N^o 4. Fundação de Desenvolvimento de Região Metropolitana do Recife. Recife-PE, 133p.
- IBGE, 1997. Censo Demográfico 1996.
- LIMA FILHO.M. F. (1998) Análise Estratigráfica e Estrutural da Bacia Pernambuco. IG/USP, Tese de Doutorado. São Paulo, 168p.
- MANSO, W. A. V.; PEDROSA, F. J. A.; SANTOS, A. C. ; MEDEIROS, A. B. ; MARTINS, M. H. A.; AMARAL, A. R., 1993. Aquífero Beberibe : Áreas de Recarga e Sua Conservação Ambiental. Anais do V Congresso Nordestino de Ecologia; Natal-RN.
- OLIVEIRA, R. G. de, 1993. Interpretação Tectono-Estrutural da Área Sedimentar da Região Metropolitana do Recife com Base no Mapa Gravimétrico Bouger. In: Simpósio de Geologia do Nordeste. Natal-RN. Atas. SBG. 382p. il. P. 85-87.
- SANTOS, A. C., 2000. Estratégias de Uso e Proteção das águas subterrâneas na Região Metropolitana de Recife, Estado de Pernambuco. Tese de Doutorado IG-USP. No prelo.

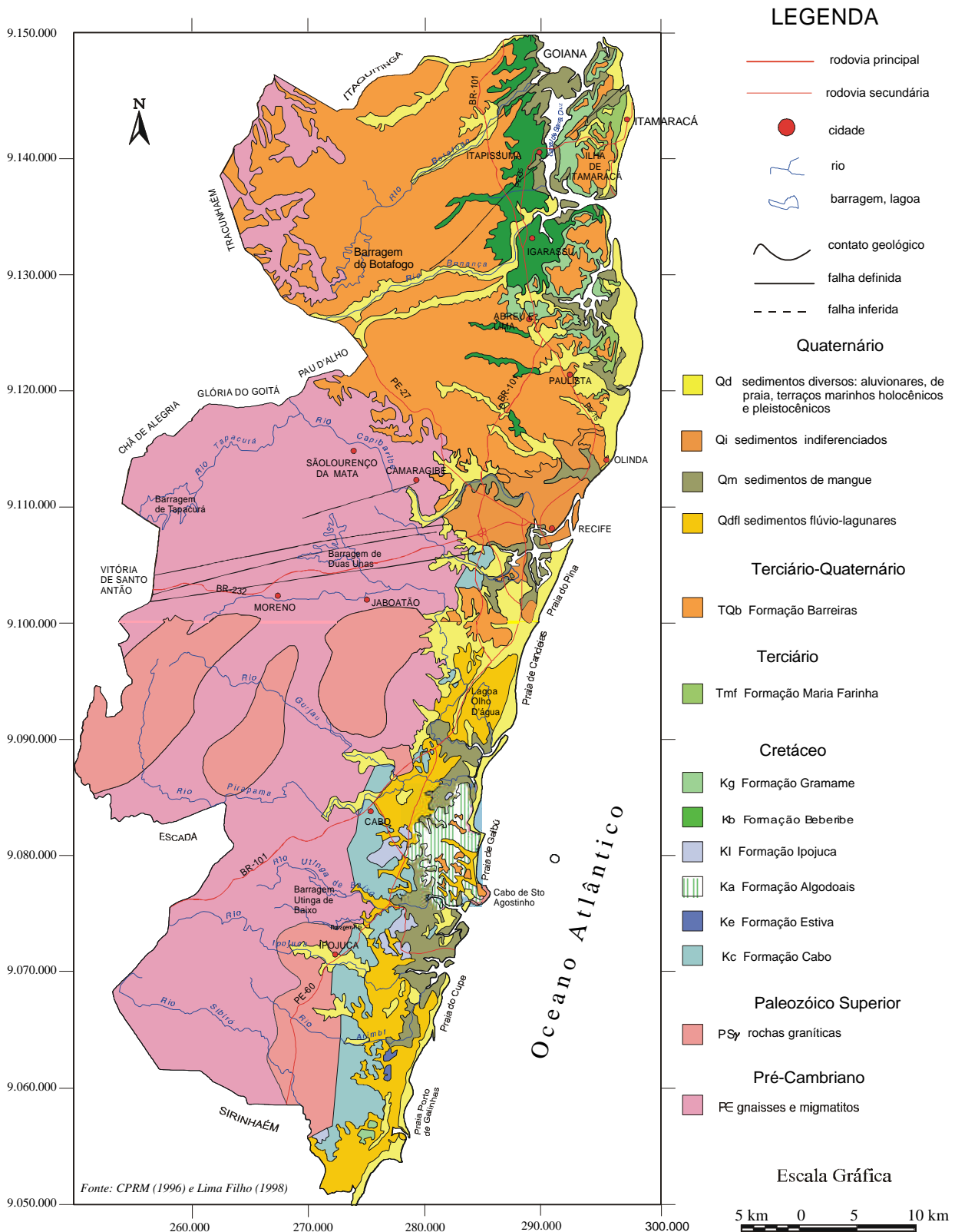


Figura 2 - Mapa Geológico da Região Metropolitana do Recife

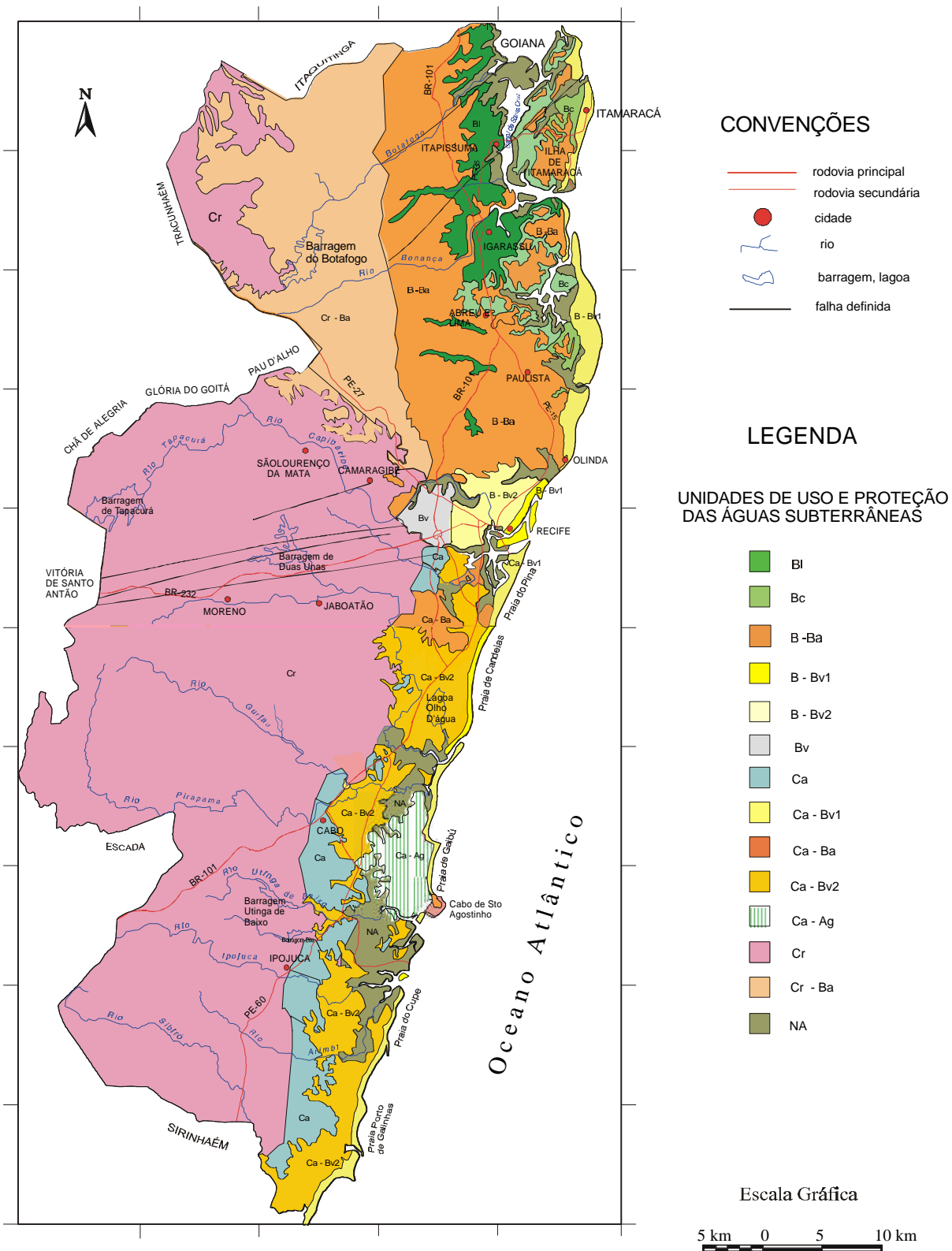


Figura 3 - Mapa de Uso e Proteção das Águas Subterrâneas da RMR