
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS E ESCOLA DE
ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

DÉBORA KARINE KOLLER

**AVALIAÇÃO DO RISCO À SAÚDE HUMANA POR MEIO
DO CONSUMO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA CONTENDO
METAIS, NA REGIÃO DE PALMARES DO SUL, LITORAL DO
RIO GRANDE DO SUL**

Porto Alegre

Junho 2013

DÉBORA KARINE KOLLER

**AVALIAÇÃO DO RISCO À SAÚDE HUMANA POR MEIO DO CONSUMO
DE ÁGUA SUBTERRÂNEA CONTENDO METAIS, NA REGIÃO DE PALMARES
DO SUL, LITORAL DO RIO GRANDE DO SUL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO
APRESENTADO AO CURSO DE
ENGENHARIA AMBIENTAL DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO
GRANDE DO SUL COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO
TÍTULO DE ENGENHEIRO AMBIENTAL.

Orientador: Pedro Antonio Roehe Reginato

Porto Alegre

Junho 2013

DÉBORA KARINE KOLLER

AVALIAÇÃO DO RISCO À SAÚDE HUMANA POR MEIO DO CONSUMO
DE ÁGUA SUBTERRÂNEA CONTENDO METAIS, NA REGIÃO DE PALMARES DO
SUL, LITORAL DO RIO GRANDE DO SUL

Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental da Universidade
Federal do Rio Grande do Sul defendido e aprovado em ___/07/2013 pela Comissão
avaliadora constituída pelos professores:

Banca Examinadora:

.....
Prof. Dr. Nome - Orientador

.....
Prof. Dr. Nome – Departamento

.....
Prof. Dr. Nome – Departamento

Conceito:.....

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, que me deu minha vida, sabedoria, paciência e amor para que eu não desistisse perante qualquer adversidade.

Agradeço especialmente ao Prof. Orientador Pedro Reginato que, mesmo em um espaço de tempo tão curto, me apoiou de maneira tão dedicada e amiga, compartilhando seus conhecimentos e tranquilidade, como poucos o poderiam fazer.

Agradeço aos professores do curso de Engenharia Ambiental da UFRGS, com os quais tive a honra de aprender não somente o conteúdo das cadeiras, mas também valores e ética profissional.

Aos amigos da Igreja Luterana que são, certamente, parte da minha família. Com eles aprendi o verdadeiro significado da palavra amizade: doar-se diariamente.

Thais, Roberta, Fernanda e Alice. Minhas parceiras, amigas pra sempre.

Especialmente às colegas Fernanda, Regina, Juliana e Isadora, com as quais passei momentos inesquecíveis: noites aflitas de estudos, risadas, abraços, festas, trocas de conselhos e choros no ombro. Vocês são únicas.

A todos os colegas sensacionais do curso de Engenharia Ambiental que são, sem dúvida alguma, os melhores da UFRGS.

Aos amigos, orientadores e chefes das empresas por onde passei: Maria Lucia, Ary de Freitas, e Paulo Samuel.

Às gurias da CGA: Alexia, Mariana, Jamille e Ananda. Vocês fizeram parte de um momento muito delicado da minha vida e trouxeram alegria a ela. Vocês têm amor à vida e transmitem um sentimento muito bom a todos que estão perto de vocês.

Às minhas irmãs, Cristina, Sílvia e Priscila, todas “filhas da UFRGS”. Espelho-me em vocês quando se trata de relações, família e profissão. Amo vocês.

E, por fim, um agradecimento especial aos meus pais, Arnaldo e Mara: pela educação, pelo amor, pelo suporte financeiro e também pelas jantas com vinho ao final do dia.

“Adquire sabedoria, adquiere inteligência,
e não te esqueças, nem te apartes das
palavras da minha boca.
Não a abandones e ela te guardará; ama-
a, e ela te protegerá”.
Provérbios 4:5-6

RESUMO

KOLLER, D. K. Avaliação Do Risco À Saúde Humana Por Meio Do Consumo De Água Subterrânea Contendo Metais, Na Região De Palmares Do Sul, Litoral Do Rio Grande Do Sul. 2013. 82 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Este trabalho apresenta um estudo prospectivo sobre o risco existente à saúde de moradores da zona rural do município de Palmares do Sul, RS, que consomem água subterrânea provinda de poços ponteira. Para avaliação do risco foi efetuada a caracterização hidrogeológica da região e a interpretação de análises físico químicas, através do uso do software livre Qualigraf e da comparação dos teores das substâncias químicas avaliadas com parâmetros normativos de resoluções regulamentadoras. No cálculo do risco, foram considerados teores dos metais Al, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn, de treze poços ponteira, os quais captam água subterrânea de aquíferos rasos, mais sujeitos à contaminação do que poços tubulares. Aplicou-se a metodologia de avaliação de risco à saúde humana da USEPA, que é dividida em quatro etapas: coleta e avaliação dos dados, avaliação toxicológica, avaliação da exposição, caracterização e quantificação do risco. Identificou-se que 53,8 e 92,3% dos treze poços analisados apresentam teores de ferro e manganês na água, respectivamente, acima dos VMPs da Resolução CONAMA 396/08. O boro apresentou valor acima do VMP em um poço dos três analisados para essa substância. A análise do risco mostrou que todos os valores de HI calculados para receptores adultos que consomem água dos poços analisados são inferiores ao valor unitário e, desse modo, estariam possivelmente isentos do risco devido à presença dos metais selecionados. Dos treze poços considerados, dois apresentaram valores de HI maiores que a unidade, quando os parâmetros do cálculo foram alterados para receptores crianças, evidenciando potencial existência de efeitos toxicológicos adversos não carcinogênicos à saúde das mesmas. Ressalta-se, no entanto, que a água subterrânea e a ingestão oral são apenas um caminho e uma rota de exposição aos metais selecionados para estudo e que também existem incertezas associadas ao cálculo do risco. Nesse sentido, sugerem-se estudos complementares, como maior número e periodicidade de análises, e consideração de outros caminhos de exposição, como água superficial e solo.

Palavras-chave: Avaliação de risco. Saúde humana. Água subterrânea. Metais.

ABSTRACT

KOLLER, D. K. HUMAN HEALTH RISK ASSESSMENT FOR INGESTION OF GROUNDWATER CONTAINING METALS, IN THE PALMARES DO SUL REGION, RIO GRANDE DO SUL COST. 2013. 82 pages. Environmental Engineering Graduation Work – Hydraulics Research Institute. Federal University of Rio Grande do Sul, Brazil.

The study presents some information on the human health risk of residents from the rural zone of Palmares do Sul, in the Rio Grande do Sul State, which consumes groundwater from driven wells. With the view to support the health risk assessment, it was developed a region hydrogeological characterization, the interpretation of the chemical analysis with the Qualigraf software and the comparison between chemical concentration and regulatory resolutions. In order to calculate de health risk of the Palmares do Sul residents, concentrations of Al, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb and Zn from 13 driven wells were used. Assessment, which is divided in 4 steps, was used: collecting and analyzing data, toxicity assessment, exposure assessment and risk characterization. It was identified that 53.8 and 92.3% of the thirteen analyzed wells have levels of iron and manganese in water, respectively, above the CONAMA 396/08 regulatory values. The concentration of boron was exceeded only in a well, from three analyzed wells. The risk analysis showed that all the HI values are lower than one, when considering adult receptors which ingest groundwater from driven wells. Thus, those receptors are exempt from possible risk posed by the presence of metals. Two, from thirteen analyzed wells, showed HI values higher than the unity when calculation parameters of the receptors were changed to children, indicating the existence of potential adverse health non-carcinogenic. It is emphasized, that groundwater and oral intake are just one path and one route of exposure between several other, and that there are also uncertainties associated with the calculation of risk. Therefore, further studies are suggested such as increased number and frequency analysis, and consideration of other routes of exposure such as surface water and soil.

Keywords: Risk Assessment. Human Health. Groundwater. Metals.

FIGURAS

Figura 1 – Esquema do ciclo hidrológico.....	16
Figura 2 - Ilustração dos aquíferos poroso, fraturado e cárstico.....	18
Figura 3a e 3b - Ocorrência de aquíferos freático e artesiano.....	19
Figura 4 - Mapa hidrogeológico da região abrangida pelo município de Palmares do Sul.....	22
Figura 5a e 5b - Poço Escavado e Ponteira, respectivamente, localizados no município de Palmares do Sul.....	23
Figura 6 - Contaminação da água subterrânea por meio de atividades agrícolas e rurais.....	25
Figura 7 – Contaminação da água subterrânea por meio de atividades industriais e urbanas.....	26
Figura 8 – Contaminação da água subterrânea por meio de vazamento de fossa séptica.	26
Figura 9 - Adsorção de cátions metálicos (a) e ânions metálicos (b) ao óxido de ferro hidratado.....	29
Figura 10 - Esquema da metodologia desenvolvida pela USEPA para a avaliação de risco à saúde humana.....	35
Figura 11 - Representação em forma de fluxograma da metodologia ACBR.....	43
Figura 12 - Distribuição do destino dos resíduos sólidos na cidade de Palmares do Sul, gerado por cada domicílio.....	48
Figura 13 - Distribuição do abastecimento de água, por domicílio, em Palmares do Sul.....	49
Figura 14 - Localização dos poços de água subterrânea no município de Palmares do Sul.....	51
Figura 15 a, b e c - Exemplos de perfis construtivos e litológicos de poços localizados no município de Palmares do Sul.....	52
Figura 16 - Poços em atividade identificados no município de Palmares do Sul.....	54
Figura 17 - Localização dos poços dos quais foram coletadas amostras de água subterrânea para análise de metais.....	55
Figura 18 - Diagrama de Piper de amostras.....	56
Figura 19 - Diagramas de Stiff.....	57
Figura 20 - Sólidos Totais Dissolvidos estimados para as amostras de água de poço do município de Palmares do Sul.....	58
Figura 21 - Esquema das fontes de exposição ao risco, a partir da fonte primária (água do aquífero).....	65

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Parâmetros de exposição sugeridos para ingestão de água contaminada.....	38
Quadro 2 – Distribuição do abastecimento de água, por domicílio, em Palmares do Sul.....	49
Quadro 3 - Destino do esgoto, por domicílio, em Palmares do Sul	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - VMP e LQP para os parâmetros abordados nesse estudo.....	20
Tabela 2 - Profundidades dos poços incluídos nesse estudo.....	55
Tabela 3 - Concentrações dos metais analisados em poços de água subterrânea do município de Palmares do Sul.....	60
Tabela 4 – Doses de referência dos metais considerados na avaliação do risco à saúde humana dos moradores de Palmares do Sul.....	62
Tabela 5 - Atividades desenvolvidas, por meio das quais o ser humano está potencialmente exposto ao risco de contaminação.....	64
Tabela 6 - Dose de ingresso de metais por meio do consumo de águas subterrâneas no município de Palmares do Sul, para adultos.....	66
Tabela 7 - Dose de ingresso de metais por meio do consumo de águas subterrâneas no município de Palmares do Sul, para crianças.....	67
Tabela 8 - Quantificação do risco equivalente a cada substância química, ao qual receptores adultos estão expostos.....	68
Tabela 9 - Quantificação do risco equivalente a cada substância química, ao qual receptores crianças estão expostos.....	69

LISTA DE SIGLAS

ABAS: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas

ATSDR : Agency for Toxic Substances and Disease Registry

CETESB: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente

CPRM: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

DRH: Departamento de Recursos Hídricos da Secretaria das Obras Públicas, Saneamento e Habitação

FEEMA: Fundação Estadual de Estudo do Meio Ambiente

FEPAM: Fundação Estadual de Proteção Ambiental do Rio Grande do Sul

IARC: International Agency for Research on Cancer

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IRIS: Integrated Risk Information System

SABESP: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

SIAGAS: Sistema de Informação de Águas Subterrâneas

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

USEPA: United States Environmental Protection Agency

LISTA DE SÍMBOLOS

- I = Ingresso por ingestão de água contaminada (mg/kg.dia)
- C = Concentração do composto químico na água (mg/L)
- IR = Taxa de ingestão de água (L/dia)
- EF = Frequência da exposição (dias/ano)
- ED = Duração média da exposição (ano)
- BW = Peso corpóreo médio do indivíduo durante a exposição (kg)
- AT_n = Período de exposição médio durante a exposição a substâncias não carcinogênicas (dias)
- AT_c = Período de exposição médio durante a exposição a substâncias carcinogênicas (dias)
- I_n = Dose de ingresso para o cenário de exposição “n” (mg/kg.dia)
- SF = Slope Factor ou Fator de potencial carcinogênico (mg/kg.dia)
- HQ = Perigo não carcinogênico
- RfD_i = Dose de referência para a via de ingresso “i” (mg/kg.dia)
- Risco_{ET} = Risco carcinogênico para exposição total
- Risco_{caminhoi} = Risco carcinogênico estimado para cada caminho de exposição
- HI_{ET} = Índice de perigo não carcinogênico para exposição Total
- HI_{caminhoi} = Índice de perigo não carcinogênico para cada caminho de exposição “i”
- VMP = Valores Máximos Permitidos
- LQP = Limite de Quantificação Praticável
- VI = Valores de Investigação

SUMÁRIO

1. Introdução	14
1.1. Descrição do problema	14
1.2. Justificativa	14
1.3. Objetivos	15
1.3.1. Geral	15
1.3.2. Específicos	15
2. Revisão Bibliográfica.....	16
2.1. Água subterrânea	16
2.1.1. Ciclo hidrológico	16
2.1.2. Aquíferos	17
2.1.3 . Legislação	19
2.2. Hidrogeologia da planície costeira do Rio Grande do Sul	21
2.3. Poços tubulares: captação de água subterrânea e implicações à saúde	22
2.4. Contaminação da água subterrânea	25
2.5. Metais: características, comportamento no ambiente subterrâneo e danos à saúde	28
2.6. Avaliação do risco	34
2.6.1 Definição e metodologia	34
2.6.2 Estudos de casos da aplicação da metodologia de avaliação do risco à saúde humana	41
2.6.3 Outras ferramentas de Avaliação do Risco	43
3. Metodologia.....	45
3.1. Levantamento de dados	45
3.2. Levantamentos de campo	45
3.3. Caracterização hidrogeológica	46
3.4. Caracterização hidroquímica	46
3.5. Elaboração de mapas	46
3.6. Avaliação do risco à saúde humana	47
4. Análise dos Resultados.....	48
4.1. Área de estudo	48
4.2 Hidrogeologia	50
4.3 Hidroquímica	55
4.4. Avaliação do risco à saúde humana	61

4.4.1 Coleta e análise de dados	61
4.4.2 Avaliação da toxicidade	61
4.4.3 Avaliação da exposição	64
4.4.4 Caracterização e quantificação do risco	67
5. Conclusões e recomendações	70
Referências Bibliográficas	72
APENDICE I	77

1. INTRODUÇÃO

1.1 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Um indivíduo consome no Brasil, em média, 200 litros de água, para satisfazer suas necessidades diárias (SABESP, 2013). O acréscimo do crescimento da população mundial induz o aumento da necessidade e da procura por água potável em concomitância com a exploração indevida dos recursos naturais, gerando impactos nos diversos compartimentos ambientais, como solo, água e ar.

Essa exploração exacerbada do ambiente pode trazer consigo impactos irreversíveis às águas subterrâneas que, por sua vez, são utilizadas pela população para consumo, lazer, produção de bens, entre outros.

Caso a água consumida por determinado indivíduo esteja contaminada, esse corre riscos de saúde, devido à exposição aos contaminantes presentes. Vários fatores controlam a possibilidade desse risco existir, como a dose ingerida, o tempo de exposição e o fator de toxicidade do contaminante.

Por meio de metodologia desenvolvida pela USEPA é possível calcular o risco à saúde para um grupo de receptores (população) que está exposta a um ou mais contaminantes, presentes em diferentes meios (água superficial, subterrânea, solo, água e ar).

Dessa forma, este trabalho procurar investigar a existência de risco à saúde para a população rural que consome água subterrânea com uma concentração variada de metais. Essa água é captada por poços ponteiras que estão localizados na área rural do município de Palmares do Sul, região do litoral do Rio Grande do Sul.

1.2 JUSTIFICATIVA

A presença de substâncias químicas na natureza, provindas tanto de origem natural quanto antropogênica, pode gerar riscos à saúde humana quando em elevadas concentrações. Dessa forma, existe a necessidade de se investigar áreas com suspeita de contaminação.

Na região de Palmares do Sul foram identificados, teores de alguns metais acima dos definidos pela CONAMA 396 (2008) como Valores Máximos Permitidos (VMP), em águas subterrâneas de poços ponteira. Percebeu-se, então, a necessidade de se caracterizar

a hidrogeologia local, assim como avaliar a possível existência de risco à saúde dos moradores da zona rural do município de Palmares do Sul.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a existência de risco à saúde humana associada à ingestão de água contaminada por metais provinda de poços ponteira, localizados na área rural de Palmares do Sul, região litorânea do Rio Grande do Sul.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos consistem de:

- Promover a caracterização hidrogeológica do sistema aquífero que é captado pelos poços ponteira;
- Determinar características hidroquímicas do aquífero e avaliar a concentração de metais na água subterrânea;
- Avaliar o uso da água subterrânea no município de Palmares do Sul;
- Identificar fontes e meios de contaminação, assim como as rotas de exposição ao contaminante;
- Avaliar potenciais riscos a saúde humana provenientes da ingestão de água contaminada pelos metais selecionados e identificar populações afetadas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ÁGUA SUBTERRÂNEA

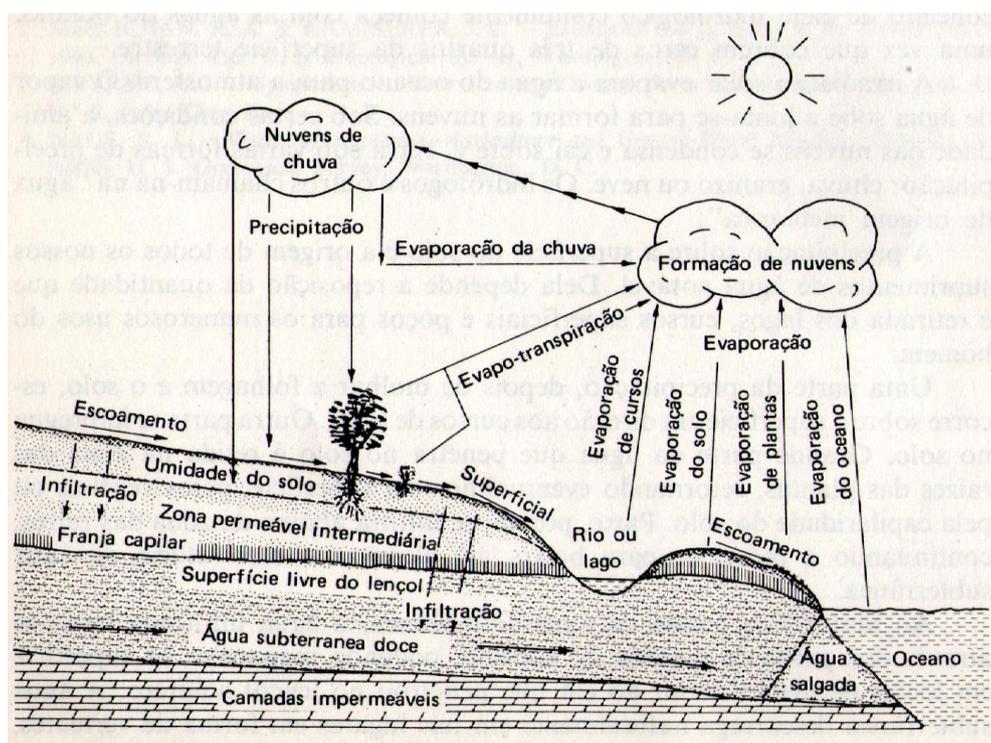
2.1.1 CICLO HIDROLÓGICO

A água é distribuída no planeta terra em diversos compartimentos ambientais e faz parte de um complexo ciclo de circulação entre esses compartimentos, o ciclo hidrológico (Fig. 1). Por ser um ciclo, não tem começo ou fim, mas consideram-se como início as águas oceânicas, por estarem presentes em maior volume no planeta (CETESB, 1978, p. 13).

Uma parcela da água oceânica é evaporada pelo calor irradiado pelo sol. O vapor da água, devido a sua baixa densidade, vai subindo pela atmosfera até condensar-se e formar as nuvens que, quando estiverem saturadas, irão precipitar, na forma de chuva, granizo ou neve, de volta a superfície terrestre.

A precipitação sobre o solo é a grande responsável pelo reabastecimento da água subterrânea e superficial (rios e lagos). Uma parcela da precipitação se infiltra e outra esco superficialmente sobre o solo, chegando até os rios, lagos e oceanos.

Figura 1 - Esquema do ciclo hidrológico.



Fonte: CETESB 1978, p. 14.

Parte da água infiltrada permanece aderida às raízes das plantas e também ao próprio solo, constituindo a zona não saturada do solo. Outra parte da água desce pela força da gravidade até encontrar a zona saturada do solo, onde estão localizados os aquíferos. A água subterrânea vai se movimentando através dos poros dos sedimentos e rochas ou das fraturas e, em algum momento, encontrará locais onde irá aflorar na superfície, alimentando as águas superficiais (rios, lagos e oceanos). Nas regiões litorâneas as águas que escoam pelos rios e pelos aquíferos são descarregadas nos oceanos, completando assim o ciclo hidrológico.

2.1.2 AQUÍFEROS

A Resolução CONAMA 396 (2008, p. 309) define aquífero como:

“corpo hidrogeológico com capacidade de acumular e transmitir água através dos seus poros, fissuras ou espaços resultantes da dissolução e carreamento de materiais rochosos”.

Segundo CETESB (1978, p. 16), os aquíferos constituem, em quase todos os países, a maior reserva de água potável no planeta. No entanto, de toda água subterrânea existente, apenas uma parcela está disponível para consumo humano, devido a fatores limitantes como: acessibilidade, custos de extração ou exploração, segurança e qualidade.

Os aquíferos desempenham duas importantes funções, de armazenamento e de transmissão, funcionando como reservatórios e também como condutores da água subterrânea através dos interstícios, poros, fraturas e fissuras presentes no solo e rochas. Entende-se, dessa forma, que a água está em movimento, mesmo que muito lento, através do aquífero.

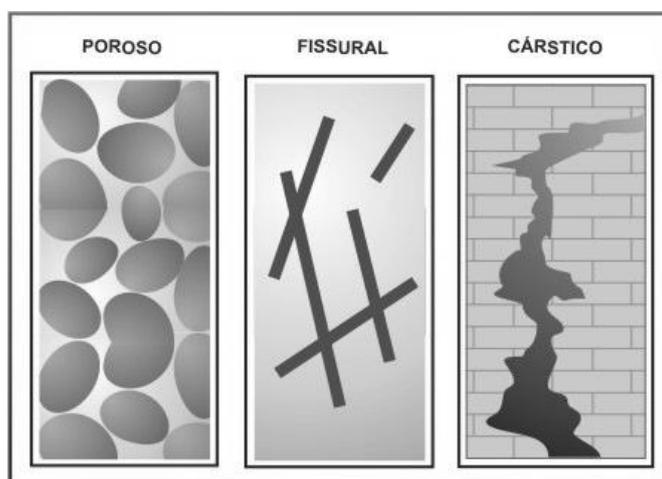
Dependendo do tipo de porosidade os aquíferos podem ser (Fig. 2) (CETESB, 1978, ABAS, 2013):

a) Poroso ou sedimentar: formado por rochas sedimentares consolidadas, sedimentos inconsolidados ou solos arenosos. Essas rochas possuem poros formados entre os grãos de areia, silte e argila de granulação variada, por meio dos quais a água circula. Devido ao grande volume de água que armazenam, e por sua ocorrência em grandes áreas, esses aquíferos são os mais importantes. Ocorrem nas bacias sedimentares e em todas as várzeas onde se acumularam sedimentos arenosos, e suas características de formação permitem que a água flua para qualquer direção, em função tão somente dos diferenciais de pressão hidrostática ali existente.

b) Fraturado ou fissural: aquíferos originados de rochas ígneas, metamórficas ou cristalinas, sendo que a circulação de água se faz nas fraturas, fendas e falhas abertas devido aos movimentos tectônicos, do próprio resfriamento ou, então, dos fenômenos de intemperismo físico ou químico. Dessa maneira, a água nessas rochas pode ser obtida pelas fissuras presentes nelas. Poços perfurados nessas rochas fornecem poucos metros cúbicos de água por hora, sendo que a possibilidade de se ter um poço produtivo dependerá da sua capacidade de interceptar fraturas condutoras de água. São exemplos de bons aquíferos aqueles existentes em rochas basálticas, tendo em vista a grande quantidade de fissuras ou fendas que apresentam.

c) Cárstico: formado em rochas calcáreas ou carbonáticas (dolomitos e mármore). A dissolução do carbonato, presente nessas rochas, dá origem a diferentes aberturas (fendas, condutos, galerias, cavernas), por onde a água circula. Essas aberturas podem atingir grandes dimensões criando os chamados rios subterrâneos. São aquíferos heterogêneos, descontínuos, com águas duras, com fluxo em canais.

Figura 2 – Ilustração dos aquíferos poroso, fraturado e cárstico.



Fonte: ABAS [2013].

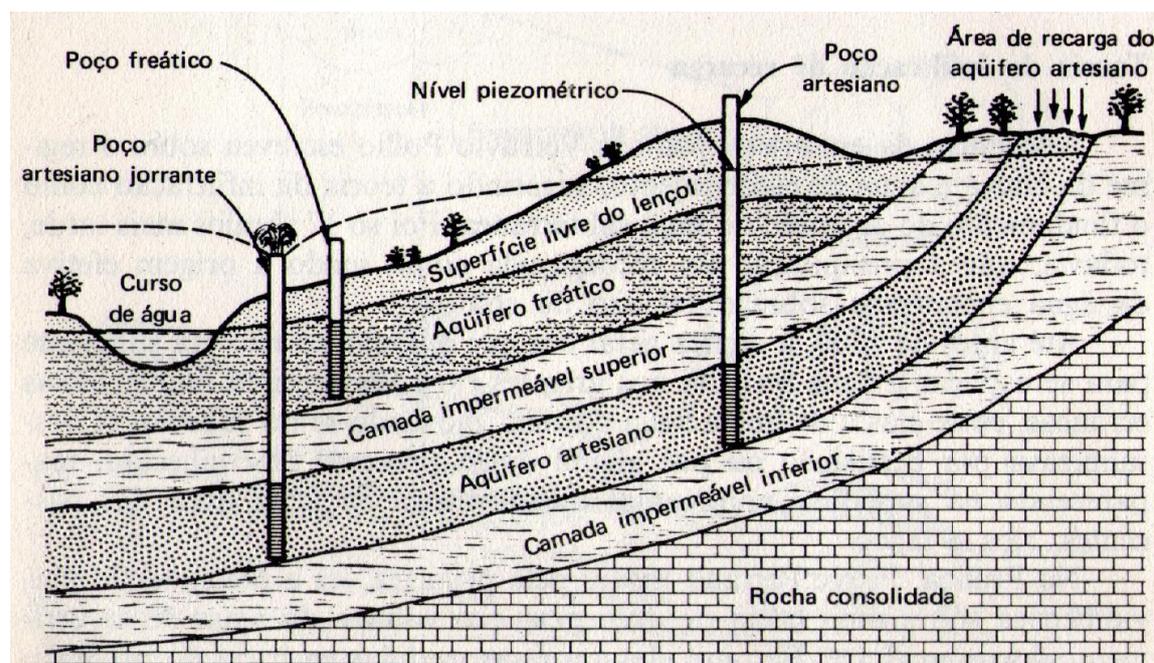
Com relação à pressão os aquíferos podem ser classificados em:

a) Aquífero livre, freático ou não confinado: são os aquíferos encontrados à superfície livre, isso é, todos os pontos presentes na superfície do lençol freático (ou superfície superior do aquífero) encontram-se a pressão atmosférica, comunicando-se livremente com a atmosfera. Isso também significa que a pressão hidráulica exercida em qualquer ponto

desse aquífero será igual ao tamanho da coluna d'água existente e que, quando um poço é perfurado no lençol freático, o nível estático da sua água é o mesmo encontrado na superfície livre do aquífero (Fig. 3).

b) Aquífero Confinado ou artesiano: aquele encontrado em camada permeável, disposta entre duas impermeáveis ou semipermeáveis, sendo que a pressão da água encontrada no topo desses aquíferos maior do que a pressão encontrada na atmosfera. Dessa forma, quando o poço é perfurado até atingir um aquífero confinado, a água encontrada dentro do poço é elevada acima do topo do aquífero, em função da pressão existente. Quando o aquífero está submetido a grandes pressões a água poderá jorrar livremente pelos poços (artesianismo).

Figura 3 - Ocorrência de aquíferos freático e artesiano.



Fonte: CETESB, 1978, p.16.

2.1.3 LEGISLAÇÃO

No Brasil, a classificação e enquadramento das águas subterrâneas são feitos pela resolução CONAMA 396 (2008), dividindo-as em Classe Especial, Classe 1, 2, 3, 4 e 5. A qualidade do recurso hídrico é alterada conforme o aumento do número da classe na qual está enquadrada.

Os Valores Máximos Permitidos (VMP) deverão ser observados quando da utilização da água subterrânea, com ou sem tratamento, independentemente da classe de enquadramento. As águas subterrâneas da Classe Especial deverão ter suas condições de qualidade naturais mantidas. Já os padrões das Classes 1 a 4 deverão ser estabelecidos nos Valores de Referência de Qualidade determinados pelos órgãos competentes, e nos VMPs para cada uso preponderante.

Na tabela 1 são apresentados os valores de VMP definidos pela resolução para os parâmetros avaliados nesse estudo e que estão presentes na água subterrânea captada por poços ponteira na região do município de Palmares do Sul.

Além da resolução citada, existem também a Portaria MS Nº 2914 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2011) e a Resolução CONAMA 420. A Portaria estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade e possui os mesmos VMP da CONAMA 396, a exceção do boro, que não foi considerado. A Resolução CONAMA 420 dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade e uso do solo e água subterrânea quanto à presença de substâncias químicas e estabelecem Valores de Investigação (VI) que são os teores acima dos quais existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerando um cenário de exposição padronizado.

Tabela 1 - VMP e VI para os parâmetros abordados nesse estudo.

Parâmetros	VMPs - Consumo Humano (mg/L)		VI (mg/L)
	CONAMA 396	Portaria MS 2914	CONAMA 420
Alumínio	0,2	0,2	3,5
Boro	0,5	-	0,5
Cádmio	0,005	0,005	0,005
Chumbo	0,01	0,01	0,1
Cobre	2	2	2
Cromo Total	0,05	0,05	0,5
Ferro	0,3	0,3	2,45
Manganês	0,1	0,1	0,4
Zinco	5	5	1,05

Fonte: alterado da CONAMA 396, 2008, p.318, CONAMA 420, 2009, p.12, MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2011, p. 25 e 29.

Segundo o Decreto nº 37033/96 (RIO GRANDE DO SUL, 1996), as águas de domínio do Estado do Rio Grande do Sul, superficiais e subterrâneas, somente poderão ser objeto de uso após outorga pelo DRH e FEPAM, mediante licença de uso. O usuário deverá atender às condições definidas pelos órgãos em função da disponibilidade quali-quantitativa da água na bacia e autorização, nos casos em que não haja definição das condições referidas.

A Lei Estadual 10.350/94 (RIO GRANDE DO SUL, 1995) institui que todos os empreendimentos ou atividades que alteram as condições quali-quantitativas das águas superficiais e subterrâneas dependerão da outorga do uso da água, observado o Plano Estadual de Recursos Hídricos e os planos de Bacia Hidrográfica. A outorga será emitida pelo Departamento de Recursos Hídricos quando o uso da água alterar condições quantitativas das águas e pelo órgão ambiental Estadual, se o uso alterar condições qualitativas. Quando o uso for de caráter individual, para satisfação das necessidades básicas da vida, o cidadão poderá pedir dispensa de outorga.

Por fim, o Decreto nº 42.047 (RIO GRANDE DO SUL, 2012), que regulamenta o gerenciamento e a conservação das águas subterrâneas e dos aquíferos no Estado do Rio Grande do Sul, institui, nos artigos 6 e 7, que é dever da FEPAM normalizar procedimentos de prevenção, controle e fiscalização da qualidade das águas subterrâneas e da Secretaria Estadual da Saúde, em articulação com os Municípios, a fiscalização da qualidade das águas subterrâneas destinadas ao consumo humano, quanto ao atendimento do padrão da potabilidade, estabelecida por legislação específica. Também apresenta em seu artigo 14, que os estudos hidrogeológicos, projetos, e as obras de captação de águas subterrâneas deverão ser realizados por profissionais, empresas ou instituições legalmente habilitadas perante seus respectivos Conselhos Profissionais, exigindo-se o comprovante de Anotação de Responsabilidade Técnica. Qualquer obra de captação de águas subterrâneas no território do Estado deverá ser cadastrada no DRH pelo construtor e usuário.

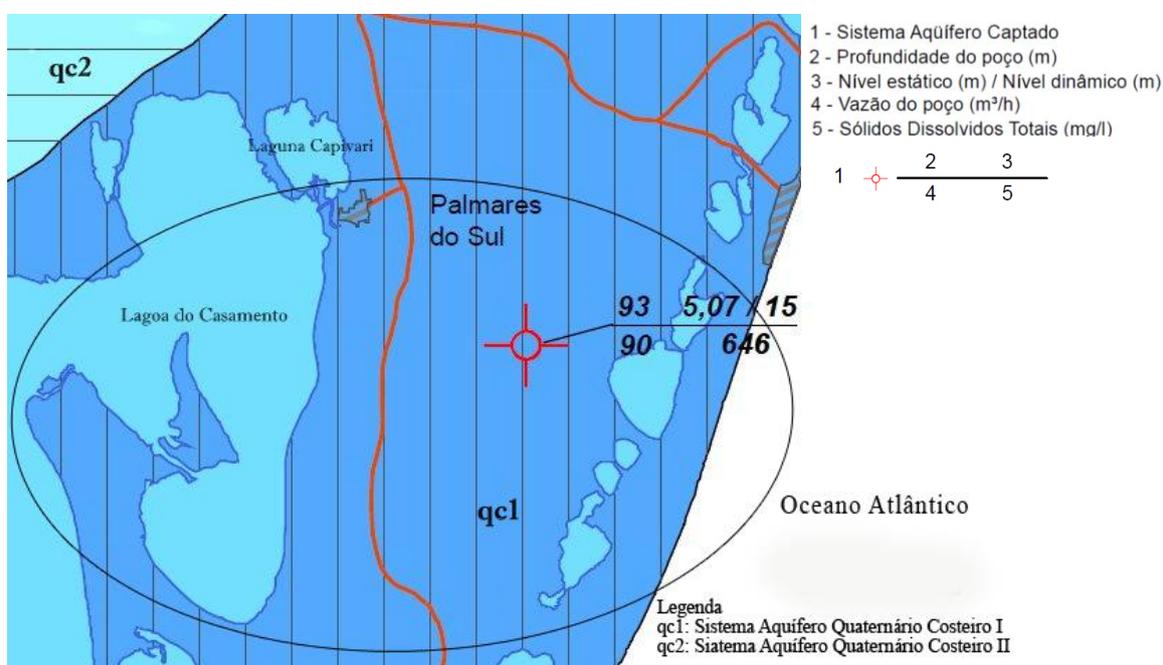
2.2 HIDROGEOLOGIA DA PLANÍCIE COSTEIRA DO RIO GRANDE DO SUL

Segundo o Mapa Hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul (MACHADO, J. L. F. & FREITAS, M.A. 2005), o município de Palmares do Sul está localizado, em sua totalidade, sobre o Sistema Aquífero Quaternário Costeiro I (qc1), que se desenvolve de Torres até o Chuí (Fig. 4).

O Sistema Aquífero Quaternário Costeiro I é composto de uma sucessão de camadas arenosas inconsolidadas, de granulometria fina a média, intercaladas com camadas siltico-arenosas e argilosas. As capacidades específicas são geralmente elevadas, acima de 4 m³/h/m e as salinidades, inferiores a 400mg/L, sendo, eventualmente, encontradas águas cloretadas com maior teor salino (MACHADO, J. L. F. & FREITAS, M.A. 2005).

Na figura 4, o alvo vermelho representa um poço tubular profundo com profundidade de 93m, vazão de 90 m³/h, sólidos dissolvidos totais de 646mg/L, nível estático de 5,07m e nível dinâmico de 15m.

Figura 4 – Mapa Hidrogeológico da região abrangida pelo município de Palmares do Sul.



Fonte: modificado de MACHADO, J. L. F. & FREITAS, M.A 2005.

2.3 POÇOS TUBULARES: CAPTAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA E IMPLICAÇÕES À SAÚDE.

O homem dispõe de duas fontes de água principais para o abastecimento: as águas superficiais, que incluem rios, lagos e outros meios de captação de águas pluviais e as águas subterrâneas, que incluem poços e nascentes. A captação das águas subterrâneas é realizada em geral através de diferentes tipos de poços, sendo os principais os escavados,

os do tipo ponteira e os tubulares. Os dois últimos tipos são denominados popularmente de poços artesianos.

Os poços escavados (Fig. 5a), também conhecidos como poços cacimba ou amazonas, são aqueles abertos manualmente, com o uso de ferramentas como pá e picareta. Por serem construídos sem qualquer preocupação técnica e higiênica e por captarem águas superficiais do aquífero, esses poços estão suscetíveis a contaminações. São escavados manualmente, geralmente em solos pouco resistentes. Possuem grandes diâmetros e, quando não bem revestidos, com tijolos, por exemplo, conferem riscos de desmoronamento e até morte por soterramento aos construtores do mesmo (MINEROPAR, [2009]).

Poços ponteira (Fig. 5b) são poços pouco profundos e de pequeno diâmetro, constituídos por tubo com terminação em ponta e com seção perfurada em vários locais. Essa ponteira é introduzida no subsolo por meio de sistema bate-estaca ou através do uso de jato d'água e, pela sua versatilidade, possuem baixo custo. Têm como limitação a pequena profundidade e o tipo de solo, pois esses poços são indicados para terrenos arenosos homogêneos, isso é, qualquer seixo ou bloco de pedra um pouco maior encontrado impedirá que a ponteira desça, no momento da cravação da mesma (MINEROPAR, [2009]).

Figura 5 a e b- Poço Escavado e Ponteira, respectivamente, localizados no município de Palmares do Sul.



O poço tubular é aquele onde a perfuração é feita por meio de máquinas perfuratrizes à percussão, rotativas ou roto pneumáticas. Possui alguns centímetros de abertura (no máximo 50 cm), sendo revestido com canos de ferro ou de plástico (CPRM, 1998, p. 4). Os poços tubulares, entre os vários tipos de captação de água subterrânea, são os que

traduzem, de modo mais próximo do real, as características hidráulicas e hidroquímicas dos sistemas aquíferos (MACHADO, J. L. F. & FREITAS, M.A 2005).

Poços que são construídos sem atender as normas de construção (por exemplo, poços escavados ou do tipo ponteira) tornam-se vetores de contaminação da água subterrânea. As normas existentes que devem ser seguidas para a construção de poços são as seguintes: NBR 12244 (ABNT, 2006) (Construção de poço para captação de água subterrânea) e NBR 12212 (ABNT, 1992) (Projeto de poço para captação de água subterrânea – Procedimento). Segundo as normas citadas e a CPRM (1998, p. 11-14), os poços para captação de água subterrânea devem ser constituídos de selo sanitário, tubo de revestimento, filtro e pré-filtro. Uma descrição de cada um dessas partes é apresentada abaixo:

- Selo sanitário: vedação do espaço anelar com argamassa com objetivo de evitar a percolação de águas superficiais para dentro do poço no contato do revestimento e a parede da perfuração.
- Tubo de revestimento: é a tubulação definitiva que revestirá o poço. Seu material é, geralmente, metálico ou plástico (Aço Galvanizado, PVC Geomecânico) e tem a função de sustentar as paredes da perfuração e comunicar hidraulicamente os aquíferos com as superfícies.
- Filtro: um tipo de revestimento ranhurado que permite a entrada de água a partir do aquífero para o poço de captação. Tem a função de permitir que a água entre no poço sem a perda excessiva de carga, impedir a passagem de material fino durante o bombeamento, e servir como suporte estrutural, sustentando a perfuração no referido material. Em aquíferos múltiplos, com características hidráulicas confinantes e livres, deve-se adotar disposições dos filtros, favorecendo a individualidade dos aquíferos, a potabilidade da água a ser extraída e a eficiência hidráulica da captação.
- Pré-filtro: material granular (geralmente areia) que está localizado entre a parede do poço e o revestimento. A principal função do pré-filtro é facilitar a circulação de água do aquífero para o poço, bem como reter partículas finas do aquífero.

Por meio da leitura das normas citadas, entende-se, por exemplo, que a má construção dos selos sanitários favorece a entrada de águas e substâncias superficiais que estejam contaminadas e, essa percolação de materiais para dentro dos poços pode promover a

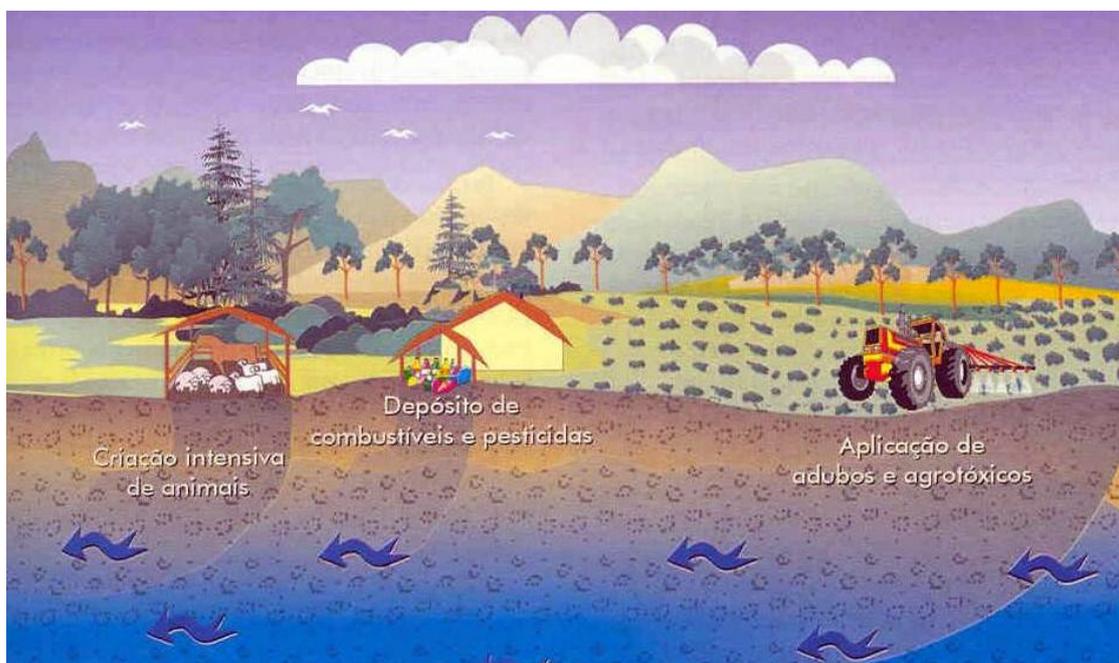
contaminação do aquífero, no qual ele está captando a água. Caso esse aquífero seja contaminado poderá fornecer água contaminada para os outros poços que extraem água dele, possibilitando prejuízos à saúde das populações.

2.4 CONTAMINAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Por ser um excelente solvente, a água dissolve diversas substâncias presentes no ambiente por onde passa, interagindo com o solo e formações geológicas, dissolvendo e agregando substâncias. Isso confere à água subterrânea maior teor de sais minerais do que aquele presente nas águas superficiais. Sabe-se que o solo atua na filtragem da água, retendo algumas partículas e bactérias patogênicas, apesar dessa capacidade ser limitada. Sendo assim, a água é definida como poluída quando sua composição é alterada de tal maneira que a torna imprópria para um determinado fim (LNEG, 2001). Muitas vezes, a contaminação das águas subterrâneas é identificada tardiamente, pelo fato de ser invisível e dificilmente controlada e, quando identificada, já pode ter atingido largas extensões.

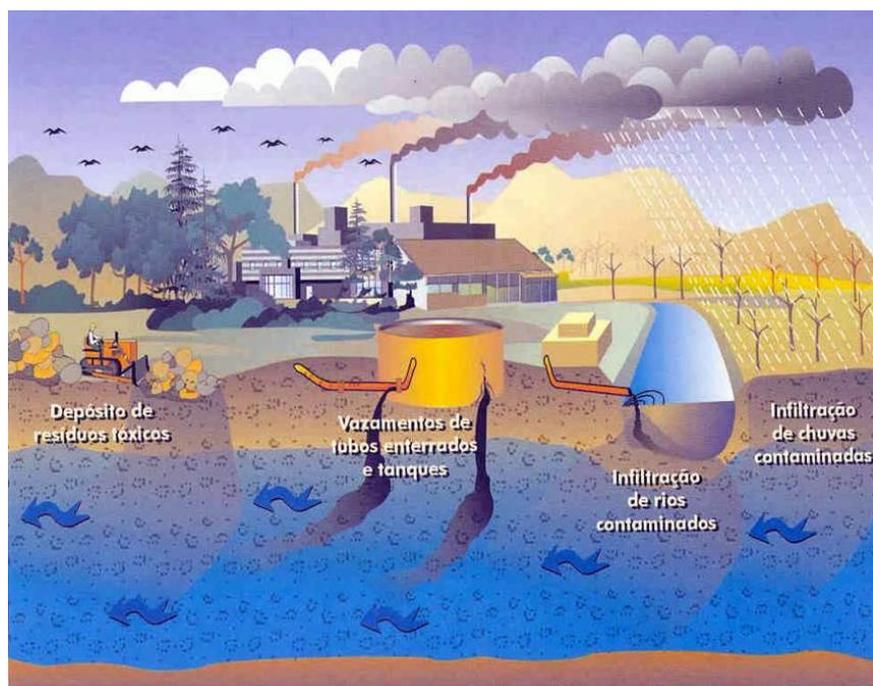
As atividades antropogênicas (urbana, industrial, agrícola, mineradora) geram cargas de contaminantes que, após ocorrências de chuvas, serão infiltradas no solo (Fig. 6, 7 e 8).

Figura 6 - Contaminação da água subterrânea por meio de atividades agrícolas e rurais.



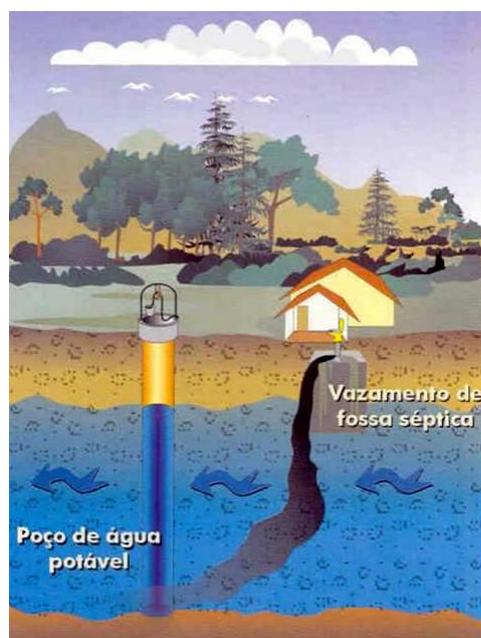
Fonte: FEITOSA, F.A.C. et al, 2008.

Figura 7 - Contaminação da água subterrânea por meio de atividades industriais e urbanas.



Fonte: FEITOSA, F.A.C. et al, 2008

Figura 8 - Contaminação da água subterrânea por meio de vazamento de fossa séptica.



Fonte: FEITOSA, F.A.C. et al, 2008

Os aquíferos situados próximos à superfície podem ser facilmente contaminados, porém, de maneira mais lenta, devido à baixa velocidade de movimentação das águas subterrâneas.

Por outro lado, em aquíferos localizados a grandes profundidades as contaminações são mais difíceis de ocorrerem (CETESB, 1978, p. 203). Assim, as águas subterrâneas mais protegidas ocorrem em aquíferos confinados, localizadas entre camadas impermeáveis, e as mais suscetíveis à contaminação estão associadas a aquíferos freáticos.

A contaminação das águas subterrâneas pode ser provocada de maneira direta ou indireta, por atividades humanas ou por processos naturais. As atividades humanas desenvolvidas sobre a superfície terrestre podem contribuir com a poluição das águas subterrâneas quando mal gerenciadas e, segundo o Laboratório Nacional de Energia e Geologia de Portugal (LNEG, 2001), são divididas em:

- Atividades urbana e doméstica: descarga de efluentes domésticos não tratados na rede hidrográfica, fossas sépticas e lixeiras e geração de lixiviados provindos da circulação de água através de resíduos orgânicos. Quando dispostos de maneira incorreta no ambiente, os resíduos liberam contaminantes no solo ou águas superficiais que podem ser transportados até o lençol freático, comprometendo assim, a qualidade da água subterrânea.

- Atividade agrícola: considerada de extrema importância na deterioração da qualidade da água subterrânea, por possuir caráter de poluição difusa. Isso é, esse tipo de atividade é responsável pela poluição a partir da superfície de extensas áreas, sendo fertilizantes (orgânicos e inorgânicos) e pesticidas os contaminantes potencialmente mais significativos. Os fertilizantes inorgânicos como o amoníaco, sulfato de amônia, nitrato de amônia e carbonato de amônia e os orgânicos, como a ureia, são os responsáveis pelo incremento de nitrato, nitrito e amônia nas águas subterrâneas, por serem aplicados em quantidades superiores àquelas necessárias ao desenvolvimento das plantas. O incremento de sulfatos, cloretos e fósforo nas águas subterrâneas é um problema menos importante que o dos compostos nitrogenados e está relacionado com a aplicação de fertilizantes como o sulfato de amônia, cloreto de potássio, carbonato de potássio e compostos de fósforo. Dentro dos pesticidas e produtos fitossanitários, os pesticidas organoclorados como o DDT são os mais perigosos devido à sua persistência e elevada toxicidade.

- Atividade industrial: podem poluir solo, ar, águas superficiais e subterrâneas durante a produção, armazenamento ou transporte, sendo considerada como poluição pontual. As principais indústrias poluentes são as indústrias alimentares, metalúrgicas, petroquímicas, nucleares, mineiras, farmacêuticas, eletroquímicas, de fabricação de pesticidas e inseticidas

etc. Dentre os contaminantes liberados por essas atividades, assim como pelas outras já citadas (agrícolas, urbanas e domésticas), pode-se incluir metais pesados e tóxicos.

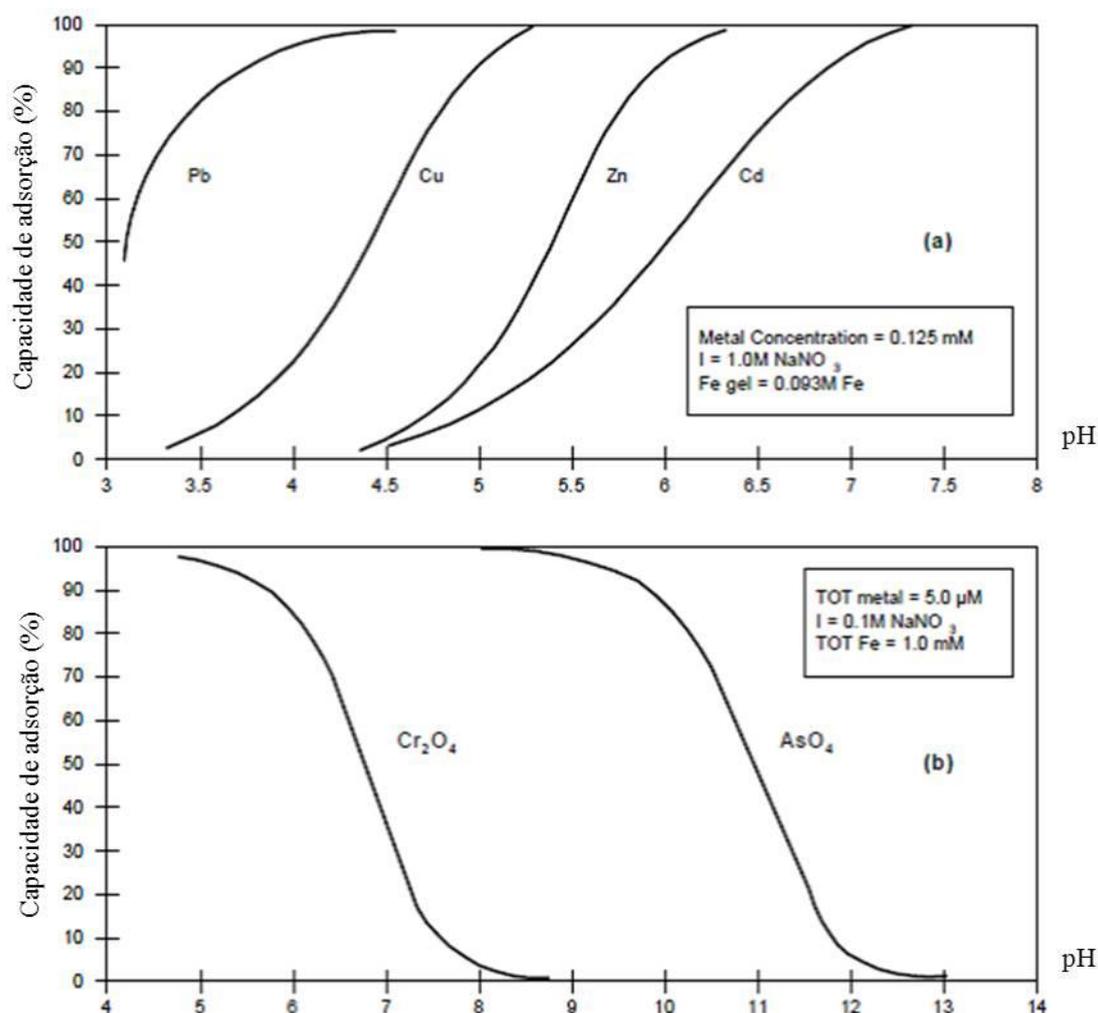
- Contaminação originada pela construção imperfeita de poços e por bombeamento excessivo: a contaminação das águas subterrâneas também pode ocorrer devido a falta de adequação da instalação e da proteção sanitária, conforme boa prática e regulamentação existentes. No caso da intrusão salina, que ocorre em regiões costeiras, a contaminação ocorre quando do bombeamento de grandes volumes de água subterrânea, podendo promover a introdução da água salgada dos oceanos no aquífero explorado e a consequente salinização da água retirada dos poços.

2.5 METAIS: CARACTERÍSTICAS, COMPORTAMENTO NO AMBIENTE SUBTERRÂNEO E DANOS À SAÚDE

O destino e transporte de metais em solo e água subterrânea dependem significativamente da forma e espécie química. A mobilidade dos metais em sistemas subterrâneos é dificultada por reações que adsorvem ou precipitam o metal, ou que tendem a manter o metal associado à fase sólida, evitando sua dissolução. Esses mecanismos podem retardar o movimento dos metais e, também, proporcionar uma fonte de longa duração de metais.

Na figura 9, por exemplo, pode-se perceber que, enquanto os metais sofrem diversas reações semelhantes em certos aspectos, a extensão e a natureza das mesmas variam sob condições especiais. A capacidade de sorção de muitos cátions e ânions ao óxido de ferro é mostrada como função do pH, para uma composição específica de eletrólito de fundo. Nota-se, assim, que o chumbo é sorvido extensivamente em valores muito menores de pH do que o zinco ou o cádmio (Kinniburgh et al., 1976 apud EVANKO, C. R. & DZOMBAK, D. A., 1997).

Figura 9 – Adsorção de cátions (a) e ânions metálicos (b) ao óxido de ferro hidratado.



Fonte: Kinniburgh et al., 1976 apud EVANKO, C. R. & DZOMBAK, D. A., 1997, p.6.

A descrição dos metais abordados nesse trabalho é apresentada a seguir, assim como a influência da forma química na mobilidade e destino desses compostos.

a) Chumbo

O chumbo tem origem de fontes naturais e antropogênicas, a partir da atmosfera ou do escoamento superficial do solo. Quando o metal alcança a superfície da água, é adsorvido aos sólidos suspensos e sedimentos. As principais fontes antropogênicas são as operações de produção e processamento do metal e indústrias de ferro e aço. Os resíduos domésticos e depósitos de resíduos de esgoto também se caracterizam como emissores de chumbo. Os níveis originais de chumbo em águas superficiais e subterrâneas são normalmente baixos e

dependem do pH da água, dos sais nela dissolvidos e da presença de agentes complexantes orgânicos (PAOLIELLO, M. M. B. & CHASIN, A. A. M., 2001).

Os efeitos do chumbo no organismo humano podem desenvolver neoplasia e saturnismo (intoxicação causada pelo chumbo), além de problemas de audição, alteração de crescimento, desenvolvimento cerebral deficiente, elevação da pressão arterial, infertilidade, convulsões, perda de memória, efeitos renais, gastrintestinais e hematológicos (BRITO FILHO, 1983; LARINI, 1997 apud LIMA, A. C. P. et al, 2010). Diante dessas evidências, é importante ressaltar que a EPA (IRIS, [2004]) classifica o chumbo como provável carcinogênico aos seres humanos e, por isso, merece atenção especial na sua análise.

A exposição ao chumbo, para a população em geral, ocorre principalmente por via oral e com alguma contribuição respiratória. Os valores máximos aceitáveis de chumbo na água para consumo, estabelecidos pela USEPA, WHO e CONAMA são 15, 10 e 10 µg/L, respectivamente (USEPA, 2000; WHO 1995; CONAMA 2008 apud PAOLIELLO, M. M. B. & CHASIN, A. A. M., 2001).

b) Cobre

O cobre e seus compostos estão presentes na crosta terrestre e, por isso, quantidades significativas do metal são liberadas por erosão e lixiviação. As principais fontes antropogênicas do metal são mineração, fundição, queima de carvão como fonte de energia e incineração de resíduos municipais. Os compostos de cobre são usados na agricultura, tratamento da água, preservação de madeira, couro e tecido e como aditivo em alimentos (CETESB, 2012a).

A disponibilidade do cobre na água é influenciada pela complexação a ligantes orgânicos e inorgânicos, adsorção a óxidos metálicos, argila e material particulado em suspensão (PEDROZO, M. F. M. & LIMA, I. V., 2001).

A população geral pode ser exposta por inalação, ingestão de alimentos e água ou contato dérmico, porém a principal via de exposição não ocupacional é a oral. A ingestão de água contendo altas concentrações do metal pode produzir náusea, vômito, dor abdominal, diarreia, letargia, anemia hemolítica aguda, dano renal e hepático e, em alguns casos, morte (CETESB, 2012a). Segundo a IARC, o cobre, quanto a sua carcinogenicidade, é classificado no grupo D, isso é, ainda não foi classificado.

c) Ferro

Quase todas as rochas e solos contêm, pelo menos, traços de ferro, o que evidencia a importância da relação do mesmo no ambiente e também na vida terrestre.

A população está exposta ao ferro principalmente por meio dos alimentos e bebidas porém, a partir de estudos realizados, pode-se afirmar que o risco à saúde decorrente da deficiência de ferro é superior ao decorrente da exposição excessiva a este.

As fontes antropogênicas mais comuns são decorrentes das emissões pelas atividades de mineração, fundição, soldagem e polimento de metais, além do uso de compostos de ferro como agentes antidetonantes da gasolina. Entre outras fontes antropogênicas de ferro de origem urbana estão os efluentes de esgotos municipais e o escoamento superficial urbano. O uso de fertilizantes na agricultura é outro fator relevante de contaminação ambiental de origem antropogênica (LIMA, I. V.; PEDROZO, M. F. M., 2001)

d) Zinco

Os principais compostos de zinco são os óxidos (ZnO), utilizados nas indústrias de cerâmica, borracha e tintas; o sulfato de zinco (ZnSO₄) com aplicação na indústria têxtil e no enriquecimento de solos pobres em zinco; e o cloreto de zinco usado para preservar madeiras e em pilhas secas e tintas.

A principal emissão natural de zinco é por erosão do solo, no entanto, algumas das fontes antropogênicas são mineração, produção de zinco, produção de ferro e aço, corrosão de estruturas galvanizadas, combustão de carvão e outros combustíveis, eliminação e incineração de resíduos e uso de fertilizantes e agrotóxicos contendo zinco.

A população geral pode ser exposta ao zinco por vias inalatória e oral. A inalação de grandes quantidades de zinco, na forma de poeiras ou fumos, pode causar a febre do fumo metálico, que geralmente é reversível uma vez cessada a exposição. Trabalhadores expostos a fumos e poeiras de zinco apresentaram desconforto pulmonar, febre, calafrios e gastroenterite, no entanto, pouco se sabe sobre os efeitos da exposição crônica. Elemento necessário para o organismo em pequenas quantidades, porém o consumo de grandes quantidades do metal, seja por água, alimentos ou suplementos nutricionais, pode afetar a saúde. A ingestão aguda de altas doses pode provocar cólicas estomacais, náuseas e vômitos. A ingestão de altas doses por vários meses pode causar anemia, dano ao pâncreas e diminuição do colesterol HDL (CETESB, 2012b).

e) Manganês

É uma substância que ocorre naturalmente e que é encontrada principalmente como óxidos, carbonatos e silicatos. Ocorre naturalmente em muitas fontes de água superficial, subterrânea e também em solos erodidos por essas águas. O transporte do manganês é favorecido, principalmente, pelas variações de pH e estudos demonstram que em meio ácido circula de forma livre, podendo atingir águas subterrâneas e se precipitar, quando níveis médios de pH são atingidos, resultando num aumento de manganês no sedimento (MARTINS, I. & LIMA, I. V. 2001).

No entanto, as atividades humanas também são responsáveis por grande parte da contaminação de águas em algumas áreas. Segundo MARTINS, I. & LIMA, I. V. (2001), aerossóis, praguicidas e fertilizantes são identificados como possíveis fontes de contaminação do solo por manganês, que se somam à carga de Mn naturalmente presente nas águas doce e salgada. O elemento também é encontrado em resíduos da agricultura e de alimentos, dejetos urbanos e de animais, tratamento de esgoto municipal, resíduos do solo, manufatura de metais e mistura de dejetos orgânicos.

A maior exposição ao manganês que um indivíduo pode sofrer é provinda, geralmente, a partir de alimentos (WHO, 2011), sendo a ingestão a partir da água potável substancialmente menor do que a ingestão a partir dos alimentos.

O consumo de manganês pode causar efeitos à saúde humana, como desordem neurológica permanente, conhecida como manganismo. A exposição a níveis elevados de pó de manganês pode resultar na inflamação dos pulmões e prejudicar suas funções (ATSDR, 2012). Não existem evidências de que o manganês pode causar câncer em humanos. Além disso, existem poucos dados sugerindo que este elemento é carcinogênico a animais. O manganês foi enquadrado pela USEPA no grupo químico D, isto é, não carcinogênico à saúde humana.

f) Alumínio

É o metal e o terceiro elemento mais abundante na crosta terrestre, estando associado a rochas geralmente ígneas. Normalmente é introduzido no ambiente por meio da dissolução das rochas e minerais. As fontes antropogênicas ocorrem por meio de emissões gasosas, efluentes de tratamento de água e resíduos sólidos, principalmente ligados à indústria de

alumínio. Seu comportamento no ambiente depende da sua forma química e das características do ambiente, especialmente do pH que, quando decai, torna-se mais móvel.

A principal rota de entrada do alumínio no corpo humano é através da ingestão de alimentos, remédios e água potável.

Elevados teores de alumínio podem provocar problemas associados ao cérebro e ao sistema nervoso central, como a doença de Alzheimer. Também pode afetar coração, pulmões, ossos, fígado e rins (BUTCHER, G. A., 1988, p. 2-7 e 15-16).

g) Boro

Esse elemento se encontra amplamente distribuído em minerais e na crosta terrestre e, por conseguinte, nas águas superficial e subterrânea. As concentrações de boro podem alcançar até 300mg/L em áreas com depósitos naturais ricos em boro e, em amostras de água potável, foram encontradas concentrações de até 0,4mg/L.

O ácido bórico seus compostos se encontram em produtos de consumo tais como detergente de roupa, pesticidas, cremes para o rosto e produtos de uso doméstico.

A exposição oral pode ocorrer por meio da ingestão de alimentos, principalmente vegetais e frutas, e também pelo consumo de água superficial ou subterrânea. Em seres humanos, a curta exposição a altas quantidades de boro pode afetar o estômago, intestinos, fígado, rins e cérebro sendo que, eventualmente pode causar a morte (ATSDR, 2007, p. 1-2).

h) Cádmio

O cádmio pode ser encontrado em atividades de mineração, produção, consumo e disposição de produtos que contenham cádmio (como baterias), inclusive resíduos urbanos, assim como materiais que possuem ligas de cobre, emissões de indústrias de ferro e aço, combustíveis fósseis e fertilizantes fosfatados (ATSDR, 1997, WHO, 1992 apud CARDOSO, L. N. & CHASIN A. A. M, 2001).

Apresenta elevada mobilidade nas águas superficial e subterrânea, podendo ocorrer como íon hidratado ou complexado com outras substâncias orgânicas ou inorgânicas.

A exposição humana ao cádmio pode resultar do consumo de alimentos, água, ingestão acidental de solo ou poeiras contaminadas por cádmio.

Segundo EPA (IRIS, [2004]), o cádmio é considerado um elemento carcinogênico aos seres humanos e a exposição a ele, a longo prazo, pode causar problemas respiratórios, cardiovasculares, hematológicos, esqueléticos, hepáticos e renais.

i) Cromo

Encontrado no ambiente, basicamente, em dois estados de valência: tri (Cr^{3+}) e hexavalente (Cr^{6+}). O Cr^{6+} é considerado mais tóxico que o Cr^{3+} , tendo sido registrado casos de úlcera, diarreia, dor abdominal, vômito, entre outros.

A forma hexavalente pode ocorrer no meio aquático como complexos aniônicos e, por ser um agente fortemente oxidante, pode reagir com a matéria orgânica e outros agentes redutores gerando a forma de cromo trivalente que, eventualmente, precipitará (USEPA, 1998a e 1998b).

Algumas fontes de contaminação do cromo nas formas tri e hexavalente são: cimentos, soldagens de ligas metálicas, fundições, lixo urbano e industrial, curtumes, preservativos de madeira e fertilizantes (PEDROZO, M. F. M. & SILVA, C. S., 2001, p. 27).

2.6 AVALIAÇÃO DO RISCO À SAÚDE HUMANA

2.6.1 DEFINIÇÃO E METODOLOGIA

Em geral, as atividades desenvolvidas pelo ser humano possuem um risco associado a elas, isso é, existe a probabilidade da ocorrência de algum evento adverso que pode vir a causar problemas a sua saúde.

Segundo a USEPA (1989),

“avaliação de risco toxicológico é o processo de estimar a natureza e a probabilidade de efeitos adversos à saúde humana, que pode estar exposta a substâncias químicas presentes em ambientes contaminados, no presente ou no futuro”.

Nesse sentido, identificando a necessidade de desenvolver atividades de saúde pública associadas especificamente à exposição, real ou potencial, a agentes perigosos liberados no ambiente, a USEPA criou a Agência de Registro de Substâncias Tóxicas e de Doenças (ATSDR). Baseada nessas necessidades, a ATSDR criou metodologia para estimar a natureza e a probabilidade da ocorrência de efeitos adversos à saúde em pessoas expostas a meios possivelmente contaminados, que é apresentada no Risk Assessment Guidance for

Superfund - Volume I - Human Health Evaluation Manual (Part A) (Manual de Avaliação da Saúde Humana), publicado pela USEPA (1989). Os resultados provindos da aplicação dessa metodologia possibilitaram, e ainda possibilitam, ações de mitigação ou prevenção da exposição e dos efeitos à saúde humana, por parte da USEPA, em áreas com potencial risco.

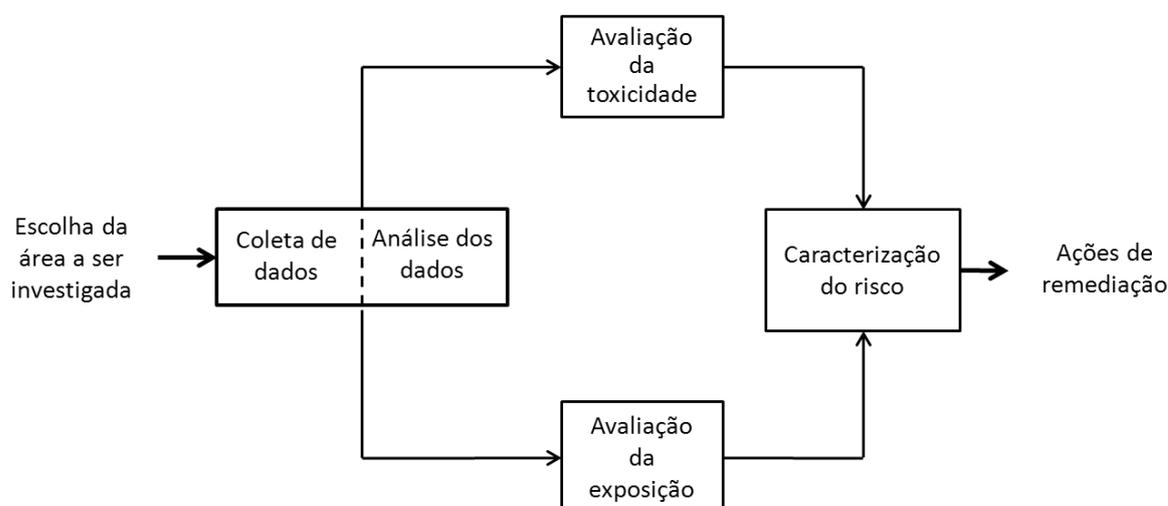
Nos moldes da metodologia desenvolvida pela USEPA, a CETESB desenvolveu o seu manual de avaliação de risco à saúde humana, o qual também será seguido para o desenvolvimento do presente trabalho.

De acordo com esta metodologia, as seguintes atividades devem ser realizadas, para quantificar os riscos:

a) Preliminarmente ao desenvolvimento das etapas da análise de risco à saúde humana, o grupo de pesquisa escolherá o local a ser estudado. Sobre esse local, provavelmente já haverá suspeitas de exposição dos seus moradores, devido a possíveis contaminações de um ou mais compartimentos ambientais na área. O grupo realizará então avaliação e inspeção preliminar da área, para reconhecimento inicial de sua história, características socioeconômicas e potenciais contaminantes presentes na área.

Após essa fase de reconhecimento, as seguintes etapas apresentadas na figura (Fig. 10) abaixo deverão ser seguidas.

Figura 10 - Esquema da metodologia desenvolvida pela USEPA para a avaliação de risco à saúde humana



Fonte: alterado de USEPA 1989, p 1-7.

b) Coleta e Análise dos dados

Antes de iniciar a avaliação de risco à saúde humana, dados da área de estudo devem ser coletados e analisados para determinar as concentrações de contaminante, no meio de interesse (ar, água, sedimentos, biota, etc.) e as rotas de exposição potenciais. Dados históricos disponíveis como dados analíticos de amostragens anteriores, descrições dos usos anteriores ou outros registros da área, assim como entrevistas com moradores devem ser reunidos e revisados para otimizar o processo de amostragem das substâncias suspeitas de contaminação. Também é importante ressaltar que o programa de amostragem dos meios (água, solo, ar) deve ser conduzido de forma a seguir devida metodologia padrão e controle de qualidade. No entanto, uma revisão completa desses procedimentos pode não ser possível, especialmente no caso da obtenção de dados históricos.

Uma vez que os dados atuais e históricos tenham sido revisados, os dados disponíveis mais apropriados para o meio de interesse devem ser selecionados para a avaliação de risco.

c) Avaliação da Toxicidade

Nessa etapa, os dados disponíveis são utilizados para determinar e quantificar a relação entre o nível de exposição de um contaminante (dose ou ingestão) e o aumento da probabilidade de ocorrência e/ou gravidade dos efeitos adversos.

Essa relação é chamada de relação dose-resposta e fornece a base para a obtenção de valores de toxicidade quantitativos utilizados na avaliação do risco. Para estimativa de risco de desenvolvimento de efeitos carcinogênicos à saúde humana são utilizados fatores de inclinação (Slope Factor) na estimativa do risco, que são definidos como o limite superior de probabilidade de uma resposta, isto é, câncer, por unidade de consumo de uma substância química, ao longo da vida.

O potencial não carcinogênico de efeitos à saúde, a partir da exposição oral é tipicamente avaliado por meio da comparação dos níveis diários de ingestão estimados com doses de referência (RfDs), que representam níveis de ingestão diária nos quais não são esperadas ocorrências de efeitos adversos.

Grupos de estudo da USEPA conduziram a identificação do perigo e a avaliação da dose-resposta, para mais de seiscentas substâncias químicas, sendo que substâncias adicionais estão em fase de revisão. Foram verificados valores de toxicidade, que podem ser acessados no banco de dados da IRIS (IRIS, [2004]).

d) Avaliação da Exposição

São determinadas nessa etapa a magnitude, frequência, duração e rotas de exposição, direta ou indireta, dos indivíduos aos contaminantes. Primeiramente, devem ser identificadas as populações que podem estar expostas (população receptora), considerando a proximidade e a facilidade de entrar em contato com a possível fonte de contaminação. A típica população receptora a ser considerada será aquela que mais entra em contato com a fonte potencialmente poluidora.

A exposição aos contaminantes pode ocorrer por meio de três rotas: ingestão, contato dérmico e inalação, sendo que cada uma dessas se divide ainda em outras vias de exposição, como águas superficial e subterrânea, sedimento, solo e ar. A ingestão de contaminantes pode resultar da ingestão inadvertida de solo ou sedimento contaminado, ou por meio do consumo de água potável ou superficial. O contato dérmico envolve contato direto da pele com sedimentos, solos ou águas superficiais. A inalação de poeiras ou vapores transportados pelo ar pode introduzir diferentes tipos de contaminantes no sistema respiratório.

As rotas de exposição que envolvem a ingestão resultam, geralmente, em estimativas superiores de exposição do que aquelas originadas pelo contato dérmico ou inalação, devido à maior absorção de contaminantes através do trato gastrointestinal, comparando-se a absorção através da pele ou inalação.

As potenciais rotas de exposição devem ser examinadas, com o intuito de determinar se são completas ou incompletas. Elas serão completas se existe a ocorrência de: 1) fonte e mecanismo de liberação química, 2) algum meio de retenção ou transporte por meio dos quais as substâncias químicas são transferidas, 3) um ponto de exposição, onde o contato ocorre, e 4) uma rota de exposição por meio da qual o contato ocorre. Uma rota de exposição será incompleta se alguma dessas condições não é estabelecida.

Todas as rotas de exposição completas devem ser consideradas na avaliação de risco, a menos que existam alguns critérios de incerteza, como: 1) baixa magnitude potencial de exposição de uma rota, 2) baixa probabilidade da ocorrência da exposição e baixo risco associado.

Uma vez que a via de exposição a ser avaliada foi selecionada quantitativamente para determinada situação e local, as concentrações das substâncias químicas, assim como os

parâmetros de exposição, são utilizadas para calcular os níveis de ingestão crônica ou subcrônica de cada substância (em miligramas de substância química por quilograma de peso corporal, por dia).

Informações específicas sobre o local avaliado podem não estar disponíveis para o cálculo da exposição. Dessa forma, são feitas suposições sobre alguns parâmetros de exposição, como o tipo e a frequência da mesma, baseadas em estudos feitos anteriormente. Nesse trabalho, os parâmetros utilizados são extraídos das planilhas desenvolvidas pela CETESB para caracterização do risco em áreas contaminadas que, por sua vez, foram retirados de bancos de dados como o da IRIS (IRIS, [2004]) e ATSDR (ATSDR, 2013) (Quadro 1).

Quadro 1 - Parâmetros de exposição sugeridos para ingestão de água contaminada

Parâmetro	Residencial		Fonte
	Adulto	Criança	
IR (L/dia)	2	1	CETESB, 2009
EF (dia/ano)	350	350	CETESB, 2009
ED (ano)	30	6	CETESB, 2001
BW (kg)	70	15	COUTO, 2006
ATn (dias)	10950	2190	IBGE, 2008
ATc (dias)	26280	26280	CETESB, 2009

Fonte: apud CETESB, 2013.

Com as concentrações das substâncias químicas e os parâmetros de exposição em mãos, calcula-se o ingresso, que é definido, segundo CETESB (2001), como a quantidade de composto químico disponível para absorção que poderá entrar em contato com determinado organismo. A fórmula utilizada para o cálculo do ingresso por ingestão de água contaminada é apresentada abaixo (Eq. 1):

$$I = C \times \frac{IR \times EF \times ED}{BW} \times \frac{1}{AT} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

I = Ingresso por ingestão de água contaminada (mg/kg.dia)

C = Concentração do composto químico na água (mg/L)

IR = Taxa de ingestão de água (L/dia)

EF = Frequência da exposição (dias/ano)

ED = Duração média da exposição (ano)

BW = Peso corpóreo médio do indivíduo durante a exposição (kg)

AT = Período de exposição médio durante a exposição (dias)

e) Caracterização do Risco

O propósito dessa etapa é combinar as estimativas de exposição e a toxicidade numa expressão integrada de risco à saúde humana.

Inicialmente, a quantificação do risco deve ser realizada individualmente para efeitos carcinogênicos e não carcinogênicos, considerando cada contaminante e cada caminho de exposição.

O risco carcinogênico é utilizado para estimar o incremento da probabilidade de ocorrência de câncer ao longo do tempo de vida, para dadas concentrações químicas e é estimado pela multiplicação da ingestão crônica diária de uma vida inteira de exposição por um fator de inclinação atribuído por bancos de dados toxicológicos, a cada substância química carcinogênica de interesse. Efeitos carcinogênicos são, então, somados para todas as substâncias químicas presentes nas vias de exposição (consumo de água, alimentos, etc.). Esse somatório de riscos carcinogênicos assume que todas as substâncias produzem o mesmo efeito. A equação linear para quantificação do risco carcinogênico é apresentada abaixo (Eq.2):

$$Risco = I_n \times SF \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

I_n = Dose de ingresso para o cenário de exposição “n” (mg/kg.dia)

SF = Slope Factor ou Fator Potencial Carcinogênico (mg/kg.dia)

Os efeitos não carcinogênicos são avaliados pelo cálculo do quociente de perigo não carcinogênico (HQ) que é obtido por meio da comparação de um nível de exposição por período de tempo (dose de ingresso) com uma RfD para um período de exposição similar, conforme apresentado na equação abaixo (Eq. 3):

$$HQ = \frac{I_n}{RfD_i} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

I_n = Dose de ingresso para o cenário de exposição “n” (mg/kg.dia)

RfD_i = Dose de referência para a via de ingresso “i” (mg/kg.dia)

Ao contrário das estimativas de risco carcinogênico, o HQ não é expresso como probabilidade. Valores de HQ menores do que 1 indicam que as exposições provavelmente não estão associadas a efeitos não carcinogênicos adversos. À medida que o HQ vai se aproximando de 10, a probabilidade de efeitos adversos aumenta até o ponto onde devem ser tomadas ações para redução da exposição humana. Devido às incertezas que envolvem essas estimativas, valores entre 1 e 10 são de preocupação, particularmente quando fatores de risco significantes estão presentes. No entanto, devido ao fato de que os RfDs não possuem igual precisão e não são baseados no mesmo efeito, a avaliação dos índices de perigo devem levar em conta as incertezas associadas com os RfDs.

O índice de perigo (HI) é definido pelo somatório de dois ou mais HQs para múltiplas substâncias químicas e rotas de exposição, com é apresentado na equação 4:

$$HI = \sum \frac{I_n}{RfD_i} \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

I_n = Dose de ingresso para o cenário de exposição “n” (mg/kg.dia)

RfD_i = Dose de referência para a via de ingresso “i” (mg/kg.dia)

O risco carcinogênico (ou não carcinogênico) total, ao qual um determinado indivíduo pode estar exposto, deve ser calculado pela soma de todos os riscos carcinogênicos (ou não carcinogênicos) totais estimados para cada caminho de exposição. Logo, o Risco Cumulativo Total da Área é a somatória do Risco para cada composto químico, dentro de cada caminho de exposição, e para todos os meios que ocorrem dentro dos mesmos cenários de exposição, simultaneamente. Abaixo é apresentada a equação (Eq. 5) para quantificação do risco carcinogênico (Eq. 5) e não carcinogênico (Eq. 6) para múltiplos caminhos de exposição.

$$Risco_{ET} = \sum Risco_{CAMINHOEXPOSIÇÃOi} \quad \text{Equação 5}$$

$$HI_{ET} = \sum HI_{CAMINHOEXPOSIÇÃOi} \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

$Risco_{ET}$ - Risco Carcinogênico para Exposição Total

$Risco_{caminhoi}$ - Risco Carcinogênico estimado para cada Caminho de Exposição

HI_{ET} - Índice de Perigo não Carcinogênico para Exposição Total

$HI_{caminhoi}$ - Índice de Perigo não Carcinogênico para cada Caminho de Exposição “i”

f) Posteriormente ao término das etapas de coleta e análise dos dados, avaliação da toxicidade, avaliação da exposição e, finalmente, caracterização do risco, a equipe deverá desenvolver medidas de remediação dos contaminantes da área estudada, se constatado o risco à saúde humana.

2.6.2 ESTUDOS DE CASOS DA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DO RISCO À SAÚDE HUMANA

No Brasil, essa metodologia foi aplicada em alguns estudos, como os apresentados abaixo.

O caso de contaminação pela empresa PLUMBUM Mineração e Metalurgia Ltda., onde foram processadas aproximadamente 3 milhões de toneladas de minérios, gerando cerca de 2.780.000 toneladas de rejeito, e cujos resíduos eram lançados diretamente no rio Ribeira, sem tratamento, e mais tarde passaram a ser depositados no entorno da usina, expondo a população da área aos contaminantes. Diante dos riscos à saúde humana e das frequentes denúncias de contaminação da área, a Secretaria de Estado da Saúde do Paraná - SESA após consulta à área técnica da Secretaria de Vigilância em Saúde do Ministério da Saúde decidiu pela aplicação da metodologia de avaliação de risco à saúde humana na área da PLUMBUM, no município de Adrianópolis, como forma de sistematizar os resultados das avaliações e estudos já realizados na área, determinar os contaminantes de interesse e as rotas de exposição, identificar as populações expostas, bem como propor as recomendações de saúde e ações ambientais. A avaliação toxicológica e dados de saúde confirmaram a existência de rotas completas de exposição no passado, presente e futuro, especificamente a Chumbo, Cádmio, Cobre e Zinco (RÚNIO, C. L. et al, 2008, p. 2, 188).

Outro famoso caso é o de contaminação na Cidade dos Meninos, Duque de Caxias, no Rio de Janeiro, em 2002. É uma área de domínio da União, onde existia na década de 1940 o Abrigo Cristo Redentor destinado a menores órfãos. Ali foi instalado na mesma época, o Instituto de Malariologia e uma fábrica que produzia o hexaclorociclohexano (HCH) e outros produtos destinados ao combate das endemias como a malária, febre amarela e doença de Chagas. Em 1961, a unidade começou a ser desativada e encerrou as atividades em 1965. Com o final da fábrica toda a produção ficou abandonada no local. No final dos anos 1980, depois de a fábrica ter encerrado suas atividades e abandonado toda a produção no local, uma denúncia a FEEMA revelava que cerca de 300 toneladas do “pó de broca”

estavam contaminando o solo. O material abandonado foi utilizado por moradores para cobrir buracos na estrada ou como fertilizante. Em 1995 uma empresa do Paraná propôs jogar cal na área para descontaminar o solo. O resultado foi aumentar a contaminação da região. Desde 1999, o Ministério da Saúde vem monitorando os moradores e fazendo um cadastramento das famílias enquanto não se chegava a um acordo, já que a Justiça vem cobrando das autoridades federais uma solução para o problema. Os resultados do trabalho permitem concluir que a população estudada está potencialmente exposta pela via respiratória pela inalação de poeira domiciliar contaminada. Porém, a avaliação dos efeitos sobre a saúde da população moradora do município, ocasionados pelos compostos químicos encontrados, é ainda bastante inconclusiva, pois os dados existentes dos problemas de saúde da população são poucos, inexatos, e incapazes de fornecer informação que permita o estabelecimento de uma relação causal inequívoca, entre a contaminação pelo agente, e as queixas de saúde referenciadas pela população (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2004, p. 9, 10, 56-58).

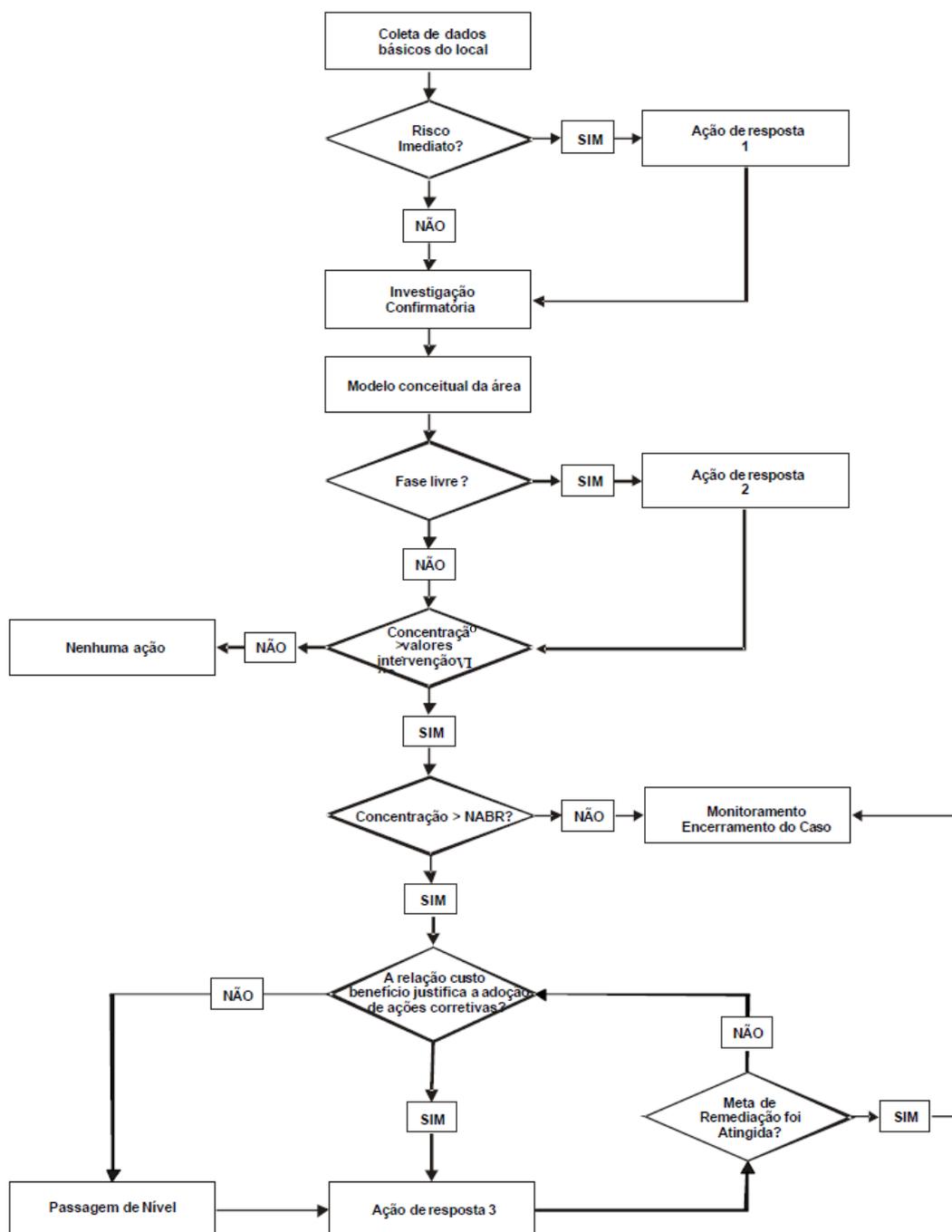
2.6.3 OUTRAS FERRAMENTAS DE AVALIAÇÃO DO RISCO À SAÚDE HUMANA

Por ter enfoque na saúde humana, a avaliação de risco desenvolvida pela USEPA, é utilizada por diversos países, como Canadá, Austrália e países da Europa. No entanto, existem outras metodologias que podem auxiliar no estudo de riscos, como o Risk Based Corrective Action (RBCA) e a Ação Corretiva baseada no Risco (ACBR).

A base dessas metodologias foi definida pela agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos como uma abordagem simplificada por meio da qual as práticas de avaliação da exposição e do risco são integradas a componentes tradicionais do processo de ação corretiva. São metodologias flexíveis, tecnicamente defensáveis, para tomada de decisão com base na quantificação do risco toxicológico da saúde humana para áreas contaminadas. Embora aplicável a diversas situações de impacto ambiental por compostos químicos, o procedimento ora apresentado foi desenvolvido especificamente para processos de contaminação ambiental associados a hidrocarbonetos derivados de petróleo e outros combustíveis líquidos. Procura integrar métodos de avaliação de exposição e de risco e modelos matemáticos de transporte de contaminantes, fornecendo subsídios ao processo de tomada de decisão relacionada à alocação de recursos, à urgência de ações

corretivas, à necessidade de remediação, aos níveis de remediação aceitáveis e às alternativas tecnológicas aplicáveis (CETESB, 2005, p.3). A Figura abaixo (Fig. 11) apresenta o fluxograma geral de abordagem da metodologia ACBR.

Figura 11 - Representação em forma de fluxograma da metodologia ACBR



Fonte: CETESB, 2005, p. 3.

Para facilitar a avaliação do risco à saúde humana, a CETESB (2013) criou planilhas que padronizam e otimizam os resultados obtidos na execução dos estudos de avaliação de risco em áreas contaminadas, no Estado de São Paulo. Nessas planilhas são realizados cálculos que têm como base o procedimento descrito no item 2.6 (Risk Assessment Guidance for Superfund - Volume I - Human Health Evaluation Manual (Part A)) para quantificação da exposição e do risco, sendo que todos os parâmetros de entrada dos modelos matemáticos utilizados foram amplamente discutidos por grupo multidisciplinar composto por profissionais da CETESB e especialistas da iniciativa privada para, assim, empregar valores mais realistas ao Estado de São Paulo, quando se refere a fatores de exposição e do meio físico.

Existem quatro tipos de planilhas, que podem ser utilizadas separadamente para a quantificação do risco à saúde humana: 1) Residentes em áreas urbanas, 2) Residentes em áreas rurais, 3) Trabalhadores comerciais/industriais e 4) Trabalhadores em obras civis. Com o uso das planilhas se quantifica o risco para substâncias não carcinogênicas e carcinogênicas, individual e cumulativo, considerando os cenários de exposição e as substâncias químicas selecionadas pelo usuário, bem como o cálculo das concentrações máximas aceitáveis para essas substâncias. Para tanto, incluem bancos de dados com informações sobre as propriedades físico-químicas e toxicológicas de 755 substâncias.

3. METODOLOGIA

3.1 LEVANTAMENTO DE DADOS EXISTENTES

As informações dos dados geológicos, hidrogeológicos, hidroquímicos e de poços existentes na região de estudo, foram obtidas por meio de consulta realizada em publicações e trabalhos desenvolvidos por instituições de ensino e pesquisa, disponíveis em bibliotecas e na internet. A identificação de poços foi realizada através da consulta ao Sistema de Informação de Águas Subterrâneas (SIAGAS-CRPM), Prefeituras Municipais, EMATER e Empresas de Perfuração de Poços.

3.2 LEVANTAMENTOS DE CAMPO

Os levantamentos de campo foram realizados anteriormente ao início da elaboração desse trabalho, por participantes do Projeto Lagoas Costeiras UCS/UFRGS, com o objetivo de promover o inventário e cadastramento de poços e a coleta de amostras de água subterrânea.

O inventário e cadastro dos poços foram realizados por meio de visitas às propriedades rurais, onde foram obtidas informações sobre as características construtivas (tipo de captação, diâmetro, profundidade, revestimento), uso da água e dados hidrogeológicos como níveis de água e vazões.

A coleta de 13 amostras de água subterrânea foi realizada diretamente na tubulação de saída do poço ponteira. Para isso, a bomba do poço era acionada e mantida ligada por pelo menos 10 minutos, sendo que após esse tempo era feita a coleta direta da água do poço. Não foi realizada filtragem, sendo que a amostra coletada era bruta, obtida diretamente do poço. As amostras foram acondicionadas em frascos de Polietileno e Borossilicato Esterilizado, sendo que em alguns dos frascos foi adicionado HNO_3 para preservação da amostra. Todas as amostras foram acondicionadas em caixas de isopor, mantidas refrigeradas e transportadas, no mesmo dia da coleta, para os laboratórios onde foram feitas as análises. A análise de metais foi realizada no laboratório do Centro de Ecologia da UFRGS e, o restante, no laboratório Ecocerta Análises Ambientes Ltda que segue a metodologia do Standards Methods.

No laboratório, foram realizadas as análises dos seguintes parâmetros: alcalinidade, bicarbonatos, cálcio, magnésio, sódio, potássio, cloretos, sulfatos, dureza, fluoretos, nitrato, odor, cor, sólidos totais dissolvidos, ferro, manganês, alumínio, chumbo, cobre, cromo, cádmio, zinco, boro, turbidez, amônia e fósforo. Os parâmetros pH e condutividade foram medidos diretamente no campo, durante a etapa de coleta das amostras de água subterrânea. A medição foi realizada por meio do emprego de uma sonda multiparâmetros HQ40D com sonda para CE (robusta, eletrodo de grafite e cabo de 5 m) e sonda para pH (robusta, membrana de vidro e cabo de 5 m).

3.3 CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA

Foi realizada com base na interpretação de dados existentes e dados obtidos no levantamento de campo. A caracterização teve o objetivo de identificar os tipos de aquíferos que são captados na região e suas características hidrogeológicas (espessuras, parâmetros hidrodinâmicos e hidroquímicos).

3.4 CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA

Foi feita com base na interpretação dos laudos das análises físico químicas disponíveis para os poços cadastrados na região e dos laudos das análises realizadas nas amostras coletadas em campo. Os resultados das análises foram utilizados na elaboração de gráficos e diagramas (Piper, Stiff), através do emprego dos programas Excel e Qualigraf (Mobus, 2002).

3.5 ELABORAÇÃO DE MAPAS

Os mapas foram elaborados com base na utilização do software ArcGIS, através da consulta de bases de dados cartográficos existentes (IBGE e Ministério do Meio Ambiente) e da execução das tradicionais ferramentas de processamento SIG (Sistema Geográfico de Informações).

3.6 AVALIAÇÃO DO RISCO À SAÚDE HUMANA

Foi realizada à luz dos conceitos constantes do Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB (2001). A área a ser investigada foi escolhida devido à ocorrência de contaminantes metálicos na água subterrânea do aquífero livre da região, utilizada para abastecimento doméstico.

Os dados necessários foram reunidos e analisados e as substâncias de potencial preocupação identificadas.

Na fase de avaliação da toxicidade, foram reunidas informações toxicológicas das substâncias químicas analisadas nesse trabalho, consultando-se como base de dados o IRIS, um programa criado pela USEPA que avalia e fornece informações sobre os efeitos que a exposição a determinado contaminante pode causar à saúde.

Na etapa seguinte, com os dados toxicológicos em mãos, identificaram-se a população possivelmente exposta ao risco, as possíveis rotas de exposição e estimou-se o ingresso ou dose de substâncias químicas durante o período de exposição considerado.

A metodologia segue com a caracterização do risco, onde houve a quantificação do risco relativo a cada composto químico e, posteriormente, de todos eles em conjunto.

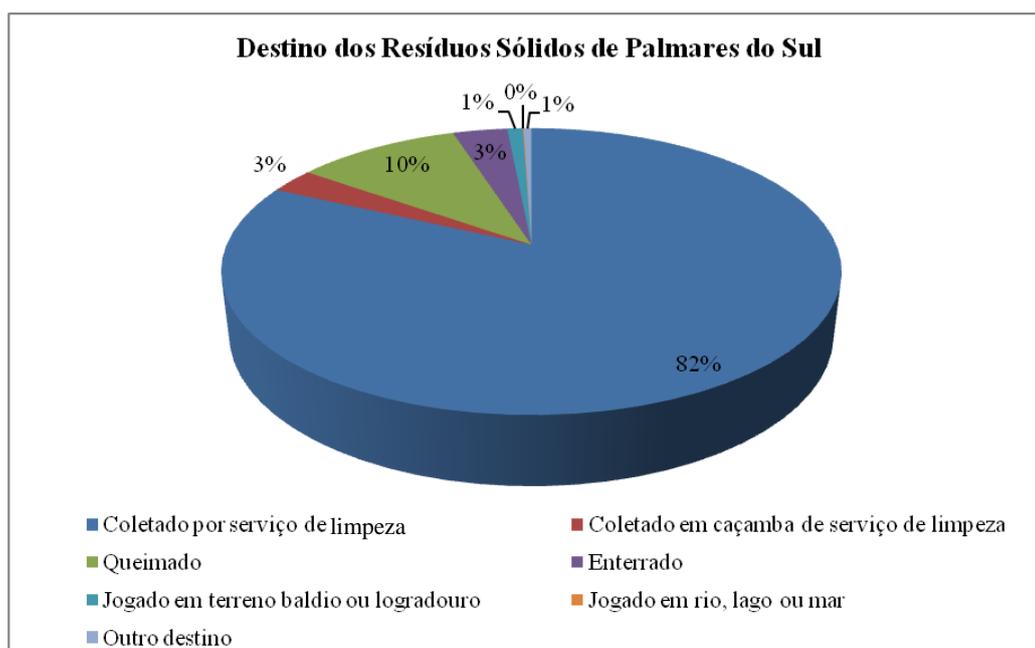
4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 ÁREA DE ESTUDO

Segundo dados recentes do IBGE (2010), o município de Palmares do Sul possui área de 946,24 km², representando 0,35% do Estado. A população total é dividida em urbana e rural e apresenta 10969 habitantes. A maior parte da população, 83,8% reside em regiões urbanas, e, em contrapartida, 16,2% da população é rural (IBGE, 2000).

Quanto aos resíduos sólidos, 82% dos mesmos são coletados por serviços de limpeza e 3% por caçambas (Fig. 12). Uma parte razoável dos resíduos do município (13%) são queimados e enterrados, podendo trazer prejuízos à qualidade do ar, do solo e da água (superficial e subterrânea).

Figura 12 - Distribuição do destino dos resíduos sólidos na cidade de Palmares do Sul, gerados por cada domicílio.

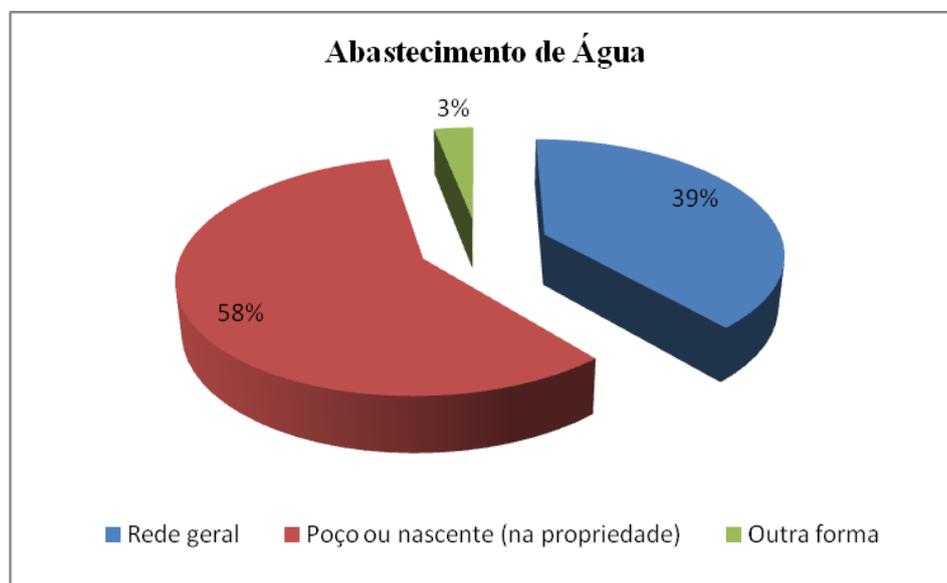


Fonte: elaborado pelo autor

Analisando-se a figura 13 e o quadro 2, é possível perceber que a maior parte da água utilizada para abastecimento dos moradores do município, 58,2%, provém principalmente de poços de água subterrânea e/ou nascentes existentes nos terrenos das propriedades. Nesse ponto, pode-se entender a extrema importância de se conhecer a origem da água, seu armazenamento, quais os meios pelos quais ela se infiltra e a qualidade construtiva do poço

do qual ela é retirada. Nota-se também que 39% dos domicílios de Palmares do Sul são abastecidos com água tratada.

Figura 13 - Distribuição do abastecimento de água, por domicílio, em Palmares do Sul.



Fonte: elaborado pelo autor.

Quadro 2 - Distribuição do abastecimento de água, por domicílio, em Palmares do Sul.

Abastecimento de água	Domicílios	% Domicílios
Rede geral	1284	38,7
Rede geral - canalizada em pelo menos um cômodo.	1276	38,5
Rede geral - canalizada só na propriedade ou terreno.	8	0,24
Poço ou nascente (na propriedade)	1931	58,2
Poço ou nascente (na propriedade) - canalizada em pelo menos um cômodo.	1784	53,8
Poço ou nascente (na propriedade) - canalizada só na propriedade ou terreno.	69	2,08
Poço ou nascente (na propriedade) - não canalizada.	78	2,35
Outra forma	103	3,10
Outra forma - canalizada em pelo menos um cômodo.	46	1,39
Outra forma - canalizada só na propriedade ou terreno.	3	0,09
Outra forma - não canalizada.	54	1,63
Total	3318	100

Fonte: IBGE, 2000, apud Palmares do Sul [2000].

O quadro 3 mostra que a maior parte do esgoto doméstico do município de Palmares do Sul não recebe tratamento convencional, por meio de Estações de Tratamento de Esgoto. A maior parte do esgoto, proveniente de 79,5% dos domicílios amostrados, é direcionada a fossas sépticas instaladas junto às residências.

Quadro 3 - Destino do esgoto, por domicílio, em Palmares do Sul.

Esgotamento	Domicílios	% Domicílios
Rede geral de esgoto ou pluvial	55	1,66
Fossa séptica	2.639	79,5
Fossa rudimentar	357	10,8
Rio, lago ou mar	57	1,72
Outro escoadouro	103	3,10
Não tinham banheiro nem sanitário	107	3,22
Total	3.318	100

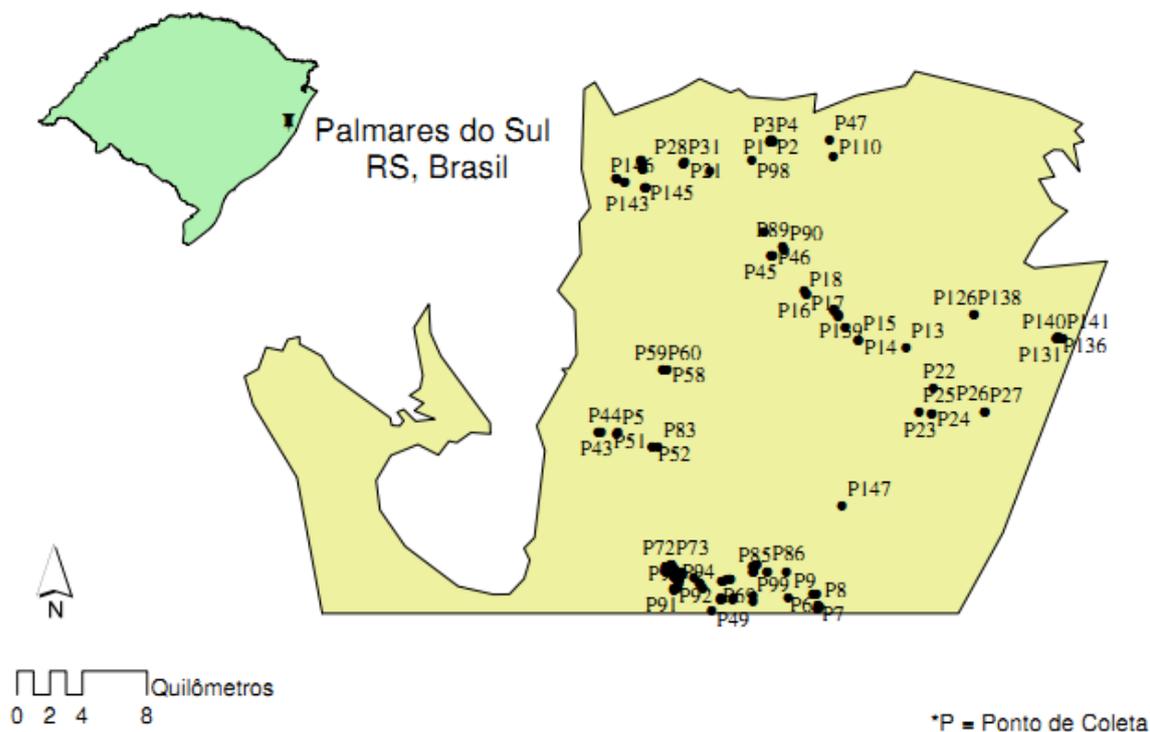
Fonte: IBGE, 2000, apud site de Palmares do Sul [2000].

4.2 HIDROGEOLOGIA

Conforme mapa geológico do estado do Rio Grande do Sul, na região de Palmares do Sul há ocorrência do Sistema Aquífero Quaternário Costeiro I. No levantamento de campo realizado no município foram identificados 147 poços, cujos dados foram utilizados na caracterização hidrogeológica da região (Fig. 14).

Figura 14 - Localização dos poços de água subterrânea com dados hidrogeológicos no município de Palmares do Sul.

Localização Geográfica dos Poços com Informações Hidrogeológicas



Fonte: elaborado pelo autor

Os aquíferos existentes no município de Palmares do Sul são compostos, predominantemente, por camadas de areia fina a média que podem estar intercaladas com camadas de areias argilosas, argilas e siltes, cuja distribuição e intercalação são ilustradas nos perfis geológicos construtivos dos poços perfurados pela CORSAN (Fig. 15a e b).

Os poços tubulares perfurados pela CORSAN captam água de aquíferos mais profundos, do tipo porosos e confinados e, que a princípio, possuem uma menor vulnerabilidade. Já a população que não é abastecida pela CORSAN obtém água provinda de poços ponteira, que são rasos e captam água de aquíferos associados a camadas arenosas e localizados próximos a superfície. Essa população está mais exposta do que aquela abastecida com a água provinda dos poços da CORSAN, pois os aquíferos rasos são, geralmente, mais vulneráveis à contaminação. Além disso, não é feito controle de qualidade das águas dos poços ponteira como, supostamente, ocorre nos poços de responsabilidade da CORSAN.

Figura 15 a e b - Exemplos de perfis construtivos e litológicos de poços localizados no município de Palmares do Sul



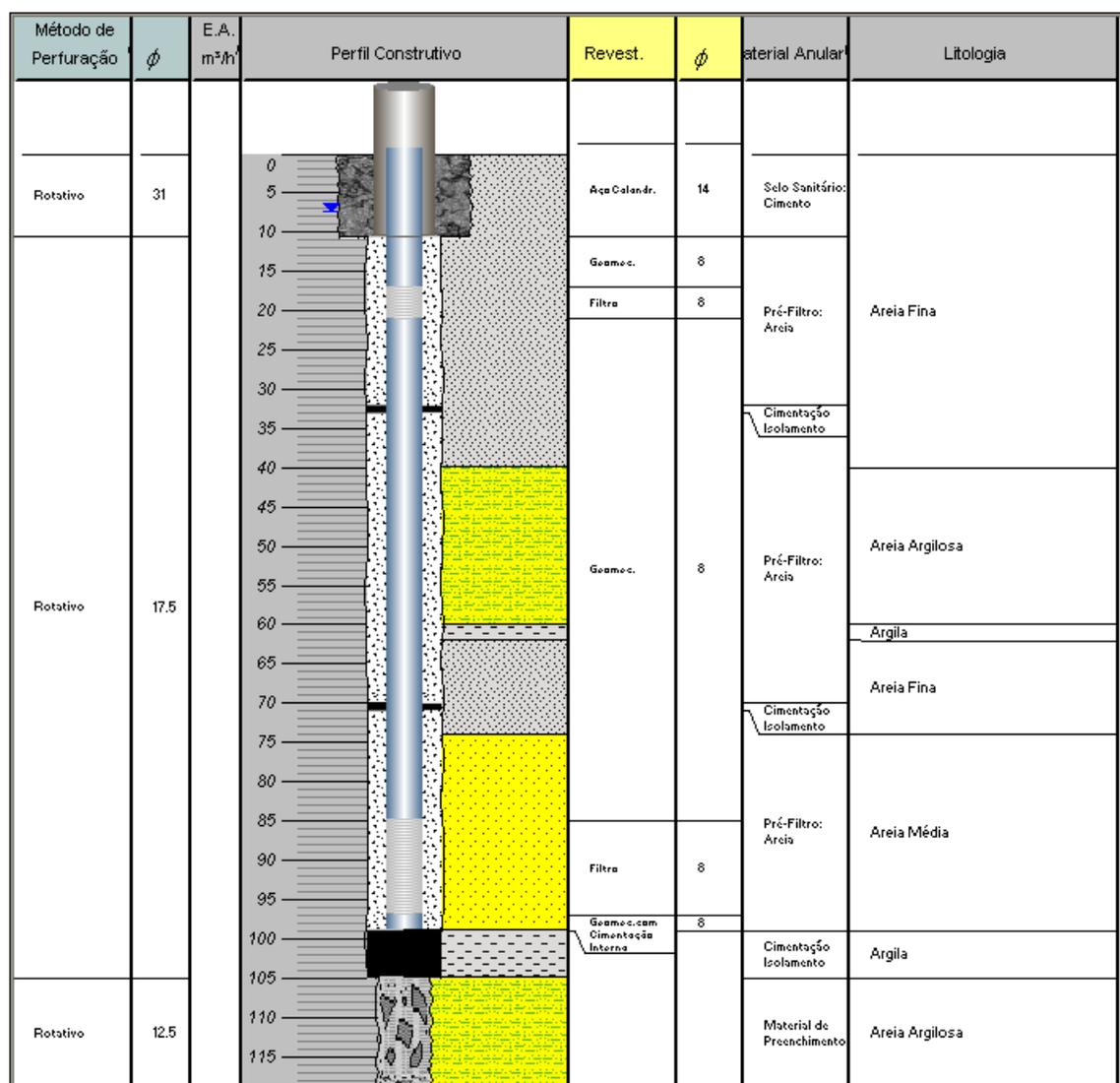
Companhia Riograndense de Saneamento

Superintendência de Recursos Hídricos e Meio Ambiente

POÇO N° **COR BPI MAG 02**

Geral **3121**

MUNICÍPIO	BALNEÁRIO PINHAL	Coordenadas UTM	Coordenadas
LOCALIDADE	MAGISTÉRIO	X 571004	-50.26
Endereço Regional	<i>Rua Passo Fundo</i>	Y 6648341	-30.30
Bacia	<i>Litoral Médio</i>	Z 4 m	SH-22-Z-A-II-3/ 22 J
Código	<i>L-20</i>	ZR 4,5 m	M.C./ Fuso: 51 / 22 J
Perfurador	CORSAN	Data (Iníc.-Fim)	CREA CORSAN n°
Proprietário	CORSAN	23/03/2004	17865
Aquífero	<i>Sist. Aquíf. Costeiro I</i>	29/03/2004	ART Obra n°
			2410083



Projeto Operacional	Vazão (m ³ /h)	Vazão (m ³ /dia)	N.E. (m)	N.D. (m)	Prof. Bomba (m)	Tempo Máx. Bomb. (h)
	70	1260	7.33	15	40	18
Profundidade Total	119 m					
Profundidade Útil	98.5 m					
Cap. Específica	9.13 m ³ /h/m					
Restrições						

Situação

Serviço

Data

Márcio André Klein
Responsável Técnico
CREA 81585

(a)



Código Poço	COR CID 01
Número Geral	2518

Município	CIDREIRA	Coordenadas UTM	Coordenadas Geográficas
Localidade	SEDE	576353 6661648	-50 12' 25.23467" -30 10' 25.47412"
Endereço	Av. Central	Z	Folha SH.22 - Z - A - II - 2 e - 4
Regional	SURLIT	Z + rev.	Carta
Bacia	Tramandaí	Fuso	
Perfurador	CORSAN	Merid.Centr	
Proprietário	CORSAN	Início	CREA CORSAN N° 17865
Aquífero	Sist. Aquíf. Costeiro I	Fim	ART Obran° 5999701

Método de Perfuração	ϕ	E.A. m ³ /h	Prof	Perfil Construtivo	Revest.	ϕ	Material Anular	Litologia	
Rotativo	22		0		Aço Calandrada	18	Selo Sanitário: Cimento	Arenito	
			5						
			10						
			15						
			20						
			25						Siltito
			30						Arenito argiloso
			35						Argilito
			40						Arenito e siltito intercalados
			45						Arenito
			50						Arenito e siltito intercalados
			55						Arenito argiloso
			60					Argilito	
			65					Arenito	
			70					Argilito	
			75					Arenito e siltito intercalados	
			80					Arenito argiloso	
			85					Arenito e siltito intercalados	
			90					Argilito	
			95					Arenito	
			100					Argilito	
			105					Arenito	
			110					Argilito	
			115						
			120						
			125						

Dados Operacionais

Vazão (m ³ /h)	Vazão (m ³ /dia)	Nível Estático (m)	Nível Dinâmico (m)	Prof. Bomba (m)	Tempo Máx. Bombeamento (h)
Profundidade Total	126 m	Situação Tamponado			
Profundidade Útil	0 m	Serviço			
Capacidade Específica	m ³ /h/m	Licença			
Restrição					

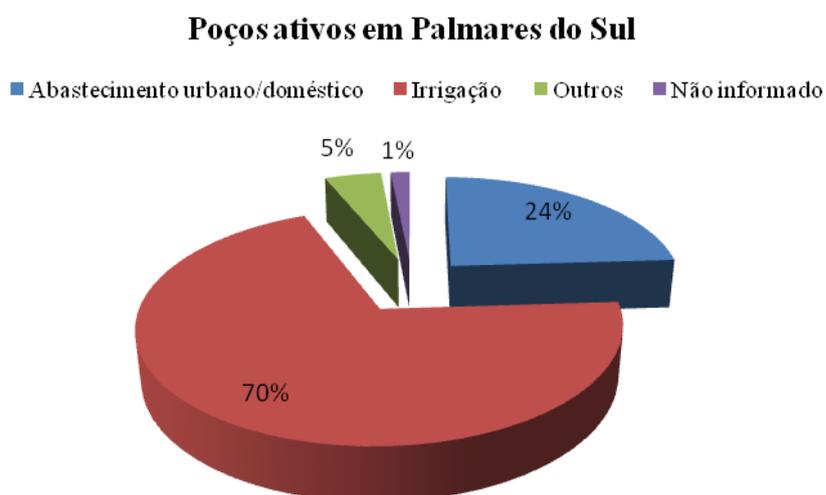
Carlos Alvin Heine
31289

(b)

Os dados hidrogeológicos coletados para elaboração desse trabalho foram reunidos na tabela apresentada no Apêndice I, totalizando 147 poços. Desse total, identificou-se que 87,8% dos mesmos estão em atividade, isso é, suas águas estão sendo bombeadas e utilizadas para diferentes fins. Os poços inativos (abandonados ou selados), ou sem informações sobre sua atividade, somam 12,2%.

Do total dos poços em atividade identificados, 24% são poços cuja água é utilizada para fins de abastecimento e 4,7% para outros fins, como abastecimento de açudes, piscinas e também lavagem de máquinas. A maior parte dos poços (69,8%) fornece água para a irrigação de áreas utilizadas na agricultura, que é desenvolvida no município (Fig. 16). O restante dos poços não possui informações sobre sua utilidade.

Figura 16 - Poços em atividade identificados no município de Palmares do Sul



Fonte: elaborado pelo autor.

A análise dos dados dos poços permitiu determinar as seguintes características do aquífero presente no município de estudo: 1) o nível estático ocorre, em média, em 2,1m com máximo em 8,1m e mínimo em zero; 2) o nível dinâmico ocorre, em média em 24,7m, com máximo em 62m e mínimo em 4m; 3) a vazão média é de 11,88m³/h, sendo 0,065 e 120 m³/h as vazões mínima e máxima, respectivamente.

As profundidades dos poços de abastecimento, analisados nesse estudo, são apresentadas a seguir (Tab. 2). Nota-se que, em geral, os poços estudados foram construídos a pequenas profundidades captando, assim, águas de aquíferos rasos.

Tabela 2 - Profundidades dos poços incluídos nesse estudo.

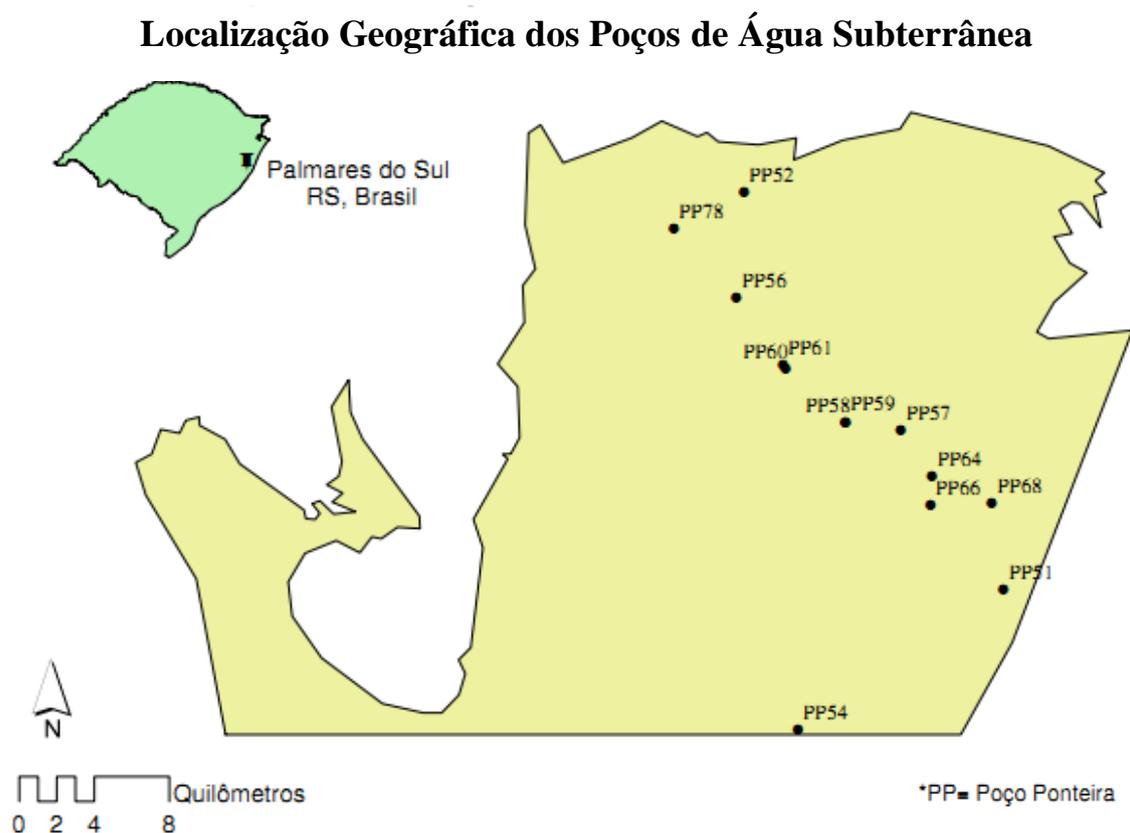
Profundidade (m)	Número de poços	Porcentagem
0 - 50	110	86
50 - 99	3	6,2
≥ 100	4	3,9
s/ dados	5	3,9
Total	129	100

Fonte: elaborado pelo autor.

4.3 HIDROQUÍMICA

Foram coletadas e analisadas amostras de água subterrânea de 13 poços, localizados no município de Palmares do Sul (Fig. 17), sendo que os resultados obtidos foram utilizados na caracterização hidroquímica.

Figura 17 - Localização dos poços onde foram coletadas amostras de água subterrânea para análise de metais.

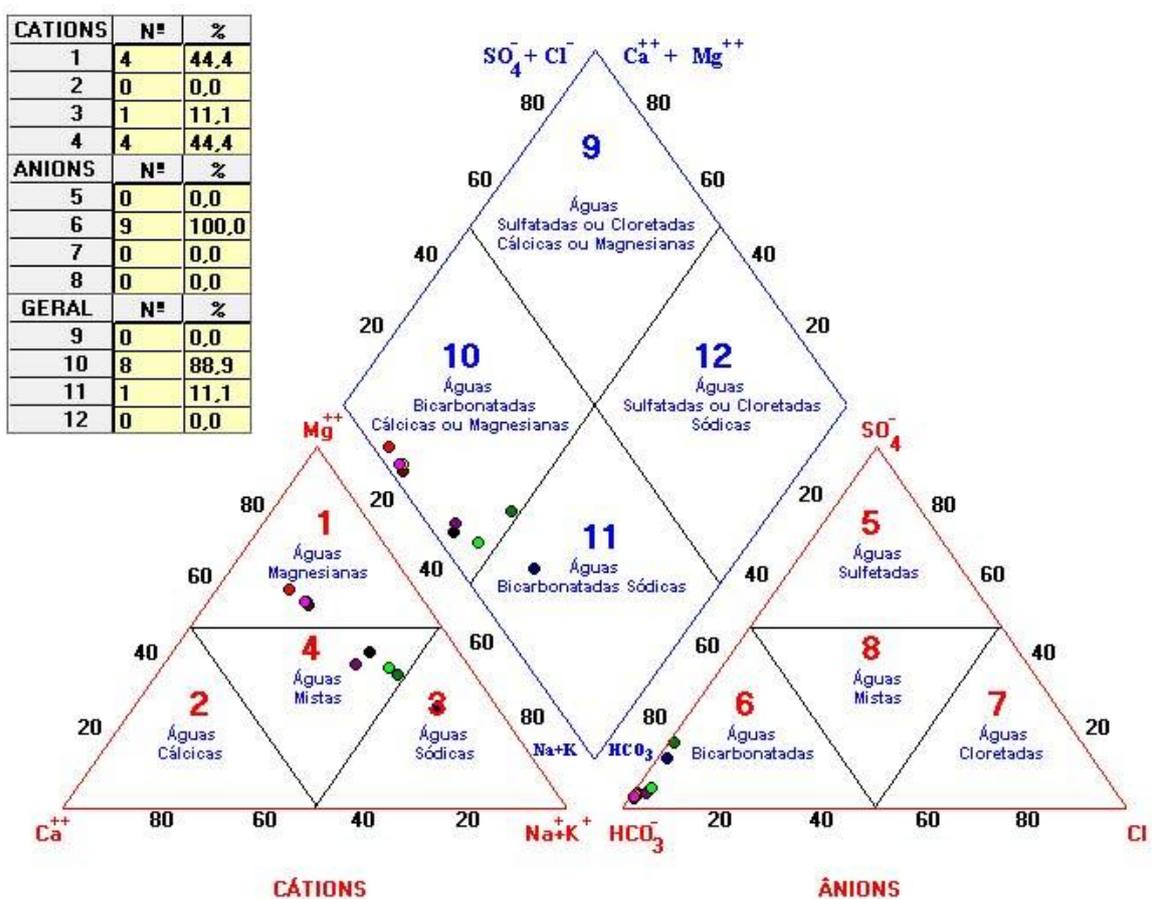


Fonte: elaborado pelo autor

Com a utilização do software QualiGraf foram gerados os diagramas de Piper, Stiff e o gráfico dos Sólidos Totais Dissolvidos.

Na análise do Diagrama de Piper (Fig.18) observa-se a ocorrência de dois tipos diferentes de águas subterrâneas que são as: bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas (88,9%) e as bicarbonatadas sódicas (11,1%). As águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas são do tipo magnesianas (44,45%) ou mistas (44,45%).

Figura 18 - Diagrama de Piper de amostras

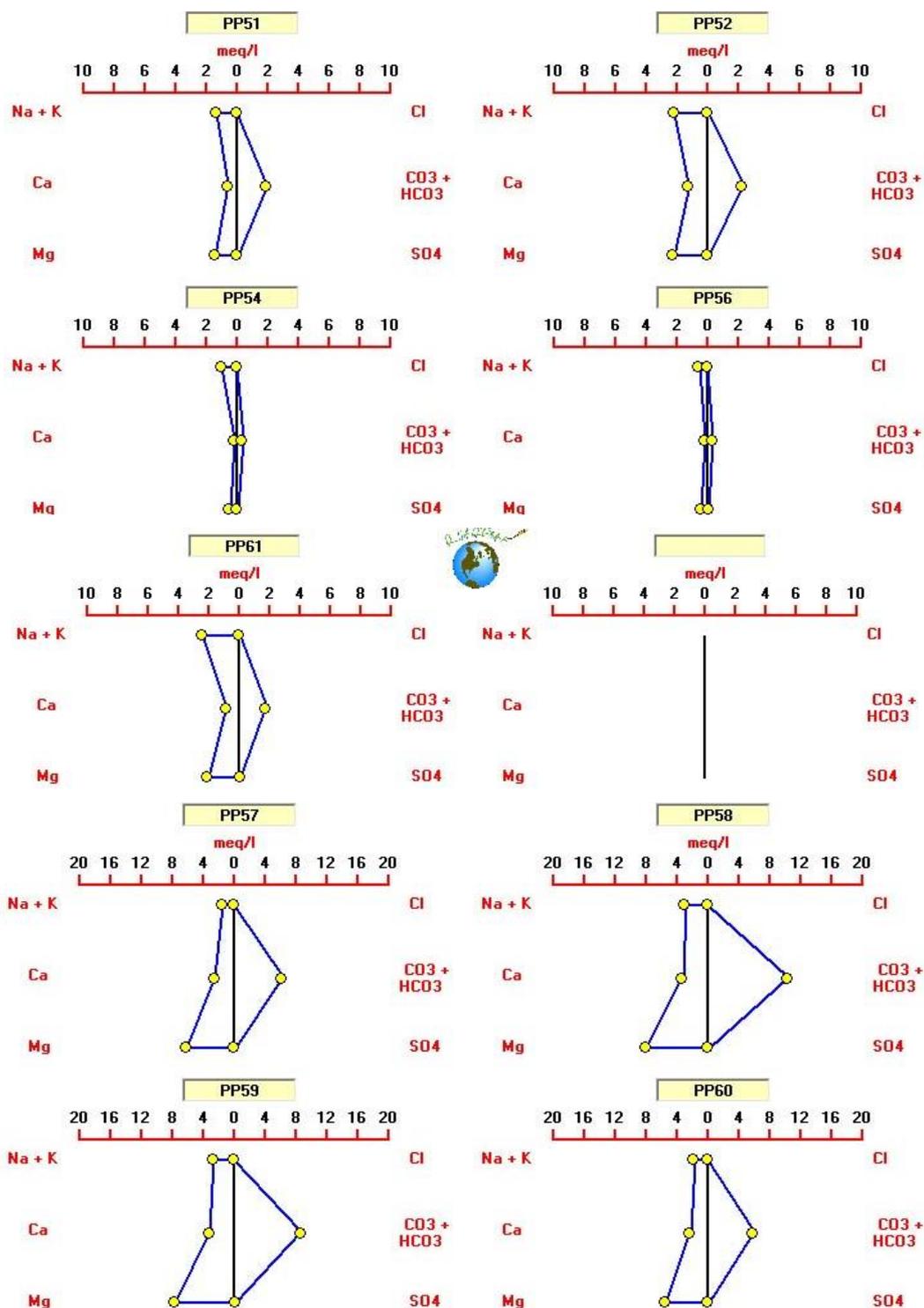


Fonte: elaborado pelo autor

Na análise do Diagrama de Stiff (Fig. 19) observa-se a ocorrência de diferentes grupos de águas, sendo que as amostras dos poços PP54 e PP56 indicam a ocorrência de uma baixa mineralização, evidenciando uma rápida circulação da água subterrânea. As amostras PP51, PP52, PP61, PP57, PP58, PP59 e PP60 já apresentam um maior grau de mineralização, indicando uma circulação mais lenta. Deve-se destacar que as amostras

PP57, 58, 59 e 60 apresentam uma maior concentração de magnésio (águas bicarbonatadas magnesianas).

Figura 19 - Diagramas de Stiff

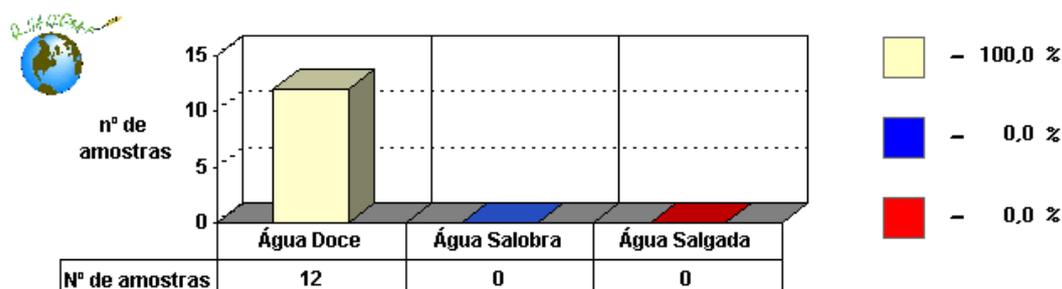


Fonte: elaborado pelo autor

A ocorrência de águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas e bicarbonatadas sódicas é comum na região, pois o Sistema Aquífero Quaternário Costeiro é formado por diferentes camadas de sedimentos. Dessa forma, como os poços analisados possuem profundidades variadas e captam água de diferentes camadas de sedimentos há possibilidade de encontrarmos esses dois grupos de águas.

Na região de estudo, as águas subterrâneas apresentam pH médio de 7,9, variando de 6,9 a 8,6, e condutividade elétrica variando entre 70,9 e 654 $\mu\text{S}/\text{cm}$. A análise do gráfico de Sólidos Totais Dissolvidos estimados para a região de estudo (Fig. 20) indica que as águas subterrâneas de Palmares do Sul são doces, isso é, possuem concentrações de até 500mg/L de STD, segundo a Resolução CONAMA 357/2005 (CONAMA, 2005). Dessa forma, essas águas são próprias para consumo humano quanto ao teor de salinidade. Os dados de entrada utilizados para construção desse gráfico excluem a 13^a amostra (PP78), devido ao fato de que a mesma não possui o a concentração de condutividade elétrica, necessária para estimativa dos sólidos totais.

Figura 20 - Sólidos Totais Dissolvidos estimados para as amostras de água de poço do município de Palmares do Sul



Fonte: elaborado pelo autor

Os resultados de teores dos parâmetros físico-químicos foram comparados com a resolução que enquadra as águas subterrâneas no Brasil conforme sua qualidade, a CONAMA 396/98. Os resultados são apresentados na tabela 3 e nota-se que os valores de concentrações destacados em negrito, são aqueles que ultrapassaram os níveis permitidos por essa resolução.

Por meio da análise da tabela 3 (Tab. 3), identifica-se que a água de 53,8 e 92,3% dos poços analisados apresenta teores de ferro e manganês, respectivamente, acima do Valor

Máximo Permitido (VMP), pela resolução CONAMA 396/08. Quanto ao boro, apenas um poço dos três amostrados apresentou valor acima do VMP. Além disso, observa-se que em vários poços há ocorrência de concentrações variadas de chumbo, cobre e zinco. A ocorrência desses elementos indica uma possível contaminação do solo, que pode estar associada ao uso de fertilizantes na agricultura da região.

Dessa forma, a avaliação dos resultados das análises químicas demonstra que o sistema de abastecimento de alguns moradores apresenta problemas com a qualidade da água subterrânea.

A veracidade dessa análise poderia ser encontrada por meio da comparação dos teores encontrados com teores de background (ou mais próximo dos naturais) da água subterrânea da região, que pode variar com a composição geológica, por exemplo. Nesse estudo não foram feitas amostragens de poços brancos, isso é, sem influência de qualquer atividade antropogênica. Além disso, ainda não foram realizados estudos para o estabelecimento de valores de referência para as águas subterrâneas do Rio Grande do Sul.

Os demais metais analisados apresentam concentrações aceitáveis, conforme a resolução citada. No entanto, se compararmos os teores de zinco com a CONAMA 420/09, que classifica o zinco de forma mais conservativa em relação à CONAMA 396/08, encontraremos 53,8% dos teores acima do Valor de Investigação (concentração no solo ou na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerando um cenário de exposição padronizado).

Tabela 3 - Concentrações dos metais analisados em poços de água subterrânea do município de Palmares do Sul.

Poço	Coordenada N	Coordenada E	Alumínio (mg/L)	Boro (mg/L)	Cádmio (mg/L)	Chumbo (µg/L)	Cobre (mg/L)	Cromo Total (mg/L)	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)	Zinco (mg/L)
PP51 PAL	6654839	554081	ND	-	ND	0,381	0,001	ND	0,307	0,464	0,529
PP52 PAL	6654833	554064	ND	-	ND	0,360	0,282	ND	0,323	0,464	0,679
PP54 PAL	6625856	556406	ND	-	ND	0,431	0,079	ND	ND	0,724	1,115
PP56 PAL	6649184	553689	ND	-	ND	0,632	0,088	ND	0,828	1,244	1,047
PP57 PAL	6641974	561229	0,049	-	ND	0,371	0,021	ND	0,639	1,504	1,484
PP58 PAL	6642429	558709	ND	-	ND	0,674	0,069	ND	ND	2,804	3,120
PP59 PAL	6642462	558679	0,023	-	ND	0,840	0,040	ND	0,955	0,204	0,324
PP60 PAL	6645347	555954	ND	-	ND	0,762	0,088	ND	0,260	0,204	1,224
PP61 PAL	6645530	555818	ND	-	ND	0,635	0,001	ND	ND	0,464	0,324
PP64 PAL	6639450	562655	0,077	0,357	ND	1,561	0,214	ND	0,575	0,669	0,733
PP66 PAL	6637899	562578	0,046	ND	ND	1,595	0,175	ND	0,007	0,020	1,606
PP68 PAL	6638030	565426	0,047	0,649	ND	1,355	0,233	ND	ND	1,968	1,620
PP78 PAL	6652946	550820	0,040	-	ND	0,720	0,040	ND	0,512	0,464	2,657
Limite de Detecção (LD)			0,006	-	0,001	1	0,003	0,1	0,01	0,210	0,02
CONAMA 396/08			0,2	0,5	0,005	10	2	0,05	0,3	0,1	5
CONAMA 420/09			3,5	0,5	0,005	10	2	0,05	2,45	0,4	1,05

Fonte: elaborado pelo autor

4.4 AVALIAÇÃO DO RISCO À SAÚDE DE USUÁRIOS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NA REGIÃO DE PALMARES DO SUL

4.4.1 COLETA E ANÁLISE DOS DADOS

Os dados utilizados para o cálculo da avaliação de risco à saúde humana, neste trabalho, são constituídos das concentrações dos contaminantes encontrados nas análises da água subterrânea, provinda de poços de abastecimento.

Destaca-se que, nesse trabalho, não houve a necessidade de se realizar modelagem dos parâmetros utilizados, uma vez que a exposição dos indivíduos considerados envolve o contato direto com o meio monitorado isso é, com a água provinda do aquífero. Em outras palavras, considerou-se que a água utilizada pela população não passou por nenhum processo por meio do qual poderia haver acréscimo ou atenuação dos teores dos parâmetros ali presentes.

Sabe-se que no estudo de avaliação do risco é indicado o uso das concentrações limiares (ou de background) dos parâmetros analisados, na área de estudo, para comparação com os valores encontrados nas amostragens. Sem esses valores, torna-se difícil afirmar se as concentrações existentes nos meios analisados, principalmente aquelas acima dos valores regulamentados pela CONAMA 396/08 ou outras legislações, ocorrem naturalmente no ambiente ou se as mesmas são provenientes de fontes de contaminação antropogênica.

No entanto, esse estudo não apresenta teores de background, mas salienta-se que independente da origem dos contaminantes na fonte de exposição (água subterrânea), se natural ou antropogênica, o risco à saúde humana pode existir.

4.4.2 AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE

Foram utilizadas como fontes de dados toxicológicos não carcinogênicos e carcinogênicos dos metais avaliados nesse estudo, os bancos de dados toxicológicos da IRIS e da ATSDR. Nesses bancos de dados estão disponíveis as doses de referência (RfD) das substâncias químicas consideradas no estudo, que são apresentadas abaixo (Tab. 4). Dentre esses metais, apenas o Cd é carcinogênico, isso é, tem evidências da probabilidade da ocorrência de câncer em humanos.

Tabela 4 – Doses de Referência dos metais considerados na avaliação do risco à saúde humana dos moradores de Palmares do Sul

Metal	RfD (mg/kg.dia)
Pb	0,0036
Mn	0,14
Fe	0,7
Al	1
Cu	0,04
Cr ⁶⁺	0,003
Cd	0,0005
Zn	0,3
B	0,2

Fonte: CETESB 2013.

Os efeitos adversos das principais substâncias químicas são apresentados abaixo, conforme IRIS [2004]:

a) Cádmio

Segundo a IARC, o cádmio está classificado no Grupo 1, isso é, possui evidências suficientes da ocorrência de câncer em humanos. Em ratos, também há evidências de carcinogenicidade por inalação e injeção intramuscular e subcutânea. No entanto, como as amostras resultaram em valores ND para cádmio (não detectáveis pelo aparelho utilizado, cujo LD é 0,001 mg/L), não havendo significativo ingresso do contaminante pelo ser humano. Isso é, os dados sugerem a ocorrência de um baixo potencial de risco à saúde devido à exposição ao cádmio.

b) Cromo

É encontrado no ambiente, basicamente, em dois estados de valência: tri (Cr^{3+}) e hexavalente (Cr^{6+}) (EPA, 1998). Ao contrário do cromo trivalente, que é encontrado na natureza e é elemento essencial em humanos, estudos realizados pela EPA em seres humanos estabeleceram o Cr^{6+} como carcinogênico, aumentando o risco de câncer de pulmão. Por esse motivo, os dados toxicológicos existentes, como a dose de referência, existem apenas para o pior cenário, no qual o consumo será apenas de Cr^{6+} . Baseado nessas informações, as concentrações de cromo total, apresentadas nesse trabalho, serão consideradas como Cr^{6+} . Isso significa a suposição de um cenário de exposição que considera todo cromo presente na água subterrânea como hexavalente. Nesse caso, a dose

de ingresso a ser quantificada refletirá um cenário de máxima exposição humana possível, isso é, uma situação conservadora.

No entanto, como as amostras resultaram em valores ND para cromo total (não detectáveis pelo aparelho utilizado, cujo LD é 0,1 mg/L), não haverá significativo ingresso do contaminante pelo ser humano. Isso é, os dados sugerem a ocorrência de um baixo potencial de risco à saúde devido à exposição ao cromo.

c) Chumbo

Não é considerado carcinogênico, porém possui efeitos associados a sua exposição, de neurotoxicidade, desenvolvimentos de retardos mentais, hipertensão, entre outros. É importante ressaltar que muitos dos efeitos na saúde do chumbo podem ocorrer sem sinais evidentes de toxicidade. Possui efeitos significantes que ocorrem em crianças de até 6 anos de idade, por estarem expostas com maior frequência ao brincar e levar a mão à boca.

d) Ferro

Essencial na nutrição do ser humano ao atuar na formação da hemoglobina. Sua carência pode causar anemia e seu excesso, o aumento da incidência de problemas cardíacos e diabetes.

É estimado que a necessidade mínima diária de ferro é dependente da idade, sexo, sua biodisponibilidade e variação entre 10 e 50 mg/dia. A dose média considerada letal fica por volta dos 200–250 mg/kg de peso corporal, porém, casos de morte ocorreram após a ingestão de doses tão baixas quanto 40 mg/kg de peso corporal.

e) Manganês

Muitos estudos relataram resultados similares quanto à ingestão padrão de manganês pelos seres humanos, sendo que esses dados são superiores aos dados obtidos em estudos de toxicidade animal.

São muitos os estudos utilizados para gerar a RfD do manganês. Enquanto diversos estudos determinaram os teores médios de manganês ingeridos em dietas, não foi disponibilizada nenhuma informação quantitativa para indicar níveis tóxicos nas dietas de humanos.

f) Boro

Os dados existentes são inadequados e insuficientes para avaliar o potencial carcinogênico do boro tanto em humanos, quanto em animais.

A RfD do boro foi previamente desenvolvida por meio de estudos de toxicidade crônica em cachorros, porém recentemente foram disponibilizados dados obtidos em estudos de três espécies (ratos, camundongos e coelhos).

Após consideração dos dados até aqui apresentados, a rota de exposição apresentada nesse estudo é considerada completa, pois o ponto de exposição, onde existe o contato entre o receptor e o composto químico, é o mesmo da localização da fonte – poço de água subterrânea-, onde as amostras foram coletadas. Isso é, existe um meio físico potencialmente contaminado pelo qual o contaminante pode ser transportado e existe também a via de ingresso (no caso oral), por meio da qual o receptor está exposto ao risco.

4.4.3 AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO

Nessa etapa foram calculadas as doses de ingresso dos metais de interesse, para o evento de exposição humana à água subterrânea de poços.

Está sob risco de contaminação por metais a parcela da população do município de Palmares do Sul que, de alguma forma, consome água subterrânea provinda de poços ponteira.

Exemplos de vias de exposição (ingestão, contato dérmico, inalação), por meio das quais os moradores de Palmares do Sul poderiam entrar em contato com determinada substância química, nas atividades diárias desenvolvidas por ele são apresentadas na tabela abaixo (Tab. 5).

Tabela 5 - Atividades desenvolvidas, por meios das quais o ser humano está potencialmente exposto ao risco de contaminação.

Via de exposição	Atividade desenvolvida
Dermal	Tomar banho
	Lavar alimentos, louça, etc.
Oral	Tomar água
	Ingerir alimentos
Por inalação	Inalar gases provindos da água utilizada

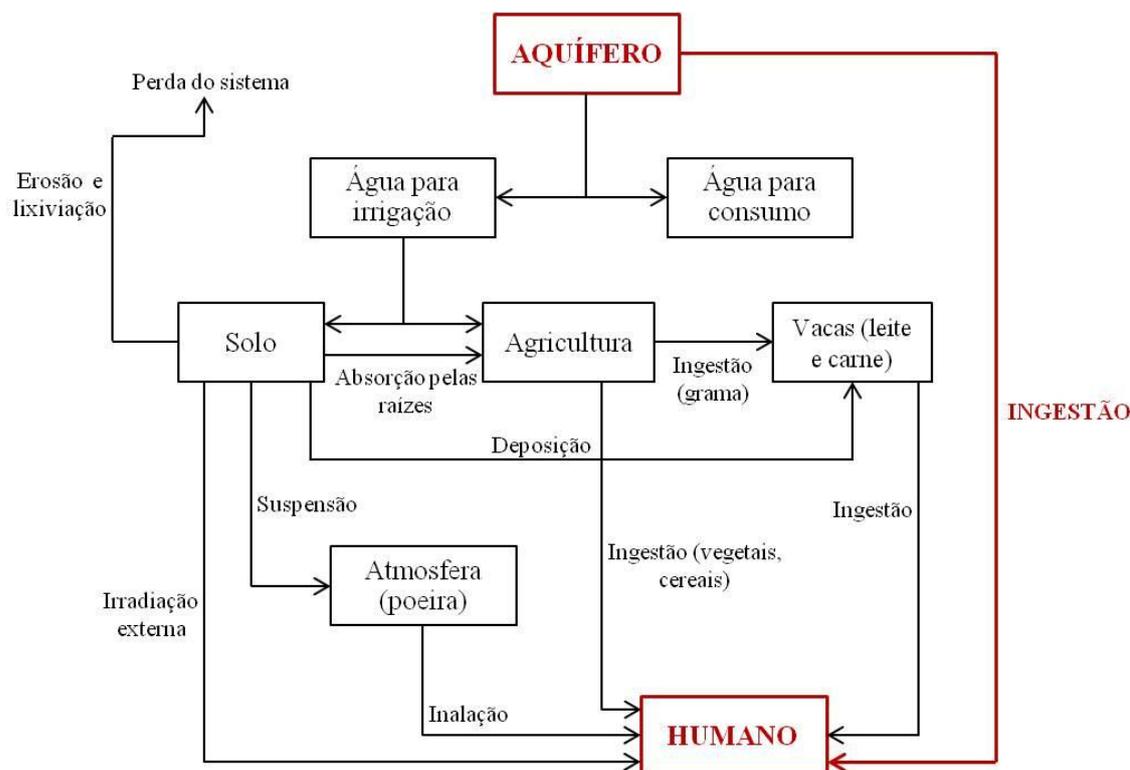
Fonte: elaborado pelo autor.

No entanto, nesse estudo, foram considerados apenas os riscos provenientes da ingestão da água subterrânea de poços, tanto por causa da disponibilidade de dados quanto pela representatividade do consumo de água subterrânea, em relação às outras atividades.

Abaixo (Fig. 21), é apresentado um esquema dos possíveis caminhos de exposição do composto químico desde a fonte até o contato com o receptor. Além da rota de exposição direta identificam-se outros exemplos de possíveis rotas de contaminação.

Analisando os diversos caminhos de exposição, é coerente afirmar que a exposição ao risco será provavelmente maior para os casos de exposição direto na fonte pois, nesses casos, não ocorre o decaimento das substâncias presentes no meio contaminado.

Figura 21 - Esquema das fontes de exposição ao risco, a partir da fonte primária



Fonte: alterado de GOLDSIM [2013].

A Equação (Eq. 1) e os parâmetros de exposição utilizados no cálculo da ingestão de água contaminada (Quadro 1), tanto para adultos quanto para crianças, foram apresentados na metodologia e são apresentados novamente abaixo.

$$I = C \times \frac{IR \times EF \times ED}{BW} \times \frac{1}{AT} \quad \text{Equação 1}$$

Quadro 1 – Parâmetros de exposição sugeridos para ingestão de água contaminada.

Parâmetro	Residencial		Fonte
	Adulto	Criança	
IR (L/dia)	2	1	CETESB, 2009
EF (dia/ano)	350	350	CETESB, 2009
ED (ano)	30	6	CETESB, 2001
BW (kg)	70	15	COUTO, 2006
ATn (dias)	10950	2190	IBGE, 2008
ATc (dias)	26280	26280	CETESB, 2009

Fonte: apud CETESB, 2013.

Abaixo, os resultados do cálculo das doses de ingresso para cenários compostos por receptores crianças (Tab. 6) e adultos (Tab. 7).

Dentre os parâmetros ATn e ATc (período de exposição médio de vida durante a exposição para substâncias não carcinogênicas e carcinogênicas, respectivamente) foi utilizado o ATn, devido à provável inexistência de carcinogenicidade das substâncias químicas consideradas no cálculo do risco.

Tabela 6 - Dose de ingresso de metais por meio do consumo de águas subterrâneas no município de Palmares do Sul, para adultos.

Poço	Ingresso (mg/kg.dia)								
	Al	B	Cd	Pb	Cu	Cr	Fe	Mn	Zn
PP51 PAL	-	-	-	1,044E-05	0,0000	-	0,0084	0,0127	0,0145
PP52 PAL	-	-	-	9,863E-06	0,0077	-	0,0088	0,0127	0,0186
PP54 PAL	-	-	-	1,181E-05	0,0022	-	-	0,0198	0,0305
PP56 PAL	-	-	-	1,732E-05	0,0024	-	0,0227	0,0341	0,0287
PP57 PAL	0,0013	-	-	1,016E-05	0,0006	-	0,0175	0,0412	0,0407
PP58 PAL	-	-	-	1,847E-05	0,0019	-	-	0,0768	0,0855
PP59 PAL	0,0006	-	-	2,301E-05	0,0011	-	0,0262	0,0056	0,0089
PP60 PAL	-	-	-	2,088E-05	0,0024	-	0,0071	0,0056	0,0335
PP61 PAL	-	-	-	1,740E-05	0,0000	-	-	0,0127	0,0089
PP64 PAL	0,0021	0,00978	-	4,277E-05	0,0059	-	0,0158	0,0183	0,0201
PP66 PAL	0,0013	-	-	4,370E-05	0,0048	-	0,0002	0,0005	0,0440
PP68 PAL	0,0013	0,01778	-	3,712E-05	0,0064	-	-	0,0539	0,0444
PP78 PAL	0,0011	-	-	1,973E-05	0,0011	-	0,0140	0,0127	0,0728

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 7 - Dose de ingresso de metais por meio do consumo de águas subterrâneas no município de Palmares do Sul, para crianças.

Poço	Ingresso (mg/kg.dia)								
	Al	B	Cd	Pb	Cu	Cr	Fe	Mn	Zn
PP51 PAL	-	-	-	2,436E-05	0,000	-	0,0196	0,030	0,001
PP52 PAL	-	-	-	2,301E-05	0,018	-	0,0206	0,030	0,001
PP54 PAL	-	-	-	2,755E-05	0,005	-	-	0,046	0,002
PP56 PAL	-	-	-	4,040E-05	0,006	-	0,0529	0,080	0,002
PP57 PAL	0,003	-	-	2,372E-05	0,001	-	0,0408	0,096	0,003
PP58 PAL	-	-	-	4,309E-05	0,004	-	-	0,179	0,005
PP59 PAL	0,001	-	-	5,370E-05	0,003	-	0,0611	0,013	0,001
PP60 PAL	-	-	-	4,871E-05	0,006	-	0,0166	0,013	0,002
PP61 PAL	-	-	-	4,059E-05	0,000	-	-	0,030	0,001
PP64 PAL	0,005	0,023	-	9,979E-05	0,014	-	0,0368	0,043	0,001
PP66 PAL	0,003	-	-	1,020E-04	0,011	-	0,0004	0,001	0,003
PP68 PAL	0,003	0,041	-	8,662E-05	0,015	-	-	0,126	0,003
PP78 PAL	0,003	-	-	4,603E-05	0,003	-	0,0327	0,030	0,005

4.4.4 CARACTERIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DOS RISCOS

O cálculo completo do ingresso, isso é, aquele que melhor reflete a realidade, considera todos os caminhos possíveis de exposição para determinada área de estudo. No estudo aqui apresentado considerou-se no cálculo de ingresso apenas o consumo de água subterrânea, excluindo-se a ingestão acidental e/ou contato dérmico, assim como a volatilização, de águas superficiais provindas da recreação ou outras atividades.

Nas tabelas abaixo são apresentados, para receptores adultos (Tab. 8) e crianças (Tab. 9), o potencial de efeito não carcinogênico adverso à saúde humana a partir da exposição a cada substância química não carcinogênica (quociente de risco - HQ) e também a exposição simultânea de todas as substâncias consideradas no estudo (Índice de Perigo – HI), por cada ponto de exposição (poços de água subterrânea).

Relembrando que o HQ é calculado pela divisão do ingresso por ingestão de água contaminada (mg/kg.dia), em cada cenário de exposição, pela dose de referência (mg/kg.dia) para cada via de ingresso considerada. As doses de referências utilizadas são aquelas já citadas no item 4.2.2 do presente estudo.

Posteriormente, foi calculado o índice de perigo não carcinogênico para cada caminho de exposição (HI), que é o somatório dos quocientes de risco, encontrados para cada via de ingresso. Lembrando que todas as amostras às quais foram atribuídas doses de ingestão,

não são carcinogênicas e, portanto, não foi considerado o cálculo do risco carcinogênico para exposição total.

Tabela 8 - Quantificação do risco equivalente a cada substância química, ao qual receptores adultos estão expostos.

Poço	Quociente de Risco (HQ)									HI por poço
	Al	B	Cd	Pb	Cu	Cr	Fe	Mn	Zn	
PP51 PAL	-	-	-	2,90E-03	0,001	-	0,012	0,091	0,048	0,15
PP52 PAL	-	-	-	2,74E-03	0,193	-	0,013	0,091	0,062	0,36
PP54 PAL	-	-	-	3,28E-03	0,054	-	-	0,142	0,102	0,30
PP56 PAL	-	-	-	4,81E-03	0,060	-	0,032	0,243	0,096	0,44
PP57 PAL	0,001	-	-	2,82E-03	0,014	-	0,025	0,294	0,136	0,47
PP58 PAL	-	-	-	5,13E-03	0,047	-	-	0,549	0,285	0,89
PP59 PAL	0,001	-	-	6,39E-03	0,027	-	0,037	0,040	0,030	0,14
PP60 PAL	-	-	-	5,80E-03	0,060	-	0,010	0,040	0,112	0,23
PP61 PAL	-	-	-	4,83E-03	0,001	-	-	0,091	0,030	0,13
PP64 PAL	0,002	0,049	-	1,19E-02	0,147	-	0,023	0,131	0,067	0,43
PP66 PAL	0,001	-	-	1,21E-02	0,120	-	0,000	0,004	0,147	0,28
PP68 PAL	0,001	0,089	-	1,03E-02	0,160	-	-	0,385	0,148	0,79
PP78 PAL	0,001	-	-	5,48E-03	0,027	-	0,020	0,091	0,243	0,39

Fonte: elaborado pelo autor.

A análise dos dados mostra os valores de HI, para receptores adultos, estão entre 0,13 e 0,89, não excedendo o valor unitário. Dessa forma, no que se refere ao rastreamento do risco de danos crônicos não carcinogênicos à saúde humana por ingestão de água subterrânea, os resultados indicaram uma potencial ausência de efeitos adversos, pois todos os quocientes e índices de risco obtidos foram inferiores ao limite tolerável ($QR < 1$).

Quando o risco é calculado com parâmetros mais conservativos, isso é, considerando que a população exposta seja composta de crianças, o seu resultado é superior, como apresentado na tabela 9.

Tabela 9 - Quantificação do risco equivalente a cada substância química, ao qual receptores crianças estão expostos.

Poço	Quociente de Risco (HQ)									HI por poço
	Al	B	Cd	Pb	Cu	Cr	Fe	Mn	Zn	
PP51 PAL	-	-	-	6,77E-03	0,002	-	0,028	0,212	0,003	0,2514
PP52 PAL	-	-	-	6,39E-03	0,451	-	0,029	0,212	0,004	0,7024
PP54 PAL	-	-	-	7,65E-03	0,126	-	-	0,331	0,007	0,4710
PP56 PAL	-	-	-	1,12E-02	0,141	-	0,076	0,568	0,006	0,8016
PP57 PAL	0,003	-	-	6,59E-03	0,034	-	0,058	0,687	0,009	0,7971
PP58 PAL	-	-	-	1,20E-02	0,110	-	-	1,280	0,018	1,4208
PP59 PAL	0,001	-	-	1,49E-02	0,064	-	0,087	0,093	0,002	0,2626
PP60 PAL	-	-	-	1,35E-02	0,141	-	0,024	0,093	0,007	0,2782
PP61 PAL	-	-	-	1,13E-02	0,002	-	-	0,212	0,002	0,2266
PP64 PAL	0,005	0,114	-	2,77E-02	0,342	-	0,053	0,305	0,004	0,8510
PP66 PAL	0,003	-	-	2,83E-02	0,280	-	0,001	0,009	0,009	0,3301
PP68 PAL	0,003	0,207	-	2,41E-02	0,372	-	-	0,899	0,009	1,5150
PP78 PAL	0,003	-	-	1,28E-02	0,064	-	0,047	0,212	0,016	0,3534

Como podem ser observados na tabela 9, os valores de HI de dois poços, apresentados em negrito, estão acima do valor unitário.

Sendo assim, os resultados indicaram uma potencial existência de efeitos adversos não carcinogênicos à saúde das crianças consumidoras da água subterrânea provinda dos poços PP58PAL e PP68PAL, pois os quocientes e índices de risco dos mesmos são superiores ao limite tolerável (QR>1).

Os cálculos acima apresentados (Ingresso e Quocientes de Risco) também foram calculados por meio da utilização das planilhas da CETESB (2013). Os valores encontrados foram, em sua integralidade, iguais aos aqui apresentados.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A avaliação de risco à saúde humana vem sendo utilizada no desenvolvimento de políticas ambientais e de saúde, em tomadas de decisão públicas, no estabelecimento de regulações ambientais e também na fase de planejamento de estudos. Por meio do seu uso, procura-se identificar e quantificar a probabilidade da ocorrência de efeitos à saúde humana, decorrentes da contaminação do meio considerado.

Grande parte da população do município de Palmares do Sul (58,2%) é abastecida com água subterrânea provenientes de poços ponteiras, perfurados nos terrenos das propriedades. Dessa forma, entende-se a importância de se conhecer a hidrogeologia, substâncias químicas e suas concentrações na água provinda de poços.

Os aquíferos da região em estudo são compostos, predominantemente, de areias fina a média, conferindo aos mesmos, características porosas e alta condutividade hidráulica. A maior parte dos poços (86%) foi instalada a profundidades rasas, entre 0 e 50m, e suas águas apresentam pH médio de 7,9, variando de 6,9 a 8,6, e condutividade elétrica variando entre 70,9 e 654 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Além disso, são classificadas como doces, em relação às concentrações de STD, isto é, próprias para consumo humano quanto ao teor de salinidade.

Quanto à qualidade físico-química, identificou-se que 53,8 e 92,3% dos treze poços analisados apresentam teores de ferro e manganês na água, respectivamente, acima do VMP, pela resolução CONAMA 396/08. O boro apresentou valor acima do VMP em um poço dos três analisados para essa substância.

Os resultados desse trabalho não demonstraram a existência de risco potencial não carcinogênico à saúde de moradores adultos, consumidores de água subterrânea provinda de poços ponteira, para o cenário apresentado. No entanto, quando se altera a população exposta de adultos para crianças, o cenário torna-se mais conservativo e os riscos potenciais se elevam. Dos treze poços considerados nos cálculos, dois apresentaram valores acima da unidade, isso é, risco potencial à saúde desse grupo. O aumento do risco pode ser atribuído, principalmente, ao manganês, que se destacou como parâmetro de interesse na área, devido a sua ocorrência em elevadas concentrações.

A existência do risco à saúde pode ser atribuída a alguns fatores como, por exemplo: a) captação da água de aquíferos rasos (que são mais suscetíveis à poluição), por meio de poços ponteira; b) possível ausência dos dispositivos de segurança na construção dos

poços, como presença da calçada de proteção, coberturas adequadas e profundidade do revestimento interno; c) contribuição de carga contaminante provinda das atividades urbanas - como disposição inadequada de resíduos urbanos e industriais- e atividades agrícolas - fertilizantes e outros produtos químicos.

Outras abordagens, que considerassem as doses de ingresso de contaminantes providas de outros meios de exposição como solo, ar e águas superficiais, também seriam de grande importância para avaliação do risco à saúde. Nesse estudo foram considerados apenas os riscos provenientes da ingestão da água subterrânea de poços ponteira para os metais selecionados e, mesmo assim, foram encontrados riscos de efeitos não carcinogênicos em dois poços, sendo os receptores crianças.

Sabe-se, também, que a metodologia da avaliação do risco à saúde humana possui incertezas inerentes no seu processo, já que, na maioria dos casos, algumas informações são incompletas, como dados de amostragem, de toxicidade, forma de contato entre o indivíduo e a substância química, entre outros. No entanto, essas incertezas vão diminuindo à medida que os estudos sobre o caso considerado aumentam.

Nesse sentido, os resultados ressaltaram a importância de se desenvolver um estudo completo, que aborde todos os caminhos e rotas de exposição, outras substâncias químicas danosas à saúde e a relevância dos possíveis resultados de risco à saúde humana. A credibilidade da avaliação de risco depende do peso das evidências científicas nas quais se baseia. É muito importante, então, que os processos e métodos utilizados para avaliar a evidência e a estimativa do risco à saúde sejam claros, explícitos e baseados em teorias e práticas válidas.

Sugere-se, dessa forma, maior envolvimento e responsabilização dos órgãos públicos ambientais e da saúde, por meio da fiscalização das atividades potencialmente poluidoras do ambiente, aumento da frequência do monitoramento da qualidade das águas captadas para abastecimento público e também estudos da saúde populacional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAS. **Águas subterrâneas, o que são?**. Disponível em:<<http://www.abas.org/educacao.php>>. Acesso em: 25 mai. 2013.

ABNT. NBR 12212: Projeto de poço para captação de água subterrânea. Rio de Janeiro, 1992.

ABNT. NBR 12244: Poço tubular - Construção de poço tubular para captação de água subterrânea. Rio de Janeiro, 2006.

ATSDR, 2013. Toxic Substances Portal. Disponível em: <<http://www.atsdr.cdc.gov/>>. Acesso em: 11 jul. 2013.

ATSDR. **Boron**. Division of Toxicology and Environmental Medicine ToxFAQs™. Disponível em:<<http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts26.pdf>>. Acesso em: 12 jun. 2013. Estados Unidos, 2007.

ATSDR. **ToxGuide™ for Manganese**. Estados Unidos, outubro de 2012. Disponível em: <<http://www.atsdr.cdc.gov/toxguides/toxguide-151.pdf>>. Acesso: 20 abr. 2013.

BUTCHER, G. A., 1988. **Water Quality Criteria for Aluminum**. Technical Appendiz. Ministry of Environment and Parks Province of British Columbia. Vol. 2 . Canadá. Março, 1988. Disponível em: <<http://www.env.gov.bc.ca/wat/wq/BCguidelines/aluminum/aluminumtech.pdf>>. Acesso em: 01 jun. 2013.

CARDOSO, L. N. & CHASIN A. A. M. **Ecotoxicologia do Cádmi e seus Compostos**. Série Cadernos de Referência Ambiental. v. 6. 122p. Salvador, Bahia. 2001.

CETESB. **Água subterrânea e poços tubulares**. 482 p. : il.. São Paulo.1978. 3ed.

CETESB, 2001. **Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas**. Avaliação de Risco Toxicológico à Saúde Humana. Cap. IX. 2001. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/areas_contaminadas/Capitulo_IX.pdf>. Acesso em: 02 mar. 2013.

CETESB, 2005. **Ações Corretivas Baseadas em Risco Aplicadas a Áreas Contaminadas com Hidrocarbonetos Derivados de Petróleo e Outros Combustíveis**

Líquidos - Procedimento. Anexo VII. DECISÃO DE DIRETORIA Nº 195-2005- E, de 23 de novembro de 2005. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/relatorios/tabela_valores_2005.pdf>. Acesso em: 04 mai. 2013.

CETESB, 2012a. **Ficha de Informação Toxicológica – Cobre.** Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/laboratorios/fit/cobre.pdf>>. Acesso em: 14 abr. 2013. São Paulo, 2012.

CETESB, 2012b. **Ficha de Informação Toxicológica – Zinco.** Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/laboratorios/fit/Zinco.pdf>>. Julho de 2012. Acesso em: 24 mar. 2013.

CETESB. **Planilhas para Avaliação de Risco em Áreas Contaminadas sob Investigação.** Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/planilhas-para-avalia%C3%A7%C3%A3o-de-risco/8-planilhas>. Acesso em: 01 jun. 2013. São Paulo, 2013.

CONAMA, 2009. Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 28 dez. 2009. DOU nº 249, p. 81-84.

CONAMA, 2008. Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 7 abr. 2008. DOU nº 66, p. 64-68.

CPRM. **Noções Básicas sobre Poços Tubulares.** Cartilha Informativa. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/arquivos/pdf/dehid/manubpt.pdf>>. Acesso em: 21 abr. 2013. Recife, Agosto 1998.

GOLDSIM Solutions. **Solutions: Environmental Systems Modeling: Human Health Risk Assessment and Analysis.** Disponível em: <http://www.goldsim.com/Web/Solutions/EnvironmentalSystems/HumanHealthRisk/>. Acesso em: 19 mai. 2013.

EVANKO, C. R. & DZOMBAK, D. A., 1997. **Remediation of Metals-Contaminated Soils and Groundwater.** Technology Evaluation Report. Disponível em: <<http://www.cluin.org/download/toolkit/metals.pdf>>. Acesso em: 19 mai. 2013.

FEITOSA, F.A.C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E.C.; DEMETRIO, J.G. (Organ.) - Hidrogeologia: conceitos e aplicações. Rio de Janeiro, 2008. 812 p. Editora CPRM (ISBN: 978-85-7499-061-3).

IBGE, 2010. **Palmares do Sul**. Disponível em :< <http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em: 19 mar. de 2013.

IBGE, 2000, apud site de Palmares do Sul [2000]. **Dados Indicadores**. Disponível em: < <http://www.palmaresdosul.rs.gov.br/portall/intro.asp?iIdMun=100143276>>. Acesso em: 20 mar. 2013.

IRIS, [2004]. **List of IRIS Substances**. Disponível em:< <http://www.epa.gov/IRIS/>>. Acesso em: 10 mai. 2013.

LIMA, A. C. P. et al. **Avaliação das Concentrações de Bário e Chumbo em Águas do Aquífero Freático do Entorno do Centro Industrial do Subaé – Feira de Santana - BA**. In: XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços, 11p, 2010, São Luís/Maranhão.

LIMA, I. V.; PEDROZO, M. F. M. **Ecotoxicologia do ferro e seus compostos**. Série Cadernos de Referência Ambiental. V. 4. 112 p., Salvador, 2001.

LNEG - Laboratório Nacional de Energia e Geologia. **Água Subterrânea: Conhecer para Proteger e Preservar**. Disponível em: < <http://www.lneg.pt/>>. Acesso em: 16 mai. 2013. Portugal [2010].

MACHADO, J. L. F. & FREITAS, M.A 2005. **Projeto Mapa Hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul – Relatório Final**. Porto Alegre, 2005. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/media/relatoriohidrogeoRS.pdf>>. Acesso: 14 mar. 2013.

MARTINS, I. & LIMA, I. V. **Ecotoxicologia do manganês e seus compostos**. Série Caderno de Referência Ambiental V.7. 121 p. Salvador, 2001.

MINEROPAR [2009]. **Glossário de termos geológicos**. Serviço Geológico do Paraná. Disponível em: < <http://www.mineropar.pr.gov.br/modules/glossario/conteudo.php?conteudo=P>>. Acesso em: 18 mai/2013.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Avaliação de Risco à Saúde Humana por resíduos de pesticidas organoclorados em Cidade dos Meninos, Duque de Caxias, RJ, 2002**. Série C. Programas, Projetos e Relatórios. Disponível em: <

http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/avaliacao_risco.pdf>. Acesso em: 2 jun. 2013. Brasília, 2004.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria Nº 2914/20011**. Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Coordenação. Brasília, 2011. 34 p. Disponível em: <http://www.suvisa.rn.gov.br/contentproducao/aplicacao/sesap_suvisa/arquivos/gerados/portaria_ms_2914_dez_2011.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2013.

MOBUS, G. **Qualigraf – Programa para análise da qualidade da água**. FUNCENE – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Software, CD-ROM. Fortaleza, 2002.

PALMARES DO SUL, 2000. Disponível em: <<http://www.palmaresdosul.rs.gov.br>>. Acesso em: 11 jul. 2013.

PAOLIELLO, M. M. B. & CHASIN, A. A. M., 2001. **Ecotoxicologia do Chumbo e seus Compostos**. Série Cadernos de Referência Ambiental. v. 3. 144p. Salvador, 2001.

PEDROZO, M. F. M. & LIMA, I. V., 2001. **Ecotoxicologia do cobre e seus compostos. Série de Referência Ambiental**. v2. 128p. Bahia, 2001.

PEDROZO, M. F. M. & SILVA, C. S. **Ecotoxicologia do Cromo e seus Compostos**. Série Cadernos de Referência Ambiental. v. 5. 100p. Salvador, 2001.

RIO GRANDE DO SUL. Lei Estadual 10.350, de 30 de dezembro de 1994. Institui o Sistema Estadual de Recursos Hídricos, regulamentando o artigo 171 da Constituição do Estado do Rio Grande do Sul. **Diário Oficial [Do Estado do Rio Grande do Sul]**, Porto Alegre, 30 dez. 1995.

RIO GRANDE DO SUL. Decreto nº 37.033, de 21 de novembro de 1996. Regulamenta a outorga do direito de uso da água no Estado do Rio Grande do Sul, prevista nos artigos 29, 30 e 31 da Lei nº 10.350, de 30 de dezembro de 1994. **Diário Oficial [Do Estado do Rio Grande do Sul]**, Porto Alegre, 21 nov. 1996.

RIO GRANDE DO SUL. Decreto nº 42.047, de 26 de dezembro de 2002. Regulamenta disposições da Lei nº 10.350, de 30 de dezembro de 1994 com alterações relativas ao gerenciamento e à conservação das águas subterrâneas e dos aquíferos. **Diário Oficial [Do Estado do Rio Grande do Sul]**, Porto Alegre, 27 dez. 2012.

RODRIGUES, M. L. K.; KOLLER, D. K.; GUERRA, T. & FORMOSO, M. L. L. **Avaliação do risco toxicológico à saúde humana associado ao incremento do fluxo de cromo antrópico em segmentos fluviais afetados por curtumes.** Pesquisas em Geociências, 36 (2): 149-164, mai./ago. Porto Alegre, 2009.

RÚNIO, C. L. et al. **Avaliação de Risco à saúde humana por exposição aos resíduos da PLUMBUM no Município de Adrianópolis-PR.** Disponível em:<
http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/avaliacao_risco_adrianopolis_parana_08.pdf
>. Acesso em: 02 jun. 2013. Curitiba, PR, 2008.

SABESP. **Manual do Usuário SABESP.** Disponível em: <
http://site.sabesp.com.br/uploads/file/asabesp_doctos/manual_usuario_sabesp.pdf >.
Acesso em: 25 mai. 2013.

USEPA, 1989. **Risk Assessment Guidance for Superfund - Volume I - Human Health Evaluation Manual (Part A).** Disponível em: <
http://www.epa.gov/oswer/riskassessment/ragsa/pdf/rags_a.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2013.

USEPA, 1998a. **Toxicological Review of Hexavalent Chromium.** . August 1998.
Disponível em: <www.epa.gov/iris/toxreviews/0144tr.pdf>. Acesso em: 16 mar. 2013.

USEPA, 1998b. **Toxicological Review of Trivalent Chromium.** . August 1998.
Disponível em: < <http://www.epa.gov/iris/toxreviews/0028tr.pdf>>. Acesso em: 16 mar. 2013.

WHO – World Healthy Organization. **Manganese in Drinking-water Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality.** 2011.
Disponível em:<
http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/manganese.pdf>. Acesso em:
13 mar. 2013.

APÊNDICE I – Tabela de dados dos poços de monitoramento de estudo (Poços, coordenadas, profundidade, dados de vazão, NE, ND).

Nome	Coordenada N	Coordenada E	Diâmetro (Ø)	Prof. (m)	NE (m)	ND (m)	Vazão (m ³ /h)
P1	6654839	554081	2,8" - 70mm	22	-	-	-
P2	6654864	554082	2,8" - 70mm	26	-	-	-
P3	6654830	554010	2,8" - 70mm	26	-	-	-
P4	6654833	554064	1,6" - 40mm	8	-	-	-
P5	6636734	545789	1,6" - 40mm	18	-	-	-
P6	6625882	556432	1,6" - 40mm	6	-	-	-
P7	6625856	556406	1,6" - 40mm	17	-	-	-
P8	6625921	556511	2,8" - 70mm	11,8	1,25	-	-
P9	6626499	554865	2"	2,4	0,94	-	-
P10	6652946	550820	1,6" - 40mm	18	-	-	-
P11	6649184	553689	1,6" - 40mm	16	-	-	-
P12	6649196	553684	2,8" - 70mm	26	-	-	-
P13	6641974	561229	1,6" - 40mm	9	-	-	-
P14	6642429	558709	1,6" - 40mm	36	-	-	-
P15	6642462	558679	1,6" - 40mm	12	-	-	-
P16	6645347	555954	1,6" - 40mm	24	-	-	-
P17	6645347	555912	2,8" - 70mm	-	-	-	-
P18	6645530	555818	1,6" - 40mm	6	-	-	-
P19	6647736	554060	1,6" - 40mm	20	-	-	-
P20	6647756	554116	2,8" - 70mm	20	-	-	-
P21	6653516	549485	1,6" - 40mm	18	-	-	-
P22	6639450	562655	1,6" - 40mm	-	-	-	-
P23	6637921	562552	1,6" - 40mm	5	-	-	-
P24	6637899	562578	1,6" - 40mm	12	-	-	-
P25	6637986	561902	1,6" - 40mm	12	-	-	-
P26	6638030	565426	1,6" - 40mm	12	-	-	-
P27	6637999	565384	1,6" - 40mm	11,4	1,37	-	-
P28	6653468	549392	1,6" - 40mm	-	-	-	-
P29	6627638	548970	2,8" - 70mm	10	-	-	5,8
P30	6627684	549035	2,8" - 70mm	10	-	-	5,8
P31	6653468	549392	1,6" - 40mm	-	-	-	-
P32	6627677	549045	2,8" - 70mm	10	-	-	5,8
P33	6627705	549067	2,8" - 70mm	10	-	-	5,8
P34	6627724	549048	2,8" - 70mm	10	-	-	5,8
P35	6626497	551290	2,8" - 70mm	10	-	-	6
P36	6626470	551245	2,8" - 70mm	10	-	-	6
P37	6626399	551322	2,8" - 70mm	10	-	-	6
P38	6627931	548721	2,8" - 70mm	12	-	-	7,3
P39	6626767	556370	2,8" - 70mm	10	-	-	5,6
P40	6626772	556186	2,8" - 70mm	10	-	-	5,6

continua

P41	6636782	545831	2,8" - 70mm	12	-	-	7,2
P42	6636835	544777	2,8" - 70mm	12	-	-	7,2
P43	6636841	544841	2,8" - 70mm	12	-	-	7,2
P44	6636862	544959	2,8" - 70mm	12	-	-	7,2
P45	6647774	554099	2,8" - 70mm	12	-	-	10,1
P46	6647761	554131	2,8" - 70mm	12	-	-	10,1
P47	6654884	557205	2,8" - 70mm	10	-	-	7,25
P48	6627806	549854	2,8" - 70mm	10	-	-	11,6
P49	6625715	550772	2,8" - 70mm	6	-	-	10,9
P50	6627127	548883	2,8" - 70mm	12	-	-	7,3
P51	6635924	547658	2,8" - 70mm	10	-	-	7,3
P52	6635930	547684	2,8" - 70mm	10	-	-	7,3
P53	6654825	554198	2,8" - 70mm	12	-	-	7,3
P54	6627608	551434	2,8" - 70mm	12	-	-	5,4
P55	6627547	551391	2,8" - 70mm	12	-	-	5,4
P56	6627547	551324	2,8" - 70mm	12	-	-	5,4
P57	6627709	551605	2,8" - 70mm	12	-	-	5,4
P58	6640714	548471	2,8" - 70mm	8	-	-	14,4
P59	6640724	548269	2,8" - 70mm	8	-	-	14,4
P60	6640727	548258	2,8" - 70mm	8	-	-	14,4
P61	6627823	548827	2,8" - 70mm	10	-	-	7,3
P62	6627808	548817	2,8" - 70mm	10	-	-	7,3
P63	6628587	553214	2,8" - 70mm	12	-	-	5,4
P64	6628557	553195	2,8" - 70mm	12	-	-	5,4
P65	6626640	552992	2,8" - 70mm	10	-	-	3
P66	6628419	552963	2,8" - 70mm	10	-	-	3
P67	6627649	551781	2,8" - 70mm	12	-	-	8,4
P68	6627683	551778	2,8" - 70mm	12	-	-	8,4
P69	6627711	551754	2,8" - 70mm	12	-	-	8,4
P70	6628547	548631	2,8" - 70mm	10	-	-	4,3
P71	6628557	548641	2,8" - 70mm	10	-	-	4,3
P72	6628560	548668	2,8" - 70mm	10	-	-	4,3
P73	6628591	548628	2,8" - 70mm	10	-	-	4,3
P74	6628384	548790	2,8" - 70mm	10	-	-	4,3
P75	6628016	549084	2,8" - 70mm	10	-	-	14,4
P76	6627969	549148	2,8" - 70mm	10	-	-	14,4
P77	6627984	549241	2,8" - 70mm	10	-	-	14,4
P78	6628012	549241	2,8" - 70mm	10	-	-	14,4
P79	6628098	549202	2,8" - 70mm	10	-	-	14,4
P80	6625951	556456	2,8" - 70mm	10	-	-	14,4
P81	6625963	556552	2,8" - 70mm	10	-	-	14,4
P82	6626050	556446	2,8" - 70mm	10	-	-	14,4
P83	6635907	547983	2,8" - 70mm	8	-	-	12,6
P84	6628426	548361	2,8" - 70mm	12	-	-	4,8
P85	6628151	553748	2,8" - 70mm	12	-	-	4,8

continua

P86	6628172	553734	2,8" - 70mm	12	-	-	4,8
P87	6628509	548343	2,8" - 70mm	11	-	-	-
P88	6627936	549065	2,8" - 70mm	-	-	-	-
P89	6648325	554665	2,8" - 70mm	10	-	-	18
P90	6648106	554787	2,8" - 70mm	10	-	-	18
P91	6627121	548784	2,8" - 70mm	12	-	-	5,4
P92	6627097	548781	2,8" - 70mm	12	-	-	5,4
P93	6627051	548771	2,8" - 70mm	12	-	-	5,4
P94	6627093	548931	2,8" - 70mm	12	-	-	5,4
P95	6654884	554126	2,8" - 70mm	22	-	-	16,8
P96	6654909	554118	2,8" - 70mm	22	-	-	16,8
P97	6654900	554073	2,8" - 70mm	22	-	-	16,8
P98	6653627	553043	2,8" - 70mm	12	-	-	-
P99	6626311	552990	2,8" - 70mm	6	-	-	1,8
P100	6628179	552978	2,8" - 70mm	6	-	-	1,8
P101	6628121	552983	2,8" - 70mm	6	-	-	1,8
P102	6628194	553044	2,8" - 70mm	6	-	-	1,8
P103	6627524	550135	2,8" - 70mm	8	-	-	1,8
P104	6627411	550135	2,8" - 70mm	8	-	-	1,8
P105	6627398	550217	2,8" - 70mm	8	-	-	1,8
P106	6627139	550344	2,8" - 70mm	8	-	-	1,8
P107	6654798	554088	2,8" - 70mm	8	-	-	7,2
P108	6627416	549044	2,8" - 70mm	10	-	-	3,6
P109	6627354	549030	2,8" - 70mm	10	-	-	3,6
P110	6653922	557409	2,8" - 70mm	8	-	-	-
P111	6626408	551903	2,8" - 70mm	12	-	-	3,6
P112	6626488	551938	2,8" - 70mm	12	-	-	3,6
P113	6628127	548341	2,8" - 70mm	8	-	-	12,6
P114	6628124	554767	2,8" - 70mm	8	-	-	12,6
P115	6628154	548413	2,8" - 70mm	8	-	-	12,6
P116	6628188	548482	2,8" - 70mm	8	-	-	12,6
P117	6653360	547185	8" - 203,2mm	59,4	1,8	12,75	0,733
P118	6652020	547374	6" - 152mm	78,5	0,03	10	60
P119	6653091	547230	12" - 305mm	56	0,98	29,63	18,6
P120	6653636	547151	10" - 254mm	53	0,42	49,88	16
P121	6652555	545823	8" - 203,2mm	89	0	15	100
P122	6652325	546275	8" - 203,2mm	127	0,3	10	60
P123	6643984	557611	13" - 330mm	84	4,47	60	35
P124	6644311	557382	8" - 203,2mm	130,33	-	-	-
P125	6642551	569266	8" - 203,2mm	107	4,51	21	120
P126	6644036	564858	8" - 203,2mm	100	4,02	62	80
P127	6644368	557412	8" - 203,2mm	93	5,07	15	90
P128	6643318	557997	6" - 152mm	34	5	11	8
P129	6652012	547381	6" - 152mm	69,74	0,5	11,69	11,46
P130	6643990	557613	6" - 152mm	36	3,5	10	9

continua

P131	6642503	569590	6" - 152mm	40	2,47	22,66	7
P132	6653559	547179	8" - 203,2mm	59,6	1,5	12,75	0,065
P133	6652016	547373	6" - 152mm	78,5	0,03	4,51	14,73
P134	6653098	547265	8" - 203,2mm	59	0,98	29,63	0,68
P135	6653599	547177	8" - 203,2mm	53	0,42	49,88	0,34
P136	6642597	569311	8" - 203,2mm	107	4,51	22,4	7,19
P137	6652562	545821	8" - 203,2mm	89	0	15	6,67
P138	6644029	564850	8" - 203,2mm	100	4,02	62	1,38
P139	6644030	557618	6" - 152mm	83	4,47	60	0,63
P140	6642561	569231	8" - 203,2mm	107	4,51	22,4	7,19
P141	6642453	569502	6" - 152mm	40	2,47	22,66	0,35
P142	6653636	547114	8" - 203,2mm	53	0,42	49,88	0,34
P143	6651976	547338	6" - 152mm	69,74	0,5	11,69	1,03
P144	6653091	547230	8" - 203,2mm	59	0,98	29,63	0,68
P145	6651978	547340	6" - 152mm	78,5	0,03	4,51	14,73
P146	6652325	546275	8" - 203,2mm	127	0,3	4	21,73
P147	6632196	557761	4" - 101,6mm	70	8,1	16,52	11

Fonte: elaborado pelo autor