



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:
GEOLOGIA AMBIENTAL, HIDROGEOLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS

TESE DE DOUTORADO
APLICAÇÃO DE ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA
SUBTERRÂNEA EM AMBIENTE DE PERCOLADOS
ORGÂNICOS NA REGIÃO DE CAMAÇARI-BA

CLÉLIA NOBRE DE OLIVEIRA

SALVADOR

2018

**APLICAÇÃO DE ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA
SUBTERRÂNEA EM AMBIENTE DE PERCOLADOS
ORGÂNICOS NA REGIÃO DE CAMAÇARI-BA**

Clélia Nobre de Oliveira

Orientador: Prof. Dr. Sergio Augusto de Moraes Nascimento

Co-orientador: Prof. Dra. Vânia Palmeira Campos

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia como requisito parcial à obtenção do Título de Doutora em Geologia, Área de Concentração: Geologia Ambiental, Hidrogeologia e recursos Hídricos.

SALVADOR

2018

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Universitário de Bibliotecas (SIBI/UFBA),
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Oliveira, Clélia Nobre de
APLICAÇÃO DE ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA
SUBTERRÂNEA EM AMBIENTE DE PERCOLADOS ORGÂNICOS NA
REGIÃO DE CAMAÇARI-BA / Clélia Nobre de Oliveira. --
Salvador, 2018.
141 f. : il

Orientador: Sergio Augusto de Moraes Nascimento.
Coorientador: Vânia Palmeira Campos.
Tese (Doutorado - Geologia) -- Universidade
Federal da Bahia, Instituto de Geociências, 2018.

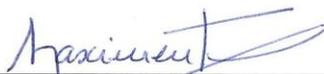
1. IQA. 2. Aquífero São Sebastião. 3. Contaminação
orgânica industrial. 4. NADA. I. Nascimento, Sergio
Augusto de Moraes. II. Campos, Vânia Palmeira . III.
Título.

CLÉLIA NOBRE DE OLIVEIRA

**APLICAÇÃO DE ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA
SUBTERRÂNEA EM AMBIENTES DE PERCOLADOS
ORGÂNICOS NA REGIÃO DE CAMAÇARI-BA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal da Bahia, como requisito para a obtenção do Grau de Doutor em Geologia na área de concentração em Geologia Ambiental, Hidrogeologia e Recursos Hídricos, em 13/08/2018.

TESE APROVADA PELA BANCA EXAMINADORA:



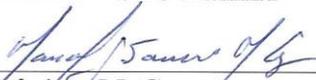
Dr. Sérgio Augusto de Moraes Nascimento
Orientador – UFBA



Dra. Rosa Alencar Santana de Almeida
Examinadora Externa – UFRB



Dr. Manuel Vitor P. Gonçalves
Examinador Externo – SEC-BAHIA



Dr. Manoel Jerônimo M. Cruz
Examinador Interno – UFBA



Dr.ª Iara B. de Oliveira
Examinadora Externa – UFBA

Salvador – BA
2018

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por estar sempre presente em minha vida.

Aos meus pais, que se dedicaram e sempre incentivaram o máximo possível o alcance das minhas qualificações acadêmicas e profissionais.

À toda a minha família e amigos que souberam respeitar todos os momentos vividos nos estágios de elaboração dessa tese, intercalados de alegrias, tristezas e ansiedades.

Ao meu orientador, Dr. Sérgio Augusto de M. Nascimento, e a minha co-orientadora, Dra. Vânia P. Campos, os quais foram altamente comprometidos com essa pesquisa.

Agradeço a bolsa de estudo concedida pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES.

Agradeço aos colegas, pesquisadores e coordenadores do Núcleo de Estudos Hidrogeológicos e do Meio Ambiente (NEHMA), da UFBA.

Agradeço ao pesquisador Carlos (Calabresa), pela elaboração do mapa de localização dos poços da pesquisa, e aos meus colegas pesquisadores Renilda e Jean, pelo grande apoio e incentivos.

Por fim, agradeço aos professores que compõem o Programa de Pós-graduação de Geologia, do Instituto de Geociências da UFBA.

RESUMO

Um índice de qualidade da água (IQA) é uma ferramenta matemática simples, que permite integrar dados complexos de qualidade das águas, transformando-os em uma variação de valores numéricos, sintéticos, padronizados e fáceis de interpretação, e um guia para comunicar a alteração na qualidade da água e por conseguinte direcionar seu uso. No Brasil, o IQA mais utilizado, foi adaptado do que foi desenvolvido pela National Sanitation Foundation, dos Estados Unidos, cujo principal foco é avaliar a qualidade da água para o abastecimento público após o tratamento convencional. No estado da Bahia, não são publicados para acesso público, relatórios que apresentem o resultado de monitoramentos frequentes das águas subterrâneas e com os dados apresentados de forma sintética e de fácil interpretação para que possam ser úteis aos diversos usuários da água. No presente trabalho, com fins de evidenciar a concentração de poluentes e contaminantes nas águas subterrâneas, foi testada uma metodologia de aplicação de índice de qualidade da água para áreas de aquíferos com influência de percolados orgânicos industriais. O objeto de estudo, foi a área industrial da região de Camaçari, incluída no Recôncavo Norte da Bahia, a qual está inserida em parte dos domínios hidrogeológicos da Bacia Sedimentar do Recôncavo, no domínio do aquífero São Sebastião e a formação Marizal na zona de interferência freática. Devido ao risco de contaminação na área de estudo (Polo Industrial) comprometendo negativamente os recursos hídricos, foi identificada a metodologia de análise mais compatível para ser aplicada nessa área, para servir como ferramenta de referência para o monitoramento das águas subterrâneas na região. Também foram definidos indicadores para potenciais riscos de agravos à saúde humana. Foram utilizados os dados de monitoramento do período (2009-2016), disponibilizados pelos órgãos estaduais (EMBASA e INEMA), com 2.272 determinações químicas de amostras de águas subterrâneas oriundas de 41 poços tubulares, os quais foram analisados estatisticamente, simulados para gerar o índice de qualidade da água, e, posteriormente analisados comparativamente. Foi encontrado que dos 15 (quinze) parâmetros orgânicos estudados, pelo menos 6 (seis) deles (1,2 Dicloroetano, Cloreto de Metileno, Clorofórmio, Etilbenzeno, Tolueno e Xileno) geraram alteração na qualidade da água nos poços tubulares profundos (100 a 400 m), e através da aplicação do IQA-CCME, por ser uma ferramenta estatística, percebeu-se o grau de afastamento dos compostos voláteis quanto ao padrão de referência, não ultrapassando no entanto, os níveis máximos padronizados para usos de abastecimento humano, estabelecido na Resolução CONAMA n° 396 de 2008. Dos dados analisados dos poços tubulares rasos (8 a 60 m), evidenciaram-se concentrações de Cloreto de Vinila de até 13mil vezes mais que o padrão de referência, sendo que esses poços são utilizados para monitoramento da extração dos contaminantes existentes na área industrial, não sendo usados para consumo humano. Esse estudo destacou a existência de condições desfavoráveis para à qualidade da água subterrânea (condutividade hidráulica, porosidade e permeabilidade) que possibilitam boa mobilidade dos compostos orgânicos identificados no aquífero da Formação Marizal, que podem percorrer nos arenitos e fluir tanto na direção horizontal, como vertical, devido às descontinuidades de direções NW-SE, na área de estudo, se conectando com a Formação São Sebastião imediatamente abaixo, também com predominância de arenitos. Logo, evidencia-se que as concentrações identificadas nos seis contaminantes orgânicos nos poços tubulares profundos, servem de alerta para que os sistemas de abastecimento de água na região, monitorem as fontes de contaminação, uma vez que, a presença destes na área industrial é de caráter persistente.

Palavras-chave: IQA. Aquífero São Sebastião. Contaminação orgânica industrial. NADA.

ABSTRACT

A water quality index (WQI) is a simple mathematical tool that allows the integration of complex water quality data into a range of numerical, synthetic, standardized and easy-to-interpret values and a guide to communicate the change in water quality and therefore direct its use. In Brazil, the most used WQI was adapted from what was developed by the National Sanitation Foundation of the United States, whose main focus is to assess the quality of water for public supply after conventional treatment. In the state of Bahia, reports that show the results of frequent monitoring of groundwater and the data presented in a synthetic and easily interpreted form are not published for public access, so that they can be useful to the various water users. In the present work, in order to evidence the concentration of pollutants and contaminants in the groundwater, a methodology of water quality index application was tested for aquifer areas influenced by industrial organic percolates. The object of study was the industrial area of the Camaçari region, included in the North Recôncavo of Bahia, which is part of the hydrogeological domains of the Recôncavo Sedimentary Basin, in the São Sebastião aquifer domain and the Marizal formation in the zone of interference water table. Due to the risk of contamination in the study area (Industrial Pole) negatively affecting water resources, the most compatible analysis methodology to be applied in this area was identified, to serve as a reference tool for the monitoring of groundwater in the region. Indicators for potential risks to human health have also been defined. The monitoring data for the period (2009-2016), made available by the state agencies (EMBASA and INEMA), were used, with 2,272 chemical determinations of groundwater samples from 41 tubular wells, which were statistically analyzed, simulated to generate the index of water quality, and then analyzed comparatively. It was found that of the 15 (fifteen) organic parameters studied, at least 6 (six) of them (1,2 dichloroethane, methylene chloride, chloroform, ethylbenzene, toluene and xylene) resulted in changes in water quality in deep tubular wells 400 m), and through the application of WQI-CCME, because it is a statistical tool, the degree of remoteness of the volatile compounds relative to the reference standard was observed, not exceeding the maximum standardized levels for human supply uses, established in CONAMA Resolution N° 396 of 2008. From the analyzed data of the shallow tubular wells (8 to 60 m), concentrations of Vinyl Chloride of up to 13 thousand times more than the reference standard were evidenced, and these wells are used for monitoring of the extraction of contaminants in the industrial area, and are not used for human consumption. This study highlighted the existence of unfavorable conditions for groundwater quality (hydraulic conductivity, porosity and permeability) that allow good mobility of the organic compounds identified in the aquifer of the Marizal Formation, which can travel in the sandstones and flow in both horizontal and vertical directions, due to the discontinuities of NW-SE directions, in the study area, connecting with the São Sebastião Formation immediately below, also with predominance of sandstones. Therefore, it is evident that the concentrations identified in the six organic contaminants in the deep tubular wells serve as a warning for the water supply systems in the region to monitor the sources of contamination, since their presence in the industrial area is persistent character.

Keywords: WQI. Groundwater. Indicators. Industrial organic contamination.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Inserção regional da área de estudo	18
Figura 2 - Tipologia climática na área de estudo.....	32
Figura 3 - (a) Precipitações e temperaturas na área de Camaçari; (b) Precipitações e temperaturas na área de Dias D'Ávila.....	33
Figura 4 - Aspecto geológico da Bacia do Recôncavo, com destaque para a Região de Camaçari-Ba.....	35
Figura 5 - Visualização da estratigrafia e dos aspectos texturais das Formações São Sebastião e Marizal.....	37
Figura 6 - Mapas de superfície potenciométrica regional e local, da Bacia do Recôncavo Norte	39
Figura 7 - (a) Visualização das distancias entre as sedes urbanas e os polos industriais; (b) Espacialização das empresas do PIC	43
Figura 8 - Distribuição dos mananciais que abastecem a RMS	44
Figura 9 - (a) Área de abrangência dos Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) no município de Camaçari-BA; (b) Zona de influência de bombeamento dos poços que atendem a Sede de Camacari.	46
Figura 10 - Demanda global de água: cenário de referência, 2000 e 2050	59
Figura 11 - Curva média representativa da variação do pH na água em função dos padrões de referência e suas respectivas concentrações	60
Figura 12 - Características evidenciadas no IQNAS.....	68
Figura 13 - Nível de qualidade ou classificação da água em função do resultado do IQNAS.	69
Figura 14 - Mapa de distribuição dos 41 poços tubulares na área urbana e industrial – Municípios de Camaçari e Dias D'Ávila.....	85
Figura 15 - Análise de correlação entre os dados do desvio padrão e média – poços de extração	91
Figura 16 - Concentrações de compostos orgânicos na área urbana, nos poços de abastecimento ($\mu\text{g L}^{-1}$).....	92
Figura 17 - Concentrações de compostos orgânicos na área industrial, nos poços de produção ($\mu\text{g L}^{-1}$).....	95

Figura 18 - Compostos orgânicos na água subterrânea da área industrial - poços de extração ($\mu\text{g L}^{-1}$)	98
Figura 19 - Distribuição dos contaminantes orgânicos nos poços tubulares de abastecimento	100
Figura 20 - Evidencia dos contaminantes orgânicos nos poços tubulares profundos de abastecimento	103

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Compostos orgânicos voláteis (COV's).....	53
Quadro 2- Características dos COV's	55
Quadro 3- Parâmetros utilizados no IQA-NSF, com respectivos pesos.....	59
Quadro 4- Nível de qualidade ou classificação da água em função do resultado do IQA-NSF	61
Quadro 5- Faixas de classificação da água em função do resultado do IQA-CETESB	62
Quadro 6- Cores e classes de qualidade da água para consumo humano – modelo do IQA francês	63
Quadro 7 - Definição dos grupos de alterações na água e respectivos parâmetros – IQA-FRANÇA.....	63
Quadro 8 -. Categorias de classificação da qualidade da água – IQA-CCME	66
Quadro 9 - Parâmetros utilizados no IQNAS, com respectivos pesos	69
Quadro 10 - Definição das classes de qualidade de água pelo IQAS-Portugal (GWQI-Portugal)	74
Quadro 11 - Procedimento para padronização do nitrato (NO_3^-)	74
Quadro 12 - Parâmetros utilizados no IQA-INDIA, com respectivos pesos.....	76
Quadro 13 – Análise comparativa entre os modelos de qualidade da água subterrânea - IQAs	79
Quadro 14 – Quadro resumo parecer versus critérios de qualidade da água – IQAs	80
Quadro 15 – Poços de Abastecimento na Área Urbana (PU).....	83
Quadro 16 - Poços de Abastecimento na Área Industrial (PI)	83
Quadro 17 - Poços de Monitoramento na Área Industrial (PI-E).....	83
Quadro 18 - Resultados da aplicação dos métodos de tratamento aos dados urbanos	87
Quadro 19 - Coeficiente de variação entre o desvio padrão e a média / dados urbanos	88
Quadro 20 - Resultados da aplicação dos métodos de tratamento aos dados industriais	89
Quadro 21 - Coeficiente de variação entre o desvio padrão e a média / dados industriais	90
Quadro 22 - Incidência da ultrapassagem da concentração do composto em relação ao padrão de referência Conama	99
Quadro 23 - Informações para simulação dos poços tubulares	107

Quadro 24 - Correlação entre os dados analisados nos poços urbanos	108
Quadro 25 - Correlação entre os dados analisados nos poços industriais	109
Quadro 26 - Resultado da simulação do IQA-CCME na Área Urbana e Industrial.....	110
Quadro 27 - Critérios preponderantes sobre o comportamento dos contaminantes no aquífero São Sebastião – poços tubulares na área urbana e industrial.....	114

LISTA DE SIGLAS

ANA	Agencia Nacional de Águas
APP	Área de Preservação Permanente
BTEX	Benzeno-Tolueno-Etilbenzeno-Xileno
CCME:	Canadian Council of Ministers of the Environment
CERB	Companhia de Engenharia Hídrica e de Saneamento do Estado da Bahia
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CETREL:	Central de Tratamentos de Efluentes Líquidos
CIA	Centro Industrial de Aratu
CONAMA:	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CONARH:	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
COV's	Compostos Orgânicos Voláteis
CPRM:	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
e-IQUAS	Índice de Qualidade de Uso da Água Subterrânea
EMBASA:	Empresa Baiana de Águas e Saneamento
EMV	Estimador de Máxima Verossimilhança
EPA	Environmental Protection Agency
ETA	Estação de Tratamento de Água
FIT	Ficha de Informação Toxicológica
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
HCFC	Hidroclorofluorcarbonos
IARC	Agencia Internacional de Pesquisa em Câncer
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INEMA:	Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
IQA:	Índice de Qualidade da Água
IQAS:	Índice de Qualidade da Água Subterrânea
IQNAS	Índice de Qualidade Natural de Água Subterrânea
KM	Kaplan-Meier
LD	Limite de Detecção
NADA	Nondetects And Data Analysis

NSF:	National Sanitation Foundation
NW	Noroeste
PARMS	Plano de Abastecimento de Água da Região Metropolitana de Salvador, Santo Amaro e Saubara
PDDU	Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano
PE	Poços de Extração
PERH	Política Estadual de Recursos Hídricos
PI	Poço Industrial
PIC:	Polo Industrial de Camaçari
PM	Poços de Monitoramento
PMM	Poços de Monitoramento Multiníveis
PMMP	Poços de Monitoramento Multiníveis Profundo
PP	Poços de Produção
PROSAB	Programa de Pesquisa em Saneamento Básico
PU	Poço Urbano
PVC	Policloreto de Vinila
RLAM	Refinaria Landulfo Alves
ROB	Robusto
RMS:	Região Metropolitana de Salvador
RPGA:	Planejamento e Gestão das Águas do Recôncavo Norte
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SE	Sudeste
SESAU	Secretaria de Saúde
SGB	Serviço Geológico do Brasil
SIAA	Sistema Integrado de Abastecimento de Água
SIAGAS:	Sistema de Informações de Águas Subterrâneas
SINAN	Sistema de Informação de Agravos de Notificação
SLAA	Sistema Local de Abastecimento de Água
SNIRH	Sistema Nacional de Informações sobre os Recursos Hídricos

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	15
1.1 ASPECTOS GERAIS	15
1.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	17
1.3 OBJETIVOS	19
1.3.1 Objetivo geral	19
1.3.2 Objetivos específicos	19
1.4 CONTEXTUALIZAÇÃO E APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA	20
1.5 JUSTIFICATIVA	23
1.6 MATERIAIS E MÉTODOS	24
1.6.1 Levantamento documental	25
1.6.2 Identificação e seleção de dados	25
1.6.3 Compilação, aplicação e análise de dados	27
CAPÍTULO 2 – CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E SÓCIOECONÔMICA	31
2.1 ASPECTOS HIDROCLIMÁTICOS	31
2.2 ASPECTOS GEOLÓGICOS E HIDROGEOLÓGICOS	35
2.2.1 Aspectos geológicos	35
2.2.2 Aspectos hidrogeológicos	38
2.3 ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS	40
2.3.1 Breve histórico	40
2.3.2 Uso e ocupação do solo	41
2.3.3 Aspectos do abastecimento de água e saúde	44
CAPÍTULO 3 – PROGRAMAS DE MONITORAMENTO DOS MANANCIAIS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA	48
3.1 MONITORAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	49
3.1.1 Programa de Monitoramento na Área do Polo Industrial	50
3.2 PADRÕES E PARÂMETROS DE ANÁLISE DA ÁGUA	52
CAPÍTULO 4 – ESTUDO COMPARATIVO DE ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA	59
4.1 WQI-NSF	59
4.2 SEQ-EUAX	62
4.3 WQI-CCME	65

4.4	IQNAS	67
4.5	IQAS E E-IQUAS.....	70
4.6	GQWI-PORTUGAL.....	73
4.7	WQI-INDIA.....	75
4.8	ANÁLISE COMPARATIVA DOS ÍNDICES	77
CAPÍTULO 5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO		83
5.1	ANÁLISE DOS DADOS DOS POÇOS.....	83
5.1.1	Análise de consistência dos dados urbanos e industriais	86
5.2	AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NA ÁREA URBANA	92
5.3	AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NA ÁREA INDUSTRIAL	94
5.3.1	Avaliação dos compostos detectados na água dos poços de produção	94
5.3.2	Avaliação dos compostos nos poços de extração/monitoramento	97
5.4	DISCUSSÕES POR POÇO TUBULAR (ABASTECIMENTO).....	99
5.5	APLICAÇÃO DO IQA PARA SIMULAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA.....	104
5.5.1	Critérios de seleção para aplicação do IQA-CCME	105
5.5.2	Aplicação do modelo com dados consolidados de compostos orgânicos.....	108
5.6	DISCUSSÕES SOBRE A SIMULAÇÃO DO IQA-CCME	109
5.7	EFEITOS ADVERSOS NA SAÚDE DEVIDO A PRESENÇA DOS COV'S.....	111
5.8	INDICADORES ORGANICOS PARA MONITORAMENTO DAS ÁGUAS.....	114
5.8.1	Quanto ao comportamento no ambiente aquático	114
5.8.2	Relevância do monitoramento no aquífero estudado.....	116
CAPÍTULO 6 –CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES		118
REFERÊNCIAS		123
APÊNDICE A – RESUMO DAS ANÁLISES DE CONSISTÊNCIA DOS DADOS DOS COV'S		
APÊNDICE B – BANCO DE DADOS COMPATIBILIZADOS E CONSISTIDOS		
ANEXO A – FICHAS DE CAMPO DOS POÇOS URBANOS E LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS DE EXTRAÇÃO DA BARREIRA HIDRÁULICA		

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1 ASPECTOS GERAIS

A preservação da qualidade das águas ganhou evidência com a sanção da Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997), tendo como um dos fundamentos gerir tais recursos, proporcionando uso múltiplo, em consonância com objetivos que assegurem “à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos”.

Para a proteção das águas subterrâneas identificam-se duas resoluções do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CONARH): Resolução nº 15/2001, a qual estabelece que os Estados devem orientar os municípios sobre as diretrizes de gestão integrada das águas subterrâneas, propondo mecanismos de estímulo à proteção das áreas de recarga dos aquíferos (ANA, 2007). Já a Resolução CONARH nº 22/2002 (BRASIL, 2002), dentre suas considerações, afirma que “Os Planos de Recursos Hídricos devem considerar os usos múltiplos das águas subterrâneas, as peculiaridades de função do aquífero e os aspectos de qualidade e quantidade para a promoção do desenvolvimento social e ambientalmente sustentável.”

Em 2008, o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) publicou a resolução nº 396/2008 (BRASIL, 2008), que cria mecanismos para proteção das águas subterrâneas, principalmente no que diz respeito à sua qualidade, pois através do enquadramento dessas águas foram definidas seis classes em função dos usos preponderantes, que incluem consumo humano, dessedentação de animais, irrigação e recreação. Nessa Resolução os principais parâmetros de qualidade da água acompanhados dos respectivos padrões são organizados em função de serem substâncias físicas, químicas, bacteriológicas e substâncias potencialmente prejudiciais, a serem analisados, a depender dos usos preponderantes no corpo d'água.

Ao definir parâmetros, os órgãos que realmente atuam na gestão da qualidade das águas subterrâneas reagiram no sentido de identificar quais possuem relevância para caracterizar a condição da água, cujo uso tanto pode ser específico, somente para abastecimento humano, ou o uso pode ter maior abrangência, desde consumo humano à recreação de contato primário. Essa atitude decorre principalmente de fatores técnicos-financeiros que na maioria

dos Estados são críticos e implicam maior priorização por parte da gestão. Essa premissa se evidencia em documento elaborado pelo governo no âmbito do “Programa Nacional de Águas Subterrâneas” (ANA, 2013), que relaciona três ações relevantes: ampliação do conhecimento hidrogeológico, definição de normas específicas e atualização das vigentes e capacitação e mobilização social. Ou seja, essas ações vão refletir no alcance de maior domínio técnico sobre o comportamento das águas subterrâneas, com adoção de padrões específicos que protejam e não inviabilizem seus usos, e, além disso, vai proporcionar uma melhor relação com o usuário ao passar informações da qualidade da água, sendo uma comunicação acessível a todos os interessados.

Observando sob um panorama mais amplo, os estudos de monitoramento das águas subterrâneas se tornam emergentes uma vez que o uso dessas águas se encontra nas metas de implementações dos gestores públicos em áreas que a utilizam como fonte de água potável (SAEEDI et al, 2010). Logo, a utilização de índices de avaliação da qualidade da água (IQA) como ferramentas de padronização, agregação e de comunicação para o monitoramento da qualidade da água é priorizado nesses casos.

Um IQA é um uma ferramenta matemática simples que permite integrar dados complexos de qualidade das águas subterrâneas, transformando-os em uma variação de valores numéricos, sintéticos, padronizados e fáceis de interpretação (ENVIRONMENTASIA, 2013), sendo um guia para identificação de alteração na qualidade da água e por conseguinte direcionar seu uso, definindo-se inclusive o melhor processo de tratamento para adequação ao uso pretendido.

Hurley, Sadiq & Mazumder (2012), em estudo para adequação de índices para avaliação de qualidade da água, defendem que a tradução do conhecimento sobre as condições de potabilidade da água, exigem ferramentas apropriadas para suprir lacunas de comunicação entre cientistas, tomadores de decisão (gestores) e o público.

Os Índices de Qualidade da Água (IQA) podem reduzir o número de medições necessárias para caracterizar um corpo hídrico, assim como simplificar o processo de informação dos níveis desejados de qualidade da água com o usuário final.

No Brasil o IQA mais utilizado (em torno de 12 estados) foi desenvolvido pela National Sanitation Foundation (LUMB et al, 2011)), dos Estados Unidos, cujo principal foco é avaliar a qualidade da água superficial para o abastecimento público após o tratamento

convencional. O importante é verificar as condições da água para consumo humano, mas não inviabiliza que essa água tenha outros objetivos de uso, menos exigentes, a exemplo de navegação ou geração de energia.

Ressalta-se que esse IQA tem sua maior utilização para monitoramento das águas superficiais, do que para águas subterrâneas.

Torna-se relevante portanto, um acompanhamento e registro das condições de qualidade das águas subterrâneas que integram os programas de monitoramento, constando de históricos das detecções de substâncias químicas e bacteriológicas, associados ao comportamento de prováveis contaminantes

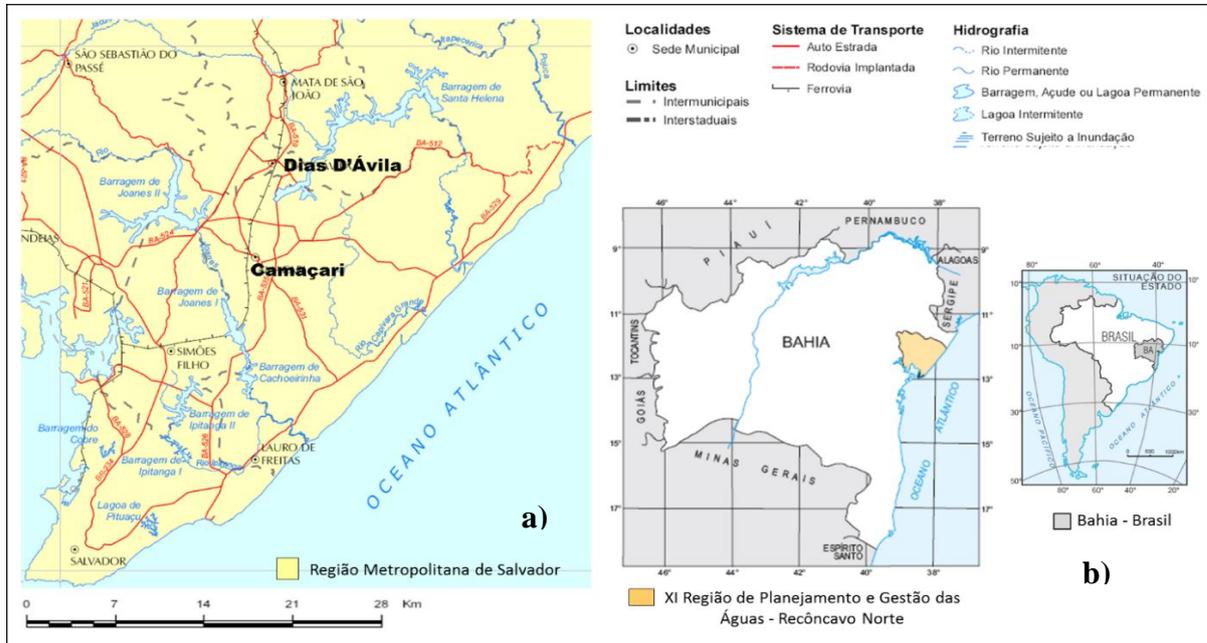
1.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área urbana e industrial que abrange a região de Camaçari, englobando o município de Dias D'Ávila foram o foco principal desse estudo a nível regional, e serviram de base para compreender como os aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos desses municípios interferem na análise da qualidade das águas subterrâneas na região.

O município de Camaçari, considerado Distrito, situa-se a 41 km de Salvador, localiza-se nas coordenadas $-12^{\circ}41'51''$ (Sul) e $38^{\circ}19'27''$ (Oeste), e, possui 784,66 km² de área total, abrangendo 24 subdistritos, cuja população corresponde a 242.970 habitantes (BAHIA, 2013). Já o município de Dias D'Ávila, com 184,2 Km² de área, localiza-se nas coordenadas $-12^{\circ}36'45''$ (Sul) e $38^{\circ}17'49''$ (Oeste), com população de 66.440 habitantes (BAHIA, 2013). Os dois municípios, além de comporem a Região Metropolitana de Salvador (RMS), integram a XI Região de Planejamento e Gestão das Águas do Recôncavo Norte (RPGA-RN), conforme estabelecido pelo Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado da Bahia – INEMA (Figura 1).

A área de ocupação desses municípios representa apenas 5,4% da área da RPGA-RN, que embora integrem 46 municípios, destes, 63% estão totalmente inseridos em sua área total, a exemplo de Camaçari e Dias D'Ávila, que representam alguns dos principais polos em ascensão da produção de serviços, indústrias, automotivas, gás e petróleo. Por isso, são áreas susceptíveis às alterações ambientais oriundas dos processos industriais.

Figura 1 - Inserção regional da área de estudo



Fonte: (a) Adaptado de BAHIA (2014) e (b) Adaptado de SEI (2013)

Em termos de área e população verifica-se que Camaçari, possui maior identidade do que Dias D'Ávila, e influencia na região no que diz respeito ao desenvolvimento social e econômico local, além de evidenciar risco de expansão desordenada nas áreas urbanas.

Dias D'Ávila é limitado ao leste pela Barragem de Santa Helena, na Bacia Hidrográfica do Rio Jacuípe e a oeste pelo Polo Industrial de Camaçari (PIC), o que interfere no processo de expansão para essas áreas, pois sofrem grande influência da potencial poluição atmosférica advinda do PIC. Ao contrário, do município de Camaçari, que possui maior extensão e sua delimitação é margeada por uma longa faixa litorânea, que incrementa o turismo na região, além dos limites com os municípios de Simões Filho e Candeias, que embora em menor escala, também integram o polo industrial, contribuindo para o crescimento socioeconômico da região (Figura 1). Lauro de Freitas se insere como o município responsável por agregar uma grande parcela da expansão imobiliária, inicialmente oriunda da necessidade de moradias da época da implantação do PIC, e atualmente atende à necessidade populacional

de se instalar em áreas litorâneas, periféricas a grandes centros urbanos, como Salvador e Camaçari.

Na área de estudo localizam-se importantes fontes de abastecimento de água para consumo humano que atendem a RMS - rios Jacuípe, rio Joanes e rio Ipitanga, os quais dão nome às duas principais Bacias Hidrográficas da região, além das fontes de abastecimento subterrâneo representadas pelos extensos aquíferos da formação geológica São Sebastião e Marizal, unidades de estudo dessa pesquisa.

O sistema aquífero composto pelas Formações São Sebastião-Marizal, formadas por rochas sedimentares, são responsáveis por propiciar a disponibilidade de água subterrânea na região em estudo. A instalação do PIC sobre esse aquífero, lhe garante uma exploração quase que ilimitada de água doce, através de poços subterrâneos, alimentados por elevados índices pluviométricos, que variam de 1100 a 2000 mm de chuva anual (SEI, 2013).

Obviamente que a instalação de um Polo Industrial sobre um aquífero regional com água potável, foi uma decisão equivocada dos gestores governamentais, por não prognosticarem o grave impacto que os processos químicos ali desenvolvidos pudessem ter sobre os recursos hídricos subterrâneos.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Avaliar a aplicação de um modelo de IQA, para afinar a qualidade das águas subterrâneas, em áreas com influência de percolados orgânicos, devido à presença de atividades industriais na Região de Camaçari, no estado da Bahia.

1.3.2 Objetivos específicos

- i. Elaborar uma análise comparativa de alguns dos IQAs existentes que possam ser utilizados para avaliação das águas subterrâneas;
- ii. Selecionar o IQA que se mostrar mais adequado à inserção de dados orgânicos que representem as características de áreas com ocupação urbana e industrial;
- iii. Aplicar análise estatística para tratamento e seleção de dados confiáveis com a finalidade de alimentar um Banco de Dados com as análises químicas de águas

- subterrâneas disponíveis nos sistemas de informações de órgãos públicos do estado da Bahia;
- iv. Avaliar as condições de qualidade da água, para verificar o cumprimento da legislação quanto à presença de substâncias orgânicas, oriundas de processos industriais;
 - v. Simular com o IQA escolhido, as condições de qualidade da água previamente identificada;
 - vi. Sugerir indicadores orgânicos químicos representativos das condições locais na, qualidade da água sob interferência de atividades industriais;
 - vii. Mostrar oportunidades que evidenciem a importância de se fortalecer um programa de monitoramento, no aquífero São Sebastião, a partir de recomendações para a melhoria do saneamento e saúde.

1.4 CONTEXTUALIZAÇÃO E APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

No estado da Bahia, verifica-se que os órgãos gestores de monitoramento dos recursos hídricos subterrâneos pouco se utilizam de indicadores de qualidade da água (IQAs). Essa ferramenta, em um panorama nacional, é demandada mais especificamente para avaliação das águas superficiais, englobando as bacias hidrográficas. No caso da Bahia, os resultados desse monitoramento são divulgados em relatórios emitidos pelo Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos-INEMA¹, o qual utiliza o IQA desenvolvido pela National Sanitation Foundation, mas que foi adaptado para o Brasil, pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Já para acompanhamento da qualidade das águas subterrâneas, o órgão ambiental do estado se utiliza de dados históricos de análise dos poços, os quais são armazenados e disponibilizados em Bancos de Dados da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM. O SIAGAS³ contempla uma maior quantidade de poços cadastrados para o estado (24.931), enquanto que o RIMAS⁴, somente 61 poços, sendo esse último com atendimento à região Oeste da Bahia. Entretanto, ainda não se identifica um Relatório no Estado, que disponibilize resultados de um monitoramento frequente e com os dados

¹ www.inema.gov.ba.br

³ Sistema de Informações de Águas Subterrâneas. <http://siagasweb.cprm.gov.br/>

⁴ Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas

apresentados de forma sintética e de fácil interpretação para que possam ser úteis aos diversos usuários da água.

Em contrapartida, a empresa concessionária dos serviços de abastecimento de água no estado, a Empresa Baiana de Águas e Saneamento (EMBASA), realiza o monitoramento dos poços tubulares que atendem a região de Camaçari, com vistas às exigências da Portaria de Potabilidade para vigilância e controle da água distribuída; além de dados existentes em acervos técnicos, elaborados por pesquisadores interessados no desenvolvimento da área de gestão de recursos hídricos subterrâneos, que apontam a necessidade da aplicação de IQAs e para a atualização e aumento de dados visando dar maior subsídio à tomada de decisão quanto ao uso prioritário da água.

Ao longo dos anos, muitos índices foram calculados para fins especiais. Um estudo de aplicação de IQA em águas subterrâneas, feito no Irã, considerando aquelas águas com poucos agentes nocivos à saúde, relacionou muitos autores que calcularam índices considerando condições particulares da região de estudo, ou seja, alterando pesos atribuídos a cada situação de risco de contaminação a ser avaliada (SAEEDI et al, 2010). Backman et al (1998), apresentaram uma evolução no IQA com um índice para avaliar e mapear o grau de contaminação das águas subterrâneas, sendo sua aplicabilidade testada no sudoeste da Finlândia, com aquíferos em maior variedade e na Eslováquia Central, em área de aquífero sedimentar. Os resultados apontaram para interferências de caráter regional, nas duas áreas, evidenciando que o importante é o monitoramento das fontes de contaminação. Verificaram que o índice proposto, além do mapeamento de contaminação das águas subterrâneas, também pode ser aplicado em outras matrizes do ambiente: em águas superficiais, sedimentos e solos.

Com vistas a atender as várias utilizações da água, o governo francês, através da Agência de Água e do Ministério da Ecologia e Desenvolvimento Sustentável, criou um IQA, que hoje é considerado ferramenta de referência nacional, pois possibilita definir a adequação da água para atender usos prioritários (FRANÇA, 2002).

No Canadá, um novo índice de qualidade da água, foi desenvolvido em 2001, o IQA-CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment). O modelo canadense agregou três fatores de análise: alcance, frequência e amplitude, para serem considerados em comparações com o número de análises realizadas e desvios dos padrões de referência (CCME, 2001).

No Brasil, foram identificados pelo menos 3 IQAs adaptados para avaliação da água subterrânea: Índice de Qualidade Natural de Água Subterrânea – IQNAS (OLIVEIRA, NEGRÃO, SILVA, 2006, 2007), Índice de Qualidade da Água Subterrânea – IQAS (OLIVEIRA, NEGRÃO, ROCHA, 2004) e Índice de Qualidade de Uso da Água Subterrânea - e-IQUAS (ALMEIDA, 2012). São índices criados com finalidade específica: análise de água bruta com fins de definição de usos múltiplos, principalmente para atender demandas humanas.

Em Portugal, para avaliar interferências das atividades agrícolas nos aquíferos, foram criados índices que dão como resultado uma análise conjunta da contaminação por agrotóxicos e fertilizantes e do risco de contaminação na potabilidade da água. O estudo de caso para aplicabilidade dos índices desenvolveu-se em 2005, em duas regiões específicas no sul do País (STIGTER, RIBEIRO & CARVALHO, 2006). Percebeu-se de uma maneira geral que a qualidade das águas na região é muito baixa e sem condições para consumo humano.

Na Índia, para avaliação da influência das atividades naturais e antrópicas nas águas subterrâneas, foi desenvolvido um IQA com base em vários parâmetros considerados prioritários na análise química das águas (KUMAR et al, 2014). A aplicação em amostras de água e solo de uma bacia hidrográfica, demonstrou a importância de se monitorar regularmente a qualidade das águas subterrâneas utilizando ferramentas como o IQA, que é eficaz para as mudanças espaciais e temporais na qualidade da água e do solo.

A base da maioria desses modelos é o IQA desenvolvido por Brown et al (1970), e melhorado por Deininger (1975) (SAEEDI et al, 2010), criado pela National Sanitation Foundation – NSF (LUMB et al, 2011) e o mais utilizado pela maioria dos países. Alguns modelos fizeram adaptações para as características de seu local de aplicação.

Portanto, verifica-se que os IQAs foram criados para atender situações específicas de cada região em algumas partes do mundo, e podem ser utilizados para avaliação de águas subterrâneas, desde que se identifique preliminarmente as especificidades do ambiente, levando em consideração as condições da qualidade do recurso hídrico, as interferências naturais e antrópicas, o número e os tipos de parâmetros utilizados, normas de referência (padrões nacionais e internacionais), usos preponderantes da água e objetivos de aplicação.

Em vista desse contexto, essa pesquisa procurou responder o seguinte questionamento:

Como evidenciar o potencial de contaminação antrópica em águas subterrâneas, oriundo de processos industriais, com uso de análise do comportamento hidrogeoquímico do aquífero, associado à um modelo de qualidade da água (IQA) e que contemple situações peculiares da região estudada?

Logo, partiu-se da premissa da existência de concentrações de poluentes e contaminantes orgânicos nas águas subterrâneas, na área industrial da região do município de Camaçari e na área de influência urbana.

1.5 JUSTIFICATIVA

Atualmente existem esforços no sentido de se criar índices em diversas regiões do planeta, a maioria com fins mais regionais. Em se tratando de águas subterrâneas, que possuem características hidroquímicas e hidrogeológicas peculiares, em função do tipo de aquífero, torna-se relevante a criação de índices específicos.

Além de ser uma importante ferramenta de apoio à gestão de recursos hídricos para regiões sob interferências de atividades urbanas e indústrias, como é o caso dos municípios de Camaçari e Dias D'Ávila, esse IQA, pode sinalizar áreas de riscos de contaminação ambiental devido à presença de concentrações de substâncias orgânicas, o que favorece mais ainda sua aplicação como apoio à tomada de decisão para os usos da água.

A preocupação em criar programas de monitoramento para essas áreas foi crescente, principalmente após a promulgação da Política Nacional de Meio Ambiente (Lei 6.938/1981) (BRASIL, 1981), que além de estabelecer o zoneamento de áreas, que contribui para a proteção dos recursos hídricos, também criou instrumentos para penalizar àqueles (pessoa física ou jurídica), que, de alguma forma, danificassem o meio ambiente gerando prejuízos ao ecossistema e à saúde humana. Em meados da década de 90, houve a reação da indústria química, que passou a atuar de forma mais responsável, uma vez que era, e é, a grande vilã de significativos impactos ambientais, despejando resíduos tóxicos no meio ambiente, muitos dos quais persistentes, de difícil degradação, e portanto também incorporados aos corpos d'água subterrâneos.

A partir dos programas de monitoramento, a maioria desenvolvido pelas próprias empresas poluentes, é que se evidenciaram os níveis de concentração das substâncias químicas presentes no ambiente.

Na área de estudo, as atividades industriais estão mais concentradas nos municípios de Camaçari e Dias D'Ávila, principalmente com a instalação do Polo Industrial de Camaçari (desde 1978), cujos produtos são derivados de petróleo, principalmente a nafta, e os transforma em petroquímicos básicos (eteno, propeno, benzeno, tolueno, butadieno, xilenos, solventes e outros). Todos considerados de risco ambiental alto e pode-se verificar no banco de dados de resultados analíticos disponibilizados pelo órgão ambiental do estado que essas substâncias, a maioria solventes e clorados, estão presentes em águas subterrâneas profundas, com algumas chegando a concentrações até 6.500 vezes mais que o padrão de referência das normas de potabilidade para essas águas (Apêndice B).

O acompanhamento do comportamento desses poluentes na água, é realizado pela empresa de proteção ambiental de Camaçari, com implantação de tecnologias avançadas, juntamente com a vigilância constante à empresa emissora do despejo, de forma que a mesma procure se adequar aos padrões normativos, dentro de um determinado prazo. O intuito é realizar um controle para evitar que esses poluentes se propaguem e interfiram nos usos prioritários da água nessa região, uma vez que mais de 90% da água para abastecimento urbano é oriunda do aquífero São Sebastião, através da exploração de poços tubulares. Esses poços são utilizados tanto para atender a rede convencional de abastecimento da área urbana como nas áreas adjacentes à sede municipal área rural, constando ainda de uma exploração direta de poços rasos para atender sistemas alternativos de abastecimento na área rural.

1.6 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa teve caráter quantitativo, qualitativo e exploratório. A pesquisa exploratória, buscou levantar informações sobre os resultados das análises dos compostos químicos orgânicos. O levantamento das informações abrangeu pesquisas técnico-científicas em artigos, livros, periódicos e relatórios, além das consultas nas legislações ambientais e de recursos hídricos pertinentes. A pesquisa envolveu obtenção de dados secundários, e, bem representativos da área de estudo. Em vista disso, essa pesquisa teve três etapas distintas: i) levantamento documental, ii) identificação e seleção de dados e iii) compilação, aplicação e análise de dados.

1.6.1 Levantamento documental

- i. Identificação de documentos existentes sobre o processo de ocupação industrial na área de estudo, que possibilitaram conhecer as ações atuais sobre a gestão dos resíduos gerados, em termos de tratamento, destino final ou outra alternativa. Foram obtidos de: relatórios técnicos, artigos de periódicos, teses, dissertações e notícias e textos on-line publicados em sites de referência;
- ii. Busca de acervo técnico geológico e hidrogeológico, do aquífero São Sebastião, mostrando a direção de fluxo da água, potencialidade e disponibilidade da água, interferências naturais e antrópicas na sua qualidade;
- iii. Identificação de plantas topográficas, fotos aéreas, ortofotos (aerofotogrametria) e mapas temáticos que auxiliaram na identificação da drenagem natural e aquíferos, e deram suporte ao georreferenciamento da localização dos poços tubulares;
- iv. Levantamento dos estudos de IQAs existentes, aplicados na área de estudo e em outras regiões, constando de sua aplicabilidade, comparações e análise de viabilidade do índice, em periódicos relevantes;
- v. Identificação das referências normativas de qualidade das águas subterrâneas, constando de parâmetros e respectivos padrões, de abrangência nacional e que contemplaram o maior número de variáveis a serem estudadas. As principais normas utilizadas foram a Resolução CONAMA n° 396, de 2008 e a Portaria de Potabilidade (PRC) n° 05, de 2017, do Ministério da Saúde;
- vi. Levantamento dos resultados de análises de água subterrânea de compostos orgânicos químicos, com foco nos voláteis os quais foram identificados no órgão gestor de monitoramento dos recursos hídricos no Estado - Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA) e na Empresa Baiana de Águas e Saneamento (EMBASA).

1.6.2 Identificação e seleção de dados

- i. Identificação dos poços tubulares em operação, instalados na área de influência do estudo, com respectivas características: dados gerais, geológicos, hidrogeológicos

e análises químicas;

- a) Os poços da área industrial, foram identificados nos relatórios de monitoramento dos recursos hídricos subterrâneos, disponibilizados pelo INEMA e elaborados pela empresa “Central de Tratamentos de Efluentes Líquidos” (CETREL), que atua no monitoramento dos poços da região de Camaçari desde 1993;
 - b) Os resultados das análises dos compostos orgânicos foram disponibilizados dos poços monitoradas, distribuídos em poços rasos e profundos; foram 110 poços tubulares com análise de voláteis e semi-voláteis; cabe mencionar que não foram disponibilizados, nem as fichas dos poços e nem as coordenadas para localização exata desses poços na área industrial; entretanto conseguiu-se identificar a posição desses poços nos relatórios de monitoramento; a análise litológica foi possível, com a identificação de outros estudos na área do PIC, que destacaram o comportamento da água nas Formações Marizal e São Sebastião; os principais estudos utilizados foram realizados por: Oliveira & Santos (2010), Cruz Junior (2012), Ribeiro (2013), Sedur (2015), Santos (2016) e Roedel (2017);
- ii. Busca no banco de dados do SIAGAS: foram identificados 250 poços tubulares cadastrados, que atendem a bacia do Recôncavo, entretanto esse banco de dados não disponibiliza dados de compostos orgânicos;
 - a) A Companhia de Engenharia Hídrica e de Saneamento do Estado da Bahia (CERB), colocou as fichas dos poços à disposição (Anexo A), desde que houvesse registro dessas, pois o órgão não tinha posse dos dados de poços, cuja instalação fosse de responsabilidade de empresa privada;
 - iii. Os dados dos poços tubulares na área urbana foram disponibilizados pela EMBASA; os dados, abrangeram os poços tubulares que atendem os sistemas de abastecimento dos municípios de Camaçari e Dias D’Ávilas, acompanhadas das 1568 determinações dos compostos orgânicos e das fichas de campo dos poços.

1.6.3 Compilação, aplicação e análise de dados

- i. Organização de banco de dados com informações dos poços tubulares identificados, com resultados de análises de água dos compostos orgânicos; o método utilizado (IQA)) pode ser aplicado porque contemplaram pelo menos 4 a 7 campanhas de campo, 41 pontos de amostragens (poços tubulares) e 15 parâmetros de análise, envolvendo 2.272 análises;
- ii. Para análise de consistência aplicada à todos os resultados das análises, adotou-se o método de tratamento estatístico do pacote NADA (*Nondetects And Data Analysis*), por dar resposta mais representativa para dados analíticos abaixo do limite de detecção (LD), chamados nesse método de “dados censurados”, conforme se observou na predominância dos resultados dos compostos orgânicos;
 - a) Antes da identificação do NADA, se testou os dados no estatístico ANOVA, mas a comparação obtida não se mostrou confiável, para dados abaixo do LD;
 - b) Os LD's adotados pelo laboratório da EMBASA, foram maiores que os LD's adotados pelo laboratório da CETREL; mas, ambos utilizam LD baixo, atendendo o estabelecido pelas normas de referência, que orientam sobre o valor mínimo a ser adotado pelos laboratórios, no caso de substâncias não detectáveis, em função do método analítico;
 - c) O NADA foi rodado no ambiente R, compatível com o ambiente Windows, cujo pacote básico é disponibilizado no site <http://www.r-project.org/>; toda orientação de instalação e inserção dos dados são informados nesse site; cabe destacar que a linguagem R é largamente usada entre estatísticos e analistas de dados para desenvolver software de estatística;
 - d) A partir da revisão de Christofaro & Leão (2014) foram adotados 5 métodos para rodar no NADA: substituição (adota-se LD ou o LD/2), estimativa (Estimador de Máxima Verossimilhança (EMV), robusto ou de atribuição (ROB) e método Kaplan-Meier ou não paramétrico (KM);
 - e) A preparação dos dados de entrada envolveu: identificação das análises dos poços que apresentaram concentrações abaixo do limite de detecção (LD), nº de análises, percentual de dados censurados (%), organização dos dados em

- colunas, identificando-os como “TRUE” (valor censurado) e “FALSE” (valor não censurado);
- f) Os dados, inicialmente organizados em planilhas de excel, foram gravados em arquivos no formato “txt” e os resultados emitidos em arquivos “txt”, e salvos no formato “pdf”.
 - g) Um modelo da entrada de dados e respectiva visualização dos resultados dos métodos é apresentado no Apêndice A; a análise da aplicação do método e respectivos resultados está detalhada no capítulo de resultados.
- iii. Análise qualitativa e comparativa dos IQAs estudados, que permitiu a escolha de modelos que indicaram melhor adequação às condições da região estudada e respectiva disponibilidade de dados; foram estudados 8 tipos de modelos, dos quais 4 foram identificados para a área de estudo;
- h) O modelo escolhido (IQA-CCME) foi relevante, pois além de ser mais flexível do que alguns dos outros modelos estudados, otimizando a entrada de dados, apresentou uma particularidade importante no final da simulação, que se refere a adoção de faixa de qualidade (nota atribuída ao resultado), que se mostrou mais restritiva para águas consideradas de regular a ótima;
- iv. Avaliação das condições de qualidade da água dos poços tubulares, rasos e profundos, com utilização das normas de referência, para verificar a presença ou ausência de substâncias orgânicas, oriundas de processos indústrias;
- a) Foram utilizados os dados consistidos, totalizando 2.272 determinações de compostos orgânicos, os quais foram organizados em planilhas do excel, analisados quanto ao atendimento ao valor máximo permitido para os usos de abastecimento humano, e os resultados apresentados em gráficos, gerados no power point;
 - b) Os resultados foram separados em função da área de instalação dos poços (urbana ou industrial) e em função da profundidade dos poços (8 a 60m e de 100 a 400m);
 - c) Os dados consistidos e organizados por concentrações mínimas, médias e máximas detectadas, se encontram no Apêndice B.

- v. Aplicação do modelo selecionado, para comprovação dos resultados obtidos da avaliação realizada para cada composto detectado na área de estudo;
 - a) Com utilização dos compostos orgânicos identificados e respectivos padrões de referências, simulados nas áreas com poços tubulares profundos (100 a 400m);
 - b) Os dados foram simulados por área, sendo para área urbana selecionados 16 poços tubulares (PU), 7 campanhas (2009, 2010, 2011, 2013, 2014, 2015, 2016) e 14 compostos; para área industrial foram selecionados 18 poços tubulares (PI), 4 campanhas (2013.1, 2013.2, 2014.1, 2014.2) e 10 compostos;

- vi. Georreferenciamento para elaboração do mapa de localização dos poços tubulares;
 - a) Com utilização das coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator) dos poços, poligonal dos municípios baianos extraída do mapa da Superintendência de Estudos Socioeconômicos (SEI), de 2015, rede de drenagem natural (Hidrografia) extraída de INEMA, de 2010 e, estradas e ferrovias extraídos de Secretaria de Recursos Hídricos (SRH), de 2003;

- vii. Sugestão de parâmetros orgânicos específicos que possam servir de indicadores da qualidade da água em regiões sob interferência industrial;
 - a) Foi realizado a partir da compilação dos resultados, que permitiu uma analogia entre os compostos orgânicos que foram considerados contaminantes representativos para o aquífero São Sebastião, ou seja, compostos que tiveram concentrações detectadas nos poços tubulares profundos;
 - b) Os contaminantes representativos foram agrupados em função do seu comportamento no ambiente aquático local;
 - c) Foi elaborado um Quadro, dando destaque aos contaminantes e aos critérios utilizados na analogia;

- viii. Análise complementar dos prováveis riscos devido à redução ou aumento das concentrações dos contaminantes presentes na área de estudo;
 - a) Foi realizada uma analogia entre os compostos representativos para a área

estudada e os riscos de agravos à saúde da população, devido à ingestão desses possíveis contaminantes, utilizando-se de referências que sinalizam seus efeitos tóxicos;

- b) Foi elaborada uma síntese, evidenciando a importância do conhecimento da região e do comportamento dos contaminantes, para dar subsídio aos programas de monitoramento de água subterrânea e ao órgão de saúde pública local.

CAPÍTULO 2 – CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E SÓCIOECONÔMICA

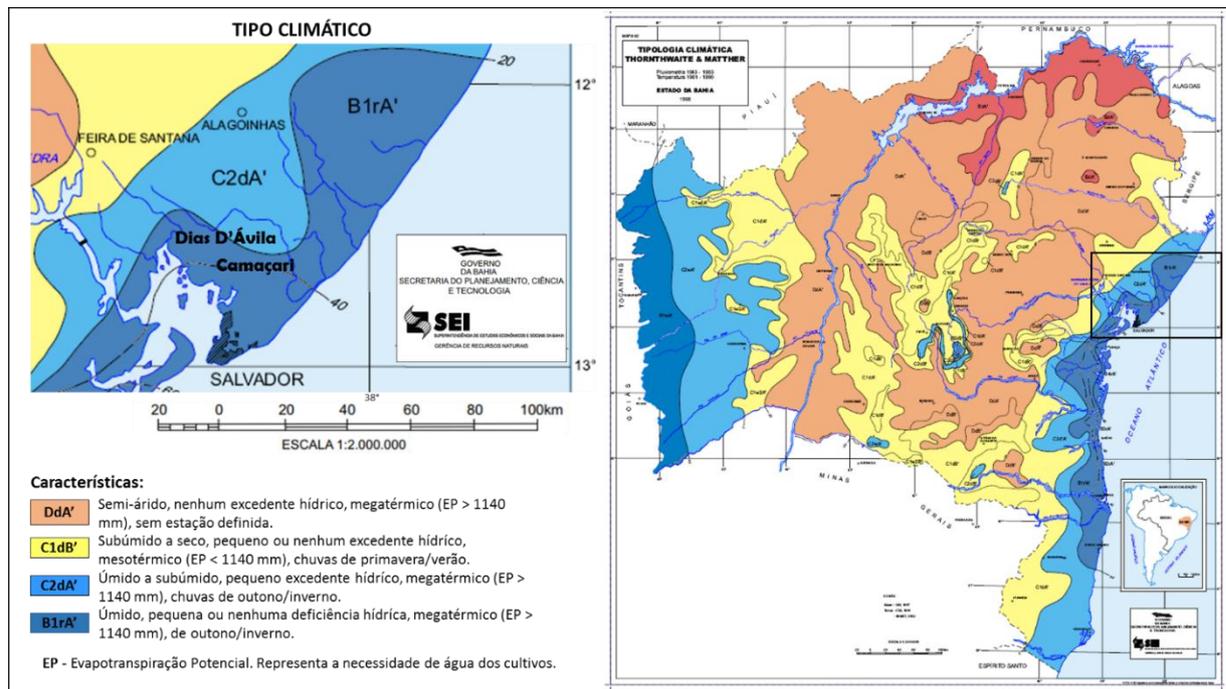
2.1 ASPECTOS HIDROCLIMÁTICOS

As características hidroclimáticas são relevantes para o conhecimento e interpretação dos processos naturais que se desenvolvem em uma bacia hidrográfica, uma vez que possuem forte impacto sobre a vida humana. Fatores como clima, temperatura, precipitações e hidrografia, representam os componentes não vivos de um ecossistema, mas que interferem diretamente na preservação de um ciclo hidrológico. Na região de estudo essas características são bem definidas, com tipologias climáticas variando de clima seco à clima úmido.

A Região de Planejamento e Gestão das Águas do Recôncavo Norte (RPGA-RN), abrangem as bacias hidrográficas dos Rios Imbassaí, Pojuca, Jacuípe, Joanes, Ipitanga, Subaé e Açu, pertencentes à região do Recôncavo Norte, e a bacia hidrográfica do Rio Inhambupe (BAHIA, 2017). O presente estudo abrange as bacias do rio Jacuípe, Joanes e Ipitanga, sendo que os municípios de Camaçari e Dias D'Ávila estão sob predominância climática que varia de ambiente úmido à subúmido, uma vez que são regiões bem próximas ao litoral (Figura 2).

De acordo com Bahia (2017), o clima úmido predomina em 37% da área da RPGA-RN, situada próxima ao litoral, seguido de uma estreita faixa do clima úmido a Subúmido e do clima Subúmido a Seco, que se estende até o limite oeste da RPGA. Na parte superior da bacia do Rio Inhambupe ocorre o clima semi-árido.

Figura 2 - Tipologia climática na área de estudo



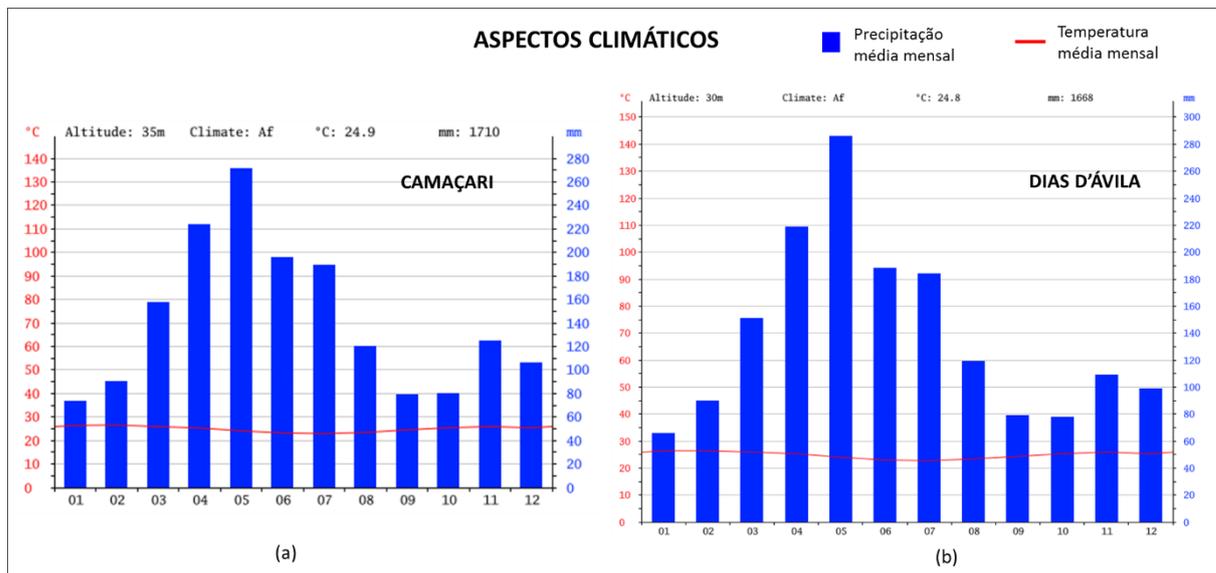
Fonte: Adaptado de SEI (1998)

Na área de Camaçari o clima é classificado como B1rA', que segundo Thornthwaite & Mather, predomina o tipo úmido, apresentando pequena ou nenhuma deficiência hídrica e alta necessidade de água nos cultivos (Figura 2). Na região a temperatura média é de 24,9°C, sendo que os meses mais quentes do ano vão de outubro à fevereiro, com uma temperatura média variando de 26 a 27°C e os meses com clima mais frio, vão de março à setembro, tendo o mês de julho com a menor temperatura média ao longo do ano, representada por 22,9 °C (Figura 3).

Já na análise do clima na região de Dias D'Ávila, o método de Thornthwaite & Mather, classifica como C2dA', que significa uma variação de úmido a subúmido, com pequeno excedente hídrico e alta necessidade de água nos cultivos (Figura 2). A temperatura média é 24,8 °C, sendo que o período mais quente, assim como Camaçari, vai de outubro à fevereiro, com uma temperatura média variando de 26 a 27°C, sendo o mês de janeiro o mais quente do ano, com 26,4 °C e o mês de julho o mais frio, 22,7°C (Figura 3).

O período de chuvas nas regiões de Camaçari e Dias D'Ávila é representado pelos meses de março a agosto, com variação de 120 a 287 mm, e média mensal de 271 mm e 286 mm, respectivamente, ambas no mês de maio e precipitação média anual variando de 1.668 a 1.710 mm (Figura 3). Verifica-se que ao longo do ano, ocorrem precipitações significativas em Camaçari (Figura 3a), inclusive no mês mais seco, que é janeiro, com chuva média mensal de 73 mm, sendo que a maioria da precipitação incide em maio, com uma média de 271 mm (CLIMATE, 2017). Dias D'Ávila tem ocorrências de precipitações com o mesmo comportamento de Camaçari, conforme observa-se na Figura 3b, com maior precipitação em maio, com uma média mensal de 286 mm.

Figura 3 - (a) Precipitações e temperaturas na área de Camaçari; (b) Precipitações e temperaturas na área de Dias D'Ávila



Fonte: CLIMATE (2017)

Essas características hidroclimáticas possuem grande interferência na preservação e manutenção da drenagem natural na região, caracterizada principalmente por rios e riachos, e fornecem informações importantes quanto à análise de interferência das precipitações na recarga do aquífero São Sebastião, quando oriunda de infiltrações da rede de drenagem natural (SANTOS & OLIVEIRA, 2013).

A drenagem de Camaçari é composta por 03 (três) bacias cujos Rios principais são: rio Joanes, rio Jacuípe, rio Capivara, rio Camaçari e rio Pojuca. O rio Joanes atravessa a área

de sete municípios, nos quais cinco da Região Metropolitana de Salvador (RMS), perfazendo 60km de extensão e juntamente com seus contribuintes (Sucuri, Jenipapo, Muriqueira, entre outros) é responsável por importantes fontes de abastecimento que atendem à Região – às barragens Joanes I e Joanes II, sendo que uma grande parte do seu curso faz proximidade com a ocupação industrial da região de Camaçari (SICM, 2013). O rio Jacuípe e seus afluentes formam o lago da barragem de Santa Helena, localizada no município de Dias D'Ávila, e atende o abastecimento de empresas do Polo Industrial de Camaçari. Em épocas de seca, quando ocorre o rebaixamento do nível d'água, faz-se necessário a contribuição de volume de água da barragem do Joanes II, para aumentar a vazão na Barragem. Um dos principais afluentes do rio Jacuípe é o Imbassaí.

Os rios Jacuípe e Pojuca, possuem nascentes localizadas fora da RMS. O rio Pojuca representa o maior potencial de águas de superfícies da RMS, com maior extensão e área de drenagem dentre as bacias hidrográficas inseridas na região do Recôncavo Norte e suas águas são utilizadas predominantemente para abastecimento urbano e industrial (PAIXÃO, ALMEIDA & ROSA, 2013). O rio Jacuípe situa-se na bacia sedimentar do Recôncavo Baiano, tendo como limite sul a bacia do rio Joanes e norte a bacia do rio Pojuca. A bacia hidrográfica do rio Jacuípe assume crescente relevância por sua utilização para abastecimento de água de Salvador e Polo Industrial de Camaçari, tendo suas águas represadas para captação na barragem Santa Helena, principal regularizador de águas na região (NEVES, 2010).

Esse sistema de drenagem natural, representados pelos seus rios principais Joanes e Jacuípe, possui em torno de 90% da área de captação sobre os arenitos da Formação São Sebastião (SICM, 2013).

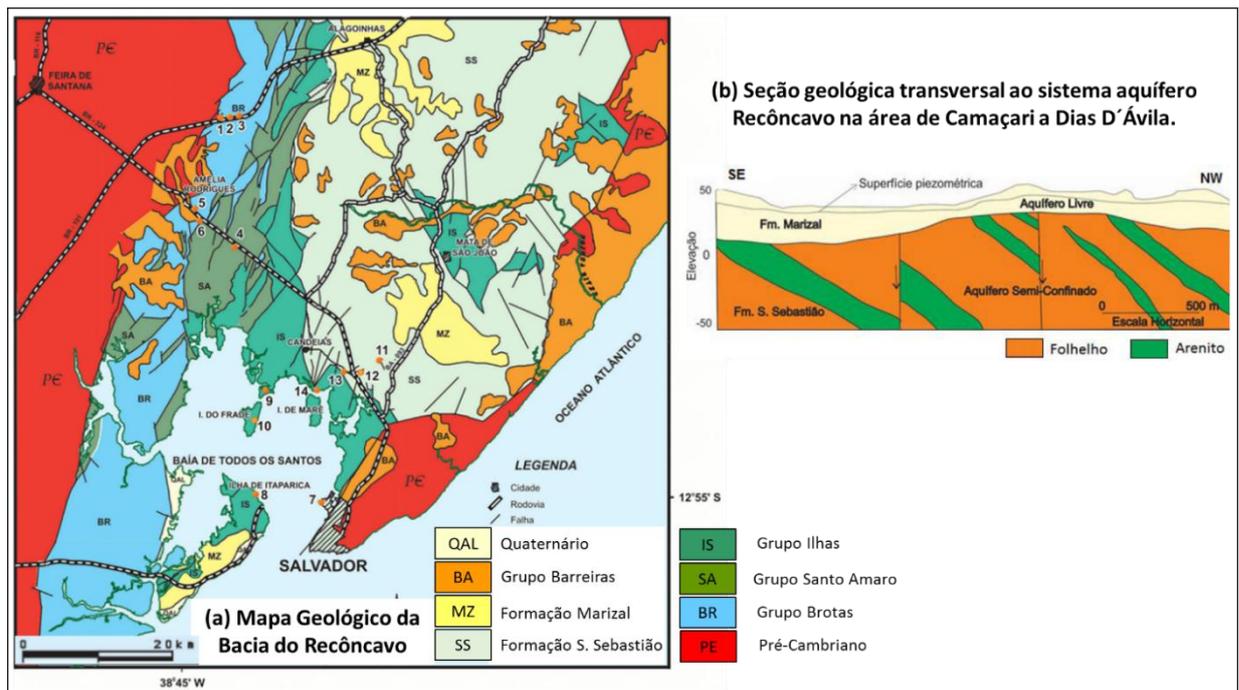
Cabe ressaltar que a disponibilidade hídrica representada por essas bacias hidrográficas e pela presença de extensos aquíferos da formação São Sebastião e Marizal foi um dos principais motivos locais para instalação do PIC. Os aquíferos apresentam águas com características mais nobres, com baixa salinidade, pouco mineralizada, e sendo inclusive utilizada por indústrias de bebidas instaladas na região (SICM, 2013).

2.2 ASPECTOS GEOLÓGICOS E HIDROGEOLÓGICOS

2.2.1 Aspectos geológicos

A área de estudo está inserida nos domínios da Bacia Sedimentar do Recôncavo e integra o sistema “rift-valey”⁵. Na Figura 4a, os aspectos geológicos predominantes evidenciam a formação de sedimentos continentais flúvio-lacustre, os quais apresentam grande variação faciológica, definida pelas Formações Aliança e Sergi (Grupo Brotas), Candeias e Itaparica (Grupo Santo Amaro), Grupo Ilhas (Indiviso, Formação Pojuca e Formação Marfim) e Formação São Sebastião (SANTOS & OLIVEIRA, 2013).

Figura 4 - Aspecto geológico da Bacia do Recôncavo, com destaque para a Região de Camaçari-Ba



Fonte: (a) Adaptado de Magnavita et al (2005); (b) Sedur (2015b)

⁵ Rift Valley: fenômeno geológico que ocorreu há milhões de anos atrás, quando as placas tectônicas da África e da Arábia no continente asiático, afastaram-se uma da outra formando uma grande falha geológica.
Fonte: <http://www.drm.rj.gov.br/index.php/areas-de-atuacao/44-pedagogico/100-pedagogicoteoria>

Essas fácies ocorrem de forma crescente, com origem de implantação sobre rochas pré-cambrianas. Conforme Cruz Junior (2012), sobre a Formação São Sebastião os depósitos sedimentares são da Formação Marizal e Formação Barreiras, recortados por falhamentos de direções, predominantemente, NNE-SSW a NW-SE (Figura 4a).

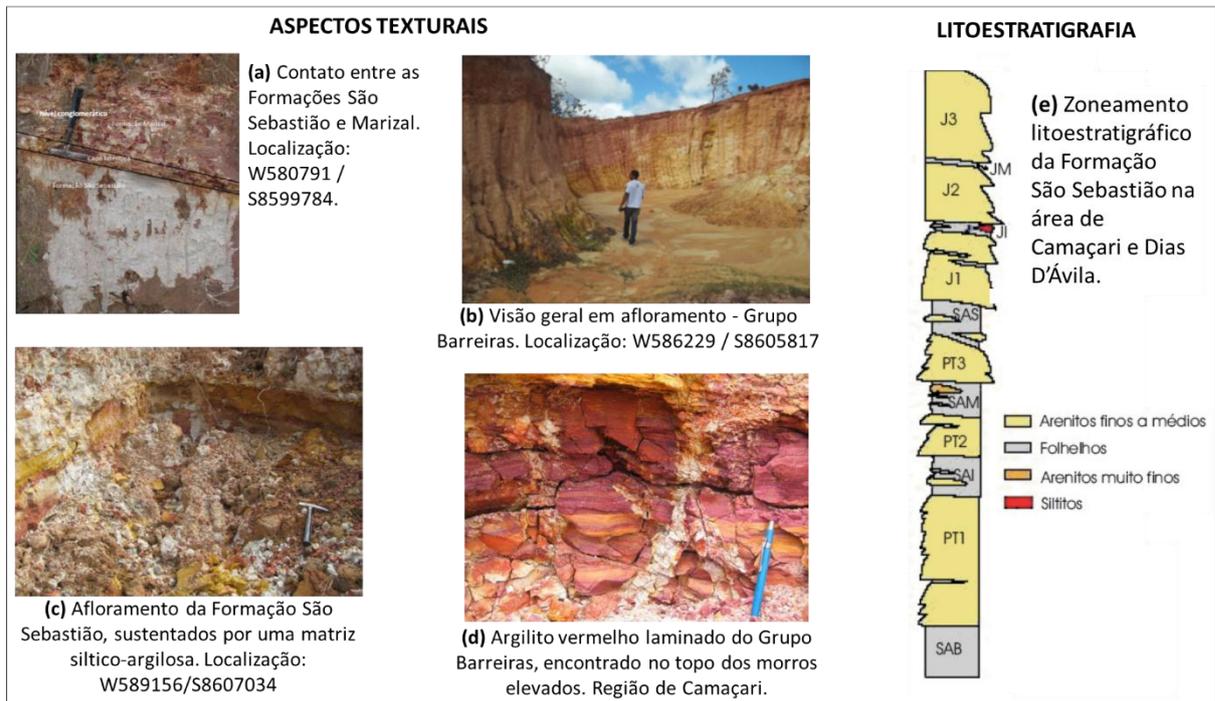
As rochas presentes na Bacia Sedimentar do Recôncavo possuem texturas que variam de folhelhos, siltitos, argilitos, arenitos, calcários e conglomerados (FREITAS et al, 2002 apud SICM, 2013). Na Figura 4b, as camadas estão representadas por descontinuidades entre folhelhos em laranja e arenitos em verde, expressando um padrão de semiconfinamento (SEDUR, 2015b).

Segundo Cruz Junior (2012), a Formação São Sebastião se caracteriza na região de Camaçari por arenitos bem estratificados, algumas vezes maciços, de coloração branca a amarelada e grãos que, de maneira geral, se apresentam subarredondados, de fração média a grossa, às vezes com alguns níveis cascalhosos, sustentados por uma matriz siltico-argilosa (Figura 5c). O contato dessa Formação com a Formação Marizal (Figura 5a), se dá através de uma superfície irregular cuja rocha apresenta uma composição rica em ferro e alumínio, constituído na presença de águas ácidas e grande flutuação do lençol freático (SEDUR, 2015b).

Os sedimentos da Formação Marizal, possuem espessura média de 30 metros na região de Camaçari, sendo caracterizada por um conglomerado basal e por arenitos variegados, argilitos e siltitos com espessura menor que 50 m na Bacia do Recôncavo (SANTOS & OLIVEIRA, 2013).

Sobre a Formação Marizal foram depositados os sedimentos clásticos do Grupo Barreiras e os sedimentos aluvionares, de pântanos e mangues, fluvio-lagunares, de dunas, litorâneos holocênicos, litorâneos pleistocênicos, de leques aluviais coalescentes, detríticos lateríticos e sedimentos da Formação Sabiá, composta de folhelho com intercalações de arenito puro, calcário e arenito marinho (SEDUR, 2015b). Os afloramentos do Grupo Barreiras aparecem nas partes mais elevadas e são compostas por níveis arenosos finos a argilosos de cores avermelhadas, alternando para laranja, amarelo e branco (Figura 5b e Figura 5d) (CRUZ JUNIOR, 2012).

Figura 5 - Visualização da estratigrafia e dos aspectos texturais das Formações São Sebastião e Marizal



Fonte: (a), (b) e (c) Cruz Junior (2012); (d) Fonseca (2004, apud SEDUR, 2015b); (e) Cavalcanti (2006, apud SEDUR, 2015b)

Na Figura 5e tem-se uma visualização dos aspectos texturais nas imagens (a), (b), (c) e (d), que podem ser evidenciadas a partir da associação com o zoneamento litoestratigráfico da imagem (e), na qual se evidencia a Formação São Sebastião com sua respectiva nomenclatura, variando de arenitos finos a médios (PT1, PT2, PT3, J1, J2 e J3), os folhelhos (SAB, SAI, SAM e SAS), e os arenitos muito finos e os siltitos; Esse zoneamento destacam as principais características físicas e litológicas dessa Formação, especificamente na região mais superior, denominada Membro Rio Joanes, representada por cinco dessas fácies (J3, JM, J2, J1 e SAS), de coloração que varia de arenitos cinzas, rosas e alaranjados (CAVALCANTI, 2006 apud SEDUR, 2015b).

A predominância de arenitos, intercalados com níveis de folhelho na parte superior da Formação São Sebastião, tem uma espessura média entre 100 e 400 metros, inclusive com ocorrência somente de folhelhos, que pode se constituir, localmente, em um expressivo aquífero confinado (CAVALCANTI, 2006 apud CRUZ JUNIOR, 2012).

Cabe ressaltar que no sistema aquífero São Sebastião, suas espessuras chegam a atingir 3.000 metros (COSTA, 1994 apud RIBEIRO, 2013), apresentam elevado potencial

hidrogeológico e podem apresentar água doce até 1000 m de profundidade (LEITE, 1964 apud RIBEIRO, 2013).

2.2.2 Aspectos hidrogeológicos

A área de estudo é representada pelos aquíferos São Sebastião, Marizal e Barreiras, sendo o primeiro, considerado um dos mais importantes no estado da Bahia, por seu grande volume, qualidade hidroquímica e importância econômica.

Os sistemas aquíferos encontrados na Bacia Sedimentar do Recôncavo Norte são formados por uma porção livre e outra confinada. As unidades semiconfinadas encontram-se nas porções de arenitos contidos na parte inferior da formação São Sebastião, podendo chegar em torno de 1.500 metros de profundidade, e estima-se um volume de água doce explorável na ordem de 5×10^8 m³/ano, com vocação natural para o abastecimento humano e industrial (LIMA, 2003 apud SEDUR, 2015b). Atualmente esses aquíferos atendem 42,5% das demandas das empresas do PIC (SEDUR, 2015c).

As características estruturais da bacia do recôncavo, após todo o processo de justaposição ao longo da sua formação, apresentam predominantemente níveis arenosos e argilosos, o que deflagrou na formação dos padrões de confinamento (SEDUR, 2015b).

Lima (1991, apud Sedur, 2015b), descrevem que:

A porção livre é representada pelas coberturas das Formações Marizal e Barreiras que tem espessuras reduzidas e estão relacionadas aos altos topográficos da região. A porção confinada situa-se no Membro Passagem dos Teixeira da Formação São Sebastião que está recoberto por uma espessa camada de argila, da Sequência Argilosa Superior (LIMA, 1991 apud SEDUR, 2015b).

Do ponto de vista hidráulico o aquífero Marizal é freático, maior porosidade, devido à predominância de arenitos, principalmente na região de Camaçari, e, verifica-se que também é um meio que apresenta heterogeneidade, o que caracteriza camadas de semi-confinamento, na presença de níveis menos permeáveis (argilitos e folhelhos), além de ocorrência de aquíferos suspensos, e que representa grandes diferenças de um poço para o outro, ainda que possuam curtas distâncias entre eles (SANTOS & OLIVEIRA, 2013).

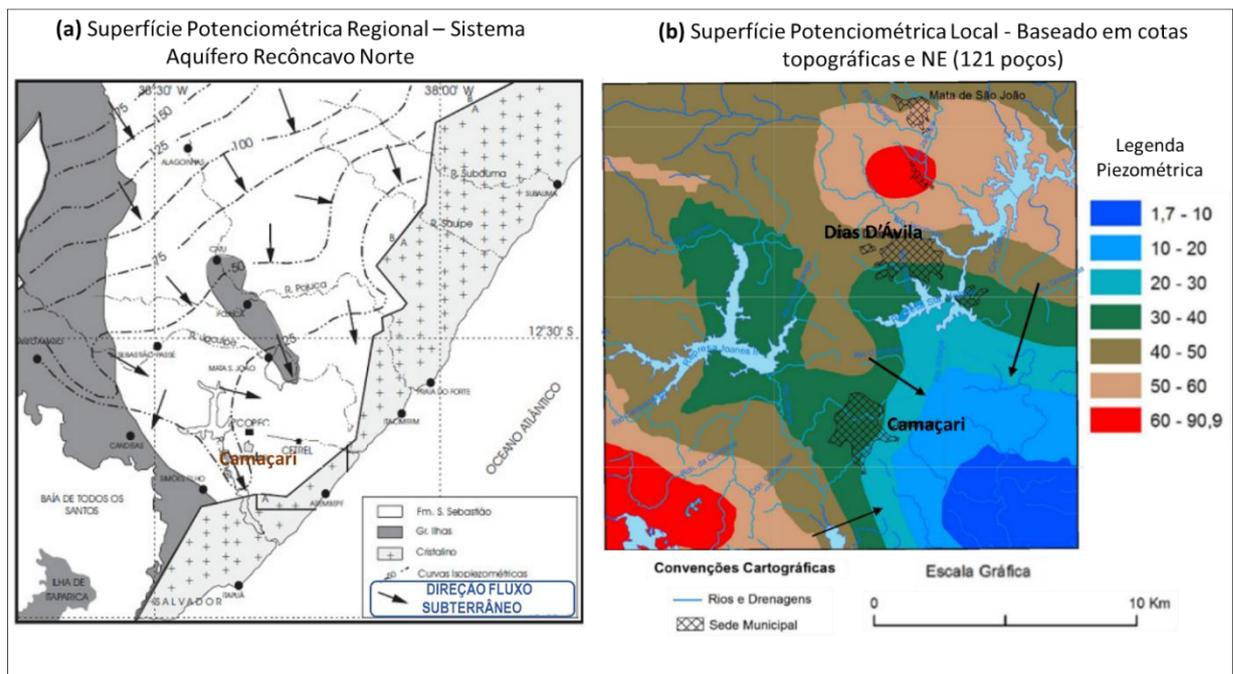
Os estudos isotópicos realizados na região de estudo, indicam que a infiltração é a principal fonte de recarga das águas subterrâneas, sendo as áreas de recarga situadas junto aos

altos topográficos, e, as de descargas, junto aos córregos, rios, drenos e áreas alagadas (SANTOS & OLIVEIRA, 2013 *apud* LIMA & NASCIMENTO, 1999)

Nascimento, Leal & Purificação (2016), em estudo que envolveu a identificação das distinções entre as Formações Barreiras, Marizal e São Sebastião, na área de estudo, concluíram que as recargas de água para a Formação São Sebastião são oriundas de precipitações pluviométricas diretamente nas zonas mais superficiais aflorantes, além da própria contribuição indireta vinda das camadas mais suspensas dos aquíferos Barreiras e Marizal.

Ribeiro (2013), confeccionou o mapa potenciométrico da região de Camaçari (Figura 6b), a partir dos valores das cotas topográficas e do nível estático (NE) coletados no banco de dados da CPRM/SIAGAS, com 121 poços, com profundidade média de 150m, sendo a máxima de 370m.

Figura 6 - Mapas de superfície potenciométrica regional e local, da Bacia do Recôncavo Norte



Fonte: (a) Leite (1964, *apud* Ribeiro, 2013); (b) Ribeiro (2013)

A Figura 6, mostra que o comportamento do fluxo da água subterrânea, apresenta variações em função da escala em que se é observada (RIBEIRO, 2013 *apud* LEITE, 1964). Considerando-se a hidrogeologia regional (Figura 6a), a direção do fluxo subterrâneo é de W-

NW para E-SE, conforme estabelecido pelas curvas isopiezométricas. Localmente (Figura 6b), a direção predominante que atinge a região de Camaçari é NW-SE, observando-se a convergência para a poção sudeste da região, com grande contribuição para a recarga das correntes superficiais.

De acordo com esse fluxo, Ribeiro (2013), estabeleceu uma correlação com a distribuição da vazão nessa direção e identificou geograficamente a ocorrência das melhores vazões na porção S-SE, com possibilidade dos poços produzirem mais de 100 m³/h, o que indica o local como mais apropriado para perfuração visando o abastecimento da região centro-leste da bacia do Recôncavo Norte.

Na análise da superfície potenciométrica realizada por Santos & Oliveira (2013), mais especificamente na área industrial da região de Camaçari, a direção do fluxo subterrâneo do aquífero Marizal é SW – NE, convergindo para o rio Imbassaí, afluente do rio Jacuípe, área mais próxima da descarga natural do aquífero. No entanto, esses autores sinalizam a necessidade de realizar estudos mais detalhados nessa área, em função da sua complexidade hidrogeológica, bem como, devido à pouca densidade de poços, além da investigação de fontes prováveis de recarga artificiais oriundas de adutoras de abastecimento de água ou de redes de esgotamento sanitário ou de fossas sépticas (OLIVEIRA & SANTOS, 2013).

De acordo com SANTOS (2016), o aquífero do Recôncavo possui poços em alguns locais, com produção superior a 400 m³/h.

2.3 ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS

2.3.1 Breve histórico

O Município de Camaçari possui 03 (três) distritos, a saber: Sede, Monte Gordo e Abrantes, sendo uma das regiões econômicas mais importantes do estado da Bahia por desempenhar papel importante na densidade demográfica do estado, e que mais apresenta crescimento populacional, fato esse atribuído à forte expansão na orla litorânea (SILVIA & SILVIA, 2011).

A história de Camaçari - BA tem início após a construção de cidade de Salvador, no ano de 1558, quando os jesuítas construíram a primeira igreja na região, com fins de educar os índios tupinambás, constituindo-se num dos trabalhos pioneiros no Brasil, e para tal ocorreu

a expulsão dos holandeses em 1625, primeiros a chegar na região (SEDUR, 2015a). Camaçari foi emancipada em setembro de 1758, com o nome de Vila de Nova Abrantes do Espírito Santo, quando então ocorreu à expulsão dos jesuítas que viviam na região, e tempo depois, passou a ser chamada apenas de Vila de Abrantes, dando origem à primeira Sede, às margens do rio Joanes, perto do mar e das dunas e com melhores condições de vida para os índios (SEDUR, 2015a). Em 1860, o município teve seu crescimento impulsionado pela chegada da linha férrea e adotou o nome de Camassari, que tem origem tupi-guarani, significando “árvore que chora, devido às folhas ficarem cobertas de gotículas”, e um século depois, em 1960, o município se configura com 4 distritos: Camaçari (ex-Camassari), Abrantes, Dias D’Ávila e Monte Gordo (IBGE, 2017).

Em 1962, o Distrito de Dias D’Ávila, recebeu o título de Estância Hidromineral, sendo considerado um lugar calmo, próprio para se passar férias de verão, mesmo sem infraestrutura adequada e onde os moradores locais viviam de trabalhos em função da estância, como caseiros, aguadeiros ou serviços intermediários (GIMENO, 2015 apud SEDUR, 2015a). Com a chegada do Polo Petroquímico de Camaçari na região, em meados de 1977, a estância deixou de ser importante do ponto de vista de veraneio e para os proprietários de chácaras, e passou a ter dificuldades para manter os novos moradores, pois houve perda de “qualidade de vida” com o aumento da população e sem o devido acompanhamento de serviços básicos municipais como saneamento, saúde, educação, segurança, dentre outros serviços públicos prioritários (SEDUR, 2015a apud GIMENO, 2015). Só em 1985, que Dias D’Ávila conseguiu sua independência, promulgada na Lei Estadual n.º 4.404.

As duas sedes municipais são limítrofes ao Polo Industrial de Camaçari (PIC): Camaçari ao sul e Dias D’Ávila ao norte. Atualmente, na região de Camaçari, esses dois municípios são os mais representativos em termos de desenvolvimento econômico oriundo basicamente das operações industriais, sendo que Camaçari, recebe maiores benefícios diretos através da arrecadação de impostos da grande maioria das indústrias instaladas no seu município (SICM, 2013).

2.3.2 Uso e ocupação do solo

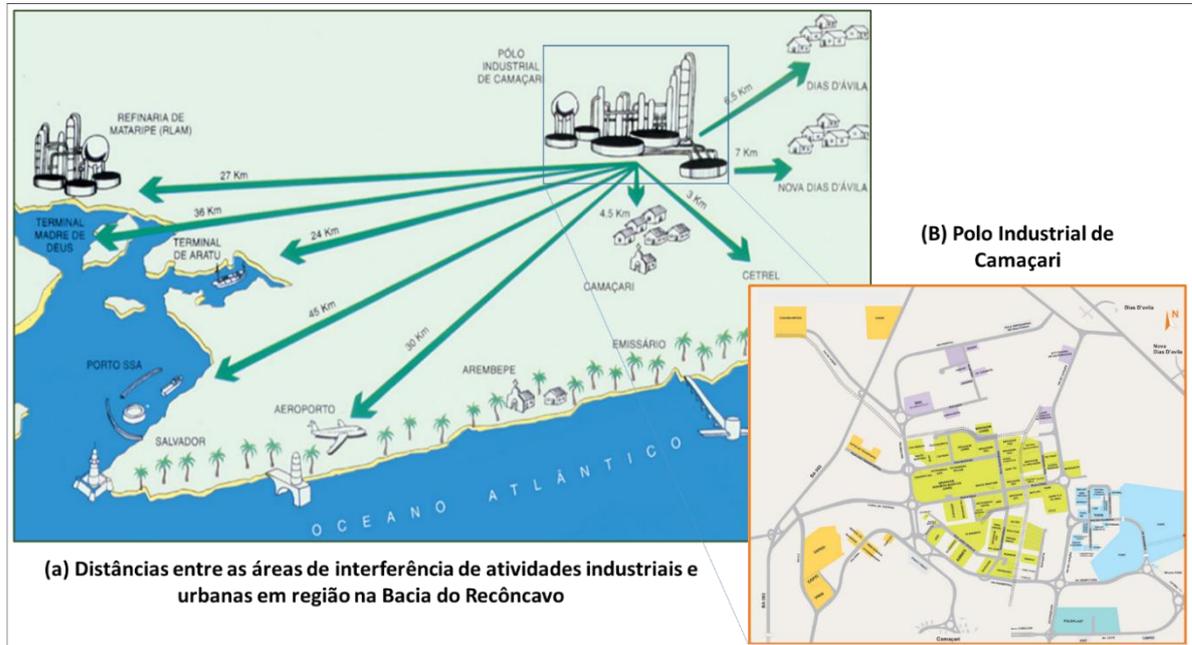
De acordo com Sedur (2015a) a ocupação do município e seu entorno é um processo que deu-se desde a abertura da Estrada do Coco (década de 1980) e da Linha Verde (década de

1990) com fins residenciais, causando a rápida urbanização formal e dinamizou o turismo com a ocupação de áreas vizinhas aos povoados e vilarejos existentes. O Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU) de Camaçari estabelece a delimitação da região a partir da criação do macrozoneamento com criação de zonas urbanas, zonas rurais e zonas industriais, sendo que as atividades que vem fortalecendo a região e tornando-a referência no cenário nacional é a de cunho industrial, representadas por mais de 90 empresas químicas, petroquímica, da indústria automotiva, de pneus, celulose solúvel, metalurgia do cobre, têxtil, fertilizantes, energia eólica, fármacos, bebidas e serviço (COFIC, 2017).

Na Figura 7, encontra-se espacializado os principais polos desse padrão de ocupação, representados pelo Polo Industrial de Camaçari, e mais afastados o Centro Industrial de Aratu (CIA) e a Refinaria Landolfo Alves (RLAM), além da evidencia de uma extensa área litorânea, abrangendo o município de Salvador, que evidencia um crescimento na região também relacionado ao turismo e à interação urbana que Camaçari mantém com Salvador.

Embora o Plano Diretor tenha contemplado a interferência das áreas industriais no desenvolvimento urbano dessa região, o que se observou foi um desequilíbrio desse processo de implementação, pois, devido à proximidade de Salvador, houve uma forte polarização para essa cidade, enfraquecendo a valorização territorial do ponto de vista urbanístico que se esperava para a região de Camaçari (SICMI, 2013). O que se fortaleceu foi a ocupação descontrolada de Camaçari e Dias D'Ávila pela população operária, promovendo nessas cidades o crescimento desordenado e que “ocasionou o surgimento de diversas ocupações espontâneas, de baixo padrão urbanístico e sem infraestrutura adequada” (SICM, 2013).

Figura 7 - (a) Visualização das distancias entre as sedes urbanas e os polos industriais; (b) Especialização das empresas do PIC



Fonte: www.coficpolo.com.br

A sede de Camaçari concentra uma ocupação urbana mais extensa, ao contrário de Dias D'Ávila, que por suas condições ambientais e limitações geográficas, não possibilitou um processo de expansão condizente com sua proximidade ao PIC. A porção oeste deste município sofre interferências de ventos predominantes sudeste que transportam partículas atmosféricas oriundas da área industrial e na porção leste está instalada a barragem de Santa Helena, embora possa haver possibilidade de desenvolvimento para o bairro Nova Dias D'Ávila (SICM, 2013).

Os impactos positivos advindos dessa ocupação regional são evidentemente econômicos, pois segundo o IBGE, Camaçari possui o segundo maior produto interno bruto municipal do estado da Bahia (Salvador é o primeiro), sendo também o 5º maior da Região Nordeste e o 38º maior do País.

Sedur (2015a), evidencia a instalação de diversos empreendimentos residenciais de médio e alto padrão nos últimos anos, além de comércio e serviços para atender essa população, principalmente da rede hoteleira, que atende negócios, lazer e turismo.

Em termos de uso do solo para ocupação agrícola e agropecuária, ambos são poucos expressivos na região, embora receba atenção dos órgãos municipais e estaduais para melhor valorização, e estimular seu crescimento junto à população rural, que representam em torno de 12% da população (SEDUR, 2015a).

Cabe mencionar a ocupação de áreas de proteção ambiental, principalmente Áreas de Preservação permanente (APP), sendo considerada uma prática comum na região, em específico no Distrito de Abrantes, cuja malha urbana se aproxima das margens de cursos d'água, que em sua maioria pertencem à bacia hidrográfica do rio Joanes (SEDUR, 2015b).

2.3.3 Aspectos do abastecimento de água e saúde

O abastecimento na RMS é conduzido pelas estações de tratamento de água (ETA), denominada ETA Principal, localizada no município de Candeias e pelas ETAs secundárias Vieira de Melo e Teodoro Sampaio, ambas localizadas em Salvador. O manancial principal é o rio Paraguaçu, com suas águas armazenadas pela barragem de Pedra do Cavalo, responsável por 70% da vazão tratada. Outros mananciais importantes, e que também atendem a RMS, são as represas oriundas dos rios Jacuípe, rio Joanes e rio Ipitanga (Figura 8).

Figura 8 - Distribuição dos mananciais que abastecem a RMS



Fonte: (a) Barragem Pedra do Cavalo; (b) ETA Principal; (c) Barragem Joanes II; (d) Barragem Joanes I; (e) Adaptado de SIHS (2015)

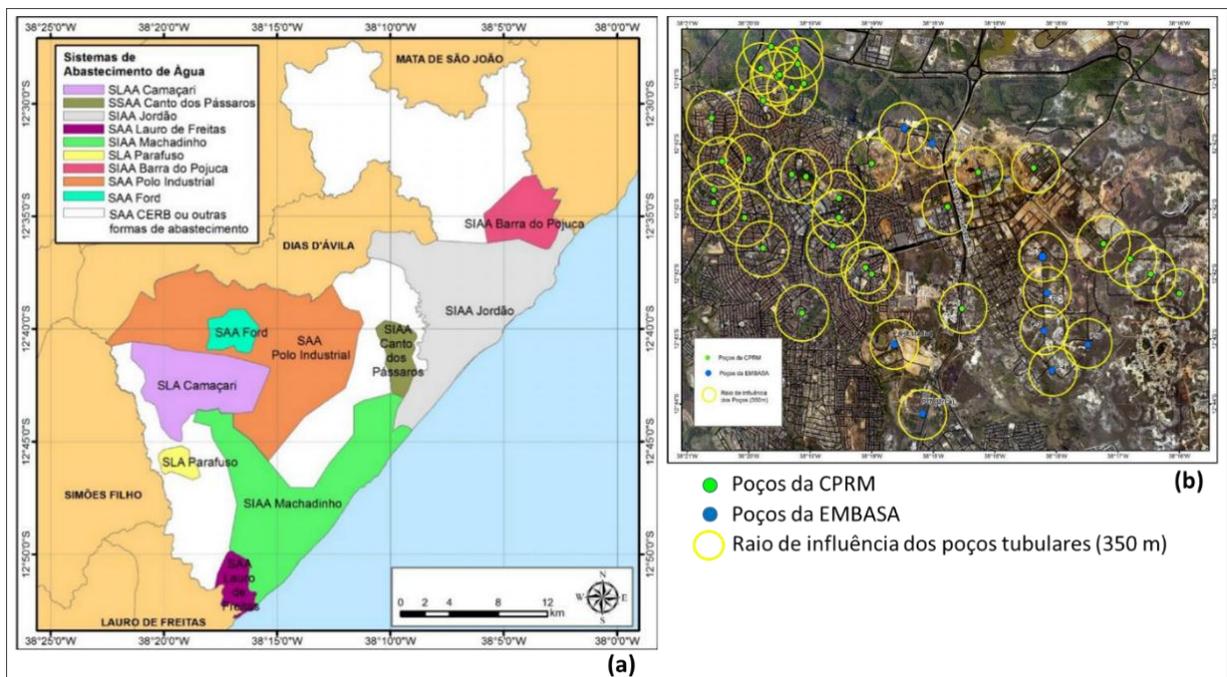
A distribuição de água tratada para indústrias do Polo utiliza três mananciais diferentes - o aquífero São Sebastião, a barragem Santa Helena, alimentada pelo rio Jacuípe e a barragem do Joanes II (operado pela EMBASA), sendo de responsabilidade da empresa CETREL, através da Distribuidora de Água Camaçari (SEDUR, 2015c). Nas épocas de

estiagem, a Joanes II recebe água revertida por bombeamento da Barragem Santa Helena, localizada a leste do Polo Industrial (SICM, 2013). Essa água clarificada é para uso em refrigeração de equipamentos, água potável para uso humano, água desmineralizada para vaporização em caldeiras e para uso em processo (SEDUR, 2015c).

Na área de abrangência do município de Camaçari existem cinco sistemas de abastecimento de água (Figura 9a), constituídos das unidades de captação, adução, estação de tratamento, reservação, redes de distribuição e ligações domiciliares. Todos esses sistemas são administrados pela EMBASA, sendo identificados pelas seguintes denominações: i) Sistema de Abastecimento de Água da Sede Municipal de Camaçari, ii) Sistema Integrado de Abastecimento de Água (SIAA) de Machadinho, iii) Sistema Integrado de Abastecimento de Água de Jordão, iv) Sistema Integrado de Abastecimento de Água de Água de Parafuso, e, v) Sistema de Abastecimento de Barra do Pojuca, sendo que este último capta água em manancial superficial (rio Pojuca), o que requer um tratamento mais completo (convencional) e os demais em manancial subterrâneo, que requer tratamento por simples desinfecção (SIHS, 2015).

Além dos cinco sistemas citados acima, existem outros sistemas implantados pela Companhia de Engenharia Hídrica e de Saneamento do Estado da Bahia (CERB), constituídos geralmente por poços tubulares (profundos), reservatório e rede de distribuição, com ligações domiciliares e/ou chafarizes, os quais atendem principalmente a área rural: i) Sistema Simplificado de Abastecimento de Água Canto dos Pássaros, ii) Sistema Simplificado de Abastecimento de Água Estrada de Maracaiuba, iii) Sistema Integrado de Abastecimento de Água de Lagoa Seca, e, iv) Sistema Integrado de Abastecimento de Água de Rancho Alegre (SEDUR, 2015c). Acrescenta-se ainda, o Sistema de Abastecimento, com uso de poços que atende o Complexo Ford do Nordeste, sob responsabilidade da EMBASA e, também, algumas soluções individualizadas, de responsabilidade da própria comunidade, que na maioria das vezes é sem tratamento (Figura 9a).

Figura 9 - (a) Área de abrangência dos Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) no município de Camaçari-BA; (b) Zona de influência de bombeamento dos poços que atendem a Sede de Camaçari.



Fonte: Adaptado de SEDUR (2015c)

Na Figura 9b, estão espacializados os 42 poços tubulares sob responsabilidade da EMBASA, CERB e CETREL, que atendem os SLAA de Camaçari, sendo que 33 desses poços possuem seu cadastro no Banco de Dados da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) e os demais no Banco de Dados da EMBASA. Os círculos amarelos ao redor dos poços indicam as possíveis interferências de bombeamento que esses poços sofrem entre si.

Na análise dos aspectos de saúde na região, a Secretaria de Saúde (SESAU), por meio da Coordenadoria de Vigilância Sanitária, é responsável pelas ações de fiscalização do abastecimento de água, pois fazem parte da gestão de saneamento básico de Camaçari (SEDUR, 2015c). Já a Coordenadoria de Vigilância Epidemiológica realiza múltiplas ações voltadas para o controle das doenças, a exemplo: avaliação, notificação e investigação dos agravos, os quais são repassados para o Centro de Controle de Zoonoses, e realização de vacinação domiciliar, dentre outras ações de controle de doenças no município.

Dentre as doenças mais incidentes destacam-se às relacionadas com o saneamento básico inadequado ou à total ausência do mesmo, evidenciando-se a dengue, com 290 casos confirmados e registrados em 2015, no Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN), gerenciado pelo Ministério da Saúde (SEDUR, 2015c). Cabe ressaltar a incidência

de diarreia, que embora venha apresentando declínio no número de casos, no período 2010 até 2014, ainda se tinha ocorrência de pelo menos 5 casos, em crianças até 2 anos de idade, para cada 1.000 crianças do município (SEDUR, 2015c). Ou seja, a evidência de diarreia, mesmo nem sempre notificada, desperta maiores cuidados na oferta dos serviços de saneamento básico e em especial abastecimento de água, por ser doença de veiculação hídrica e pode sinalizar deficiência no atendimento desses serviços, principalmente em regiões que se utilizam de fontes alternativas para obtenção de água.

CAPÍTULO 3 – PROGRAMAS DE MONITORAMENTO DOS MANANCIAIS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

No âmbito do estado da Bahia, a Política Estadual de Recursos Hídricos (PERH) (Lei nº 11612/2009), dentre seus dispositivos, estabelece que o órgão executor responsável pelo programa de monitoramento de recursos hídricos é o Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA), o qual deve disponibilizar as informações de gestão e controle ambiental para à sociedade (BAHIA, 2009). No capítulo VII, da referida Lei, reforça-se os cuidados com a qualidade dos recursos hídricos, quando estabelece que o monitoramento da quantidade e qualidade das águas tem dentre seus objetivos: i) identificar a quantidade e a qualidade das águas e dos ambientes aquáticos; e ii) gerar informações relativas às áreas prioritárias para a ação pública.

Essas diretrizes na PERH são importantes, pois reforçam o que dispõe o CONAMA 396/2008, quanto à classificação e enquadramento das águas subterrâneas, propiciando condições para atender os objetivos de usos preponderantes desse recurso.

Para análise das estratégias de proteção das águas subterrâneas na região de Camaçari essa pesquisa identificou no documento “Plano de Abastecimento de Água da Região Metropolitana de Salvador, Santo Amaro e Saubara – PARMS”, estratégias e ações de implantação de melhorias nos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário, os quais visam atender as demandas atuais e futuras para um período até 2040 (SIHS, 2015). Somente 2 (dois) programas de monitoramento de mananciais são citados nesse Plano: i) o Programa de Monitoramento Ambiental da Embasa e, ii) o Programa de Monitoramento da Qualidade das Águas do Estado da Bahia – Monitora. Não se destaca ainda, programas que abranjam as águas subterrâneas do estado da Bahia, de responsabilidade do órgão ambiental. O que ocorrem são monitoramentos específicos dos sistemas de abastecimento, que no caso de Camaçari se configura no monitoramento da qualidade da água dos poços tubulares, sob responsabilidade da EMBASA.

Cabe destacar que o PARMS, segue as diretrizes para elaboração dos Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSB), que é exigência da Lei nº 11.445/07, que estabelece

a elaboração e implementação do Plano Municipal de Saneamento, o qual se insere como instrumento de gestão dos serviços de saneamento básico.

3.1 MONITORAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

O principal manancial de avaliação do Programa de Monitoramento Ambiental da EMBASA é o aquífero São Sebastião, uma vez que ocorre extensamente em boa parte da Bacia Sedimentar do Recôncavo, sendo monitorado através da realização de análises da qualidade da água produzida nos poços que abastecem o sistema de abastecimento de Camaçari. São avaliados parâmetros físico-químicos, inorgânicos, orgânicos (dicloroetano, cloreto de metileno, estireno, Etilbenzeno, tetracloroeto de carbono, dentre outros compostos orgânicos voláteis) e pesticidas (diclorofenol, aldrin e dieldrin).

No que diz respeito à periodicidade das análises, SIHS (2015), constatou que até 2014, no geral, a frequência das amostras coletadas, no ponto de captação era superior a seis meses. Já avaliando-se a periodicidade a partir de 2015, com variação de 7 a 12 campanhas/ano, verifica-se uma maior conformidade com a frequência recomendada pela Portaria nº 2.914/11 e pela Resolução CONAMA nº 396/08, vigentes na época das análises.

Os dados da qualidade da água analisados pelo SIHS (2015), dos parâmetros físico-químicos, bacteriológicos e inorgânicos, demonstram que no geral a qualidade da água dos poços é boa.

Desde 2015, a concessionária de abastecimento de água citada, vem gerando melhorias em todo o processo de monitoramento de seus mananciais a partir do desenvolvimento de projetos que envolvem o monitoramento, revisão de mapas e de pontos de coleta de amostras. Consta no Programa de Monitoramento Ambiental da EMBASA (SIHS, 2015), que os sistemas de abastecimento e respectivos poços tubulares, vão receber nomenclatura e, além da identificação facilitada, a periodicidade de coleta e novos pontos de monitoramento serão acrescentados ou substituídos.

Logo, para se acompanhar as condições da qualidade das águas subterrâneas no estado da Bahia, com dados disponíveis, no que diz respeito a objetivos de observação, pesquisa e ao próprio monitoramento, existem pelo menos quatro órgãos que gerenciam bancos de dados:

- Serviço Geológico do Brasil (SGB), com o Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), com dados nacionais disponíveis;

- Companhia de Engenharia Hídrica e de Saneamento do Estado da Bahia (CERB), com banco de dados disponível por solicitação oficial;
- Agência Nacional de Águas (ANA), com o Sistema de Informações Hidrológicas – HidroWeb e o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos – SNIRH, com dados nacionais disponíveis;
- Empresa Baiana de Águas e Saneamento (EMBASA), com banco de dados disponível por solicitação oficial.

As informações dos mananciais estão distribuídas nos sistemas de informação, mas existem algumas discontinuidades no processo, evidenciando-se dados com mais de 20 anos sem medição, ou faltando características importantes, seja do manancial ou do próprio poço. Os dados de qualidade da água se focam mais em recursos hídricos superficiais, sendo que o SIAGAS é o banco com mais disponibilidade dos dados de águas subterrâneas, com parâmetros inorgânicos.

Embora existam análises de parâmetros orgânicos, os mesmos para serem disponibilizados para consulta, demandam de autorização do órgão responsável. E quando se tratam de dados gerados por empresas privadas, demandam do mesmo processo, só que é mais demorado. São situações que dificultam a coleta e organização dos dados pelos usuários.

3.1.1 Programa de Monitoramento na Área do Polo Industrial

O Programa Anual de Monitoramento dos Recursos Hídricos na área de influência do Polo Industrial de Camaçari (PIC) têm como objetivo “promover o controle das contaminações oriundas das atividades industriais, melhorar o conhecimento das características hidroambientais e a preservação dos recursos hídricos dessa região” (SICM, 2013).

Desde 1992, o Programa de Monitoramento dos Recursos Hídricos Subterrâneos do PIC, é desenvolvido e executado pela CETREL, e dentre suas ações existe o acompanhamento da exploração das águas através de poços e adutoras. De acordo com SICM (2013), quando houve o processo de expansão do PIC, com aumento da demanda dos recursos subterrâneos, se intensificaram as ações de monitoramento, principalmente devido ao aumento dos riscos de superexploração.

No atual Plano Diretor do PIC, elaborado em 2013, é sinalizado que o cenário hidrológico do território do Polo Industrial já demandava novas ações e programas de controle e gestão da água (SICM, 2013). Em 2015, o Programa de Monitoramento atendia uma rede aproximada de 1300 poços anualmente, evidenciando-se acréscimo de mais de 50% em relação a 2006. No Programa, os poços são denominados e distribuídos em função dos seus objetivos de monitoramento, a saber:

- PM: poços de monitoramento - mais rasos; utilizados especificamente para monitoramento da água; geralmente variam de 3 a 60 m de profundidade.
- PMM: poços de monitoramento multiníveis - possuem seção filtrante em vários níveis; utilizados especificamente para monitoramento da água; geralmente variam de 5 a 90 m de profundidade.
- PMMP: poço de monitoramento multinível profundo - possuem seção filtrante em vários níveis; utilizados especificamente para monitoramento da água; geralmente variam de 80 a 200 m de profundidade.
- PE: poços de extração – utilizados para monitoramento e retirada dos contaminantes na água; geralmente variam de 8 a 60 m de profundidade.
- PP: poços de produção – utilizados para o abastecimento do processo produtivo; geralmente variam de 100 a 400 m de profundidade.

Cabe destacar que dentre os poços de extração existem os que são instalados com objetivo de conter a pluma de contaminação e impedir que a mesma se espalhe e atinja os aquíferos e os cursos d'águas superficiais da região. São poços que funcionam como uma barreira hidráulica, pois são alinhados perpendicularmente ao fluxo subterrâneo de modo a interceptar no máximo possível as contaminações, e estrategicamente estão posicionados entre as nascentes dos rios Imbassaí e o município de Dias D'Ávila (KIPERSTOK, 2006).

De acordo com CETREL (2015), já se tem mais de 1,3 milhões de determinações químicas armazenadas no seu Banco de dados, cujos resultados são interpretados e apresentados em relatórios de monitoramento semestrais, sob responsabilidade das empresas usuárias da água no PIC, em atendimento às licenças ambientais. Por sua vez, a licença ambiental determina que a CETREL remeta o resultado das análises da água subterrânea ao órgão gestor das águas no estado, o INEMA.

Esse monitoramento inclui ainda os poços de abastecimento público da EMBASA – Camaçari e Dias D’Ávila e poços de produção das águas minerais (CETREL, 2015).

No Plano Diretor do PIC (SICM, 2013), é descrita a relevância do uso da água para o processo de produção, o qual demanda diferentes características na qualidade da água a ser aplicada dentro de cada processo industrial, seja como matéria prima, produção de vapor, resfriamento e outros.

Atualmente, o PIC tem como prioridade o desenvolvimento de ações sustentáveis, que contemplam o uso racional dos recursos hídricos, atendendo à cada demanda de distribuição, em qualidade e quantidade de água, além da ampliação dos sistemas de reuso já gerido pela CETREL (SICM, 2013).

3.2 PADRÕES E PARÂMETROS DE ANÁLISE DA ÁGUA

Os padrões de qualidade das águas doce no Brasil foram estabelecidos de forma a dar subsídio na fiscalização quanto à presença de microrganismos ou substâncias que possam afetar a qualidade da água ou impactos sobre a biota, decorrentes das atividades humanas (CHAVES, 2008).

A avaliação das conformidades ou não conformidades dos resultados das análises da água subterrânea requerem a comparação com padrões de qualidade estabelecidos por normas ambientais. Para o presente estudo foram utilizados os padrões de qualidade do Conama 396/2008 e a Portaria de Potabilidade PRC n° 05/2017, do Ministério da Saúde. Nessas normas, os padrões de qualidade estão relacionados aos parâmetros, que representam às condições de qualidade da água devido a presença de substâncias físicas, químicas, bacteriológicas ou substâncias potencialmente prejudiciais à saúde humana e a biota.

Santos (2016), descreve em seu trabalho, que existe uma variedade de contaminantes industriais que podem ser liberados nos solos e conseqüentemente, podem atingir as águas subterrâneas. São contaminantes de risco à saúde ambiental e à saúde humana, e estão classificados no grupo de compostos orgânicos voláteis (COV’s), destacando-se os solventes clorados e os hidrocarbonetos aromáticos.

Os parâmetros orgânicos avaliados nesse estudo (Quadro 1) e seus respectivos padrões constam na Resolução Conama 396/2008, para uso preponderante de consumo

humano, sendo que somente um parâmetro (Tricloroeteno), foi comparado com os padrões da Portaria de Potabilidade PRC n° 05/2017.

Quadro 1- Compostos orgânicos voláteis (COV's)

Compostos orgânicos voláteis (COVs)	NOMENCLATURA	PADRÃO DE REFERENCIA ($\mu\text{g L}^{-1}$)	FÓRMULA	IDENTIFICAÇÃO DA SUBSTÂNCIA
	1,1 dicloroeteno	30	$\text{C}_2\text{H}_2\text{Cl}_2$	solvente clorado
	1,2 Diclorobenzeno	1000	$\text{C}_6\text{H}_4\text{Cl}_2$	solvente clorado
	1,2 Dicloroetano	10	$\text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2$	solvente clorado
	1,2 Dicloroeteno	50	$\text{C}_2\text{H}_2\text{Cl}_2$	solvente clorado
	1,4 Diclorobenzeno	300	$\text{C}_6\text{H}_4\text{Cl}_2$	solvente clorado
	Benzeno	5	C_6H_6	Hidrocarboneto aromático
	Cloreto de metileno	20	CH_2Cl_2	solvente clorado
	Cloreto de vinila	5	$\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}$	solvente clorado
	Clorofórmio	200	CHCl_3	solvente clorado
	Etilbenzeno	200	C_8H_{10}	Hidrocarboneto aromático
	Tetracloroeto de carbono	2	CCl_4	solvente clorado
	Tetracloroeteno	40	C_2Cl_4	solvente clorado
	Tolueno	170	C_7H_8	Hidrocarboneto aromático
	Tricloroeteno (*)	20	C_2HCl_3	solvente clorado
	Xilenos	300	C_8H_{10}	Hidrocarboneto aromático

(*): padrão de referência da Portaria PRC n° 05/2017; demais: CONAMA 396/2008, para consumo humano

Esses compostos estão cada vez mais presentes nos estudos de risco de contaminação ambiental, uma vez que os processos indústrias vem aumentando sua produção com o uso de substâncias químicas sintéticas.

Farias (2010), sinaliza que de uma maneira geral os impactos ambientais decorrentes de poluentes orgânicos voláteis podem reduzir a camada do ozônio, provocar o aquecimento do planeta e aumentar a demanda de oxigênio nos efluentes industriais, os quais recebem essa carga orgânica, e por conseguinte podem gerar interferência no ambiente aquático (fauna e flora).

Entretanto, estudos atuais apontam que os COV's são poluentes importantes do ecossistema, a exemplo do tetracloroeteno (ou tetracloroetileno), que, assim como a maioria dos solventes clorados, é um produto criado de forma antropogênica, cujas aplicações são

focadas para desengorduramento industrial e limpeza a seco (Quadro 2). O que se verificou nesses estudos é que os COV's que são liberados para a atmosfera sob a forma volátil, nos processos de degradação natural, e sob condições especiais, podem levar à formação de ozônio como subproduto (Farias, 2010). Ou seja, na combinação com o oxigênio, podem contribuir na proteção da radiação ultravioleta, favorecendo o ecossistema global.

No estabelecimento de ações que viessem a compensar as interferências ambientais decorrentes das mudanças climáticas, o Protocolo de Montreal criou grupos de substâncias para serem controladas e dentre as mais frequentemente encontradas nos lençóis freáticos estão os tricloroeteno, tetracloroeteno e o metilclorofórmio (MMA, 2018).

Esses fatos, induzem a que se tenham regulações mais rígidas e uma maior fiscalização do uso de COV's na área industrial, assim como já existem na área agrícola, com fortes restrições à compostos organoclorados (pesticidas e fertilizantes).

No Quadro 2, é apresentada uma síntese das características de cada parâmetro (COV's), considerando seus usos, impactos no ambiente e riscos toxicológicos.

Quadro 2- Características dos COV's

PARÂMETROS ORGÂNICOS	Principais usos	Comportamento no ambiente aquático	Risco Tóxico
1,1 dicloroeteno	Solvente orgânico, usado como plástico (PVC) transparente para embalar e proteger alimentos; é também usado em fabricação de dispositivos semicondutores para propiciar crescimento de películas de dióxido de silício (SiO ₂) de alta pureza.	Como muitos clorocarbonos, é pouco solúvel em água, mas é solúvel em solventes orgânicos.	A exposição humana, além de inalação direta, também pode ocorrer por inalação de vapores de água contaminada durante o banho e atividades domésticas, como lavar pratos e cozinhar; o sistema nervoso é o principal alvo. Não consta na lista de classificação quanto ao risco de câncer.
1,2 Diclorobenzeno	É utilizado na produção de material base para herbicidas; como solvente para ceras, gomas, resinas, borrachas, óleos e asfalto; agente desengraxante para metais, couro, papel, limpeza a seco; na síntese de corantes e produtos para controle de odor.	Em geral, são persistentes na água, no ar e no sedimento; nas águas subterrâneas podem permanecer por mais de 100 dias; o tempo de degradação depende do nível de cloração da molécula, quanto mais clorado maior o tempo.	Através da ingestão de alimentos e água; causa irritação nos olhos e trato respiratório, dores no estômago, náuseas, vômitos e diarreia; A Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC) classifica os xilenos no Grupo 3 - não classificável quanto a carcinogenicidade.
1,2 Dicloroetano	Na fabricação de cloreto de vinila; intermediário para solventes clorados; aditivo para gasolina; usado em pinturas, vernizes e removedor de acabamento; desengraxante metálico; sabões; saponáceos.	Pode infiltrar-se no solo e atingir a água subterrânea em locais próximos a despejo de resíduos industriais, persistindo por longo período onde a volatilização é restrita.	Nocivo se ingerido. Causa irritação na garganta e vômitos; provoca irritação aos olhos com lacrimejamento e vermelhidão; a IARC classifica como possível cancerígeno humano (Grupo 2B).
1,2 Dicloroeteno	Usados como intermediários químicos na síntese de compostos e solventes clorados; como solvente para graxas, resinas, perfumes, corantes, lacas, termoplásticos, gorduras e fenóis; pode ser usado como solvente para extração de cafeína.	Grande parte evapora de água e solo superficiais, mas pode lixiviar e contaminar a água subterrânea (meia-vida de 13-48 semanas); em condições redutoras e de anaerobiose, como nas águas subterrâneas, o composto sofre lenta decloração.	A exposição humana, além de inalação direta, também pode ocorrer por inalação de vapores de água contaminada durante o banho e atividades domésticas, como lavar pratos e cozinhar; o sistema nervoso é o principal alvo. Não consta na lista de classificação quanto ao risco de câncer.
1,4 Diclorobenzeno	Usado como pesticida e desodorante sanitário; usado como desinfetante em contentores de resíduos; usado para produtos farmacêuticos.	Pouco solúvel em água e não é facilmente quebrado por organismos do solo; as concentrações mais elevadas são observadas na água subterrânea, onde o nível do composto pode ser maior que 7 mg/L.	Devido a evidências de aumento de tumores renais e adenomas hepatocelulares em ratos, é classificado no Grupo 2B – possível carcinogênico.
Benzeno	Largamente empregado na indústria química na síntese do etilbenzeno, fenol, ciclohexanona e outros hidrocarbonetos	É pouco solúvel em água, mas miscível com a maioria dos outros solventes orgânicos; a principal fonte do composto na água é por	A ingestão de alimentos e bebidas contaminados com altos teores de benzeno pode produzir desenvolvimento de leucemia mieloide aguda em trabalhadores expostos ao composto; é

PARÂMETROS ORGÂNICOS	Principais usos	Comportamento no ambiente aquático	Risco Tóxico
	Aromáticos; é adicionado na gasolina como aditivo para aumentar a octanagem	deposição atmosférica, derramamento de petróleo e efluentes industriais.	classificado como cancerígeno humano (Grupo 1).
Cloreto de metileno (diclorometano)	Utilizado industrialmente como solvente na produção de fibras sintéticas, filmes para fotografias, na extração de óleos e gorduras, em aerossóis, agente desengordurante e componente de agrotóxicos.	Pequena quantidade da substância pode ser encontrada na água potável, embora o composto não se dissolva facilmente na água.	Principal via de exposição: inalatório. Consequências: cefaleia, náusea, perda da memória e tontura; é classificado como possível cancerígeno humano.
Cloreto de vinila	Na produção da resina policloreto de vinila (PVC); para fabricação de tubos e outros plásticos, como revestimento; na manufatura de solventes clorados.	Existem relatos de sua presença na água subterrânea como produto de degradação de solventes clorados depositados no solo.	Pode causar câncer no fígado; é classificado como cancerígeno para o ser humano (Grupo 1).
Clorofórmio	Usado como solvente em vários produtos (vernizes, ceras, gorduras, óleos, graxas), agente de limpeza a seco, anestésico, em extintores de incêndio, intermediário na fabricação de corantes e agrotóxicos, fumigante para grãos e na fabricação de hidroclorofluorcarbonos (HCFC).	O clorofórmio é o trihalometano (THM) mais comum e o principal subproduto do processo de cloração da água potável. Na água subterrânea, a volatilização restrita e biodegradação lenta (sob condições anaeróbias) ou nenhuma biodegradação (na maioria das condições aeróbias) indica que o composto pode ser bastante persistente.	A água clorada é a principal fonte de exposição, pois a água de beber e de piscinas contém trihalometanos como subprodutos do uso do cloro para desinfecção; principal efeito da inalação de clorofórmio por curto prazo é a depressão do sistema nervoso central; é classificado no Grupo 2B – possível carcinogênico.
Etilbenzeno	Utilizado principalmente na produção de estireno; menos de 1% do composto é empregado como solvente para tintas ou intermediário na fabricação de dietilbenzeno e acetofenona; está presente em xilenos mistos com concentrações entre 15 e 20%.	Como muitos hidrocarbonetos aromáticos é bastante solúvel em água, e mistura-se facilmente com a gasolina; pouco adsorvido no solo; a presença em lençol freático é comum.	Na exposição prolongada pode produzir fadiga, cefaleia, irritação dos olhos e da via aérea superior; o contato dérmico repetido pode causar ressecamento e dermatite; é classificado no Grupo 2B – possível carcinogênico.
Tetracloroeto de carbono	Na fabricação de gases para refrigeração e propelentes em aerossóis; bom solvente para ceras, vernizes e borrachas, embora com uso reduzido devido à preocupações ambientais e diminuição da procura associada de clorofluorcarbonos (CFC's).	Pode permanecer na água subterrânea por muito tempo; é virtualmente insolúvel na água, mas miscível com muitos líquidos orgânicos.	A exposição humana a altas concentrações do solvente pode causar dano ao sistema nervoso central, fígado e rins. Esses efeitos ocorrem após ingestão ou inalação do composto; é classificado no Grupo 2B – possível cancerígeno humano.

PARÂMETROS ORGÂNICOS	Principais usos	Comportamento no ambiente aquático	Risco Tóxico
Tetracloroetano	Usado como desengraxante de peças metálicas, em lavagens a seco, na indústria têxtil, de produtos de limpeza e de borracha laminada.	É liberado por processos industriais e produtos de consumo; pode ser convertido a cloreto de vinila, sob condições anaeróbias, e contaminar o solo e a água subterrânea; pequenas quantidades podem ser formadas durante a cloração da água.	Exposição a concentrações baixas afeta o fígado e os rins. O contato dérmico por longo período pode irritar a pele; é classificado como provável cancerígeno humano (Grupo 2A).
Tolueno	Principal uso como mistura (benzeno-tolueno-xileno – BTX) na gasolina; também empregado como solvente em tintas, revestimentos, óleos e resinas, matéria-prima na produção de benzeno, fenol e outros solventes orgânicos, e na fabricação de polímeros e borracha.	Na água superficial foram relatadas concentrações entre 1 e 5 $\mu\text{g L}^{-1}$; e de 0,2 a 1,1 mg/L em água subterrânea.	Os efeitos da exposição a baixas concentrações do composto são: fadiga, sonolência, debilidade e náusea; o sistema nervoso é o principal alvo; esses sinais e sintomas geralmente desaparecem quando cessa a exposição; não existem dados suficientes para confirmar se o tolueno é ou não cancerígeno.
Tricloroetano	Comumente usados como solvente industrial, principalmente para desengorduramento de peças metálicas; extração de óleos, gorduras e ceras; limpeza a seco; também como ingrediente em adesivos, em líquidos para remoção de pinturas e para corretores de escrita e removedores de manchas; como anestésico.	Biodegrada muito lentamente no meio aquático; a maior parte do produto se derramado deve evaporar; por conseguinte é perigoso para organismos aquáticos e pode causar efeitos adversos a longo termo no meio aquático.	Irritante para a pele e olhos; se ingerido causará náusea, vômito, dificuldade respiratória ou perda da consciência; é classificado como cancerígeno para o ser humano (Grupo 1).
Xilenos	São usados individualmente como matéria-prima em vários processos industriais, como na indústria química, de plásticos, couro, tecidos e papéis, além de serem empregados como componentes de detergentes, solventes para tintas e lacas, revestimentos e adesivos, em mistura da gasolina, entre outros.	Devido principalmente a sua volatilização, o tempo de residência do Xileno na água é de apenas algumas horas, com pequena ou praticamente nenhuma adsorção no sedimento; as concentrações basais médias em águas subterrâneas não contaminadas geralmente são inferiores a 0,1 $\mu\text{g L}^{-1}$	O composto é irritante dos olhos, pele e mucosas; a IARC classifica-os no Grupo 3 - não classificável quanto a carcinogenicidade.

Fonte: CETESB (2017); IARC (2018); elaborado pela autora

Os efeitos de alguns COV's na saúde humana são divulgados, principalmente suas ações como resíduos tóxicos, ou como altamente carcinogênicos. No Quadro 2, se destaca que mais de 60% dos compostos podem causar câncer. Outros efeitos é o odor característico destes produtos, que são evidenciados por sua presença no ar (risco por inalação), além dos problemas causados nos próprios locais de instalação dos processos de produção, seja no ambiente de trabalho ou na área de interferência indireta, nesse caso, a população circunvizinha.

Mota (2012) cita que dentre os produtos químicos sintéticos, estão inseridos os também chamados “disruptores endócrinos” ou “interferentes endócrinos”, ou seja, substâncias que interferem no sistema hormonal, também denominados de “poluentes emergentes”, cujos perigos e consequências para a qualidade da água, saúde humana e meio ambiente ainda são pouco conhecidos. Em sua maioria são compostos que não são degradados por processos de tratamento de efluentes convencionais (processo biológico), e por conta disso, ainda continuam livres no meio aquático, podendo atingir as águas para abastecimento humano.

Uma das formas de se reduzir a carga poluidora de indústrias é promover mudanças no processamento, e dentre essas medidas podem ser: modificações das matérias primas e insumos; reciclagem das águas e reaproveitamento de resíduos. São ações que podem ser implementadas no início, no meio e após a geração do produto final.

Para as águas subterrâneas deve-se considerar os aspectos quantitativos, com ações que não interfiram na recarga de aquíferos, protegendo seu volume de água e, os aspectos qualitativos, com ações de controle da poluição, que impeçam a mobilização dos poluentes para os aquíferos, a exemplo do disciplinamento do uso do solo.

CAPÍTULO 4 – ESTUDO COMPARATIVO DE ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

A utilização de índices de avaliação da qualidade da água subterrânea como ferramentas de padronização, agregação e de comunicação do monitoramento da qualidade da água. Ao longo dos anos, muitos índices foram calculados para fins especiais, alguns com aplicação direta para águas superficiais, outros para águas subterrâneas e outros índices abertos para atender aos dois ambientes aquáticos, conforme discutido nos itens a seguir.

4.1 WQI-NSF

O índice WQI-NSF (Water Quality Index-National Sanitation Foundation) ou IQA-NSF, é considerado como o de maior aplicação, desde 1976, nos USA, e após adaptações, também em outros países que perceberam a importância dessa ferramenta para expressar o monitoramento das águas, visando atender demandas de consumo humano (YISA, 2012).

Adaptações do IQA-NSF, levaram a um índice multiplicativo (Equação 1), com atribuição de pesos específicos (Quadro 3) para cada um dos nove parâmetros que o compõe: oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, potencial hidrogeniônico, demanda bioquímica de oxigênio, nitratos, fosfatos, temperatura, turbidez e sólidos totais dissolvidos. O peso de cada parâmetro resultou em curvas médias (Figura 11) representativas da variação da qualidade da água em função das suas respectivas concentrações (YISA, 2012).

Quadro 3- Parâmetros utilizados no IQA-NSF, com respectivos pesos

Parâmetro	Peso (wi)
Oxigênio Dissolvido (OD)	0,17
Coliformes Termotolerantes (CTe)	0,16
Potencial Hidrogeniônico (pH)	0,11
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	0,11
Nitratos (NO ₃)	0,10
Fosfatos (PO ₄)	0,10
Temperatura (T)	0,10
Turbidez (Turb)	0,08
Sólidos Totais Dissolvidos (STD)	0,07
Σ	1,0

Fonte: Yisa (2012)

Os nove parâmetros foram selecionados a partir de pesquisas realizadas com vários especialistas da área ambiental.

A formulação final resultou na forma multiplicativa com os pesos tornando-se potências dos subíndices, conforme Equação 1 (YISA, 2012):

$$\text{IQA-NSF} = \pi^n q_i^{w_i} \quad (1)$$

Com $i=1$

Onde:

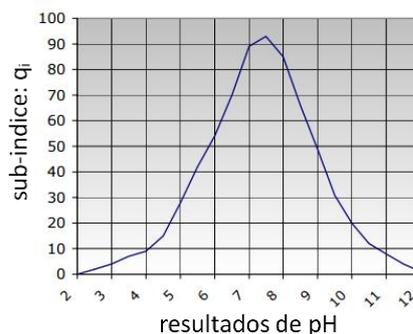
IQA-NSF: representa um número de 0 a 100;

q_i : subíndice ou qualidade do i -ésimo parâmetro (entre 0 e 100), obtido através da curva média de variação de qualidade em função da concentração;

w_i : peso atribuído ao parâmetro, entre 0 e 1, em função de sua importância na qualidade.

Os valores de sub-índices (q_i) para os parâmetros foram sugeridos a partir da classificação das curvas que representam os objetivos desejáveis ou os valores limites (padrão de referência) do parâmetro em questão. Por exemplo, caso o valor medido do pH esteja dentro da faixa de 6,5 a 9, como sugere o padrão de referência (WHO, 2011), o valor do sub-índice para o pH é 100, que corresponde ao valor da ordenada da curva do parâmetro; caso contrário o valor do sub-índice, seria significativamente mais baixo para $\text{pH} < 6,5$ ou > 9 (Figura 11).

Figura 10 - Curva média representativa da variação do pH na água em função dos padrões de referência e suas respectivas concentrações



Fonte: Lumb et al (2011)

A partir desses sub-índices foram definidas faixas de qualidade da água (Quadro 4), utilizadas para definir o resultado do IQA, dentro de 5 tipos de classificação:

Quadro 4- Nível de qualidade ou classificação da água em função do resultado do IQA-NSF

Nível de Qualidade	Faixa
Excelente	$90 < \text{IQA} \leq 100$
Bom	$70 < \text{IQA} \leq 90$
Médio	$50 < \text{IQA} \leq 70$
Ruim	$25 < \text{IQA} \leq 50$
Muito ruim	$00 < \text{IQA} \leq 25$

Fonte: Lumb et al (2011)

Os sub-índices foram agrupados, formando faixas de 0 a 100, evidenciando-se que IQA acima de 50, determina melhores condições para a água, embora a água ainda precise ter seus padrões adequados às normas de referência, como por exemplo às normas de potabilidade nº 2914/2011, do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011) ou da própria Organização Mundial de Saúde - OMS (WHO, 2011).

O IQA-NSF possui uma estrutura mais fácil de compreender e calcular. Entretanto, vários estudos criticam a aplicação do IQA-NSF em relação à sua sintetização, que desconsidera algumas interferências importantes para a qualidade da água, resultando muitas vezes em classificações como água própria para consumo humano, quando na verdade essa classificação deveria ser melhor explorada.

Ocorre uma atribuição de pesos maiores para os parâmetros que representam contaminação fecal, a exemplo dos coliformes termotolerantes. Importantes atividades não estão contempladas nesse modelo e estão sempre em crescente aumento em regiões que exploram águas subterrâneas, podendo interferir na classificação da água usando o IQA-NSF: i) industriais, onde se verifica uma grande concentração de parâmetros inorgânicos, a exemplo de metais (Fe, Mn, Co, As, Pb, Al, etc); ii) atividades agrícolas, onde se tem a presença de compostos orgânicos derivados de fertilizantes e pesticidas, sendo muitos deles persistentes no ambiente aquático.

Cabe ressaltar a aplicabilidade desse índice no Brasil a partir de 1975, mas que sofreu adequações para atendimentos das condições de contaminação mais frequentes na maioria dos estados brasileiros, nesse caso por efluentes domésticos (CETESB, 2016). A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) alterou o peso dos parâmetros CTe

e DBO, que reduzindo-os em 0,01 e o peso dos parâmetros pH e STD, aumentando-os em 0,01. Mudanças também podem ser vistas nas faixas de classificação da água em função do resultado do IQA, conforme Quadro 5.

Quadro 5- Faixas de classificação da água em função do resultado do IQA-CETESB

Avaliação da Qualidade	Faixas de IQA utilizadas nos estados de BA, CE, ES, GO, MS, PB, PE, SP	Faixas de IQA utilizadas nos estados de AL, MG, MT, PR, RJ, RN, RS
Ótima	$80 < IQA \leq 100$	$91 < IQA \leq 100$
Boa	$52 < IQA \leq 79$	$71 < IQA \leq 90$
Razoável	$37 < IQA \leq 51$	$51 < IQA \leq 70$
Ruim	$20 < IQA \leq 36$	$26 < IQA \leq 50$
Péssima	$00 < IQA \leq 19$	$00 < IQA \leq 25$

Fonte: CETESB (2016)

Atualmente o IQA adaptado pela CETESB é o principal índice de qualidade da água utilizado no país, abrangendo pelo menos 15 estados brasileiros, os quais realizam o monitoramento das águas superficiais para fins de abastecimento público. A partir de 2002, a empresa desenvolveu índices mais específicos, dentre eles o IAP (Índice de Qualidade de Águas Brutas para Fins de Abastecimento Público), o qual atende à tomada de decisão do uso da água de rios e reservatórios antes de passar pelo processo de tratamento (CETESB, 2016).

4.2 SEQ-EUAX

A análise do índice francês, SEQ-EUAX (Systeme D'evaluation de la Qualite des Eaux Souterraines), denominado nesse estudo de IQA-FRANÇA foi baseada nos estudos da própria Agencia Francesa de Água (França, 2003), e nos estudos de Cadilhac & Albinet (2003). A elaboração desse índice fez parte do programa de inter-agências criado em 1994, cujo objetivo foi desenvolver um SEQ Eaux souterraines (Sistema de Avaliação da Qualidade de Água Subterrânea) com vistas de harmonizar, modernizar e enriquecer os sistemas de avaliação da qualidade dos ambientes aquáticos. Este grupo, liderado pela Agência de Água do país, foi composto por representantes de outros órgãos, também ligados à gestão da água e meio ambiente.

A ideia era definir o atendimento aos vários usos da água, em função da sua importância, criando um índice que deveria expressar a magnitude das alterações físico-químicas da água em uma determinada região que sofre alterações devido à presença de

atividades humanas. Para a classificação da qualidade água (Quadro 6), foram definidas de 3 a 5 classes, com adoção de cores (azul, verde, amarelo, laranja e vermelho).

Quadro 6- Cores e classes de qualidade da água para consumo humano – modelo do IQA francês

Classe/cores	Índice	Classe de qualidade
Azul	80 a 100	muito boa qualidade
Verde	60 à 79	boa qualidade
Amarelo	40 à 59	qualidade regular
Laranja	20 a 39	qualidade ruim
Vermelho	0 à 19	qualidade muito ruim

Fonte: França (2003)

Para cada alteração identificada nos resultados das amostras de água, são definidos sub-índices (I_i) que representam essas alterações e que compõem faixas de classificação em função da pior (vermelho) à melhor qualidade (azul).

O IQA-FRANÇA avalia os grupos de alteração de acordo com o uso e finalidade da água, variando de 0 a 100.

Os grupos foram definidos por tipo de poluição e em função disso se relacionam os parâmetros que indicam a presença dos níveis de ocorrência na água. O Quadro 7, apresenta os grupos que provocam alterações na água e os parâmetros relacionados.

Quadro 7 - Definição dos grupos de alterações na água e respectivos parâmetros – IQA-FRANÇA

Grupos de Alterações	Parâmetros relacionados
Sabor e Odor	Sabor e Odor
Material Orgânico e Oxidável	Carbono Orgânico Dissolvido
Partículas em Suspensão	Turbidez e Material em Suspensão
Ferro e Manganês	Ferro Total, Manganês Total
Coloração	Cor
Microorganismos	Escherichia coli, Enterococos ou Streptococos Fecais, Coliformes Totais
Mineralização e Salinidade	Condutividade Elétrica, Resíduo Seco, pH, Cloreto, Sulfato, Dureza, Alcalinidade Total, Cálcio, Magnésio, Sódio, Potássio, Fluoreto, Índice de Saturação, RAS (Razão de Adsorção de Sódio)
Nitrato	Nitrato
Nitrogenados (exceto Nitrato)	Amônia, Nitrito
Micropoluentes Minerai	Alumínio, Antimônio, Arsênio, Bário, Boro, Cádmi
Pesticidas	Aldrin, Atrazina, Desetilatr

Grupos de Alterações	Parâmetros relacionados
Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (HPA)	Benzo[a]pireno, HPA
Bifenilpoliclorados (PCB)	PCB
Micropoluentes Orgânicos (outros)	Benzeno, Clorofórmio, Detergentes aniônicos, Dicloroetano-1,2, Hidrocarbonetos Dissolvidos, Hexaclorobenzeno, Índice Fenol, Tetracloroetileno, Tetracloroeto de carbono, Tricloroetileno, Tricloroetano-1,1,1, Tricloroetileno e Tetracloroetileno Totais, Trihalometanos (THM's)
Corrosão	CO ₂ dissolvido, O ₂ dissolvido, Salinidade, Condutividade, pH, Cloreto, Sulfato, Ferro Bactérias, Sulfito, Eh (potencial redox)
Formação de Depósitos	pH, Eh, O ₂ dissolvido, Ferro Bactérias, Índice de Saturação
Temperatura	Temperatura

Fonte: França (2003)

Cada parâmetro é avaliado individualmente, sendo posteriormente avaliado ao qual grupo ele pertence. Dessa forma, são atribuídos valores para esses grupos e definidas as classes de qualidade.

Logo, esse modelo adota duas estratégias: a nota do modelo pode ser atribuída em função da análise da agregação dos parâmetros, considerando um indicador mínimo das médias, ou a nota pode ser atribuída em função da agregação por grupo de alteração, com definição de um indicador que representa a média dos mínimos.

A formulação matemática do SEQ – Eaux Souterraines, tem como base o método de Smith (IS), discutido em Menezes (2009), em que a autora destaca que esse método adota o valor mínimo para representar o resultado do índice, diferente do IQA-NSF, que adota somatório ou produtório. Logo, o SEQ-EAUX tem a seguinte equação para emitir a nota final de qualidade da água subterrânea:

$$\text{SEQ-EAUX} = \min (I_1, I_2, I_3, \dots, I_i) \quad (2)$$

Onde:

I_i = valor dos subíndices

O modelo foi construído para atender as normas europeias e francesas e sua estrutura é flexível, permitindo a inserção de novos parâmetros a qualquer momento (CADILHAC & ALBINET, 2003).

O IQA-FRANÇA foi projetado para atender às necessidades de diferentes atores interessados na água: gestores, especialistas e usuários. Ele define a capacidade da água para

satisfazer os vários usos e dá uma indicação do seu estado de alteração (desvio a partir de um estado natural). Fornece uma descrição da qualidade da água para permitir a definição de indicadores de monitoramento, ou seja, pode-se adotar alguns dos parâmetros envolvidos na simulação para servirem de sinalizadores da qualidade da água para o local analisado. Logo, assim como os demais índices, também facilita que uma pessoa menos qualificada tenha acesso à informação de forma simples e clara (CADILHAC & ALBINET, 2003).

4.3 WQI-CCME

O índice WQI-CCME (Water Quality Index-Canadian Council of Ministers of the Environment) ou IQA-CCME, desenvolvido pelo Ministério do Meio Ambiente do Canada, fornece resultados expressos em faixas de valores, que determinam o nível de qualidade da água. Sua criação baseou-se no IQA-NSF, e após adequações, em 2001, tornou-se um índice flexível, adaptável às condições locais, devido às suas especificidades, podendo ser utilizado para determinar o nível de tratamento de uma água de fonte potável (HURLEY, SADIQ & MAZUMDER, 2012).

O IQA-CCME é um índice que compara os resultados das análises da água com níveis de qualidade, cuja pontuação varia de 0, representando a pior qualidade, até 100, representando a melhor qualidade.

Sua flexibilidade é devido principalmente à facilidade de seleção dos parâmetros que podem ser inseridos no modelo. Ou seja, não há limitações, pois o que importa é que eles tenham seus respectivos valores de referência (norma padrão) e possuam definições adequadas para os usos desejados (HURLEY, SADIQ & MAZUMDER, 2012).

O IQA-CCME é calculado da seguinte forma:

$$\text{IQA-CCME} = 100 - \left[\sqrt{\frac{F1^2 + F2^2 + F3^2}{1,732}} \right] \quad (3)$$

Onde:

F1 (%) (alcance): percentual que representa quantas vezes a variável (parâmetro) analisada se apresenta fora do limite da norma em referência, pelo menos uma vez durante o período de tempo considerado;

F2 (%) (frequência): percentual que representa o número de vezes que cada amostra analisada apresenta o parâmetro fora do limite, no período de tempo considerado;

F3 (%) (amplitude): percentual que representa o desvio de cada parâmetro em relação ao seu respectivo limite de referência.

O divisor 1,732, que corresponde ao valor da $\sqrt{3}$, normaliza os valores resultantes para um intervalo entre 0 e 100, onde 0 representa a "pior" qualidade da água e 100 representa a "melhor" qualidade da água.⁹

O IQA-CCME tem sido utilizado para caracterizar não somente água para consumo humano, mas também outros usos, incluindo a agricultura e a proteção da vida aquática (HURLEY, SADIQ & MAZUMDER, 2012).

A classificação do IQA-CCME (Quadro 8) obedece às seguintes categorias:

Quadro 8 -. Categorias de classificação da qualidade da água – IQA-CCME

Nível de Qualidade / Categoria	Faixa	Interpretação
Excelente	95-100	água protegida, com uma virtual ausência de ameaça ou prejuízo; condições muito próximas dos níveis naturais ou intocada.
Bom	80-94	água protegida, com baixa possibilidade de ameaça ou prejuízo; condições próximas dos níveis naturais ou desejáveis.
Regular	65-79	água geralmente protegida, mas, ocasionalmente, ameaçada ou prejudicada; condições, por vezes, afasta-se dos níveis naturais ou desejáveis.
Ruim	45-64	água frequentemente ameaçada ou prejudicada; condições muitas vezes fora dos níveis naturais ou desejáveis.
Muito ruim	0-44	água quase sempre ameaçada ou prejudicada; condições geralmente fora de níveis naturais ou desejáveis

Fonte: CCME (2014)

Uma análise conclusiva, realizada por Tyagi (2013), no estudo comparativo de quatro IQAs, incluindo o CCME, pondera sobre as principais vantagens e desvantagens, para este índice:

Vantagens:

- Representa medidas de uma variedade de variáveis em um único número;
- Flexibiliza a seleção de parâmetros e objetivos de entrada;
- Adapta-se a diferentes requisitos legais e a diferentes usos da água;
- Instrumento adequado para a avaliação da qualidade da água em um local específico.

Desvantagens:

- Agrupamento de informações sobre as variáveis individuais;
- Necessita de análise em paralelo das interações entre as variáveis, não se evidenciando no resultado do índice;
- A mesma importância é dada para todas as variáveis.

Essa análise incluí críticas favoráveis que subsidiam a utilização do modelo pelos órgãos gestores, destacando-se a possibilidade de agregar vários parâmetros em um único resultado para o corpo d'água avaliado; possuir um padrão de referência é importante, pois evita que se descarte o parâmetro do processo de simulação e obtenção do índice; os resultados parciais (F1, F2 e F3) já sinalizam preliminarmente possíveis interferências de contaminação da água, pois mostram que pelo menos um dos parâmetros apresentou desconformidade com a norma, o que já facilita a análise do resultado do índice, e conseqüentemente à tomada de decisão quanto ao usos da água.

Já as análises desfavoráveis indicam necessidade de adequação do modelo, no cálculo final do índice, devido à padronização exigida no modelo, que agrupa todas as variáveis, gerando uma espécie de compensação entre valores bons e ruins, o que faz uma variável, que apresente um desvio significativo, não ser evidenciada no resultado final da simulação.

4.4 IQNAS

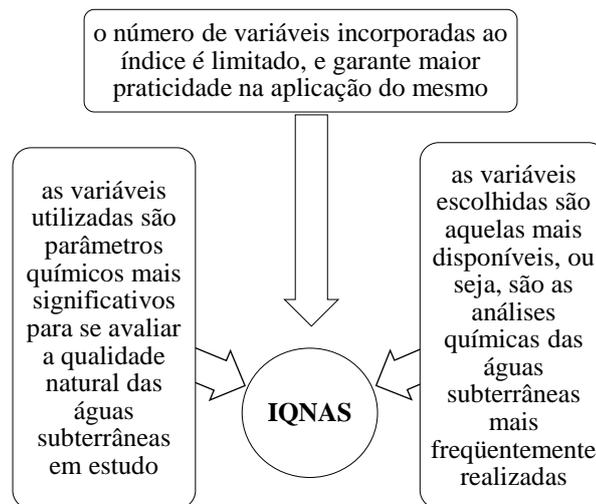
O índice IQNAS (Índice de Qualidade Natural de Água Subterrânea), desenvolvido por pesquisadores da Universidade Federal da Bahia (UFBA), em 2004, foi criado principalmente para transmitir as peculiaridades locais da água subterrânea do estado brasileiro. O IQNAS é uma ferramenta de grande utilidade para o público em geral, pois pode contribuir para programas de monitoramento dos recursos hídricos, que envolvem a avaliação sazonal da qualidade da água, permitindo uma análise comparativa e com isso obtenção da classificação do nível de qualidade do manancial, acompanhado dos possíveis usos (OLIVEIRA, NEGRÃO & SILVA, 2006).

A metodologia de criação do IQNAS, se assemelha ao método do IQA proposto pela NSF (National Sanitation Foundation), já descrito anteriormente.

O IQNAS foi desenvolvido conforme três estratégias básicas: i) levantamento da opinião de especialistas, ii) utilização de dados hidroquímicos, e, iii) aplicação de métodos estatísticos (OLIVEIRA, NEGRÃO & SILVA, 2006).

Na Figura 12, destacam-se algumas características intrínsecas à maioria dos índices de qualidade da água e também evidenciadas no IQNAS:

Figura 11 - Características evidenciadas no IQNAS



Fonte: Oliveira, Negrão & Silva (2006)

Assim, os parâmetros químicos considerados significativos pelo IQNAS, para avaliar a qualidade da água de domínios hidrogeológicos do Estado da Bahia (sedimentar, metassedimentar, cárstico e cristalino) são: cloreto, pH, sólidos totais, dureza, flúor e nitrato (OLIVEIRA, NEGRÃO & SILVA, 2012).

A formulação matemática (Eq. 4) escolhida para o IQNAS foi a mesma utilizada para o IQA da CETESB:²⁴

$$\text{IQNAS} = Q_1^{w_1} \times Q_2^{w_2} \times Q_3^{w_3} \times \dots \times Q_n^{w_n} = \pi^n Q_i^{w_i} \quad (4)$$

Ou seja, um produto π dos valores de qualidade da água subterrânea para cada parâmetro químico escolhido (Q_i), elevado ao peso atribuído a cada variável (w_i).

Os valores de qualidade (Q_i), são calculados para cada parâmetro, a partir de equações matemáticas⁶, que relacionam as concentrações com a respectiva curva de qualidade do parâmetro, tomando como base a Portaria de potabilidade n° 518/2004⁷. A construção das curvas características da qualidade relativa a cada parâmetro pode ser conferida em Oliveira, Negrão & Silva (2007).

Os pesos (w_i) (Quadro 9), propostos por especialistas em hidrogeologia do Estado da Bahia foram testados nas supracitadas equações matemáticas, estabelecidas para cada parâmetro.

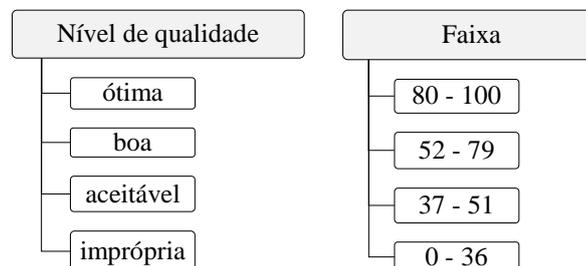
Quadro 9 - Parâmetros utilizados no IQNAS, com respectivos pesos

Parâmetro	Peso (w_i)
Cloreto	0,26
pH	0,05
Sólidos totais	0,22
Dureza	0,16
Flúor	0,16
Nitrato	0,15
Σ	1,0

Fonte: Oliveira, Negrão & Silva (2006)

Evidencia-se o cuidado dos autores ao validarem as funções matemáticas estabelecidas com as notas de qualidade adotadas (0 a 100), e já testadas no IQA-NSF, adequando-as faixas de notas para o IQNAS, variando de imprópria a ótima, ou seja, da pior para a melhor qualidade (Figura 13).

Figura 12 - Nível de qualidade ou classificação da água em função do resultado do IQNAS



Fonte: Oliveira, Negrão & Silva (2006)

⁶ Tabela 1: Equações matemáticas para as curvas de qualidade versus concentração

⁷ Atualmente a Portaria 518/2004 foi substituída pela PRC n° 05/2017 (BRASIL, 2017)

A aplicação do IQNAS foi feita na análise da água dos principais domínios do estado da Bahia, considerando 1.899 poços, e o resultado foi considerado bastante satisfatório, uma vez que está adequadamente associado ao tipo de rocha predominante em cada um desses domínios (OLIVEIRA, NEGRÃO & SILVA, 2006). Verificou-se que de 79% a 93% dos poços analisados indicaram água ótima e boa, com o domínio das bacias sedimentares e metassedimentares, seguidas pelo poços inseridos no domínio cárstico, abaixo de 50%, sendo que a pior qualidade foram às águas do domínio cristalino, representadas por 25% das águas consideradas ótima e boa.

Como a principal função dos indicadores de qualidade da água é evidenciar o nível de qualidade da água, para apoiar no estabelecimento prioritário de seu uso, o IQNAS, se mostra como uma ferramenta que representa bem essa função, desde que seja aplicado em áreas que identifiquem que os 6 parâmetros do referido modelo, também representam as condições de qualidade que se deseja evidenciar.

4.5 IQAS E E-IQUAS

Outros índices específicos também foram desenvolvidos pelos pesquisadores da UFBA, para as águas subterrâneas dos domínios hidrogeológicos predominantes nas regiões brasileiras: o IQAS (Índice de Qualidade das Águas Subterrâneas) e o e-IQUAS (Índice de Qualidade de Uso da Água Subterrânea). O IQAS, com mesma formulação matemática, quantidade de parâmetros inorgânicos e mesmo padrão de classificação de qualidade do IQNAS, adotou a salinidade em substituição ao cloreto, indicando a prevalência de concentrações de outros sais nas águas desses domínios.

O IQAS foi testado com amostras de 201 poços tubulares distribuídos na Bacia Sedimentar da Região do Recôncavo e de Irecê, no estado da Bahia. As análises da qualidade da água foram confrontadas com as análises da água oriundas de amostras de águas minerais engarrafadas, da mesma região, e considerada de excelente qualidade e ótimo nível de potabilidade. Os resultados indicaram que o IQAS sinalizou adequadamente os níveis de qualidade das águas subterrâneas das regiões estudadas domínios (OLIVEIRA, NEGRÃO & ROCHA, 2004).

Já o modelo matemático e-IQUAS, desenvolvido por Almeida (2012), foi formulado para simular todos os parâmetros mais significativos de ocorrência em águas subterrâneas, para os diversos usos da água.

O e-IQUAS apresenta etapas peculiaridades para alcançar o resultado final da simulação:

- realiza o cálculo do Índice de Aderência dos Parâmetros das Amostras (IAPA), avaliando sua precisão através do coeficiente de variação; é calculado pela razão entre o desvio padrão e a média; quanto menor o coeficiente de variação, mais homogeneidade existe entre os parâmetros;
- realiza o cálculo do Índice de Aderência das Amostras aos Padrões de Qualidade (IAPQ), utilizando o WQI-CCME, quando se avalia a proximidade das concentrações medidas, com o objetivo pretendido de uso da água; esse procedimento permite a seleção mais apurada das amostras antes do cálculo do e-IQUAS; os resultados variam no intervalo de 0 a 100 (adimensionais), e quanto mais se aproxima de 100, mais próximo da qualidade de água adequada ao uso desejado; Cabe destacar que tanto o cálculo do IAPA, como o IAPQ, são realizados para grupos de amostras;
- estabelece 8 Grupos de Alterações (agregação), em função do uso pretendido da água, baseando-se nas características de “mesma natureza ou de mesmo efeito” dos parâmetros na qualidade da água subterrânea, conforme estratégia já utilizada pelo índice SEQ-EAUX, em 2003; nessa etapa, se utiliza de média aritmética sobre os valores dos parâmetros e se identifica o valor mínimo calculado como sendo o resultado da agregação; esse valor mínimo pode representar a pior alteração entre os parâmetros ou pode representar a pior alteração entre os pontos amostrados;
- se baseia em Stigter, Ribeiro & Carvalho Dill (2006), para estabelecer notas de qualidade a cada parâmetro em análise; ou seja, define 4 classes ou categorias de qualidade, baseando-se nos parâmetros e respectivos padrões normativos: concentração abaixo de um valor de referência C1, concentração entre os valores de relevância C1 e C2, concentração entre os valores de relevância C2 e C3 e

concentração acima do valor máximo admissível; após se identificar o valor mínimo pelo método do SEQ-EAUX, o resultado se enquadra em uma dessas categorias;

- na última etapa, se define a nota final de qualidade a partir do método de agregação de “operador mínimo”. Ou seja, a nota do índice é oriunda da menor entre as notas obtidas a partir da agregação dos parâmetros nos grupos de alterações (C); os resultados são valores adimensionais associados às quatro classes de qualidade: 80 (ótima)(Classe 1), 60 (boa)(Classe 2), 40 (regular)(Classe 3) e 20 (ruim)(Classe 4).

A formulação do e-IQUAS adota o método de “operador mínimo”:

$$e\text{-IQUAS} = \min(N(G1), N(G2), N(G3)...N(Gn)) \quad (5)$$

$G_j = j\text{-ésimo grupo de alterações}$ (varia de 1 a 8)

$N(G_j) = \text{nota do } j\text{-ésimo grupo de alterações}$ (20, 40, 60 ou 80)

$$N(G_j) = \min(N(P1), N(P2), N(P3)...N(P_n)) \quad (6)$$

$P_i = i\text{-ésimo parâmetro}$

Da aplicação do e-IQUAS (Equação 5), resulta um número adimensional com valores 20 (ruim), 40 (regular), 60 (boa) e 80 (ótima), associados às quatro categorias de qualidade das águas subterrâneas (ALMEIDA, 2012).

O e-IQUAS foi testado em águas subterrâneas da Bahia e de Minas Gerais, em águas envasadas, e, em outros estados brasileiros com base em seus rótulos, para análise de água de poços com fins de abastecimento humano, cujos dados foram utilizados tanto para fins de monitoramento pelos órgãos de gestão, como por empresas que comercializam águas naturais. Obteve-se um resultado que evidenciou que a forma como o índice foi construído permite flexibilidade na seleção de parâmetros e é aplicável para os diversos usos da água. Houve variação das categorias de qualidade da água em três áreas de estudos (mananciais do estado da Bahia, no estado de Minas Gerais e Águas Envasadas de oitos estados brasileiros); a nota de qualidade oscilou nas quatro categorias (ótima, boa, regular e ruim) para os mananciais e obteve nota boa para a maioria das análises realizadas de águas naturais envasadas.

Cabe destacar que esse modelo aceita a inserção de dados orgânicos, e também foi testado em área sob influência de atividades industriais.

4.6 GQWI-PORTUGAL

Na aplicação do índice GWQI-Portugal (Groundwater Quality Index-Portugal) ou IQAS-Portugal, um dos estudos (STIGTER, RIBEIRO & CARVALHO DILL, 2006), sinaliza a grande preocupação dos especialistas, no desenvolvimento de índices, que avaliem a interferência do crescimento de atividades agrícolas em função dos níveis de concentração de nitratos nas águas, principalmente devido ao uso descontrolado de fertilizantes.

A intensificação da agricultura na Europa, ocorreu no início da década de oitenta e levou ao aumento, muitas vezes descontrolado, do uso de fertilizantes minerais, encorajado por subsídios da União Europeia (UE). Em análise de mais de 300 poços, entre 1996 e 2000, em províncias costeiras do país, foi identificado que 32% dos poços amostrados, apresentaram valores acima do limite para potabilidade (STIGTER, RIBEIRO & CARVALHO DILL, 2006),

O IQAS português apresenta uma metodologia diferente dos outros índices: considera somente 3 classes⁸, associadas as seguintes concentrações dos parâmetros: i) menor qualidade da água (LQ); ii) conforme padrão de referência (GL) e iii) alta qualidade (HQ). Essas classes foram segregadas em função das normas de potabilidade, estabelecida pela Comunidade Econômica Europeia (CEE), que indicam a concentração máxima permitida de determinada substância na água para consumo.

Para classificação da água (Quadro 10) os autores criaram as seguintes categorias, em função da concentração dos parâmetros que se desejou analisar:

- Classe 1 ($HQ \leq GL$): os níveis de concentrações dos parâmetros devem ser menor ou igual ao padrão de referência (GL);
- Classe 2 ($GL - MAC^9$): os níveis de concentrações devem se situar entre o padrão de referência (GL) e a concentração máxima permissível (MAC);

⁸ LQ: low quality; GL: *guide level*; HQ: high quality

⁹ MAC: *maximum admissible concentration*

- Classe 3 (LQ): os níveis de concentrações se situam acima da concentração máxima permissível.

Quadro 10 - Definição das classes de qualidade de água pelo IQAS-Portugal (GWQI-Portugal)

Parâmetro de análise	Classificação do IQAS (GWQI)		
	Classe 1 HQ ≤ GL	Classe 2 GL - MAC	Classe 3 LQ > MAC
NO ₃ ⁻	≤ 25	25 - 50	> 50
SO ₄ ²⁻	≤ 25	25 - 250	>250
Cl ⁻	≤ 25	25 - 250	> 250
Ca ²⁺	≤ 100	100 - 200	> 200

Unidade dos dados em mg/L / Fonte: Stigter, Ribeiro & Carvalho Dill (2006)

No Quadro 11, o resultado de NO₃⁻ (nitrato), na amostra A foi 31 mg/L, implica dizer que é Classe 2 (Quadro 10), evidenciando que a mesma encontra-se no intervalo de 25 a 50 mg/L. Logo, de acordo com a padronização dos dados definida pelos autores supracitados, define-se que o resultado é “1”, pois a amostra possui uma classificação. A mesma analogia pode-se fazer para as demais amostras de nitrato, que evidenciaram Classe 3, para a amostra B e Classe 1 para a amostra C, respectivamente (135 e 6 mg/L). Os resultados que deram “0”, significa que as amostras não pertencem às outras classes definidas.

Quadro 11 - Procedimento para padronização do nitrato (NO₃⁻)

Nº amostra	Concentração de NO ₃ ⁻ (mg/L)	Padronização para o IQAS (GWQI)		
		≤ GL	GL - MAC	> MAC
A	31	0	1	0
B	135	0	0	1
C	6	1	0	0

GL (*guide level*): padrão de referência; MAC (*maximum admissible concentration*): concentração máxima permissível / Fonte: Stigter, Ribeiro & Carvalho Dill (2006)

Para chegar ao índice, destacam-se o uso de transformações estatísticas, correlações, identificação de similaridades, dentre outras estratégias que permitem alcançar um resultado mais próximo da situação real. Ao final, o IQAS (GWQI) apresenta a seguinte formulação matemática:

$$F_i = \frac{1}{p\sqrt{\lambda}} \sum_{j=1}^m \delta_j L_j \quad (7)$$

Onde,

F_i : pontuação final da amostra i (varia de -1, alta qualidade, a 1, baixa qualidade)

p : número de parâmetros envolvidos na construção do índice

λ : valor próprio

m = número de classes (=3)

j : número da classe (1, 2 ou 3)

δ_j : fator que indica o parâmetro pertence a alguma classe (1, se pertence a classe j , 0, se não for)

L_j : fator de carregamento da classe j

Após o resultado do índice, faz-se sua distribuição, resultando na agregação das amostras em função do seu nível de variação de -1 a 1. O zero indica água dentro dos padrões.

A aplicação do índice utilizou parâmetros relacionados à interferência agrícola (nitrito, sulfato, cloreto e cálcio) em duas regiões litorâneas em Portugal (Campina de Faro e Campina da Luz) e obteve resultados indicando, que as duas áreas estudadas apresentavam baixo nível de qualidade da água, revelando alto potencial de degradação de seus aquíferos (STIGTER, RIBEIRO & CARVALHO DILL, 2006).

O GWQI-PORTUGAL, embora também se apresente como uma ferramenta facilitadora para gestão dos níveis de poluição das águas subterrâneas, requer cuidados quanto à agregação das variáveis envolvidas, pois verifica-se que cada amostra é padronizada separadamente, devido sua concentração se encontrar dentro ou fora do padrão de referência, para depois classificá-la, realizar a simulação (calcular F) e por último agregar os resultados em função da alta ou baixa qualidade da água identificada na simulação.

4.7 WQI-INDIA

O índice WQI ou IQA-INDIA, desenvolvido em 2012 foi criado para avaliar a influência das atividades naturais e antrópicas com base em vários parâmetros químicos, considerados importantes para as águas subterrâneas (KUMAR et al, 2014).

Para o cálculo do IQA-ÍNDIA, foram atribuídos pesos relativos de 0 a 1 (Quadro 12), de acordo com a importância dos parâmetros, para fins de potabilidade da água:

Quadro 12 - Parâmetros utilizados no IQA-INDIA, com respectivos pesos

Parâmetro	Peso (wi)
Nitrato (NO ₃)	0,142
Potencial Hidrogeniônico (pH)	0,114
Sólidos dissolvidos totais (STD)	0,142
Sulfato (SO ₄)	0,114
Bicarbonato (HCO ₃)	0,086
Cloreto (Cl) ⁻	0,086
Cálcio (Ca) ²⁺	0,057
Magnésio (Mg) ²⁺	0,029
Potássio (K) ⁺	0,057
Sódio (Na) ⁺	0,057
Condutividade elétrica	0,114

Fonte: Kumar et al (2014)

O IQA-ÍNDIA é calculado a partir das seguintes equações:

$$Sl_i = W_i \times q_i \quad (8)$$

$$q_i = (C_i/S_i) \times 100 \quad (9)$$

$$WQI = \sum Sl_i \quad (10)$$

Onde,

q_i , indica a classificação de qualidade;

C_i , indica a concentração de cada parâmetro químico em cada amostra, expressa em miligramas por litro;

S_i , indica o padrão da OMS (WHO, 2011), para cada parâmetro químico em miligramas por litro;

W_i , é o peso atribuído ao parâmetro (Quadro 12).

Por fim, calcula-se o Sl_i , que é a nota de classificação para cada parâmetro simulado.

Para o cálculo do IQA-ÍNDIA (WQI), faz-se a soma dos valores do Sl_i , que resulta no índice de qualidade de água para cada amostra.

A categoria de classificação, no caso deste índice, considera que quanto maior o valor do IQA calculado maior é sua condição de inadequabilidade ao uso:

≤ 50 (excelente);

50 a 100 (água boa);

- 100 a 200 (água ruim);
- 200 a 300 (muito ruim);
- > 300 (imprópria).

Para demonstrar a aplicação deste índice, Al-Hadithi (2012), utilizou-se 21 amostras de água subterrânea de uma bacia hidrográfica, no Distrito de Haridwar, Índia. Dos parâmetros do Quadro 12, foram analisados 9, e comparados entre si, por grupos de afinidade. O resultado mostrou que 48% das amostras de água se enquadravam na categoria excelente e 48% na categoria de água boa. O autor identificou que somente 4% das amostras apresentaram condição de qualidade muito ruim, o que foi atribuído principalmente aos valores elevados de cálcio, potássio, nitrato, sólidos totais dissolvidos, bicarbonato e cloreto, nas águas subterrâneas, sendo ressaltada ao final do estudo, a importância de se monitorar regularmente a qualidade das águas subterrâneas utilizando ferramentas como o IQA, que é eficaz para as mudanças espaciais e temporais na qualidade da água e do solo.

Tanto Kumar et al (2014), como Al-Hadithi (2012), utilizaram este índice, demonstrando a facilidade de aplicação e evidenciando que se trata de uma técnica que deve ser mantida para dar suporte às decisões quanto aos usos prioritários da água subterrânea no país.

4.8 ANÁLISE COMPARATIVA DOS ÍNDICES

A aplicação de IQA's como ferramenta de avaliação dessas águas é muito útil para dar subsídio à gestão de recursos hídricos, quanto se trata de tomar decisão quanto aos seus usos, principalmente para atender consumo humano.

Os IQA's são ferramentas de comunicação entre o gestor e o usuário da água e permitem sua análise, principalmente para garantir seu uso mais nobre.

O índice a ser utilizado deve ser cuidadosamente selecionado, pois alguns deles foram criados para atender determinada especificidade de uma região, a exemplo do IQA indiano e dos brasileiros (IQNAS e IQAS).

Como nem todos os dados das análises de qualidade da água podem ser inseridos em um índice, pois o tornaria indesejavelmente complexo, decorre então, a necessidade de

utilizar índices que possam retratar melhor a real situação local e não somente utilizá-lo para exprimir condições genéricas.

O IQA-NSF, dos Estados Unidos, um dos primeiros IQA's a serem utilizados pelos governos, destaca-se pela sua ampla divulgação, e por servir de base para a criação de outros IQA's.

O desenvolvimento de todos os índices baseou-se na opinião de especialistas com relação à importância do parâmetro, na normalização dos dados e na inserção de padrões de referência, os quais são utilizados como base de cálculo.

Índia, Portugal, França, Canadá e Brasil, criaram IQA's que podem permitir a análise da água em função do tipo de uso pretendido ou em função da interferência previamente identificada.

Independente das peculiaridades a serem consideradas no índice, eles são úteis para fins de comparação entre áreas com determinado nível de impacto. A água de uma área com atividades industriais pode apresentar maior inconformidade para usos de consumo humano, mas pode ser utilizada para outros usos, que não exigem nível de tratamento elevado.

Os métodos: CCME, SEQ-Eaux, PORTUGUÊS e e-IQUAS, são os índices que mais se aplicam aos objetivos desse estudo pelo fato de não restringirem o número de parâmetros utilizados no modelo e, também, admitirem compostos orgânicos voláteis.

Os métodos: INDIA, BRASIL (IQAS e IQNAS) e USA (NSF) apresentam limitação quanto ao número de parâmetros usados, variando de 6 a 13 parâmetros.

Os Quadros 13 e 14, evidenciam as principais diferenças e similaridades entre os IQA's, apresentadas e discutidas neste capítulo.

Quadro 13 – Análise comparativa entre os modelos de qualidade da água subterrânea - IQAs

ÍNDICE / PAÍS DE APLICAÇÃO	CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS															Objetivos de utilização	
	n° parâmetros	n° de análises	Tipos de parâmetros														
			pH	T	Tur	OD	P	N	ST	Col	DBO	Me	Pe	Cl	Outros (*)		
IQA NSF - National Sanitation Foundation EUA; 12 estados brasileiros	9	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					Padronizar a avaliação de corpos hídricos nos programas de monitoramento da qualidade da água
IQA CCME-Canadian Council of Ministers of the Environment	≥ 4	≥ 4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Monitorar a qualidade da água; Avalia a frequência e a extensão com que um dado ultrapassa seus níveis normais de qualidade da água/padrões ambientais.
IQA SEQ-Eaux Souterraines França	17 grupos/mínimo de 83 parâmetros relacionados	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Alteração da qualidade e uso do recurso. Cada parâmetro é avaliado individualmente e posteriormente é avaliado o grupo que ele pertence.
IQA-ÍNDIA	11 a 13	-	X												X	Potabilidade	
IQA-PORTUGAL	≥ 4	-											X	X	X	Atividades agrícolas	
IQAS-BRASIL	6	-	X					X (NO ₃)	X						X	Potabilidade; Transmitir as peculiaridades locais da água subterrânea do estado brasileiro.	
IQNAS-BRASIL	6	-	X					X (NO ₃)	X					X	X	Avaliar qualidade natural da água subterrânea do estado brasileiro.	
e-IQUAS-BRASIL	8 grupos/85 parâmetros relacionados	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Se aplica aos múltiplos usos da água

pH: potencial hidrogeniônico; T: temperatura; Tur: turbidez; OD: oxigênio dissolvido; P: fósforo; N: nitrogênio; ST: sólidos totais; Col: coliformes; DBO: demanda bioquímica de oxigênio; Me: metais; Pe: pesticidas;

(*): parâmetros necessários para completar a análise, ou parâmetros focados no objetivo do uso, inclusive os compostos orgânicos

Quadro 14 – Quadro resumo parecer versus critérios de qualidade da água – IQAs

INDICE	CARACTERISTICAS ESPECIFICAS	
	Parecer/Artigos	Critério de avaliação
IQA NSF - National Sanitation Fondation / EUA	Parâmetros criados a partir do julgamento de especialistas; não contempla parâmetros relevantes oriundos de atividades agrícolas e industriais (metais pesados, pesticidas, trihalometanos, presença de parasitas patogênicas e surfactantes. etc); tende a superestimar a qualidade de um determinado recurso hídrico; aplicado em recursos hídricos superficiais.	(0 a 100) - Ótima, Boa, Regular, Ruim, Péssima
IQA CCME - Canadian Council of Ministers of the Environment	Parâmetros definidos em função da existência de diretrizes/normas padrão; não é adequado para usos restritivos; índice aberto e flexível; aplicado em recursos hídricos superficiais e subterrâneos.	(0 a 100) - Ótima, Boa, Regular, Ruim, Péssima
IQA SEQ - Eaux Souterraines / FRANÇA	Adequado para caracterizar uma amostra e para guiar os usuários e os órgãos ambientais ao uso em si; criada para atender as normas europeias (francesas); específico para recursos hídricos subterrâneos.	(0 a 100) - classificação depende da atividade/uso
IQA - INDIA	Criado para avaliar a influência das atividades naturais e antrópicas com base em vários parâmetros químicos (inorgânicos), considerados importantes para as águas subterrâneas.	(>50 a > 300) - Ótima, Boa, Ruim, Muito ruim, imprópria
IQA - PORTUGAL	Áreas de alta e baixa qualidade da água podem ser facilmente distinguidos por cientistas, bem como os gestores públicos ou a sociedade em geral. Os mapas podem servir como um guia para detectar a presença de contaminantes mais complexos, tais como os pesticidas, que são frequentemente difíceis de analisar e podem formar uma ameaça grave para a saúde; específico para recursos hídricos subterrâneos.	(0 ou 1 para definição da classe); 3 classes: menor, média e alta qualidade
IQAS-BRASIL	Dá uma boa resposta para os objetivos desejados, principal sobre as interferências de sais na água; específico para recursos hídricos subterrâneos.	(0 a 100) - Ótima, Boa, Aceitável; Imprópria
IQNAS-BRASIL	Aplicado em áreas que identifiquem que os 6 parâmetros do modelo (cloreto, pH, sólidos totais, dureza, flúor e nitrato) representam as condições de qualidade que se deseja evidenciar; específico para recursos hídricos subterrâneos.	(0 a 100) - Ótima, Boa, Aceitável; Imprópria
e-IQUAS-BRASIL	Índice adequado para qualificação das águas subterrâneas, fácil de aplicar, equilibrado do ponto de vista de complexidade técnica e totalmente flexível à inclusão de qualquer variável. Seu cálculo pode ser desenvolvido em qualquer linguagem de programação e disponibilizado livremente para uso da comunidade;	(80, 60, 40 e 20) - Ótima, Boa, Regular e Ruim

O IQA-CCME destaca-se pela não limitação de parâmetros que podem ser inseridos, com os respectivos valores de referência existentes, independente do uso da água previsto. Embora ocorra uma simulação agregando todos os parâmetros que se deseja avaliar, o conhecimento dos riscos dessa agregação, induz a que se tenha cuidados, utilizando parâmetros que se relacionem à interferência que se deseja monitorar.

O SEQ-Eaux, também não tem limite de parâmetros, mas possui uma padronização diferente ao trabalhar por grupos (17) e agregar os parâmetros em função da atividade produtiva ou em função do uso da água pretendido. Da mesma forma o e-IQUAS (Brasil), sendo que reduziu o número de grupos para 8 (oito), em função das similaridades de alterações. Ambos os IQA's, adotam uma metodologia que requer cuidados com as informações trabalhadas, devido ao número de avaliações preliminares que se realiza antes da simulação propriamente dita.

O IQA-PORTUGAL, além de criar classificações intermediárias (classe 1, 2 e 3), também apresenta seus resultados com valores que variam de “-1 a 1”, o que define uma padronização para a água avaliada como de baixa ou alta qualidade. A estratégia dessa padronização é realizar a simulação separadamente para cada parâmetro. Ou seja, se houverem 500 análises de benzeno, por exemplo, todas as concentrações precisam inicialmente passar pela classificação estabelecida pelo modelo, o que demanda tempo. Após isso, é que se obtém o resultado da simulação que vai orientar na agregação dos resultados entre águas de baixa ou alta qualidade.

Dados históricos de águas subterrâneas são primordiais para que se conheça o aumento ou redução da concentração de determinado contaminante e em função disso, visando dar suporte ao desenvolvimento de IQA's específicos para a região. Por exemplo, uma região tipicamente agrícola, requer um banco de dados de análises, que possam ser agrupadas por tipo de fertilizante ou pesticida utilizado. Isso pode determinar decisões sobre a substituição dos métodos de irrigação, para que não tornem a água indisponível, em pouco tempo, para o uso prioritário na região.

Verifica-se que existem atualmente esforços no sentido de se criar índices em diversas regiões do planeta, a maioria com fins mais regionais, o que sinaliza para a eficácia desses IQA's para atenderem às determinadas especificidades. Devido às suas características hidrogeológicas

e hidrogeológicas, as águas subterrâneas podem demandar índices específicos, mesmo considerando seu local de ocorrência, comportamento no meio, interferências naturais e antrópicas e disponibilidade.

CAPÍTULO 5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ANÁLISE DOS DADOS DOS POÇOS TUBULARES

Nesse trabalho foram utilizados os resultados de análises de água subterrânea de compostos orgânicos (voláteis), de poços tubulares, identificados nos órgãos públicos que atuam na gestão dos recursos hídricos no Estado. O INEMA disponibilizou os dados das análises de monitoramento na área industrial e a EMBASA disponibilizou os dados de monitoramento da área urbana. Nos Quadros 15, 16 e 17, é apresentado um resumo das informações organizadas para esse estudo.

Quadro 15 – Poços de Abastecimento na Área Urbana (PU)

CÓDIGO DO POÇO	LOCAL	PERÍODO DAS CAMPANHAS	Nº PARÂMETROS / Nº DE ANÁLISES
PU-1 a PU-16	Camaçari e Dias D'Ávila - ÁREA URBANA	2009, 2010, 2011, 2013, 2014, 2015, 2016 (7 campanhas)	14 parâmetros / 1568 análises químicas

Quadro 16 - Poços de Abastecimento na Área Industrial (PI)

CÓDIGO DO POÇO	LOCAL	PERÍODO DAS CAMPANHAS	Nº PARÂMETROS DE ANÁLISES
PI-17 a PI-34	Camaçari - ÁREA INDUSTRIAL	2013, 2014 (4 campanhas/2 ano)	10 parâmetros / 398 análises químicas

Quadro 17 - Poços de Monitoramento na Área Industrial (PI-E)

CÓDIGO DO POÇO	LOCAL	PERÍODO DAS CAMPANHAS	Nº PARÂMETROS DE ANÁLISES
PI-35E a PI-41E	Camaçari - ÁREA INDUSTRIAL	2009, 2010, 2013, 2014 (4 campanhas)	13 parâmetros / 306 análises químicas

O objetivo foi estabelecer um banco de dados que atendessem os requisitos mínimos visando a simulação do IQA, bem como, uma avaliação das conformidades e não conformidades aos padrões por parte dos parâmetros de qualidade da água, quando confrontados com as normas pertinentes para esse fim.

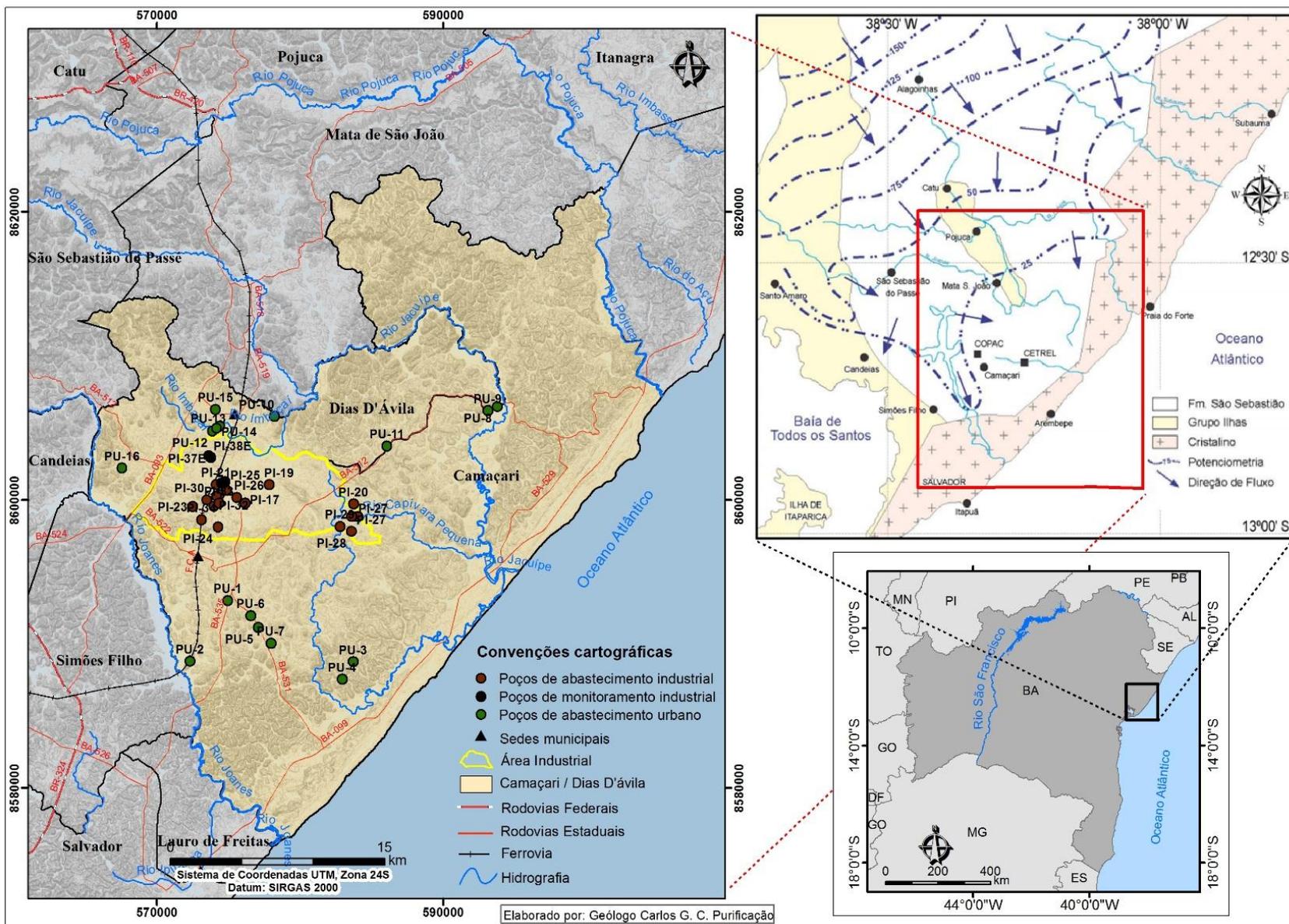
A espacialização dos 41 poços tubulares (Figura 14) mostra a distribuição dos poços urbanos (PU-1 a 16), nas áreas com implantação de sistemas de abastecimento de água na região de Camaçari e os poços industriais (PI-17 a 41), instalados na área do PIC, ao norte e a leste da Sede do município de Camaçari.

Os poços tubulares na área urbana possuem profundidades que variam de 103 a 396,5 m e fazem parte dos 49 poços tubulares que atendem o Sistema de Abastecimento de Água (SAA) na região de Camaçari e Dias D'Ávila, estando distribuídos na área do SLA-Camaçari, SLA-Parafuso, SIAA-Machadinho e SIAA-Jordão.

A delimitação da área industrial (em amarelo) destaca os 25 poços tubulares, separados em poços rasos (de monitoramento industrial) e poços profundos (de abastecimento industrial).

Os poços urbanos estão mais concentrados ao norte e ao sul da área industrial.

Figura 13 - Mapa de distribuição dos 41 poços tubulares na área urbana e industrial – Municípios de Camaçari e Dias D'Ávila



5.1.1 Análise de consistência dos dados urbanos e industriais

A principal consistência realizada foi um estudo estatístico para definir a concentração analítica que representasse o mais próximo possível, a real condição do aquífero, pois grande parte dos resultados tiveram suas concentrações abaixo do limite de detecção do método¹⁰ utilizado pelo laboratório de análise. Esse estudo partiu da identificação do método estatístico “Análises de dados censurados no pacote NADA (*Nondetects And Data Analysis for environmental data*)”, dentro do ambiente “R”, já referido anteriormente no item 1.6.3, pgs. 26 e 27.

O uso do método NADA, requereu a identificação dos principais métodos de tratamento de dados abaixo do limite de detecção (LD). A partir da revisão de Christofaro & Leão (2014) o presente estudo adotou 5 métodos: substituição (adota-se LD ou o LD/2), estimativa (Estimador de Máxima Verossimilhança (EMV), robusto ou de atribuição (ROB) e método Kaplan-Meier ou não paramétrico (KM). Cada um desses métodos apresenta vantagens e limitações, assim como situações e critérios específicos para sua aplicação, considerando as características de dados a serem avaliados. Logo, uma vez determinado, o limite de detecção pode ser utilizado como um “nível de censura” para medições subsequentes.

A aplicação do método NADA foi realizada para dois grupos de estudos: poços profundos para abastecimento urbano (PU) e poços profundos de produção industrial (PI). Aos poços tubulares de extração, que são mais rasos, e se referem ao monitoramento industrial (PI-35 a 41), foi realizada um tratamento mais simples, definindo-se um coeficiente de variação, pois os dados se apresentaram bem definidos, o que permitiu uma análise mais direta. A seguir são apresentados os resultados que justificam a consistência e posterior compatibilização realizada.

i) Resultado da Análise de consistência para os poços urbanos

Os resultados dos 14 parâmetros foram lançados no tratamento estatístico (Quadro 18). Os parâmetros foram agrupados em função de possuírem LD semelhantes, uma vez que cada laboratório pode ter um limite específico. Os resultados NA (Não se Aplica), se referem ao fato do método não rodar o modelo, pois não houve dados censurados.

¹⁰ Limite de detecção (LD): o menor nível de concentração que pode ser determinado como estatisticamente diferente de uma amostra branca (CHRISTOFARO & LEÃO, 2014).

Quadro 18 - Resultados da aplicação dos métodos de tratamento aos dados urbanos

POÇO	PU-1 a PU-9 (Camaçari)					PU-10 a PU-16 (Dias D'Ávila)						
	1,1DEE, 1,2DEA, 1,2DCBZ, 1,2DEE, 1,4DCBZ, TTCLEE	BENZ, CHCl ₃ , ETBZ, CCL ₄ , TRCLEE	CH ₂ Cl ₂	XILS	TOL	1,1DEE, 1,2DCBZ, 1,2DEE, 1,4DCBZ, TTCLEE	BENZ, CHCl ₃ , ETBZ, CCL ₄ , TRCLEE	1,2DEA	TOL	CH ₂ Cl ₂	XILS	
Nº ANÁLISES	63	63	63	63	63	49	49	49	49	49	49	
% CENSURA	100	100	100	100	96,8	100	100	95,9	95,9	100	100	
MÉTODO ESTATÍSTICO												
MÉDIA (µg L ⁻¹)	KM	NA	NA	NA	NA	3,73	NA	NA	5,4	4,85	NA	NA
	ROS	NA	NA	NA	NA	0,417	NA	NA	4,78	1,11	NA	NA
	EMV	NA	NA	NA	NA	0,365	NA	NA	3,67	0,509	NA	NA
	LD	5	2	10	4	2,09	5	2	5,02	2,15	10	4
	LD/2	3	1	5	2	1,04	2,5	1	2,51	1,07	5	2
MEDIANA (µg L ⁻¹)	KM	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	ROS	NA	NA	NA	NA	0,118	NA	NA	4,77	0,711	NA	NA
	EMV	NA	NA	NA	NA	0,053	NA	NA	3,61	0,041	NA	NA
	LD	5	2	10	4	2	5	2	5	2	10	4
	LD/2	3	1	5	2	1	3	1	3	1	5	2
DESVIO PADRÃO	KM	NA	NA	NA	NA	0,389	NA	NA	0,020	0,316	NA	NA
	ROS	NA	NA	NA	NA	0,91	NA	NA	0,295	1,21	NA	NA
	EMV	NA	NA	NA	NA	2,48	NA	NA	0,699	6,27	NA	NA
	LD	0	0	0	0	0,533	0	0	0,091	0,738	0	0
	LD/2	0	0	0	0	0,266	0	0	0,045	0,369	0	0

BENZ: benzeno; ETBZ: etilbenzeno; CCL₄: Tetracloroeto de carbono; TOL: tolueno; TRCLEE: tricloroeteno; TTCLEE: tetracloroeteno; 1,1DEE: dicloroeteno 1,2DEA: dicloroetano; 1,2DEE: dicloroeteno; 1,2DCBZ: diclorobenzeno; 1,4DCBZ: diclorobenzeno; CHCl₃: clorofórmio; CH₂Cl₂: cloreto de metileno; XILS: xileno; KM: Kaplan-Meier; ROS: Robusto; EMV: Estimador de Máxima Verossimilhança; LD: limite detecção; NA: não aplica.

Nesse estudo o Tolueno (TOL) e o 1,2 Dicloroetano (1,2DEA) apresentaram mais de 95% de dados censurados, mas possuíam pelo menos um dado não censurado.

Na comparação parcial, o melhor método para adoção dos valores de Tolueno (TOL) nos poços de Camaçari, é o LD/2, pois apresenta o menor desvio padrão, quando comparado com os demais. Na avaliação parcial do 1,2 Dicloroetano (1,2DEA) e Tolueno, em Dias D'Ávila, o melhor método foi o KM, com menor desvio padrão.

A avaliação dos valores da média nos poços de Dias D'Ávila, calculados no método KM, mostra que os resultados se encontram acima do valor mínimo detectado, ou seja, para a média de 5,02 µg L⁻¹ do 1,2 DEA, o método calculou 5,4 µg L⁻¹ e para a média de 2,14 µg L⁻¹ do TOL, o método calculou 4,85 µg L⁻¹. Esses resultados se mostram inconsistentes, o que induz para a adoção do método que apresenta uma maior proximidade com o limite de detecção, que nesse caso é o LD/2.

Logo, assim como o 1,2DEA dos poços de Camaçari, também foi adotado o método de substituição LD/2 para os poços de Dias D'Ávila, para os resultados censurados de 1,2DEA e para o TOL, cujos valores foram $2,51 \mu\text{g L}^{-1}$ e $1,07 \mu\text{g L}^{-1}$, respectivamente.

Já na análise da variação entre o desvio padrão e a média, os métodos que apresentaram melhor consistência para adoção do LD para os dados de abastecimento da área urbana foi o método KM (10,41%, 0,37% e 6,51%) e os métodos de substituição, LD e LD/2 (25,51%, 1,8% e 34,37%), pois apresentaram menores coeficientes de variação, para o Tolueno e o 1,2 Dicloroetano, quando comparados com os métodos ROS e EMV.

Quadro 19 - Coeficiente de variação entre o desvio padrão e a média / dados urbanos

Método de tratamento estatístico	Tolueno (Camaçari)	1, 2 Dicloroetano (Dias D'Ávila)	Tolueno (Dias D'Ávila)
KM	10,41%	0,37%	6,51%
ROS	219,35%	6,16%	108,93%
EMV	678,66%	19,05%	1231,39%
LD	25,51%	1,80%	34,37%
LD/2	25,51%	1,80%	34,37%

Cabe ressaltar que embora não selecionado, provavelmente o método KM deu bom resultado, por atender um dos principais critérios para sua seleção: possuir mais de 80% de dados censurados. Mas, como apresentou inconsistência na análise parcial da média, se torna prudente, não adotá-lo.

Os métodos ROS e EMV se apresentaram com dados tênues (fracos). O EMV dá melhor resultado com mais de 50% dos dados das amostras não censurados. Ou, com menos de 70% censurados. O ROS não é indicado para censuras acima de 70%. E o NADA só roda com existência de pelo menos um dado não censurado ($n > 0$).

O resultado do método foi adotado nos resultados dos parâmetros que apresentaram pelo menos um dado não censurado, e o resultado acima do LD, se manteve conforme analisado. Para os demais resultados, àqueles com 100% de censura, mas que não atendem as exigências do método, adotou-se o método da substituição do resultado, com adoção do LD/2. Os resultados acima do LD (dados não censurados), se mantiveram sem sofrer alteração, como foi o caso dos resultados dos parâmetros Tolueno e 1,2 Dicloroetano, nos poços PU-1, 13 e 15.

Embora, tanto o LD como o LD/2 tenham apresentado o mesmo coeficiente de variação entre o desvio padrão e a média dos dados, adotou-se o LD/2, pois houve variações em alguns resultados das concentrações analíticas, indicando que a adoção do LD poderia induzir a um aumento da subjetividade da média dos resultados.

ii) Resultado da Análise de consistência para os poços industriais

Os resultados dos 10 parâmetros foram lançados no tratamento estatístico (Quadro 20). Os parâmetros também foram agrupados em função de possuírem LD semelhantes. Nesse caso, os limites do laboratório dos dados do INEMA, divergem dos limites do laboratório da embasa, na análise estatística anterior. Os resultados NA (Não se Aplica), se referem ao fato do método não rodar o modelo, pois não houve dados censurados. Nesse estudo o 1,2DEA, Clorofórmio (CHCL₃), Cloreto de metileno (CH₂CL₂) e Xileno (XILS) apresentaram mais de 91% de dados censurados, mas possuíam pelo menos um dado não censurado.

Quadro 20 - Resultados da aplicação dos métodos de tratamento aos dados industriais

POÇO		PI-17 a PI-34				
PARÂMETROS		BENZ, ETBZ, CCL ₄ , TOL, TRCLEE, TTCLEE	1,2DEA	CHCL ₃	CH ₂ CL ₂	XILS
Nº ANÁLISES		80	56	68	68	66
% CENSURA		100	91,1	98,5	98,5	93,9
MÉTODO ESTATÍSTICO						
MÉDIA (µg L ⁻¹)	KM	NA	1,18	2	14	1,08
	ROS	NA	0,405	2	14	0,226
	EMV	NA	0,487	0,102	0,647	0,303
	LD	1	1,18	1,01	4,15	1,08
	LD/2	0,5	0,589	0,507	2,07	0,538
MEDIANA (µg L ⁻¹)	KM	NA	NA	NA	NA	NA
	ROS	NA	0,074	2	14	0,036
	EMV	NA	0,077	0,021	0,004	0,093
	LD	1	1	1	4	1
	LD/2	0,5	0,5	0,5	2	0,5
DESVIO PADRÃO	KM	NA	0,794	NA	NA	0,463
	ROS	NA	0,946	0	0	0,602
	EMV	NA	3,06	0,484	112	0,943
	LD	0,0000	0,716	0,121	1,21	0,404
	LD/2	0,0000	0,358	0,061	0,606	0,202

BENZ: benzeno; ETBZ: etilbenzeno; CCL₄: Tetracloroeto de carbono; TOL: tolueno; TRCLEE: tricloroeteno; TTCLEE: tetracloroeteno; 1,2DEA: dicloroetano ; CHCL₃: clorofórmio; CH₂CL₂: cloreto de metileno; XILS: xileno; KM: Kaplan-Meier ; ROS: Robusto; EMV: Estimador de Máxima Verossimilhança; LD: limite de detecção.

Pode-se verificar no Quadro 20, que os resultados do desvio padrão para todos os métodos utilizados, se apresentou menor tanto para o LD quanto para o LD/2. As médias também se apresentaram com valores mais coerentes quando comparadas com os resultados dos 5 métodos, pois não ultrapassam o limite de detecção.

Logo, o método aplicado para os poços PI-17 ao PI-34 (poços de produção), foi também o da substituição do resultado analítico censurado, com adoção do LD/2, pois assim como o LD, também apresentou uma menor variação entre o desvio padrão e a média, com valores de 60,77%, 11,95%, 29,24% e 37,58%, quando comparados com os valores do KM, ROS e EMV (Quadro 21).

Quadro 21 - Coeficiente de variação entre o desvio padrão e a média / dados industriais

Método de tratamento estatístico	Clorofórmio	1, 2 Dicloroetano	Cloreto de metileno	Xileno
KM	67,33%	NA	NA	43,06%
ROS	233,59%	0,00%	0,00%	266,13%
EMV	628,24%	473,90%	17300,35%	311,32%
LD	60,77%	11,95%	29,24%	37,58%
LD/2	60,77%	11,95%	29,24%	37,58%

O resultado do método foi adotado nos resultados dos parâmetros que apresentaram pelo menos um dado não censurado, e o resultado acima do LD, se manteve conforme analisado. Para os demais resultados, àqueles com 100% de censura, mas que não atendem as exigências do método, adotou-se o método da substituição do resultado, com adoção do LD/2.

Assim, para os resultados censurados de 1,2 Dicloroetano, Clorofórmio, Cloreto de metileno e Xileno, foram adotados os valores $0,6 \mu\text{g L}^{-1}$, $0,51 \mu\text{g L}^{-1}$, $2,07 \mu\text{g L}^{-1}$ e $0,54 \mu\text{g L}^{-1}$, respectivamente.

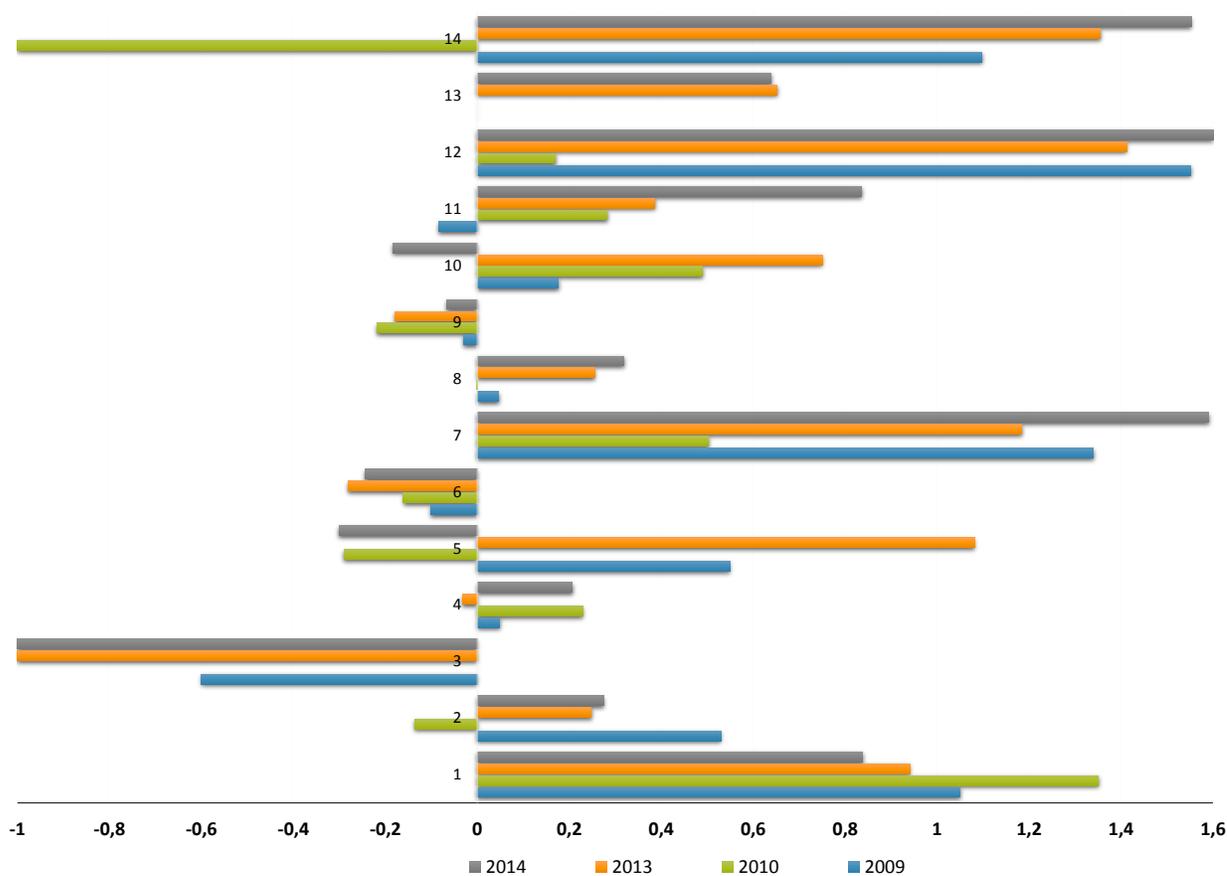
Os resultados acima do LD (dados não censurados), se mantiveram sem sofrer alteração, identificados nas campanhas dos poços PI-21,23, 25 e 27.

Cabe ressaltar que LD e LD/2, são mais utilizados no Brasil, embora estudos demonstrem que dão resultados imprecisos, comparados com outros métodos. O pesquisador tende a escolher esses métodos devido aos critérios exigidos para adoção de outros métodos, que na maioria das vezes se tornam bem mais específicos, e nem sempre atendem aos objetivos de uso.

iii) Resultado da Análise de consistência para os poços industriais de monitoramento

Para os resultados das análises dos 7 poços de extração (PI-35E a PI-41E) foi adotada a correlação simples, comparando-se o desvio padrão com a média dos valores (Figura 15). Verificou-se que somente 23% dos dados se encontram mais afastados da média, variando de 1,05 a 1,6 vezes mais, nos períodos de 2009 a 2014. Os demais dados estão mais próximos da média, o que indica um bom coeficiente de variação e evidência maior consistência entre os dados que serão comparados entre si.

Figura 14 - Análise de correlação entre os dados do desvio padrão e média – poços de extração



Fonte: INEMA (2015); elaborado pelo próprio autor

Os compostos que apresentaram os piores coeficientes, ou seja, com maiores variações, foram o Cloreto de Vinila, 1,2 Dicloroetano, Cloreto de Metileno, 1,2 Diclorobenzeno e Tolueno.

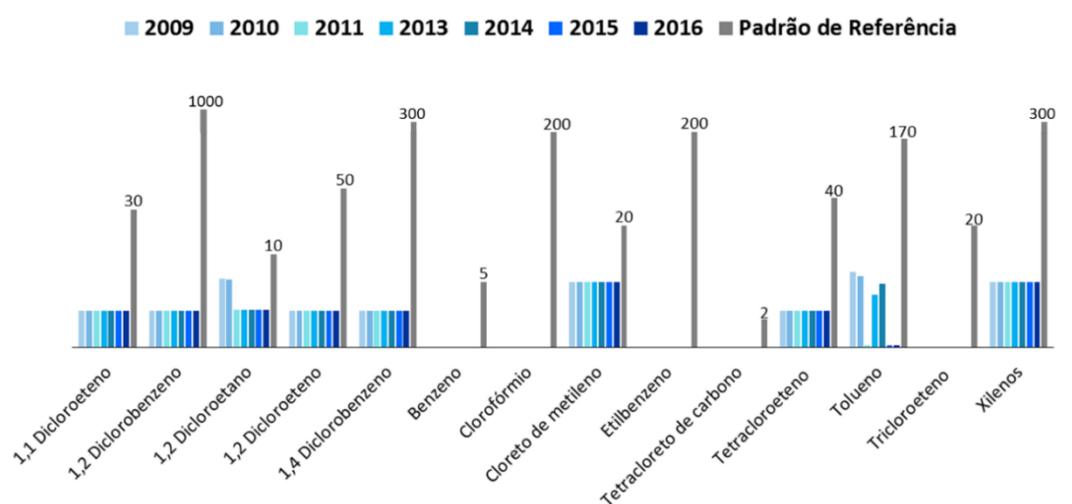
Desses 17% dos dados com os piores coeficientes de variação, as médias calculadas tiveram os valores mais elevados, pois se evidenciaram concentrações por campanha, com valores que fizeram as médias se destacarem dos demais parâmetros, cujas concentrações se distanciaram menos dos demais resultados.

5.2 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NA ÁREA URBANA

Na avaliação da qualidade da água subterrânea na área urbana levando-se em conta os parâmetros orgânicos, verifica-se que os 16 poços, que se referem ao abastecimento urbano, em sua totalidade, apresentam águas em conformidade com os padrões de qualidade estabelecidos na Resolução CONAMA n° 396 de 2008 e na Portaria de Potabilidade PRC n° 05/2017. A Figura 16, evidencia as concentrações de pelo menos 14 compostos orgânicos analisados no período de 2009 a 2016.

Percebe-se que os compostos 1,2 Dicloroetano (1,2 DEA) e Tolueno (TOL), são os únicos que não apresentam regularidade nas concentrações ao longo do período analisado, ocorrendo variações simultâneas em 2009 e 2010. Em 2013 e 2014, variações só para o Tolueno.

Figura 15 - Concentrações de compostos orgânicos na área urbana, nos poços de abastecimento ($\mu\text{g L}^{-1}$)



Fonte: EMBASA (2016); elaborado pelo próprio autor

A evidência da presença de 1,2 DEA, se refere às campanhas de 2009 e 2010, no mesmo poço tubular (PU-15), com valores de $5,5 \mu\text{g L}^{-1}$ e $5,4 \mu\text{g L}^{-1}$, respectivamente, em conformidade com o valor de referência do Conama 396/08, correspondente a um percentual em torno de 50% mais baixo. Esse poço, instalado mais ao norte, e acima da área industrial, tem uma profundidade de 250 m e posiciona-se na direção de fluxo subterrâneo de NW-SE. A presença de 1,2 DEA nesse poço pode ser devido às atividades industriais oriundas dos processos de produção de outros solventes clorados sintéticos, como o Cloreto de Vinila, associado a produção de cloreto de polivinila (PVC), como também devido a alguma interferência urbana, oriunda da instalação de posto combustível. Esse composto na água subterrânea pode ter seu ciclo de degradação lenta, embora no ar e em águas superficiais se volatilize rapidamente (CETESB, 2017). Sua permanência nas águas subterrâneas fica mais associada a um despejo direto de resíduos industriais.

A presença de Tolueno, tanto no poço localizado próximo a Sede de Camaçari (PU-1), como nos poços localizados em Dias D'Ávila (PU-13 e PU-15), também pode ser explicada devido às interferências dos processos industriais, pois o Tolueno é um hidrocarboneto, também empregado como solvente em tintas e na fabricação de polímeros, como devido à sua origem associada com gasolina nos poços de combustíveis. As concentrações identificadas nesses poços, foram $6,4 \mu\text{g L}^{-1}$ (2009), $5,9 \mu\text{g L}^{-1}$ (2010), $3,7 \mu\text{g L}^{-1}$ (2013), $4,82 \mu\text{g L}^{-1}$ (2014). Houve uma redução pouco significativa no período de 2009 a 2010, mas após três anos, essa redução é mais acentuada nos poços monitorados. A permanência de Tolueno em 2014, evidencia um crescimento em períodos posteriores.

O poço PU-1, fica próximo à Sede de Camaçari, sob interferência não somente de atividades industriais, mas é uma área com maior ocupação urbana e por isso, sujeita a despejos de efluentes domésticos e disposição de resíduos sólidos a céu aberto. As concentrações de Tolueno encontradas nesse poço, embora não ultrapassem os padrões do Conama 396/08 ($170 \mu\text{g L}^{-1}$), também estão bem abaixo de valores históricos identificados em águas subterrâneas, que variam de 200 a $1100 \mu\text{g L}^{-1}$ (CETESB, 2017). Esse poço, mesmo a 383,97 m de profundidade, evidencia esse composto orgânico.

Os poços PU-13 e PU-15, com profundidades de 170 m e 250 m, respectivamente, estão na mesma direção de fluxo local, NW-SE, e estão no raio de influência de poços industriais (PI-35E ao PI-38E).

Além do Tolueno, o composto 1,2 DEA, também foi identificado no PU-15, no período 2009-2010.

Os demais parâmetros analisados na área urbana não foram detectados em concentrações significativas para comporem a avaliação, embora sejam monitorados frequentemente pela EMBASA.

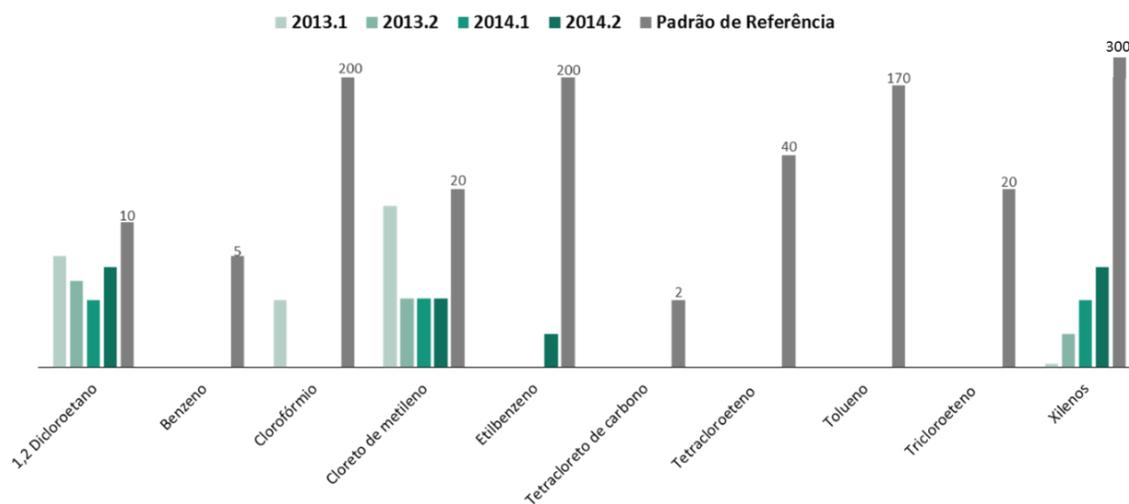
5.3 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NA ÁREA INDUSTRIAL

A avaliação na área industrial contou com os resultados das análises dos poços de produção (100 a 400 m) e dos poços de extração (8 a 60 m), sendo que esses últimos, por já possuírem a função de monitorar a pluma de contaminantes, foram utilizados apenas como referência sobre a presença dos vários contaminantes orgânicos na água subterrânea da região de Camaçari.

5.3.1 Avaliação dos compostos detectados na água dos poços de produção

Na avaliação da qualidade da água em 18 poços tubulares utilizados para produção e abastecimento humano, na área do PIC (do total de 61 poços), disponibilizados pelo INEMA, verifica-se que o manancial subterrâneo se encontra em conformidade com os padrões de qualidade, estabelecidos no CONAMA n° 396 de 2008 e na Portaria de Potabilidade PRC n° 05/2017. A Figura 17, evidencia as concentrações de pelo menos 10 dos compostos orgânicos analisados em quatro campanhas, nos anos de 2013 e 2014.

Figura 16 - Concentrações de compostos orgânicos na área industrial, nos poços de produção ($\mu\text{g L}^{-1}$)



Fonte: INEMA (2015); elaborado pelo próprio autor

Dos parâmetros analisados, 1,2 Dicloroetano e Xilenos, embora dentro dos padrões aceitáveis, foram detectados nos dois períodos analisados. As concentrações de 1,2 DEA no PI-21, teve baixa variação do ano de 2013 para 2014, ou seja, esse composto está em situação de persistência na água subterrânea, à oeste das atividades industriais. São oriundos principalmente de transformações químicas que geram outros produtos como o benzeno, xilenos, entre outros. No PI-25, também localizado na área oeste do polo industrial, somente na campanha de 2013.2, o 1,2 DEA foi detectado, com valor de $1 \mu\text{g L}^{-1}$, 9 vezes menos que o padrão de referência. Já o Xileno, foi detectado no PI-21 e no PI-25, com variação de 1 a $4 \mu\text{g L}^{-1}$, mas com maior persistência na campanha de 2014.2. São usados como solventes e em mistura de gasolina. Logo, é comum sua presença no ambiente industrial, mas em águas subterrâneas naturais sua presença geralmente é em concentrações abaixo de $0,1 \mu\text{g L}^{-1}$ (CETESB, 2017).

Clorofórmio e Cloreto de Metileno foram detectados somente na campanha de 2013.1, indicando uma situação de risco, pois esses compostos são persistentes no ambiente de água subterrânea, e por serem utilizados em vários produtos (vernizes, ceras, gorduras, óleos e graxas), são monitorados tanto nas áreas urbanas, como nas industriais. Os poços com essas indicações foram o PI-23, localizado na área oeste do polo industrial, e o PI-27, na área leste, ou seja, ambos

localizados no centro das atividades industriais, e, assim como todos os poços de produção, também atendem o consumo para abastecimento humano.

O Clorofórmio, que faz parte do grupo de trihalometanos pode se tornar mais persistente ainda no ambiente, se houver contato com outras substâncias orgânicas biodegradáveis, a exemplo de ácidos húmicos e fúlvicos, oriundos da matéria orgânica, presentes naturalmente em águas brutas (CETESB, 2017). Na água subterrânea, sob condições aneróbicas, acontece naturalmente uma volatilização restrita e biodegradação lenta, havendo risco de formação desse subproduto (MOTA, 2012). Os trihalometanos são substâncias consideradas cancerígenas, estando presentes também nas águas que passam por processo de desinfecção (cloração) como tratamento simplificado, antes do seu consumo.

O poço PI-27, apresenta Clorofórmio em suas águas com concentração de $2 \mu\text{g L}^{-1}$, ou seja, 100 vezes, abaixo do limite de referência do Conama 396/08, não levando riscos ao consumo humano.

O Cloreto de metileno ou Diclorometano, se fez presente na mesma campanha (2013.1) e mesmo poço (PI-23) e também é um subproduto do processo de degradação do clorofórmio, e não se dissolve facilmente na água (CETESB, 2017). A concentração de Cloreto de metileno ($14 \mu\text{g L}^{-1}$) foi encontrada com valor bem próximo do limite máximo desejável ($20 \mu\text{g L}^{-1}$), estabelecido no Conama 396/08, ao contrário do que se espera encontrar em águas subterrâneas: valores, abaixo do LD.

Por fim, o hidrocarboneto aromático, Etilbenzeno, identificado somente na campanha de 2014.2, com concentração de $1 \mu\text{g L}^{-1}$, bem abaixo dos valores históricos encontrados, acima de $15 \mu\text{g L}^{-1}$, para áreas urbanas e industriais (CETESB, 2017). Por ser um solvente, sua presença é comum junto com Xilenos, sob determinadas condições, e nesse estudo foram identificados no mesmo poço PI-21 e na mesma campanha.

Os demais compostos analisados na área industrial não foram detectados em concentrações significativas, pois apresentaram valores abaixo do LD, embora sejam monitorados frequentemente pelas empresas instaladas na área do PIC, em atendimento aos condicionantes de licença ambiental.

As regularidades nas concentrações são consideradas nesse estudo como dados poucos significativos, pois são oriundos das análises abaixo do LD.

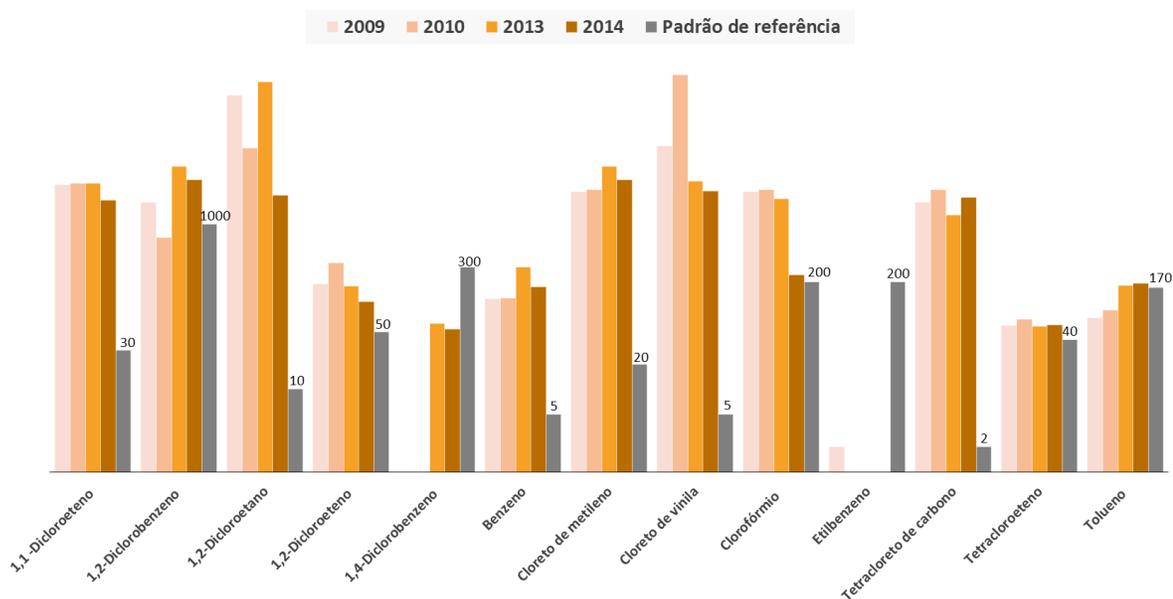
Cabe destacar que não há evidências sobre a influência da sazonalidade nos dados analisados, principalmente devido ao aporte de contaminantes presentes nas águas superficiais, que durante o processo de recarga, pudessem interferir na redução (por dissolução) ou aumento (por mobilidade) nas águas subterrâneas.

5.3.2 Avaliação dos compostos nos poços de extração/monitoramento

A avaliação da presença dos compostos orgânicos na água subterrânea dos poços industriais, foi feita em 7 poços de extração (PI-35 a PI-41), que são utilizados como poços de monitoramento, instalados no PIC. Esses sete poços se concentram basicamente em duas áreas: à oeste da área de produção industrial (PI-39E a PI-41E), e ao norte dessa área (PI-35E a PI-38E), já no município de Dias D'Ávila.

Na Figura 18, verifica-se a grande concentração de contaminantes orgânicos nos poços de extração. Todos os resultados evidenciam concentrações, que no período analisado (2009, 2010, 2013 e 2014), permanecem no ambiente subterrâneo, provavelmente oriundo de despejos ou derramamentos (acidentes). Tem situações em que o composto se encontra quase 13 mil vezes mais concentrado que o padrão de referência estabelecido pelo CONAMA n° 396 de 2008, como é o caso do Cloreto de Vinila, que possui um limite bastante restrito em águas para consumo humano, de apenas 5 $\mu\text{g L}^{-1}$.

Figura 17 - Compostos orgânicos na água subterrânea da área industrial - poços de extração ($\mu\text{g L}^{-1}$)



Fonte: INEMA (2015); elaborado pelo próprio autor

O 1,4 Diclorobenzeno e o Etilbenzeno, foram os compostos com menos evidencia no período analisado. O período de 2013-2014 mostra uma melhora na remoção de pelo menos 70% dentre os 13 contaminantes analisados; a exceção de 1,2 Diclorobenzeno, Benzeno, Cloreto de metileno e Tolueno, pois verifica-se um aumento das suas concentrações nos quatro períodos analisados.

Esses poços de extração, que possuem profundidades em torno de até 60 m, também possuem a função de detectar a concentração desses contaminantes no lençol freático. Se situam estrategicamente antes dos poços de extração (14 poços instalados), que funcionam como uma barreira hidráulica, exatamente para conter a pluma de contaminação identificadas nos poços de extração que são utilizados como monitoramento. Os poços da barreira hidráulica (já mencionados no item 3.1.1) foram instalados à jusante da área industrial, e por conseguinte, funcionam como uma proteção às águas dos mananciais na região (Anexo A).

As principais fontes de contaminação, conforme já discutidas nos itens anteriores, são da produção de compostos químicos sintéticos, oriunda principalmente da indústria petroquímica.

O Quadro 22, apresenta uma síntese da avaliação desses compostos e pode-se perceber que a presença destes na área industrial é de caráter persistente, o que torna ainda mais relevante a atuação do programa de monitoramento vigente no PIC.

Quadro 22 - Incidência da ultrapassagem da concentração do composto em relação ao padrão de referência Conama

Composto Orgânico	Nº de vezes mais alto que o padrão de referência Conama 396/08 ($\mu\text{g L}^{-1}$)
Cloreto de vinila	12918
1,2-Dicloroetano	5308
Tetracloroeto de carbono	1306
Cloreto de metileno	252
1,1 -Dicloroetano	104
Benzeno	60
Clorofórmio	13
1,2-Dicloroetano	7
1,2-Diclorobenzeno	5
Tetracloroetano	2
Tolueno	1
1,4-Diclorobenzeno	< 1
Etilbenzeno	< 1

Fonte: INEMA (2015); elaborado pelo próprio autor

Dos 13 parâmetros apresentados no Quadro 22, cabe destacar a presença dos compostos 1,2-Dicloroetano (1,2DEA), Cloreto de metileno, Clorofórmio, Tolueno e Etilbenzeno, que são os mesmos compostos orgânicos evidenciados nos poços tubulares utilizados para consumo humano nas áreas urbana e industrial. O 1,2DEA é o único composto detectado em todas as campanhas e nos três tipos de poços avaliados: profundos para abastecimento urbano (PP), profundos para abastecimento industrial (PI) e rasos industriais de extração (PE).

5.4 DISCUSSÕES POR POÇO TUBULAR (ABASTECIMENTO)

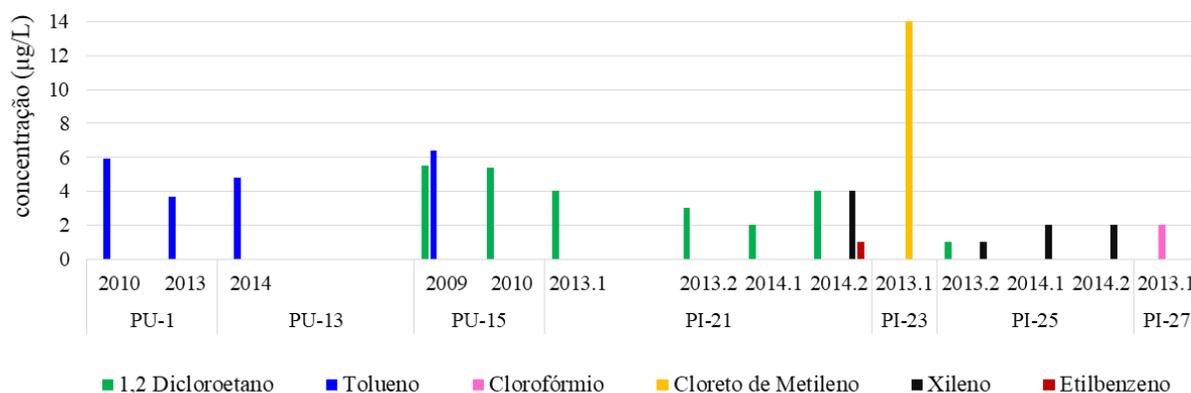
A avaliação da qualidade da água subterrânea na região de Camaçari permitiu inferir situações importantes sobre as prováveis alterações que se verificou nas condições naturais do

sistema aquífero São Sebastião/Marizal e, por serem predominantes no local e portanto mais expostas às interferências das atividades industriais existentes.

A localização dos poços analisados contribuiu para que se percebesse a distribuição dos contaminantes nessas águas, muito embora ainda não se tenha informação pública sobre algum problema de saúde local, devido à permanência de compostos orgânicos nesse aquífero. O que se conhece são informações sobre a interrupção de uso de determinados poços na área industrial devido à evidência de contaminação na água.

A Figura 19, mostra uma distribuição temporal da presença desses contaminantes nos poços profundos PU e PI (100 a 400 m), com destaque para àqueles que se apresentaram tanto nos poços profundos como nos poços mais rasos. Essas concentrações se apresentam abaixo do limite máximo permitido pelo padrão de referência, conforme já observado anteriormente.

Figura 18 - Distribuição dos contaminantes orgânicos nos poços tubulares de abastecimento



Fonte: INEMA (2015); elaborado pelo próprio autor

Observa-se pela Figura 19 que existe uma variação das concentrações em função do período analisado, como pode ser observado no composto 1,2DEA (Dicloroetano), que em 2009 e 2010, no poço PU-15, houve diminuição de emissões de concentrações, quando comparado com período mais recente (2013 e 2014), nos poços PI-21 e PI-25, os quais se encontram no mesmo sentido de fluxo subterrâneo. Ou seja, as concentrações identificadas nos poços PI-21 e PI-25, não interferem no poço PU-15, já que o contaminante se dispõe a mobilizar para SE (Figura 14). As

altas concentrações dos contaminantes no PU-15 tanto podem ser decorrentes dos próprios despejos industriais no local, como advindos por percolação vertical dos poços PI-35E ao PI-41E, conforme evidenciado no estudo de Roedel (2017), nessa mesma área.

O Tolueno só teve presença significativa na área urbana, poços PU-1, PU-13 e PU-15, apresentando uma diminuição de concentração de 2009 para 2010, e um aumento de 2013 para 2014. Quanto à permanência desse contaminante no poço PU-1, pode ser atribuída à sua localização em área sob interferência de despejos de atividade urbana, oriundos dos postos combustíveis ou também por percolação vertical, com contribuição do fluxo subterrâneo. Os poços próximos ao PU-1 (PU-5, 6 e 7), não apresentaram evidências de nenhum dos compostos orgânicos. O poço industrial, mais próximo é o PI-24, próximo à Sede de Camaçari, que também não apresenta concentrações significativas de contaminantes (Figura 14).

Outro parâmetro que mostrou alterações de comportamento no período analisado foi o Xileno, nos poços da área industrial (PI-21 e PI-25). Houve um aumento desse contaminante de 2013 para 2014, em área sob interferência da transformação de matérias primas básicas (eteno, benzeno, tolueno, propeno, etc) que chegam à área industrial, evidenciadas principalmente nas concentrações dos outros contaminantes identificadas nos poços PI-39E a PI-41E.

Outra condição relevante identificada nesse estudo é que grande parte desses compostos se associam entre si, pois além de serem utilizados como solventes para produção industrial, são poucos solúveis na água, além de alguns serem incorporados à subprodutos da extração do petróleo; já os hidrocarbonetos aromáticos, BTEX, possuem melhor solubilidade na água, melhor mobilidade, além de serem altamente voláteis.

Os BTEX também são encontrados na gasolina e derivados de petróleo, e sua presença no ambiente aquático se identifica principalmente através de derramamentos e vazamentos. Somente o Benzeno não foi detectado nos dados analisados dos poços de abastecimento na área urbana e industrial.

Em função dos maiores riscos de ocorrência desses contaminantes, se identificam variações nos níveis máximos permitidos estabelecidos em algumas legislações ambientais, tanto estaduais como em esfera nacional.

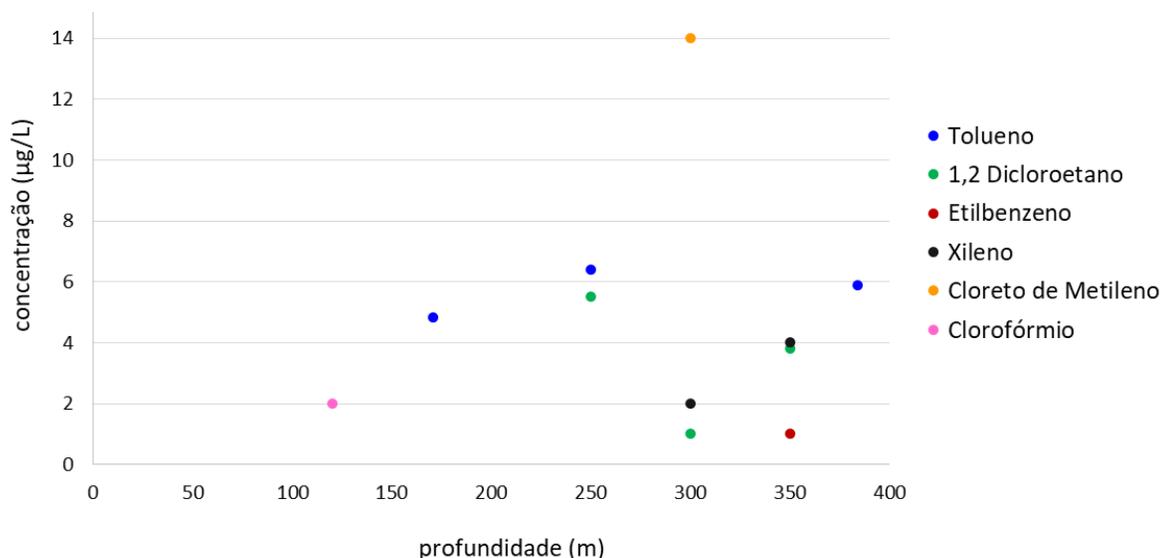
Considerando as condições físicas do aquífero São Sebastião na região, pode-se fazer analogias dos contaminantes identificados nos 41 poços tubulares, em função de suas profundidades.

Foi apresentado anteriormente que no aquífero, as camadas mais superficiais são da Formação Marizal, com predominância de arenitos finos a médios, com espessuras médias de 30m e que podem chegar à 50m de profundidade. Destaca-se que essa Formação embora se apresente como um aquífero livre, também são recortadas por falhamentos de direções NW-SE, na área de estudo e que podem se conectar com a Formação São Sebastião imediatamente abaixo, também com predominância de arenitos, mas com espessura média que varia de 100 a 400m. Entretanto, a Formação São Sebastião apresenta camadas de argilitos e folhelhos, que podem impermeabilizar a passagem de contaminantes para níveis mais profundos do aquífero.

Logo, ao se avaliar as concentrações nos poços mais rasos (PI-35E a PI-41E), instalados na área industrial, e inseridos na área de influência da Formação Marizal, verifica-se que os contaminantes orgânicos identificados podem percolar nos arenitos, que são mais porosos e, portanto, facilitam a mobilidade dos contaminantes, tanto na direção horizontal, como vertical. Esses poços possuem profundidade média que varia de 8 a 60m. Observando-se suas localizações, estão dentro de um raio de influência máxima em torno de 3,3 km, em relação aos poços tubulares mais profundos na área urbana de Dias D'Ávila (PU-13 e PU-15) e em relação aos poços profundos na área industrial (PI-21, PI-23 e PI-25).

A Figura 20 mostra os 6 contaminantes com maior predominância nos poços tubulares mais profundos, evidenciando que os compostos que compõem o grupo de hidrocarbonetos BTEX são os que se mobilizam nas maiores profundidades, maiores de 300m.

Figura 19 - Evidencia dos contaminantes orgânicos nos poços tubulares profundos de abastecimento



Fonte: INEMA (2015); elaborado pelo próprio autor

O Clorofórmio só foi identificado em uma profundidade média em torno de 120m, no poço PI-27 (Figura 14), e, o seu local de instalação (próximo à estação de tratamento), contribui para que esse contaminante tenha drenado de forma descendente, conforme evidenciado no estudo de Roedel (2017), nessa área de estudo, sobre as relações que existem entre aquíferos livre e confinado. Cabe ressaltar que a presença desse contaminante no local, pode ser oriunda do próprio processo de desinfecção dos efluentes na estação de tratamento, pois utilizam o cloro como um dos principais insumos nesse processo.

Os compostos 1,2DEA (Dicloroetano), só foi identificado em poços com até 350 m de profundidade (PU-15, PI-21, PI-25), demonstrando uma maior persistência desse contaminante em locais com menor volatilização, já que em ambiente mais confinado a presença de oxigênio é mais restrito, pois é consumido na zona mais superficial (zona de aeração).

O Cloreto de metileno, embora tenha associação com o Clorofórmio, foi identificado em profundidades até 300m (PI-23), e com possibilidade de interferência de percolação vertical. Os poços de monitoramento PI-39E a PI-41E, mostraram concentração do referido composto em torno de 252 vezes mais que o padrão de referência. Ou seja, a sua pouca dissolução em água

subterrânea, pode contribuir para sua permanência por longo tempo e, conseqüentemente, pode percolar para o aquífero mais profundo, caso as condições geológicas permitam.

Roedel (2017), em seu estudo na área industrial da região de Camaçari, evidencia a importância de se entender as relações de drenagem vertical que ocorrem localmente entre os aquíferos livres e confinados, principalmente considerando as interferências nos volumes de recarga. Para o presente estudo, essa análise pode ser relacionada ao aporte de contaminantes que são transportados, ao se deslocarem de forma ascendente, ou de forma descendente. A autora avalia que as condições hidráulicas interferem nessa tendência de fluxo, a exemplo das diferenças de cargas hidráulicas entre os poços rasos e os poços profundos.

Na análise de Roedel (2017), se evidencia que o aquífero freático, representado localmente pela Formação Marizal, apresenta drenagem descendente, mesmo em condições de confinamento. Essa relação foi percebida pela evidencia dos bombeamentos dos poços à profundidade em torno de 250m.

Existem locais, na área de estudo, em que os mananciais de superfície proporcionam a recarga aos reservatórios subterrâneos, sendo que o inverso também acontece.

No caso específico da área de estudo, a identificação das prováveis fontes de contaminação dessas águas não apresenta dificuldades, pois a maioria são de fontes pontuais, instaladas na área industrial. Os casos de fontes não pontuais (difusas), podem acontecer quando os contaminantes alcançam os mananciais de forma dispersa, dificultando a definição de um ponto de lançamento.

5.5 APLICAÇÃO DO IQA PARA SIMULAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA

Para realizar a simulação das condições da qualidade da água subterrânea na região de Camaçari foram utilizados os mesmos dados de análises dos poços tubulares, apresentados nos Quadros 15, 16 e 17. Esses dados foram selecionados por apresentarem os requisitos mínimos exigidos para rodar o modelo matemático de qualidade da água selecionado para esse estudo que foi o IQA-CCME, conforme será discutido a seguir.

5.5.1 Critérios de seleção para aplicação do IQA-CCME

No capítulo 4, foi apresentada a análise teórica dos índices de qualidade água (IQAs) aplicados em alguns países, e, pode-se perceber as vantagens e desvantagens do uso dessa ferramenta, mesmo conhecendo-se as características locais, sejam hidrogeológicas, climáticas ou de origem antrópica.

A aplicação de IQA em águas subterrâneas é mais viável nos modelos desenvolvidos pelo Brasil (IQNAS, e-IQUAS e IQAS), França (SEQ-EUAX), Canada (IQA CCME), Índia (IQA-INDIA) e Portugal (IQA-PORTUGAL). O IQA desenvolvido pelo USA, não é muito aplicado para águas subterrâneas, embora seja utilizado como antecedente para formulação dos demais.

Somente o e-IQUAS, o IQA-CCME, o IQA-PORTUGAL e o IQA SEQ-Eaux, não apresentam limitação quanto ao número máximo de parâmetros que pode entrar no modelo.

Nessa seleção final, destaca-se o IQA-CCME, pois se mostrou mais flexível na entrada dos dados, permitindo inferências parciais a medida que a simulação é realizada. Ou seja, em uma simulação com uma grande quantidade de valores de concentração lançadas no modelo, o usuário tem condições de perceber as interferências causadas devido à quantas vezes a variável (parâmetro) analisada, se apresenta fora do limite da norma em referência. O usuário também visualiza o número de vezes que cada amostra analisada apresenta o parâmetro fora do limite, e, na etapa final da simulação, o usuário calcula o desvio de cada parâmetro em relação ao seu respectivo limite de referência.

Essas avaliações parciais, sem a necessidade de executar várias outras correlações, já que se está tratando uma matriz única (águas subterrâneas profundas), evita que o IQA-CCME se torne complexo, ao contrário, a organização dos dados é rápida e as falhas de lançamento são facilmente perceptíveis, devido a visualização parcial da simulação.

Outro fator que pode ser considerado relevante na escolha do IQA-CCME, é que na classificação do nível de qualidade após a simulação, as notas atribuídas nas faixas de regular, boa e ótima, são mais restritas que as notas adotadas pelos outros modelos, variando de 5 a 15, quando nos demais a menor diferença entre faixas é 20 (ver Capítulo 4). O IQA-CCME implica em uma categorização mais conservadora (e protetora) para o uso da água, pois pode coibir a inserção de um resultado com nota 80, por exemplo, como água ótima, que seria a classificação dada pela

maioria dos outros modelos; no IQA-CCME uma água “boa”, existe uma baixa possibilidade de ameaça ou prejuízo.

Entretanto, o e-IQUAS, por apresentar uma interface muito importante com o IQA-CCME, também se mostra como um modelo com boa viabilidade de aplicação, com inserção de compostos orgânicos voláteis. O e-IQUAS tem maior proximidade com o SEQ-EUAX, pois ambos, embora tenham abertura para inserção de vários parâmetros, os mesmos devem ser previamente agrupados em função de sua origem e local de interferência, o que pode tornar a simulação mais demorada para o usuário.

E, a estratégia de padronização inicial na aplicação do IQA-PORTUGUÊS, para cada grupo de parâmetros que entra no modelo, também pode tornar a simulação mais demorada, embora tenha se mostrado como um IQA flexível.

Logo, para o presente estudo identificou-se o IQA-CCME como o modelo que mais se aplica aos dados de interesse nessa pesquisa, os quais atenderam os seguintes requisitos:

- Mínimo de 4 parâmetros para entrar na análise;
- Mínimo de 4 campanhas realizadas;
- Mínimo de 6 pontos de amostragem.

A equação do IQA-CCME apresentada abaixo, demonstra que as avaliações parciais podem ser realizadas a partir dos resultados da simulação do F1, F2 e F3 (ver item 4.3), e só depois os mesmos compõem o modelo para obtenção do resultado da simulação e por conseguinte a classificação da água subterrânea:

$$\text{IQA-CCME} = 100 - \left[\frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1,732} \right]$$

Os dados para rodar o modelo só foram visualizados após a compatibilização, que auxiliou para adoção dos valores abaixo do limite de detecção analítico (LD).

Foram gerados dados confiáveis para a simulação desejada, tanto considerando-se a importância do tratamento dos dados devido às analogias como contaminante de risco ambiental e à saúde humana, como esses dados foram detalhadamente analisados quanto ao local aonde foram

amostrados, procedência das informações e coerência com referências históricas da presença dos mesmos no aquífero estudado.

O Quadro 23 apresenta informações utilizadas para simulação do IQA-CCMME referente às concentrações evidenciadas nos poços tubulares profundos na área urbana e industrial.

Quadro 23 - Informações para simulação dos poços tubulares

CÓDIGO DO POÇO	CARACTERÍSTICA	PROF.	PERÍODO DAS CAMPANHAS	PARÂMETROS DE ANÁLISES	REQUÍBITOS IQA-CCME
PU-1 a PU-16	POÇOS DE ABASTECIMENTO URBANO / Camaçari e Dias D'Ávila	103 a 383,97 m	2009, 2010, 2011, 2013, 2014, 2015, 2016	1,1 Dicloroetano; 1,2 Diclorobenzeno; 1,2 Dicloroetano; 1,2 Dicloroetano; 1,4 Diclorobenzeno; Benzeno; Clorofórmio; Cloreto de metileno; Etilbenzeno; Tetracloroeto de carbono; Tetracloroetano; Tolueno; Tricloroetano; Xilenos.	7 campanhas; 14 parâmetros de análise; 16 pontos de amostragem; existe padrão de referência (Conama 396/2008 e Portaria 05/2017)
PI-17 a PI-34	POÇOS DE ABASTECIMENTO INDUSTRIAL / POÇOS DE PRODUÇÃO	100 a 450 m	2013.1, 2013.2, 2014.1, 2014.2	1,2 Dicloroetano; Benzeno; Clorofórmio; Cloreto de metileno; Etilbenzeno; Tetracloroeto de carbono; Tetracloroetano; Tolueno; Tricloroetano; Xilenos.	4 campanhas; 10 parâmetros de análise; 18 pontos de amostragem; existe padrão de referência (Conama 396/2008 e Portaria 05/2017)

Cabe ressaltar que a compatibilização desses dados envolveu a organização de 2.272 determinações dos compostos orgânicos voláteis, apresentados no Quadro 23. Precisou-se realizar comparações para identificação de dados em períodos comuns, selecionar os poços tubulares em função das profundidades similares e que suas localizações se inserissem na área objeto de estudo.

Ao final, os dados obtidos atenderam aos objetivos desejados para essa simulação, conforme apresentadas nos próximos itens.

5.5.2 Aplicação do modelo com dados consolidados de compostos orgânicos

A aplicação do IQA-CCME teve como objetivo mostrar as mesmas condições da qualidade da água subterrânea apresentadas no capítulo 5, visualizadas a partir de um Índice, associado a uma determinada faixa de qualidade. Consegue-se perceber, de forma mais objetiva e rápida, a relevância da presença ou não de contaminantes na água, sinalizando a necessidade de um monitoramento periódico.

Os poços da área urbana que tiveram evidências de contaminantes foram o PU-1, PU-13 e PU-15, entretanto são concentrações que não ultrapassam os valores máximos permitidos pela Resolução Conama n° 396/2008, para uso de consumo humano e nem pela Portaria de Potabilidade PRC n° 05/2017, utilizadas para essa simulação.

Na simulação do IQA-CCME, calculou-se a razão entre o desvio padrão e a média dos dados (Quadro 24) e percebeu-se que o 1,2 DEA (Dicloroetano) e o Tolueno, únicos contaminantes evidenciados nesses poços, não foram significativos para causar interferência no resultado da simulação.

Quadro 24 - Correlação entre os dados analisados nos poços urbanos

Correlações	1,2 Dicloroetano	Tolueno
Desvio padrão	0,39	0,81
Varição entre o desvio e a média	0,15	0,7

A correlação mostra que os valores do desvio padrão possuem pouca variação em relação à média, 0,15 e 0,7, o que evidencia que são pouco significativos para o resultado da simulação, além do que são valores abaixo das referências normativas utilizadas.

O resultado da simulação (Quadro 26) mostra que na região, mesmo com interferências de atividades industriais, relacionado à presença de compostos orgânicos, a água subterrânea se manteve em ótimas condições de qualidade, classificada com nota 100, não gerando problemas para seu uso para abastecimento humano. Cabe destacar, que essas águas são oriundas dos poços de abastecimento (urbano e industrial), mais profundos.

Os poços da área industrial que tiveram evidências de contaminantes foram o PI-21, PI-23, PI-25 e PI-27, entretanto são concentrações que não ultrapassam os valores máximos permitidos pela Resolução Conama n° 396/2008, para uso de consumo humano e nem pela Portaria de potabilidade n° 05/2017, utilizadas para essa simulação.

Na simulação do IQA-CCME, calculou-se o desvio padrão entre os dados (Quadro 25) e percebeu-se que as concentrações evidenciadas nos poços tubulares, relacionam-se com os compostos: 1,2 Dicloroetano, clorofórmio, cloreto de metileno, Etilbenzeno e Xileno, embora não tenham sido significativos para causar interferência no resultado da simulação.

Quadro 25 - Correlação entre os dados analisados nos poços industriais

Correlações	1,2 Dicloroetano	clorofórmio	cloreto de metileno	Etilbenzeno	Xileno
Desvio padrão	0,91	0,27	0,09	1,99	0,54
Variação entre o desvio e a média	1,51	0,53	0,17	0,96	1,00

A correlação mostra que os valores do desvio padrão possuem maior variação em relação à média, pois os compostos 1,2 DEA (Dicloroetano), Etilbenzeno e Xileno, possuem variação mais significativa em relação à média dos valores, 1,51, 0,96 e 1,0, respectivamente. Entretanto, esses valores não interferem no resultado da simulação, além do que são valores abaixo das referências normativas utilizadas.

O resultado da simulação (Quadro 26) mostra que na região, mesmo com interferências de atividades industriais, a água subterrânea se manteve em ótimas condições de qualidade, classificada com nota 100, não gerando problemas para seu uso para abastecimento na produção industrial e nem para consumo humano.

5.6 DISCUSSÕES SOBRE A SIMULAÇÃO DO IQA-CCME

Foi apresentado no item 4.3, que a categoria ou nível de qualidade com nota 100, indica que o IQA-CCME está muito perto das características naturais ou níveis desejáveis. O alcance dessa melhor nota do índice, só é alcançado se em todos os parâmetros, todas as concentrações

estiverem em conformidade com os padrões de referência utilizados. No caso específico, todos os compostos analisados estão em conformidade com o Conama 396/08 ou com a Portaria PCR n° 05/2017, do Ministério da Saúde.

Quadro 26 - Resultado da simulação do IQA-CCME na Área Urbana e Industrial

VARIÁVEIS DO MODELO	ÁREA URBANA	ÁREA INDUSTRIAL
Total de variáveis analisadas:	14	10
Variáveis que falharam:	0	0
Percentual que representa quantas vezes a variável se apresenta fora do limite da norma:	F1 = 0	F1 = 0
Total de análises realizadas:	1568	398
Análises que falharam:	0	0
Percentual que representa o número de vezes que cada amostra analisada apresenta o parâmetro fora do limite:	F2 = 0	F2 = 0
Número de vezes que o resultado da análise é superior (ou inferior, quando o objetivo é o mínimo) ao valor de referência estabelecido:	0	0
Relação entre o somatório das variações identificadas e o n° de análises realizadas:	0	0
Percentual que representa a distância da falha de cada parâmetro e seu respectivo limite de referência:	F3 = 0	F3 = 0
IQA-CCME	100	100

Os resultados de F1, F2 e F3, representam os resultados parciais da simulação e já sinaliza ao usuário em qual faixa de qualidade tem maior possibilidade do resultado final se enquadrar. Nesse caso específico todos os resultados foram zero.

Verifica-se que a escolha dos poços profundos para a simulação, sem utilizar os dados dos poços rasos, resultou no IQA-CCME mais próximo da realidade identificada, quando cada concentração dos poços foi analisada separadamente, no capítulo anterior. Além do que, para que os dados dos poços rasos representem a condição do aquífero mais profundo, cabe um estudo das condições hidráulicas com uma quantidade de poços mais representativa.

Observa-se também, que independente das várias alternativas de simulação possíveis nesse estudo, o resultado do IQA-CCME seria sempre nota 100. Ou seja, o que predominou foi o atendimento ao padrão de referência, não estando vinculado ao fato de se realizar uma simulação por poço, ou por área, ou por agregação dos parâmetros químicos.

Ressalta-se, que independente da escolha do IQA-CCME, se o resultado da simulação fosse oriundo dos modelos brasileiro, português ou francês, a classificação da condição da qualidade do aquífero na área de estudo, também seria indicada como ótima ou de alta qualidade, pois todos dependem de que pelo menos um dado, se apresente acima dos padrões de referência na simulação.

Mesmo com a simulação do IQA-CCME indicando que as águas subterrâneas estão em ótimas condições de uso, não se pode ignorar as avaliações preliminares, apresentadas nos itens 5.2 e 5.3, que evidenciaram a presença de pelo menos 6 contaminantes (1,2 DEA, Clorofórmio, Cloreto de metileno, Etilbenzeno, Tolueno e Xileno), nos poços profundos na área urbana e industrial, que a depender das suas características de dissolução, mobilidade e persistência no ambiente aquático, podem gerar risco à saúde da população local, pois a maioria são classificados como cancerígenos.

5.7 EFEITOS ADVERSOS NA SAÚDE DEVIDO A PRESENÇA DOS COV'S

A presença dos compostos orgânicos voláteis (COVs) no meio ambiente vem ganhando mais destaque entre os grandes problemas ambientais discutidos atualmente, tanto por seus efeitos adversos à saúde, inclusive com risco cancerígeno, como pelo fato de se espalharem facilmente no ar, já que é a principal via de emissão.

Órgãos que realizam pesquisas em nível nacional, como a CPRM, CETESB e FUNASA, já divulgam relatórios com os riscos à saúde advindos da produção agrícola e industrial (com destaque para os fármacos), considerados os principais precursores da formação de substâncias químicas naturais e sintéticas no ambiente. Inclusive CESTEB (2017) apresenta periodicamente, “Fichas de Informações Toxicológicas” (FIT), para cada substância considerada como emergente químico. Todos os compostos orgânicos, analisados na presente tese constam nessa lista de elementos de risco.

Esses órgãos também dão destaque aos compostos que geram maior risco ao sistema endócrino (hormonal), denominados de interferentes endócrinos (IE), e por interferirem nos

processos de desenvolvimento dos seres humanos e da fauna, são motivos de preocupação (CETESB, 2012).

Na presente pesquisa não foram utilizados os resultados de alguns IE, analisados nas amostras dos poços tubulares, a exemplo dos hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (Benzo-a-pireno, Criseno, Fluoreno, Naftaleno dentre outros), mas cabe uma sinalização dos mesmos, devido ao tipo de fonte de contaminação que está em estudo.

Os compostos orgânicos em evidencia nesse estudo são os 1,2 DEA, Clorofórmio, Cloreto de metileno, Etilbenzeno, Tolueno e Xileno, os quais já foram categorizados em função de sua solubilidade, persistência e associação com outros elementos químicos em águas subterrâneas.

O presente capítulo se faz importante, pois também foi citada as possibilidades de deslocamento descendente desses contaminantes do aquífero livre para os aquíferos confinados.

Com base no Quadro 2 (Características dos COV's), apresentado no item 3.2, foi possível relacionar as possibilidades de risco tóxico, que o consumo da água dos poços de abastecimento na área urbana e industrial podem causar, caso as concentrações identificadas ultrapassem o valor máximo permitido:

- O 1,2DEA, detectado nas campanhas de 2009, 2010, 2013 e 2014, tanto nos poços tubulares urbanos e industriais, utilizados para abastecimento humano, tem efeito na saúde associado à sua permanência por um período longo no ambiente aquático, e, além disso é classificado como possível cancerígeno humano (Grupo 2B), conforme a Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC); a ingestão em altas concentrações pode afetar o sistema nervoso, o fígado e rins;
- O Clorofórmio, que faz parte do grupo de trihalometanos, foi identificado somente no poço tubular industrial, de uso para abastecimento, próximo à estação de tratamento de efluentes, e embora tenha apresentado concentração 100 vezes mais baixa que o valor máximo permitido, a ingestão da água com concentrações mais elevadas pode produzir efeitos no sistema nervoso, fígado, rins e sangue. Pode causar câncer, estando também classificado no Grupo B2, conforme a IARC;
- Na análise dos efeitos à saúde do Cloreto de metileno ou diclorometano, foi identificado que se ingerido, sua toxicidade para uma única dose é considerada baixa;

a ingestão de grande quantidade pode causar danos, inclusive câncer, e também faz parte da lista do IARC. Vale destacar que a concentração encontrada na área industrial ($14 \mu\text{g L}^{-1}$) foi bem próxima do limite máximo permitido ($20 \mu\text{g L}^{-1}$), o que já pode ser considerado um risco, pois de acordo com a CETESB (2017), em água potável não se espera valores acima de $1 \mu\text{g L}^{-1}$;

- Etilbenzeno, Tolueno e Xileno, do grupo de hidrocarbonetos aromáticos (BTEX), possuem padrões de referência elevados (200 , 170 e $300 \mu\text{g L}^{-1}$, respectivamente), e são facilmente encontrados nas águas sob interferência de atividades industriais. O máximo encontrado nos poços tubulares foi em torno de $6 \mu\text{g L}^{-1}$, mas que pode afetar a saúde se a ingestão for prolongada. Conforme a Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC), o Etilbenzeno é classificado como possível cancerígeno humano (Grupo 2B), embora o Tolueno e o Xileno, não sejam enquadrados nessa classe, por não se ter evidências de carcinogenicidade para humanos. Entretanto, são nocivos ao sistema nervoso central.

Avaliando-se os efeitos à saúde devido à presença de contaminantes orgânicos em mananciais de água subterrânea, percebe-se a importância da identificação da fonte de toxidade associada ao problema de saúde identificado, principalmente porque a maioria são efeitos crônicos oriundos do consumo de água. Sendo assim, quando esses compostos são encontrados acima do limite de detecção, sua concentração deve ser registrada nas Secretarias de Saúde dos municípios, para que se possa tomar ações preventivas e de controle na fonte contaminante.

Mesmo considerando-se que a área estudada é periodicamente monitorada, sob investigação e remediação, com uso de tecnologias avançadas para reduzir os impactos advindos da atividade industrial, verifica-se a importância da vigilância sanitária na região de Camaçari, pois além dos aspectos de saúde referente aos despejos domésticos, que se evidencia pelos casos de diarreia no município, cabe um acompanhamento dos resultados do monitoramento dos poços industriais, para se ter registros efetivos que possam ser associados à possíveis agravos.

5.8 INDICADORES ORGANICOS PARA MONITORAMENTO DAS ÁGUAS

Em vista da evidencia da presença de pelo menos 6 compostos orgânicos, de risco à saúde, na água subterrânea que atende o abastecimento humano na região, tanto na área urbana, como na área industrial, surge a oportunidade de se propor que esses contaminantes se tornem indicadores estratégicos, para auxiliar no programa de monitoramento que já existe no local. Sabe-se que são contaminantes de origem antropogênica, e portanto já existem ações de remoção das maiores cargas orgânicas que são detectadas nos poços mais rasos (PE), de monitoramento.

O fato de se ter um histórico de dados analisados que comprovam a distribuição temporal desses contaminantes na água, bem como evidencias do seu comportamento no ambiente mais profundo, mediante algumas analogias hidrogeoquímicas e condições hidráulicas, favorece que se proponha que pelo menos esses 6 compostos, se destaquem no monitoramento, e se tornem indicadores para o órgão gestor municipal de saúde.

5.8.1 Quanto ao comportamento no ambiente aquático

Em função dos 6 compostos selecionados pode-se agrupá-los relacionando-os às prováveis causas de suas presenças, conforme apresentado no Quadro 27:

Quadro 27 - Critérios preponderantes sobre o comportamento dos contaminantes no aquífero São Sebastião – poços tubulares na área urbana e industrial

COMPOSTO ORGÂNICO	Prof. (250 a 400m)	Fluxo subterrâneo	Descontinuidades	Associação hidrogeoquímica	Fontes de contaminação
1,2 Dicloroetano	43%	43%	43%	50%	produção de PVC-plásticos; Utilização de Eteno, Benzeno, Tolueno, etc); Uso de Soda, Cloro, Hipoclorito de Sódio; produção de Farmoquímicos
Clorofórmio	14%	14%	14%	17%	manejo de resíduos tóxicos; geração de compostos aromáticos clorados
Cloreto de Metileno	0%	14%	14%	17%	produção de gases: Acetileno, Nitrogênio, Dióxido de carbono, Oxigênio, Argônio, Hélio, Hidrogênio
Etilbenzeno	14%	14%	14%	33%	produção de PVC-plásticos; Utilização de Eteno, Benzeno, Tolueno, etc)

COMPOSTO ORGÂNICO	Prof. (250 a 400m)	Fluxo subterrâneo	Descontinuidades	Associação hidrogeoquímica	Fontes de contaminação
Tolueno	29%	43%	43%	50%	produção de PVC-plásticos; Utilização de Eteno, Benzeno, Tolueno, etc); Uso de Soda, Cloro, Hipoclorito de Sódio; produção de gases: Acetileno, Nitrogênio, Dióxido de carbono, Argônio, etc; despejos de BTEX
Xileno	29%	29%	29%	100%	produção de PVC-plásticos; Utilização de Eteno, Benzeno, Tolueno, etc); Uso de Soda, Cloro, Hipoclorito de Sódio; produção de Farmoquímicos

As características apresentadas no Quadro 27, mostram que os maiores percentuais indicam quais seriam os critérios mais preponderantes para estabelecer os indicadores orgânicos.

A associação hidrogeoquímica com variações de 17% a 100%, evidencia que a presença de um dos contaminantes, pode levar a presença de algum outro que possua afinidade química no ambiente hidrogeológico. Portanto, esses compostos podem ser considerados como indicadores da presença de outros contaminantes, tóxicos ou não, mas de origem orgânica. O Xileno é o composto que se mostra com maior associação (100%), seguido do Tolueno e do 1,2 DEA (ambos com 50%), quando comparado com os demais.

A profundidade dos poços também apresenta relevância quando mostra que quanto mais profundo, maior a predominância dos contaminantes identificados, que nesse caso o composto 1,2 DEA, foi detectado com maior frequência (43%), em poços mais profundos.

As descontinuidades que se evidenciam nas camadas de folhelhos, associados ao fluxo subterrâneo, também se apresentam como um critério relevante para se entender a evidencia dos compostos orgânicos nos poços profundos. O comportamento do 1,2DEA e Tolueno, com 43% e 29%, respectivamente, demonstra que esses critérios foram preponderantes para esses dois contaminantes.

Por fim, um dos critérios mais relevantes, que é a fonte de contaminação, indica, que, conhecendo-se os processos produtivos, os quais se utilizam desses compostos como matéria prima ou que geram sub-produtos destes, pode-se relacioná-las com as concentrações identificadas em cada poço. O que se percebeu foi que a predominância de fontes contaminantes se relaciona

principalmente com processos cujo produto final é o plástico, com uso de hidrocarbonetos aromáticos, a exemplo do grupo BTEX, e solventes clorados associados.

Logo, pode-se distinguir, a representatividade desses compostos para servirem de indicadores de prováveis impactos advindos de concentrações que ultrapassem os valores máximos permitidos.

Essa distinção pode também dar subsídio à seleção de outros compostos orgânicos, que possuam comportamento similar em águas subterrâneas, para servirem de alerta para o enquadramento dessas águas, conforme as definições estabelecidas na Resolução Conama 396/2008. Nesse caso, como os usos da água desses poços são para abastecimento humano, a sugestão seria associá-los aos padrões estabelecidos para a Classe 3, que permite alteração na qualidade do aquífero por atividades antrópicas, mas que exigem tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais.

5.8.2 Relevância do monitoramento no aquífero estudado

Os seis compostos selecionados como indicadores no aquífero São Sebastião na área específica da Região de Camaçari, também se tornam relevantes, diante das características que os programas de monitoramento da qualidade da água subterrânea levam em consideração em seu planejamento.

A CPRM, publicou uma proposta técnica de um projeto de monitoramento (CPRM, 2009), em que constam as principais características do aquífero que se deseja monitorar. Para o presente estudo, a referida proposta pode ser pertinente, pois estabelece critérios para o tipo de aquífero estudado (Formações Marizal e São Sebastião, pertencente à Bacia Sedimentar do Recôncavo), conforme descritos abaixo:

- apresenta maior volume de exploração e conseqüentemente, atendem às maiores demandas;
- ocorrência de fluxo subterrâneo homogêneo em várias direções, embora menos pronunciado; em condições de semiconfinamento, essa homogeneidade não se pronuncia;

- aquífero de grande importância socioeconômica da água, diante do seus usos para o desenvolvimento industrial da região;
- utilizado para abastecimento público, sendo o uso mais prioritário;
- apresenta aspectos de vulnerabilidade natural, associado a riscos de contaminação, devido ao uso atual ou potencial da água subterrânea na região;
- importância do aquífero em nível nacional, visto que compõem um sistema mais abrangente com inserção dos estados de Alagoas, Bahia e Pernambuco (Bacia Jatobá-Tucano-Recôncavo);
- existência de poços para monitoramento, que no caso da região em estudo possui mais de 1.300 poços registrados em banco de dados (nem todos monitorados), na área industrial e urbana; os custos de instalação são elevados e poderia inviabilizar a instalação de uma rede.

Espera-se que a observância desses critérios, reforcem a atenção para um acompanhamento ininterrupto desses compostos nas águas subterrâneas, uma vez que já fazem parte dos programas de monitoramento na região do PIC.

CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A pesquisa, que se utilizou de dados secundários, realizada na região urbana e industrial de Camaçari, no âmbito das formações geológicas do São Sebastião e Marizal, evidenciou a existência de condições desfavoráveis para a qualidade da água subterrânea, também utilizada para abastecimento humano, conforme relacionadas a seguir:

Quanto às condições hidroquímicas:

No estudo da concentração química do aquífero, principalmente no que diz respeito à presença de substâncias orgânicas, alinhadas às atividades antropogênicas, que podem se tornar de risco para a saúde humana, se identificou concentrações que não interferem nos usos para abastecimento humano, quando comparada com os padrões de referência.

Na avaliação da água associada à presença dos compostos orgânicos, verificou-se que os 34 poços utilizados para abastecimento e para a produção industrial (profundidade média de 100 a 400 m), em sua totalidade, apresentaram águas em conformidade com os padrões de qualidade estabelecidos na Resolução CONAMA n° 396 de 2008 e pela Portaria PCR n° 05/2017, do Ministério da Saúde.

Entretanto, no período analisado, (2009 a 2016), foram identificadas algumas variações, de um ano para outro, nas concentrações dos compostos orgânicos. Por exemplo, para os compostos 1,2 Dicloroetano (1,2 DEA) e Tolueno, detectados nos poços tubulares urbanos (PU-1, PU-13, PU-15), e os compostos 1,2 DEA, Clorofórmio, Cloreto de metileno, Etilbenzeno e Xileno identificados nos poços industriais profundos (PI-21, PI-23, PI-25 e PI-27). Por outro lado, nenhum desses parâmetros ultrapassaram os valores máximos permitidos pelos padrões de referência, logo, não geraram nenhuma interferência nas condições da qualidade da água subterrânea local, captadas nas profundidades de 100 a 400 m, para atender consumo humano.

Os oito compostos orgânicos restantes, do total de 14 analisados na área, na referida profundidade, não foram detectados em concentrações significativas.

Já nos poços rasos (8 a 60 m), de extração de contaminantes (PI-35E a PI-41E), instalados na área industrial, verifica-se grande concentração de contaminantes orgânicos, pois são poços de monitoramento utilizados para dar suporte aos poços da barreira hidráulica (14 poços de extração), os quais são responsáveis pela remoção da pluma de contaminação, do aquífero freático.

Todos os dados analisados, oriundos desses poços rasos (PI-35E a PI-41E), evidenciaram concentrações, no período analisado (2009, 2010, 2013 e 2014), de até 13mil vezes mais concentrado que o padrão de referência estabelecido no CONAMA n° 396 de 2008, como é o caso do Cloreto de Vinila, com limite em águas para consumo humano de $5 \mu\text{g L}^{-1}$.

Quanto à aplicação do índice IQA-CCME:

A aplicação do IQA-CCME, na simulação da qualidade da água subterrânea destacou-se pela possibilidade de utilizar uma variedade de parâmetros para qualquer uso da água previsto, e pelas faixas de qualidade mais restritiva, gerando uma informação mais real para a maior proteção à qualidade da água.

Na aplicação para os dados dos poços de 100 a 400 m, obteve-se um resultado que confirmou a conformidade da água aos padrões de referência para consumo humano, classificando-a como ótima (nota 100). Entretanto, para a garantia futura dos usos preponderantes e pretendidos na região, que são consumo humano e industrial, cabe dar atenção nas condições identificadas em alguns desses poços tubulares, que sinalizaram possibilidade de maior contaminação ao longo do tempo, uma vez que existe o risco de migração de contaminantes dos níveis superiores para os inferiores.

A simulação do IQA-CCME não foi realizada com os dados dos poços mais rasos da área industrial, pois os mesmos, embora com evidencia das altas concentrações, não são utilizados para consumo humano, e nem no processo produtivo. O que se evidenciou foi o risco de contaminação do aquífero São Sebastião, devido à percolação vertical dos contaminantes oriundos dos poços mais rasos.

Logo, o IQA-CCME, por ser uma ferramenta estatística, também evidenciou o grau de afastamento dos compostos voláteis quanto ao padrão de referência, como pode ser observado nas

concentrações dos compostos: 1,2 Dicloroetano (1,2 DEA), Tolueno, Clorofórmio, Cloreto de Metileno, Etilbenzeno e Xileno.

Quanto às fontes de contaminação:

As principais fontes de contaminação, como o eteno, propeno, benzeno, entre outros, identificadas na área industrial são da produção de compostos químicos sintéticos, oriundos principalmente da indústria química e petroquímica, de processos de produção que envolvem: petroquímicas, metal-mecânica, automotiva e pertencentes a outros ramos de atividade como celulose, metalurgia do cobre, têxtil e serviços; produção de insumos básicos.

Cabe destacar que na região de Camaçari, mais especificamente na zona rural, existem condições de alto risco para a contaminação das águas subterrâneas, pois os sistemas implantados com uso de poços rasos (escavados), são na maioria das vezes operados pela própria comunidade e tendem a apresentar problemas decorrentes da falta de manutenção adequada, com sérias deficiências no tratamento de água.

Quanto às condições hidráulicas:

Sobre a presença dos compostos orgânicos em função da profundidade dos poços, nos poços mais rasos (extração/monitoramento), perfurados no aquífero da Formação Marizal, verificou-se que provavelmente os contaminantes podem percorrer nos arenitos (mais porosos), que facilitam a mobilidade dos mesmos, e fluir tanto na direção horizontal, como vertical, devido aos falhamentos de direções NW-SE, na área de estudo, que podem conectar o aquífero Marizal com a Formação São Sebastião imediatamente abaixo, também com predominância de arenitos (espessura média de 100 a 400m). Entretanto, a presença de camadas de argilitos e folhelhos, pode impermeabilizar a passagem de contaminantes para níveis mais profundos do aquífero.

Em função dessas condições hidráulicas (condutividade hidráulica, porosidade e permeabilidade), provavelmente existe uma facilidade de comunicação dos poços rasos da área industrial, com os poços tubulares mais profundos na área urbana de Dias D'Ávila (PU-13 e PU-15) e com os poços profundos na área industrial (PI-21, PI-23 e PI-25).

Os poços PU-2 ao P-11 e PU-16, embora profundos, não apresentaram concentrações detectáveis daqueles compostos orgânicos, porque são poços mais afastados de atividades urbanas intensas, embora façam parte das mesmas condições hidráulicas, que poderiam interferir no aporte

de contaminantes vindos da área norte do PIC. Os poços PU-8, PU-9 e 11, por estarem na zona de proteção dos poços da barreira hidráulica, estão menos expostos.

Quanto à sazonalidade, em função de período de chuvas ou seco, cabe destacar que não se identificou alterações consistentes nos dados utilizados neste estudo, e portanto, não houve evidências sobre a interferência de sazonalidade, que poderia interferir no aporte de contaminantes presentes nas águas superficiais, que durante o processo de recarga, pudessem sofrer redução de níveis de concentração (por dissolução) ou aumento (mobilidade), nas águas subterrâneas.

Quanto aos métodos de análise estatística aplicados:

Dos cinco métodos de tratamento considerados para análise dos dados abaixo do limite de detecção analítico, os mais apropriados foram: substituição (LD ou o LD/2); Estimador de Máxima Verossimilhança (EMV); método robusto ou de atribuição (ROB); e o método Kaplan-Meier (KM).

Os métodos de substituição, deram resultados mais confiáveis, para os dados dos poços tubulares profundos urbanos e industriais de abastecimento.

Para os dados dos poços de extração mais rasos (mais rasos) foi realizado um tratamento mais simples, pois os dados se apresentaram bem definidos, o que permitiu o cálculo do coeficiente de variação, através da razão entre o desvio padrão e a média dos dados. O que se verificou foram dados com altas concentrações, apresentando coeficiente de variação de até 1,6, mas que no geral, se apresentaram com bons índices de consistência.

Quanto ao Programa de Monitoramento das Águas Subterrâneas da Área Urbana e Industrial:

A concentração acima do limite legislado de seis contaminantes nos poços tubulares profundos, na área urbana e industrial, servem de alerta para que os sistemas de abastecimento de água na região, monitorem as fontes de contaminação, uma vez que, a presença destes na área industrial é de caráter persistente, o que torna ainda mais relevante a atuação do programa de monitoramento vigente no PIC, que apresentam altas remoções de carga orgânica através da barreira hidráulica.

Na execução dos programas de monitoramento da qualidade da água subterrânea, as formações Marizal e São Sebastião, possuem peculiaridades relevantes, por serem um sistema de grande importância socioeconômica na região, tanto para atendimento de abastecimento humano, como para fins de produção industrial; e por apresentarem grande vulnerabilidade ao risco de contaminação, devido à alta exploração na área do PIC, média homogeneidade nas direções de fluxo subterrâneo; e, possibilidade de conectividade hidráulica entre as formações.

O Programa de Monitoramento Ambiental das Águas Subterrâneas, no estado da Bahia, desenvolvido pela EMBASA, atende a região de Camaçari e envolve o aquífero São Sebastião, sendo que a Bacia Sedimentar do Recôncavo, é monitorada, com a realização de análises da qualidade da água produzida nos poços tubulares que abastecem o sistema de abastecimento.

Por fim, esse trabalho, revela a necessidade de uma maior atuação do órgão gestor de recursos hídricos (INEMA), e da Secretária de Saúde, no acompanhamento dessas condições, inclusive ampliando o acesso às informações de forma mais clara e mais adequadas à compreensão do público.

Para contribuir na melhor gestão das águas subterrâneas na região, e apoiar na tomada de decisão quanto ao programa de monitoramento implementado, pode-se recomendar a adoção dos seis compostos orgânicos químicos, bem como outras substâncias associadas, para que se tornem indicadores estratégicos para subsidiar à prevenção à qualidade da água e à saúde da população. Esses seis compostos se evidenciaram mediante às condições analisadas sobre o comportamento dos contaminantes nos poços tubulares: profundidade dos poços, fluxo subterrâneo, descontinuidade, associação hidrogeoquímicas e fontes de contaminação.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Rosa A. S. de.. Índice de Qualidade de Uso da Água Subterrânea (e-IQUAS): uma Metodologia de Modelagem Numérica Flexível. Tese de Doutorado (Doutorado em Energia e Ambiente), Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, UFBA, Salvador, 2012. 344p.
- AL-HADITHI, Mufid. Application of water quality index to assess suitability of groundwater quality for drinking purposes in Ratmao–Pathri Rao watershed, Haridwar District, India. *American Journal of Scientific and Industrial Research*, p. 395-402, 2012.
- ANA. Agência Nacional de Águas. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: 2013. Brasília: ANA, 2013. 432p.
- ANA. Agência Nacional de Águas. Panorama do enquadramento dos corpos d'água do Brasil, e, Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil. Coordenação Geral, João Gilberto Lotufo Conejo. Brasília: ANA, 2007. 124 p. (Caderno de Recursos Hídricos, 5).
- APHA. American Public Health Association; American Water Works Association – AWWA & Water Environment Federation – WEF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Eaton, A. D.; L. S. Clesceri; A. E. Greenberg (Ed.), 22th ed. Washington, D.C.: [s.n.], 2012.
- BACKMAN, B., BODIS, D., LAHERMO, P., RAPANT, S., & TARVAINEN, T.. Application of a groundwater contamination index in Finland and Slovakia. *Environmental Geology*, p.55-64, 1998.
- BAHIA. Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia. SEI. Estatística dos Municípios Baianos, v. 4, n.1. Território de Identidade nº 26. Região Metropolitana de Salvador. Salvador: SEI, 2013.
- BAHIA. Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA). Região de Planejamento e Gestão das Águas – XI, Recôncavo Norte, Estado da Bahia, 2014. Salvador: INEMA, 2014.
- BAHIA, Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA). Disponível em: < <http://www.inema.ba.gov.br/gestao-2/comites-de-bacia/comites>>. Acesso em: agosto de 2017.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação (PRC), nº 5, de 28 de setembro de 2017. Dispõe sobre consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. *Diário Oficial da União*, Brasília, 2017.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2914, 12 de dezembro de 2012. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. *Diário Oficial da União*, Brasília, 2011.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução CONAMA nº 420, 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre a critérios e valores

orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 2009.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução CONAMA nº 396, 08 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 2008.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CONARH). Resolução CONARH nº 22, 24 de maio de 2002. Estabelece diretrizes para inserção das águas subterrâneas no instrumento Planos de Recursos Hídricos. Diário Oficial da União, Brasília, 2002.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CONARH). Resolução CONARH nº 15, de 23 de janeiro de 2001. Estabelece diretrizes gerais para a gestão de águas subterrâneas. Diário Oficial da União, Brasília, 2001

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Diário Oficial da União, Brasília, 1997.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Institui a Política Nacional de Meio Ambiente. Diário Oficial da União, Brasília, 1981.

BROWN R.M., MCLELLAND N.I., DEININGER, R.A., TOZER, R.G.. A water quality index—Do we dare? Water Sew Works, p.339-343, 1970.

CADILHAC, L., ALBINET, M. (Coord). Système d'évaluation de la qualité des eaux souterraines - Rapport de présentation, Version 0.1. Agences de l'Eau et le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, France, 75p., 2003.

CCME. Canadian Council of Ministers of the Environment. Canadian water quality guidelines for the protection of Water Quality Index, User's Manual. In: Canadian environmental quality guidelines. Canadian Council of aquatic life: CCME, Winnipeg, 2001. Disponível em http://www.ccme.ca/en/resources/canadian_environmental_quality_guidelines/index.html. Acesso em setembro de 2014.

CETESB. Manual de Produtos Químicos. Disponível em: <http://cetesb.sp.gov.br/emergencias-quimicas/manual-de-produtos-quimicos>. Acesso em: agosto de 2017.

CETESB. Indicadores de qualidade/Índice de qualidade das águas (IQA). Disponível em: <http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>. Acesso em janeiro de 2016.

CETESB. Qualidade das águas subterrâneas do estado de São Paulo 2010-2012. Séries Relatórios. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-subterraneas/111-publicacoes-e-relatorios>>. São Paulo: CETESB, 2012. 242p.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidas. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011. 326p.

- CETREL. Empresa de Proteção Ambiental. Compromisso com o futuro. Disponível: www.cetrel.com.br. Acesso em: fevereiro de 2015.
- CHAVES, R. C. P. – Avaliação do teor de metais pesados na água tratada do município de Lavras – M G- Lavras: UFLA, 2008. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- CHRISTOFARO, Cristiano; LEÃO, Mônica M. D.. Tratamento de dados censurados em estudos ambientais. Revista Química Nova, vol. 37, n° 1, 2014, p104-110.
- CLIMATE. Climate-Data.Org. Dados climáticos para cidades mundiais. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/location/4470>. Acesso em: novembro de 2017.
- COFIC. Comitê de Fomento Industrial de Camaçari. Proteção Ambiental. Disponível em: <http://www.coficpolo.com.br>. Acesso em out/2015.
- COUILLARD, D.; LEFEBVRE, Y. Analysis of water quality indices. Journal of Environmental Management, v.21, p.161-179, 1985.
- CPRM. Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais. Projeto: Implantação de Rede Básica Nacional de Monitoramento Integrado das Águas Subterrâneas. Abril, 2009. 90p.
- CRUZ JÚNIOR, C. A. S. P. Características geológicas e hidrogeológicas de uma área de conformação dômica, em rochas sedimentares da porção oriental da Bacia do Recôncavo Norte, Dias D'Ávila, BA. Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2012.
- ENVIRONMENTASIA. Thailandia Society of Higher Education Institutes on Environment. Groundwater Quality Index for Water Supply Production. EnvironmentAsia, p.18-23, 2013.
- FARIAS, Luciano Mende de. Poluentes orgânicos persistentes e compostos orgânicos voláteis. Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto Federal de Rondônia (IFRO). Rondônia, 2010.
- FOURNIER, I.L. SEQ-Eaux Souterraines – Système d'évaluation de la qualité Revue de L'Agence de l'eau, n.81, p.19, Fev/2001. Disponível em http://sandre.eaufrance.fr/IMG/pdf/SEQ_Esout.pdf. Acesso em: maio de 2014.
- FRANÇA. Agência de Água. Systeme D'evaluation de la Qualite des Eaux Souterraine. SEQ - Eaux souterraines – Rapport de présentation, Version 0. Agência de Água, 2002. p1-66.
- HURLEY, Tim, SADIQ, Rehan, MAZUMDER. Asit.. Adaptation and evaluation of the Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME WQI) for use as an effective tool to characterize drinking source water quality. Journal of the American Water Resources Association, n° 46, p.3544-3552, 2012.
- IARC. Agência Internacional de Pesquisa sobre Câncer. Disponível em <https://www.ecycle.com.br/component/content/article/38-no-mundo/1853-iarc-agencia-internacional-de-pesquisa-em-cancer.html>. Acesso em: junho de 2018.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. Estimativas da população residente no brasil e unidades da federação com data de referência em 1° de julho de 2017. Disponível em:

<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=resultados>. Acesso em: abril de 2018.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/camacari>. Acesso em: novembro de 2017.

KIPERSTOK, Asher et al. Bacia do Complexo Básico e Barreira Hidráulica: Reuso de Água para Fins Industriais. Congresso Técnico Braskem. Anais. Salvador-Bahia, 2006.

KUMAR, S. Krishna; LOGESHKUMARAN, A., MAGESH, N. S., GODSON, Prince S., CHANDRASEKAR, N.. Hydro-geochemistry and application of water quality index (WQI) for groundwater quality assessment, Anna Nagar, part of Chennai City, Tamil Nadu, India. Appl Water Sci. Journal of Hydrology, maio, 2014.

LUMB, A., SHARMA, T.C., BIBEAULT, J. F., KLAWUNN, P.. A Comparative Study of USA and Canadian Water Quality Index Models. Water Qual Expo Health, 2011. p.203-216.

MAGNAVITA, L. P.; SILVA, R. R. da; SANCHES, C. P.. Roteiros Geológicos. Guia de Campo da Bacia do Recôncavo, NE do Brasil. Petrobras, Rio de Janeiro, v. 13, n. 2, p. 301-334, maio/nov. 2005.

MENEZES, Juliana Magalhães. Índice de Qualidade de Água Subterrânea Aplicado em Área de Aquíferos Cristalinos com Uso Agrícola: Bacia do Rio São Domingos, RJ. Tese (doutorado), UFRJ/PPG/Programa de Pós Graduação em Geologia, 2009. Rio de Janeiro: UFRJ/PPGI, 2009. 189p.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. Substancias controladas pelo protocolo de Montreal. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/clima/protecao-da-camada-de-ozonio>. Acesso em: janeiro de 2018.

MOTA, Suetônio. Introdução à Engenharia Ambiental. 5a. edição. Rio de Janeiro: Abes, 2012.

NASCIMENTO, Sérgio A. de M.; LEAL, Luiz R. B.; PURIFICAÇÃO, Carlos G. C.. Utilização da análise de variância (ANOVA) na distinção de aquíferos sedimentares na região do Recôncavo Norte, estado da Bahia. Revista Águas Subterrâneas, v.30, n.3, p.411-426, 2016.

NEVES, Rubem Castro. Quadro Ambiental do Rio Jacuípe na Região de Camaçari e Situação Socioeconômica da População Ribeirinha. Revista Plurais. v.1, n.1, p.201-212, 2010

OLIVEIRA, André da Cruz. Estudo da concentração de metais em solos das Formações Marizal, São Sebastião e Coberturas Aluviais, em área piloto no entorno do Polo Industrial de Camaçari, Ba. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal da Bahia, Instituto de Geociências, 2014.

OLIVEIRA, I. B.; SANTOS, P. R. P. dos. Avaliação do gerenciamento das águas subterrâneas da bacia hidrográfica do Recôncavo Norte, Estado da Bahia, utilizando a concessão da outorga de uso como indicador do nível de gestão. In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo, 2007. Disponível em: <https://www.abrh.org.br>. Acesso em dezembro de 2014.

- OLIVEIRA, I. B.; NEGRÃO, F. I.; SILVA, A. G. L. S.. Mapeamento dos aquíferos do estado da Bahia utilizando o índice de qualidade natural das águas subterrâneas – IQNAS. *Revista Águas Subterrâneas*, v.21, n.1, 123-137, 2007.
- OLIVEIRA, I. B.; NEGRÃO, F. I.; SILVA, A. G. L. S.. Aplicação do índice de qualidade natural da água subterrânea (IQNAS) para os domínios hidrogeológicos do estado da Bahia. *Anais do XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*, Curitiba, Brasil, 2006.
- OLIVEIRA, I. B.; NEGRÃO, F. I.; ROCHA, T. S.. Determinação do índice de qualidade da água subterrânea – IQAS, com base nos dados de poços tubulares do estado da Bahia: áreas piloto: Recôncavo e Platô de Irecê. 2004. *Revista Águas Subterrâneas on-line*. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23432>. Acesso em setembro de 2014.
- PAIXÃO, Joana F.; ALMEIDA, Edna dos S., ROSA, Edson V. Cordova da. Análise espaço-temporal da qualidade das águas do rio Pojuca. *IV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental*, Salvador/BA, 2013.
- PROSAB. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. Remoção de microorganismos emergentes e microcontaminantes orgânicos no tratamento de água para consumo humano. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 392p.
- RIBEIRO, Ricardo dos Santos. Aspectos hidrogeológicos da porção leste da Bacia do Recôncavo Norte - Bahia. Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2013.
- SAEEDI, Mohebn; ABESSI, Ozeair; SHARIFI, Farid; MERAJI, Hamed. Development of groundwater quality index. *Environment Monitoring And Assessment*, p. 327-335, 2010.
- SANTOS, E; PINTO, J. A. G. de; MORAES, L. R. S.; FISCHER, Tânia (Org.). *O Caminho das Águas em Salvador: Bacias Hidrográficas, Bairros e Fontes – CIAGS/UFBA. SEMA*. Salvador, 2010. 486p.
- SANTOS, P. R. P. dos; OLIVEIRA, I. B.. Estudo da Vulnerabilidade à Poluição do Aquífero Marizal na Região de Influência do Polo Industrial de Camaçari (PIC)-Bahia. *Revista Águas Subterrâneas*, v.27, n.1, p.1-18, 2013.
- SANTOS, P. R. P. dos. Metodologia para tomada de decisão sobre a utilização de água subterrânea no abastecimento público no entorno de áreas urbanas industrializadas. Tese (doutorado). Programa de Pós Graduação em Saúde Pública, 2016. São Paulo: USP/FSP, 2016. 335p.
- SEDUR. Secretaria de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia. Plano municipal de saneamento básico. Produto 02 - Caracterização Socioeconômica do Município. Volume I. Camaçari: SEDUR, 2015a.
- SEDUR. Secretaria de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia. Plano municipal de saneamento básico. Produto 02 - Caracterização Física do Município. Volume II. Camaçari: SEDUR, 2015b.

- SEDUR. Secretaria de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia. Plano municipal de saneamento básico. Produto 04 - Diagnóstico dos Serviços de Abastecimento de Água. Camaçari: SEDUR, 2015c.
- SEI. Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia. Tipologia climática Thornthwaite & Matther. Estado da Bahia, 2003. Salvador: SEI, 1998.
- SEI. Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia. Pluviometria. Estado da Bahia, 2003. Salvador: SEI, 2003.
- SEI. Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia. Bahia em números, 2013. Versão 13. Salvador: SEI, 2013.
- SEPLAN. Secretaria do Planejamento do Estado da Bahia. Zoneamento Ecológico-Econômico Preliminar-ZEE. Disponível em: <http://www.zee.ba.gov.br>. Acesso em dezembro de 2014.
- SEVERINO, Antônio J. Metodologia do trabalho científico. 23. ed. São Paulo: Cortez, 2007.
- SICM. Secretaria da Indústria, Comércio e Mineração do Estado da Bahia. Centro de Fomento Industrial de Camaçari (COFIC). Plano Diretor do Polo Industrial de Camaçari, 2013. Salvador: SICM, 2013.
- SIHS. Secretaria de Infraestrutura Hídrica e Saneamento da Bahia. Plano de Abastecimento de Água da Região Metropolitana de Salvador, Santo Amaro e Saubara. Volume 05. Relatório das diretrizes e proposições do município de Camaçari. Salvador: SIHS, 2015.
- STIGTER, T.Y., RIBEIRO, L., CARVALHO DILL, A.M.M.. Application of a groundwater quality index as an assessment and communication tool in agro-environmental policies - Two Portuguese case studies. *Journal of Hydrology*. p. 578-591, 2006. TYAGI, Shweta, SHARMA, Bhavtosh, SINGH, Prashant, DOBHA, Rajendra.. Water Quality Assessment in Terms of Water Quality Index. *American Journal of Water Resources*, v. 1, n.3, p.34-38, 2013.
- WHO. World Health Organization. Guidelines for drinking-Water Quality. v. 1, 3ª edição. WHO Library Cataloguing-in-Publication Data, Geneva, WHO, 2011.
- YISA, Jonathan; JIMOH, Tijani Oladejo; OYIBO, Ohiemi Michael. Underground Water Assessment using Water Quality Index. *Leonardo Journal of Sciences*, July-December, p33-42, 2012.

RESULTADO DA APLICAÇÃO DO MÉTODO “NADA” NOS DADOS URBANOS.

1,2 Dicloroetano – Dias D’Ávila

R Console

Page 1

```
R version 3.3.2 (2016-10-31) -- "Sincere Pumpkin Patch"
Copyright (C) 2016 The R Foundation for Statistical Computing
Platform: i386-w64-mingw32/i386 (32-bit)

R is free software and comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY.
You are welcome to redistribute it under certain conditions.
Type 'license()' or 'licence()' for distribution details.

R is a collaborative project with many contributors.
Type 'contributors()' for more information and
'citation()' on how to cite R or R packages in publications.

Type 'demo()' for some demos, 'help()' for on-line help, or
'help.start()' for an HTML browser interface to help.
Type 'q()' to quit R.

[Previously saved workspace restored]

> utils:::menuInstallPkgs()
--- Please select a CRAN mirror for use in this session ---
trying URL 'https://vps.fmvz.usp.br/CRAN/bin/windows/contrib/3.3/NADA_1.5-6.zip'
Content type 'application/zip' length 320833 bytes (313 KB)
downloaded 313 KB

package 'NADA' successfully unpacked and MD5 sums checked

The downloaded binary packages are in
  C:\Users\Clelia\AppData\Local\Temp\Rtmp861XXe\downloaded_packages
> local({pkg <- select.list(sort(.packages(all.available = TRUE)),graphics=TRUE)
+ if(nchar(pkg)) library(pkg, character.only=TRUE)})
Loading required package: survival

Attaching package: 'NADA'

The following object is masked from 'package:stats':

  cor

Warning message:
package 'NADA' was built under R version 3.3.3
> dados.DEADD=read.table("C:/Users/Clelia/Desktop/LDM-NADA/DEADD.txt",header=TRUE)
> censummary(dados.DEADD$DEADD, dados.DEADD$D_DEADD)
all:
      n    n.cen  pct.cen      min      max
49.00000 47.00000 95.91837  5.00000  5.50000

limits:
  limit  n  uncen  pexceed
1      5  47      2 0.04081633

> censtats(dados.DEADD$DEADD, dados.DEADD$D_DEADD)
      n    n.cen  pct.cen
49.00000 47.00000 95.91837
      median      mean      sd
K-M      NA 5.402041 0.01999583
ROS 4.770726 4.781519 0.29473519
MLE 3.605914 3.670780 0.69939110
Warning message:
In censros(obs, censored) : Input > 80% censored -- Results are tenuous.

>
```

RESULTADO DA APLICAÇÃO DO MÉTODO “NADA” NOS DADOS INDUSTRIAIS

Cloreto de metileno - Camaçari

```
R Console Page 1

R version 3.3.2 (2016-10-31) -- "Sincere Pumpkin Patch"
Copyright (C) 2016 The R Foundation for Statistical Computing
Platform: i386-w64-mingw32/i386 (32-bit)

R is free software and comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY.
You are welcome to redistribute it under certain conditions.
Type 'license()' or 'licence()' for distribution details.

R is a collaborative project with many contributors.
Type 'contributors()' for more information and
'citation()' on how to cite R or R packages in publications.

Type 'demo()' for some demos, 'help()' for on-line help, or
'help.start()' for an HTML browser interface to help.
Type 'q()' to quit R.

[Previously saved workspace restored]

> local({pkg <- select.list(sort(.packages(all.available = TRUE)),graphics=TRUE)
+ if(nchar(pkg)) library(pkg, character.only=TRUE)})
Loading required package: survival

Attaching package: 'NADA'

The following object is masked from 'package:stats':

  cor

> dados.CHCLINDM=read.table("C:/Users/Clelia/Desktop/LDM-NADA/CHCLINDM.txt", header=TRUE)
> censummary(dados.CHCLINDM$CHCLINDM, dados.CHCLINDM$D_CHCLINDM)
all:
      n      n.cen pct.cen      min      max
68.00000 67.00000 98.52941  4.00000 14.00000

limits:
  limit n uncen  pexceed
1     4 67     1 0.01470588

> censummary(dados.CHCLINDM$CHCLINDM, dados.CHCLINDM$D_CHCLINDM)
all:
      n      n.cen pct.cen      min      max
68.00000 67.00000 98.52941  4.00000 14.00000

limits:
  limit n uncen  pexceed
1     4 67     1 0.01470588

> censummary(dados.CHCLINDM$CHCLINDM, dados.CHCLINDM$D_CHCLINDM)
all:
      n      n.cen pct.cen      min      max
68.00000 67.00000 98.52941  4.00000 14.00000

limits:
  limit n uncen  pexceed
1     4 67     1 0.01470588

> censtats(dados.CHCLINDM$CHCLINDM, dados.CHCLINDM$D_CHCLINDM)
      n      n.cen pct.cen
68.00000 67.00000 98.52941
      median      mean      sd
K-M      NA 14.00000000      NaN
ROS 14.000000000 14.0000000 4.340331e-16
MLE 0.003742193 0.6474234 1.120065e+02
Warning messages:
1: In cenros(obs, censored) : Input > 80% censored -- Results are tenuous.
2: In predict.lm(object, newdata = data.frame(pp.nq = newdata), ...) :
  prediction from a rank-deficient fit may be misleading
>
```

APÊNDICE B – BANCO DE DADOS COMPATIBILIZADOS E CONSISTIDOS

CONCENTRAÇÕES MÁXIMAS DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS NA ÁREA DE ESTUDO

COMPOSTOS ORGÂNICOS	Padrão de referência (µg L ⁻¹)	CONCENTRAÇÕES MÁXIMAS DOS COV's POR ÁREA DE ESTUDO															
		ÁREA URBANA/POÇOS DE ABASTECIMENTO								ÁREA INDUSTRIAL/POÇOS DE ABASTECIMENTO/PRODUÇÃO				ÁREA INDUSTRIAL/POÇOS DE EXTRAÇÃO/MONITORAMENTO			
		2009	2010	2011	2013	2014	2015	2016	2013.1	2013.2	2014.1	2014.2	2009	2010	2013	2014	
1,1 -Dicloroeteno	30	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5					136	177	62	58	
1,2-Diclorobenzeno	1000	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5					1850	687	5043	3473	
1,2-Dicloroetano	10	5,5	5,4	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	5	3	2	4	36490	8325	53077	2249	
1,2-Dicloroeteno	50	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5					51	165	114	57	
1,4-Diclorobenzeno	300	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5					0	0	63	54	
Benzeno	5	1	1	1	1	1	1	1	0,5	0,5	0,5	0,5	125	128	300	174	
Cloreto de metileno	20	1	1	1	1	1	1	1	14	2,1	2,1	2,1	2988	3114	3094	1931	
Cloreto de vinila	5												8841	64589	3311	2522	
Clorofórmio	200	5	5	5	5	5	5	5	2	0,5	0,5	0,5	2458	2606	2015	245	
Etilbenzeno	200	1	1	1	1	1	1	1	0,5	0,5	0,5	1	2	0	1	1	
Tetracloroeto de carbono	2	1	1	1	1	1	1	1	0,5	0,5	0,5	0,5	1851	2613	1284	2124	
Tetracloroeteno	40	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	0,5	0,5	0,5	0,5	88	109	154	158	
Tolueno	170	6,4	5,9	1,1	3,7	4,8	1,1	1,1	0,5	0,5	0,5	0,5	73	91	180	193	
Tricloroeteno	20	1	1	1	1	1	1	1	0,5	0,5	0,5	0,5					
Xileno	300	5	5	5	5	5	5	5	0,5	1	2	4					

Fontes: Embasa e Inema

CONCENTRAÇÕES MÍNIMAS DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS NA ÁREA DE ESTUDO

COMPOSTOS ORGÂNICOS	Padrão de referência (µg L ⁻¹)	CONCENTRAÇÕES MÍNIMAS DOS COV's POR ÁREA DE ESTUDO															
		ÁREA URBANA/POÇOS DE ABASTECIMENTO								ÁREA INDUSTRIAL/POÇOS DE ABASTECIMENTO/PRODUÇÃO				ÁREA INDUSTRIAL/POÇOS DE EXTRAÇÃO/MONITORAMENTO			
		2009	2010	2011	2013	2014	2015	2016	2013.1	2013.2	2014.1	2014.2	2009	2010	2013	2014	
1,1 -Dicloroeteno	30	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5					4	71	4	4	
1,2-Diclorobenzeno	1000	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5					1	6	1	1	
1,2-Dicloroetano	10	5,5	5,4	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	0,6	0,6	0,6	0,6	1	55	520	22	
1,2-Dicloroeteno	50	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5					1	13	1	1	
1,4-Diclorobenzeno	300	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5					0	0	1	1	
Benzeno	5	1	1	1	1	1	1	1	0,5	0,5	0,5	0,5	1	19	1	1	
Cloreto de metileno	20	5	5	5	5	5	5	5	2,1	2,1	2,1	2,1	4	71	4	4	
Cloreto de vinila	5												1	27	3	1	
Clorofórmio	200	1	1	1	1	1	1	1	0,5	0,5	0,5	0,5	24	28	25	21	
Etilbenzeno	200	1	1	1	1	1	1	1	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0	1	1	
Tetracloroeto de carbono	2	1	1	1	1	1	1	1	0,5	0,5	0,5	0,5	3	44	16	1	
Tetracloroeteno	40	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	12	3	1	
Tolueno	170	1	1	1	1	1	1	1	0,5	0,5	0,5	0,5	1	91	1	1	
Tricloroeteno	20	1	1	1	1	1	1	1	0,5	0,5	0,5	0,5					
Xileno	300	2	2	2	2	2	2	2	0,5	0,5	0,5	0,5					

Fontes: Embasa e Inema

CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS NA ÁREA DE ESTUDO

COMPOSTOS ORGÂNICOS	Padrão de referência ($\mu\text{g L}^{-1}$)	CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DOS COV's POR ÁREA DE ESTUDO													
		ÁREA URBANA/POÇOS DE ABASTECIMENTO						ÁREA INDUSTRIAL/POÇOS DE ABASTECIMENTO/PRODUÇÃO				ÁREA INDUSTRIAL/POÇOS DE EXTRAÇÃO/MONITORAMENTO			
		2009	2010	2011	2013	2014	2015	2016	2013.1	2013.2	2014.1	2014.2	2009	2010	2013
1,1-Dicloroetano	30	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5					475	1593	475	475
1,2-Diclorobenzeno	1000	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5					273	184	851	504
1,2-Dicloroetano	10	2,7	2,7	2,5	2,5	2,5	2,5	0,9	0,8	0,7	0,8	8342	3514	10124	1016
1,2-Dicloroetano	50	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5					23	65	35	11
1,4-Diclorobenzeno	300	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5					0	0	22	19
Benzeno	5	1	1	1	1	1	1	0,5	0,5	0,5	0,5	33	74	94	61
Cloro de metileno	20	5	5	5	5	5	5	3,2	2,1	2,1	2,1	475	1593	569	281
Cloro de vinila	5											1596	16299	674	499
Clorofórmio	200	1	1	1	1	1	1	0,7	0,5	0,5	0,5	781	687	443	94
Etilbenzeno	200	1	1	1	1	1	1	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0	1	1
Tetracloro de carbono	2	1	1	1	1	1	1	0,5	0,5	0,5	0,5	767	917	550	682
Tetracloroetano	40	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	0,5	0,5	0,5	0,5	29	42	45	44
Tolueno	170	1,4	1,4	1,1	1,2	1,3	1,1	0,5	0,5	0,5	0,5	14	91	31	28
Tricloroetano	20	1	1	1	1	1	1	0,5	0,5	0,5	0,5				
Xileno	300	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	0,5	0,6	0,6	0,8				

Fontes: Embasa e Inema

RESULTADO DAS ANÁLISES DOS PARÂMETROS ORGÂNICOS (2009, 2010, 2011, 2013, 2014, 2015 e 2016) – Área Urbana (Camaçari e Dias D'Ávila)

CATEGORIA/NOMENCLATURA	UNIDADE	RESULTADO DAS ANÁLISES DOS PARÂMETROS ORGÂNICOS (2009, 2010, 2011, 2013, 2014, 2015 e 2016) - 7 campanhas													
		110EE	12DCBZ	12DEA	12DCETE	14DCBZ	BENZ	CHC13	CH2C12	ETBZ	CC14	TTOLEE	TOL	TRCLEE	XILS
		1,1 dicloroetano	1,2 Diclorobenzeno	1,2 Dicloroetano	1,2 Dicloroeteno	1,4 Diclorobenzeno	Benzeno	clorofórmio; triclorometano	cloro de metileno; diclorometano	Bilbenzeno	tetracloreto de carbono	tetracloreto (etileno)	tolueno	Tricloroetano (etileno)	Xileno
CONAMA 396/08	(µg/L)	30	1000	10	50	300	5	200	20	200	2	40	170	X	300
PORTARIA 2914/11	(µg/L)	30	10	10	50	30	5	X	20	200	4	40	170	20	300
LISTA HOLANDESA / 2000	(µg/L)	X	10	400	X	2,5	30	X	1000	150	10	40	1000	500	70
CONAMA 357/05 - Classe I	(µg/L)	3	X	10	X	X	5	X	20	90	2	10	2	30	300
Valores orientadores Classe I/SP/20	(µg/L)	30	1000	10	50	300	5	200	20	300	4	40	700	20	500
POÇO DE AMOSTRAGEM	PERÍODO														
2009	PU-1	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,04	1	5
	PU-2	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,04	1	5
	PU-3	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,04	1	5
	PU-4	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,04	1	5
	PU-5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,04	1	5
	PU-6	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,04	1	5
	PU-7	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,04	1	5
	PU-8	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,04	1	5
	PU-9	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,04	1	5
	PU-10	2,5	2,5	2,51	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,07	1	2
	PU-11	2,5	2,5	2,51	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,07	1	2
	PU-12	2,5	2,5	2,51	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,07	1	2
	PU-13	2,5	2,5	2,51	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,07	1	2
	PU-14	2,5	2,5	2,51	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,07	1	2
	PU-15	2,5	2,5	5,5	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	6,4	1	2
	PU-16	2,5	2,5	2,51	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,07	1	2
POÇO DE AMOSTRAGEM	PERÍODO														
2010	PU-1	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	5,9	1	5
	PU-2	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,04	1	5
	PU-3	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,04	1	5
	PU-4	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,04	1	5
	PU-5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,04	1	5
	PU-6	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,04	1	5
	PU-7	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,04	1	5
	PU-8	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,04	1	5
	PU-9	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,04	1	5
	PU-10	2,5	2,5	2,51	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,07	1	2
	PU-11	2,5	2,5	2,51	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,07	1	2
	PU-12	2,5	2,5	2,51	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,07	1	2
	PU-13	2,5	2,5	2,51	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,07	1	2
	PU-14	2,5	2,5	2,51	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,07	1	2
	PU-15	2,5	2,5	5,4	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,07	1	2
	PU-16	2,5	2,5	2,51	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,07	1	2
POÇO DE AMOSTRAGEM	PERÍODO														
2011	PU-1	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,04	1	5
	PU-2	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,04	1	5
	PU-3	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,04	1	5
	PU-4	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,04	1	5
	PU-5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,04	1	5
	PU-6	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,04	1	5
	PU-7	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,04	1	5
	PU-8	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,04	1	5
	PU-9	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,04	1	5
	PU-10	2,5	2,5	2,51	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,07	1	2
	PU-11	2,5	2,5	2,51	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,07	1	2
	PU-12	2,5	2,5	2,51	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,07	1	2
	PU-13	2,5	2,5	2,51	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,07	1	2
	PU-14	2,5	2,5	2,51	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,07	1	2
	PU-15	2,5	2,5	2,51	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,07	1	2
	PU-16	2,5	2,5	2,51	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,07	1	2
POÇO DE AMOSTRAGEM	PERÍODO														
2013	PU-1	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	3,7	1	5
	PU-2	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,04	1	5
	PU-3	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,04	1	5
	PU-4	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,04	1	5
	PU-5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,04	1	5
	PU-6	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,04	1	5
	PU-7	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,04	1	5
	PU-8	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,04	1	5
	PU-9	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,04	1	5
	PU-10	2,5	2,5	2,51	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,07	1	2
	PU-11	2,5	2,5	2,51	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,07	1	2
	PU-12	2,5	2,5	2,51	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,07	1	2
	PU-13	2,5	2,5	2,51	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,07	1	2
	PU-14	2,5	2,5	2,51	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,07	1	2
	PU-15	2,5	2,5	2,51	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,07	1	2
	PU-16	2,5	2,5	2,51	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,07	1	2
POÇO DE AMOSTRAGEM	PERÍODO														
2014	PU-1	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,04	1	5
	PU-2	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,04	1	5
	PU-3	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,04	1	5
	PU-4	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,04	1	5
	PU-5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,04	1	5
	PU-6	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,04	1	5
	PU-7	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,04	1	5
	PU-8	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,04	1	5
	PU-9	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,04	1	5
	PU-10	2,5	2,5	2,51	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,07	1	2
	PU-11	2,5	2,5	2,51	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,07	1	2
	PU-12	2,5	2,5	2,51	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,07	1	2
	PU-13	2,5	2,5	2,51	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	4,82	1	2
	PU-14	2,5	2,5	2,51	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,07	1	2
	PU-15	2,5	2,5	2,51	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,07	1	2
	PU-16	2,5	2,5	2,51	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,07	1	2
POÇO DE AMOSTRAGEM	PERÍODO														
2015	PU-1	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,04	1	5
	PU-2	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1	1	5	1	1	2,5	1,04	1	5
	PU-3	2,5	2,5	2,5	2,5										

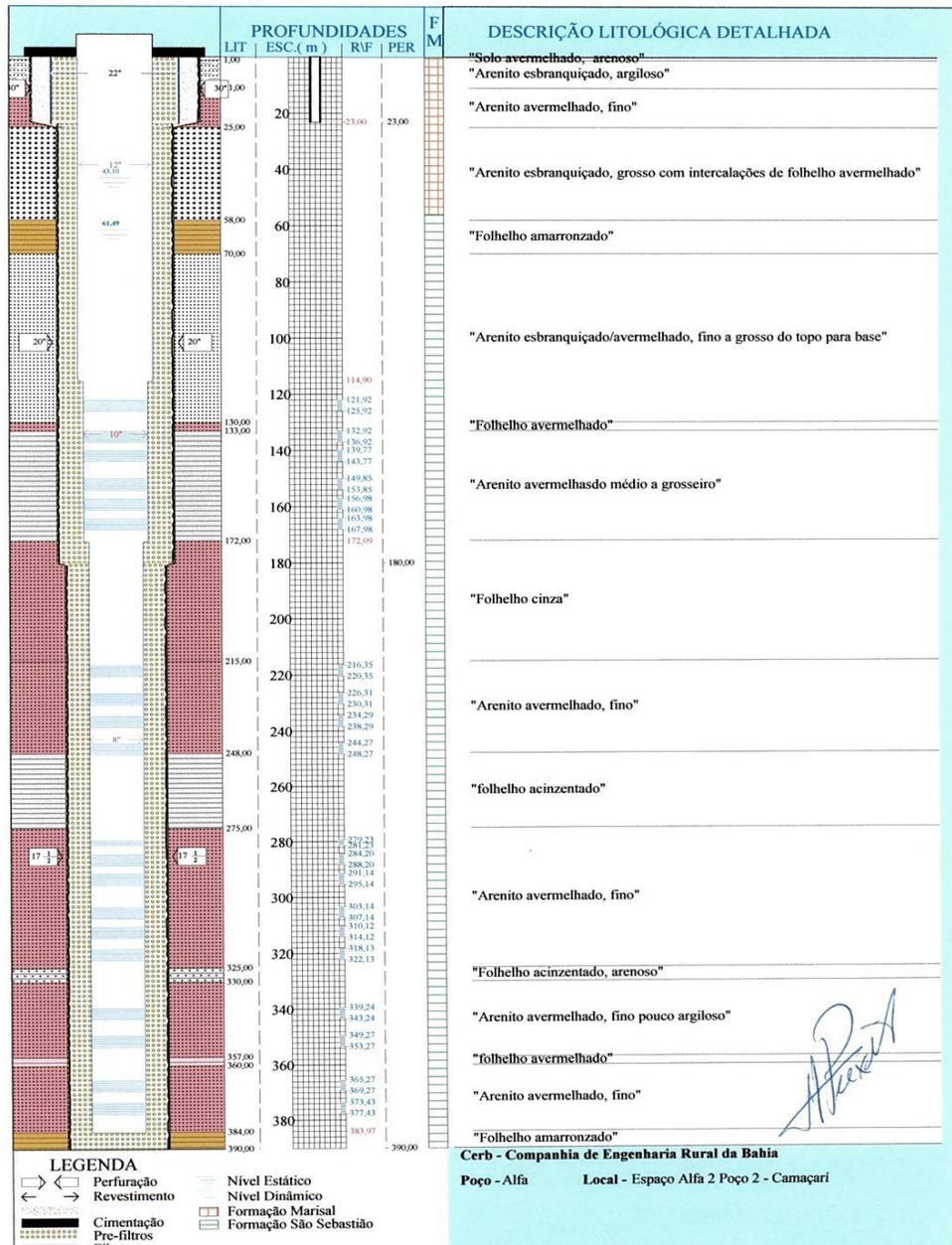
RESULTADO DAS ANÁLISES DOS PARÂMETROS ORGÂNICOS NOS POÇOS PRE-SELECIONADOS (2009, 2010, 2013 e 2014) – Área Industrial - Camaçari

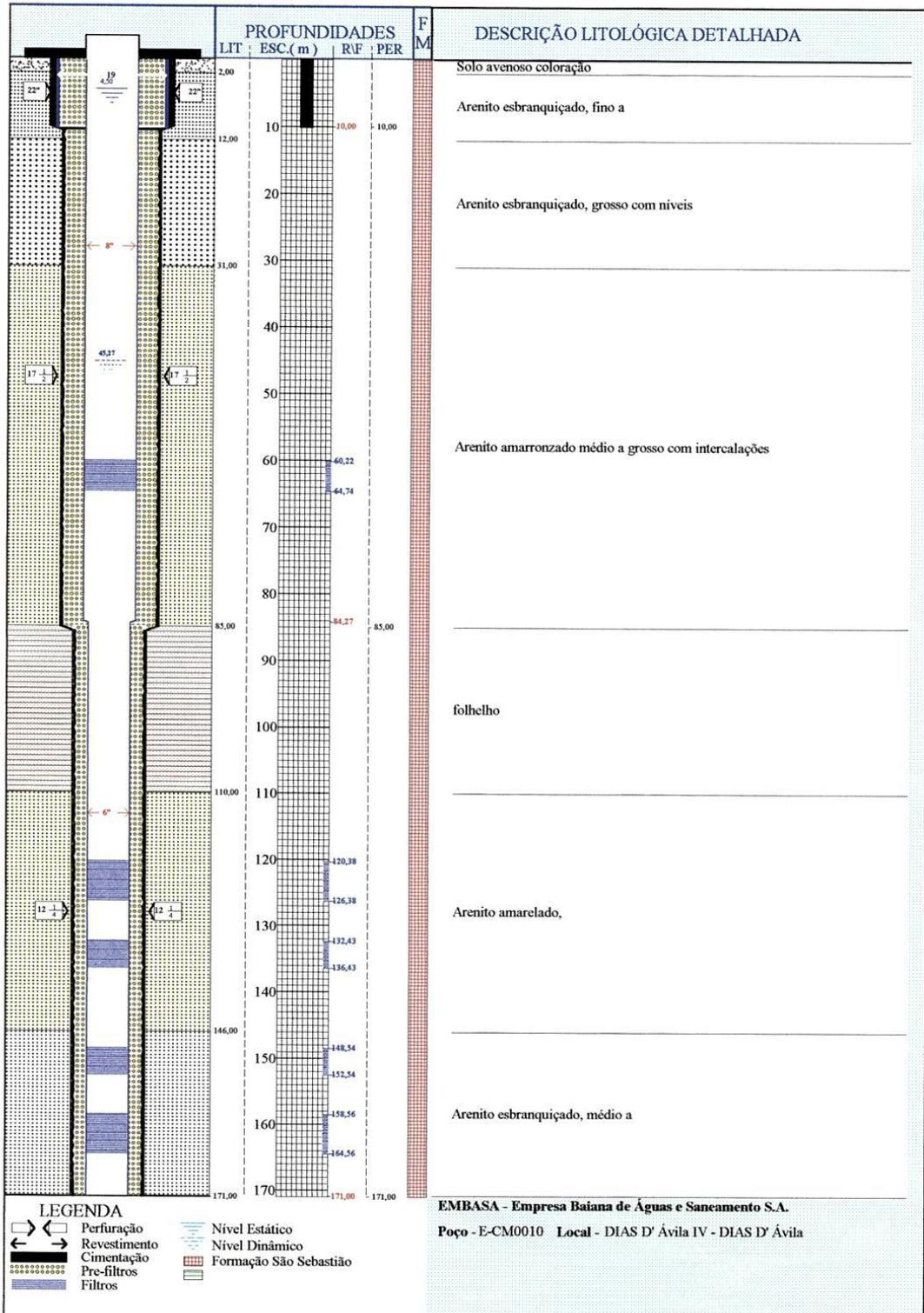
CATEGORIA/ NOMENCLATURA	UNIDADE	PARÂMETRO / VALOR DE REFERÊNCIA / RESULTADO DAS ANÁLISES												
		Cloro de vinita (µg/L)	Benzeno (µg/L)	Etilbenzeno (µg/L)	Tetracloro de carbono (µg/L)	1,2-Dicloroetano (µg/L)	1,1 - Dicloroetano (µg/L)	Cloro de metileno (µg/L)	Tetracloroeteno (µg/L)	Clorofórmio (µg/L)	1,2-Dicloroetano (µg/L)	1,2-Diclorobenzeno (µg/L)	1,4-Diclorobenzeno (µg/L)	Tolueno (µg/L)
CONAMA 396/08	(µg/L)	5	5	200	2	10	30	20	40	200	50	1000	300	170
PORTARIA 2914/11	(µg/L)	2	5	200	4	10	30	20	40	X	50	10	30	170
LISTA HOLANDESA / 2000	(µg/L)	X	30	150	10	400	X	1000	40	X	X	50	2,5	1000
CONAMA 357/05 - Classe I	(µg/L)	X	5	90	2	10	3	20	10	X	X	X	X	2
Valores orientadores Cetesb /SP/2014	(µg/L)	5	5	300	4	10	30	20	40	300	50	1000	300	700
	CAMPANHA													
PI-39E	2009	8841	1		1763	1	136	23	11	1194	37	1		1
PI-40E	2009	162	85		64	3583	18	2988	25	535	51	1850		73
PI-41E	2009	1972	16		1851	36490	22	216	5	2458		15		1
PI-35E	2009	1	1	1	3	61	6	4	1			1		
PI-36E	2009	191	125	2	197	9510	97	6	44	300	14	14		3
PI-37E	2009	1	1	1	355	1576	28	82	27	24	1	4		1
PI-38E	2009	7	3	1	1134	7175	72	4	88	172	10	23		4
Mediana 2009	(µg/L)	162	3	1	355	3583	28	23	25	417,5	14	14	0	2
Média	(µg/L)	1596,43	33,14	1,25	766,71	8342,29	54,14	474,71	28,71	780,50	22,60	272,57	0,00	13,83
Desvio Padrão	(µg/L)	3272,99	50,71	0,50	803,57	12220,33	48,64	1110,90	30,03	918,55	20,70	695,63	0,00	29,01
PI-39E	2010	64589	25		2613	976	177	71	12	2606	165			
PI-40E	2010	134	128		44	3114		3114	21	389	66	687		91
PI-35E	2010					55								
PI-36E	2010	445	122		183	8325	109		47	204	14	16		
PI-37E	2010				284	1435	26		20	28		6		
PI-38E	2010	27	19		1462	7178			109	206	13	28		
Mediana 2010	(µg/L)	289,5	73,5	0	284	2274,5	109	1592,5	21	206	40	22	0	91
Média	(µg/L)	13693,60	68,94	0,00	898,26	4857,62	90,16	1431,97	39,84	725,26	55,74	286,53	0,00	60,01
Desvio Padrão	(µg/L)	32193,99	59,57	0,00	1103,97	3448,45	75,62	2151,73	39,81	1080,54	71,43	335,29	0,00	0,00
PI-39E	2013	23	1	1	168	520	10	20	3	262	6	1	1	1
PI-40E	2013	84	300	1	16	805	7	3094	25	160	80	5043	63	180
PI-41E	2013	3311	166	1	1126	53077	40	287	7	2015	114	7	1	1
PI-36E	2013	541	56	1	220	1614	46	4	35	80	5	11		1
PI-37E	2013	3	10	1	485	1226	19	4	43	25	1	14		1
PI-38E	2013	80	31	1	1284	3500	62	4	154	113	6	32		2
Mediana 2013	(µg/L)	82	43,5	1	352,5	1420	29,5	12	30	136,5	6	12,5	1	1
Média	(µg/L)	673,67	94,00	1,00	549,83	10123,67	30,67	568,83	44,50	442,50	35,33	851,33	21,67	31,00
Desvio Padrão	(µg/L)	1307,40	117,25	0,00	531,93	21068,99	22,03	1242,11	55,84	774,52	49,00	2053,52	35,80	73,00
PI-39E	2014	3	1	1	23	22	4	4	1	47	1	1	1	1
PI-40E	2014	497	167	1	10	602	7	1931	12	142	57	3473	54	193
PI-41E	2014	2522	174	1	2124	1385	24	15	3	245	10	16	1	1
PI-35E	2014	60	23	1	1	610	23	4	5	46	2	1		1
PI-36E	2014	405	55	1	570	1227	52	4	61	75	4	9		1
PI-37E	2014	2	4	1	583	1015	23	4	65	21	1	6		1
PI-38E	2014	1	1	1	1465	2249	58	4	158	83	3	19		1
Mediana 2014	(µg/L)	60	23	1	570	1015	23	4	12	75	3	9	1	1
Média	(µg/L)	498,57	60,71	1,00	682,29	1015,71	27,29	280,86	43,57	94,14	11,14	503,57	18,67	28,43
Desvio Padrão	(µg/L)	916,07	77,39	0,00	823,05	710,08	20,64	727,66	57,45	76,84	20,46	1309,41	30,60	72,57

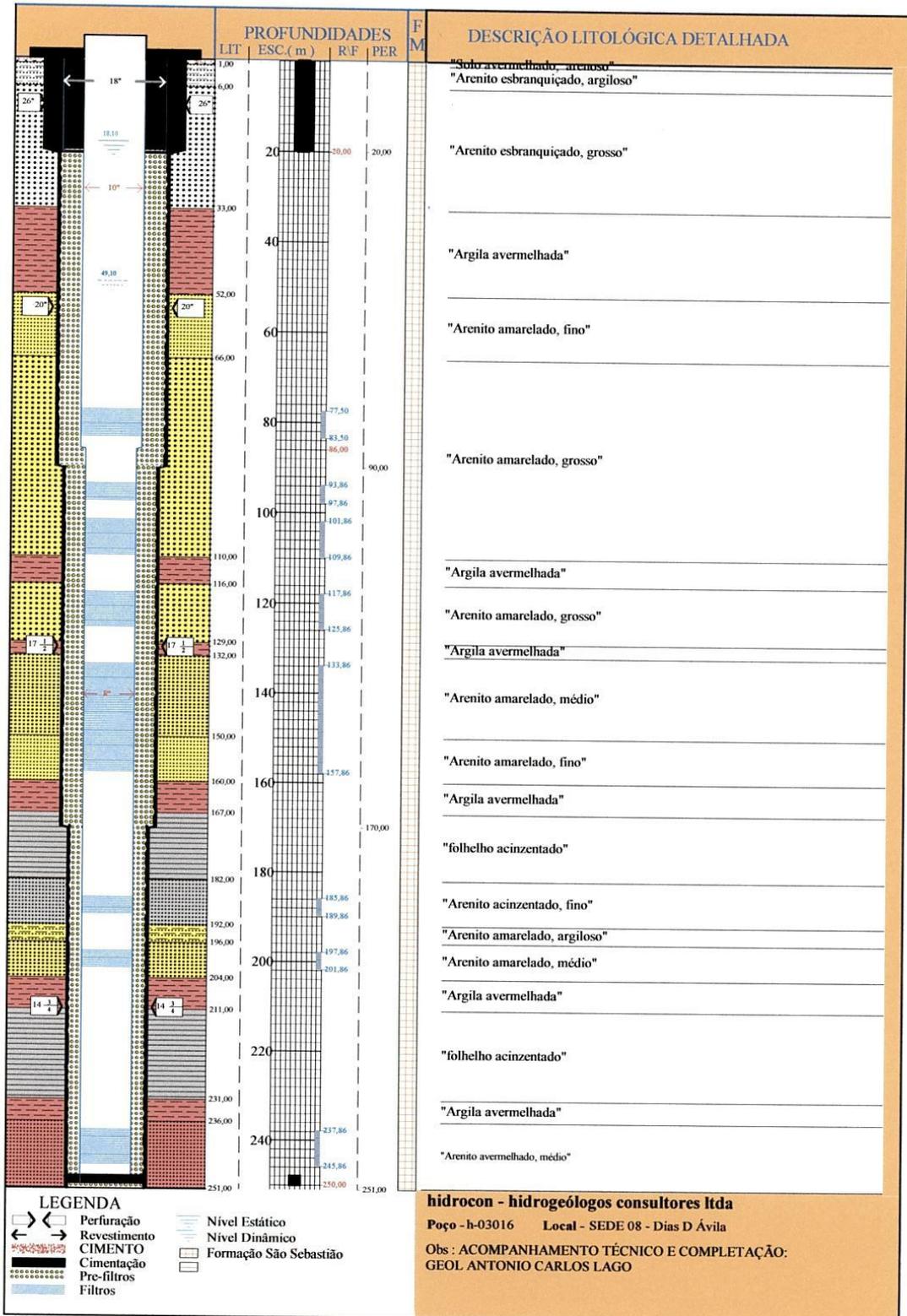
Fonte: Inema

ANEXO A – FICHAS DE CAMPO DOS POÇOS URBANOS E LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS DE EXTRAÇÃO DA BARREIRA HIDRÁULICA

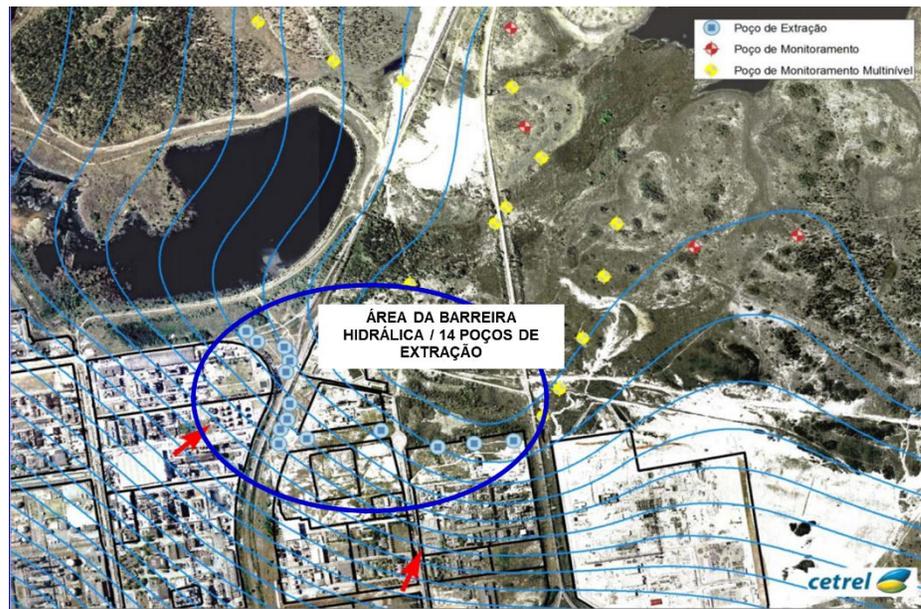
FICHAS DE CAMPO (POÇOS TUBULARES URBANOS – 100 a 400m) PU-1







POÇOS DE EXTRAÇÃO DA BARREIRA HIDRÁULICA (NÃO UTILIZADOS NESSE ESTUDO)



Fonte: INEMA, 2015