

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA POLITÉCNICA

JORDON LUIZ WERLANG

**AVALIAÇÃO DAS METODOLOGIAS DE AMOSTRAGEM NO MONITORAMENTO
DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO POLO INDUSTRIAL DE
CAMAÇARI**

São Paulo

2020

JORDON LUIZ WERLANG

**AVALIAÇÃO DAS METODOLOGIAS DE AMOSTRAGEM NO MONITORAMENTO
DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO POLO INDUSTRIAL DE
CAMAÇARI**

Versão Corrigida

Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para a obtenção do título de Especialista em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de *Brownfields*.

Orientadora: Dra. Carolina Afonso Pinto

São Paulo
2020

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo-na-publicação

Werlang, Jordon Luiz

Avaliação das metodologias de amostragem no monitoramento da qualidade das águas subterrâneas do Polo Industrial de Camaçari / J. L. Werlang -- São Paulo, 2020.

47 p.

Monografia (MBA em MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Química.

1.Monitoramento ambiental 2.Água [investigação] 3.Aquíferos I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Química II.t.

Ao meu pai, “in memoriam”, minha mãe, minha tia “in memoriam”, meus irmãos e irmãs, minha esposa Rose, meu filho, minha enteada e toda minha família que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços par que eu chegasse até esta etapa de minha vida.

AGRADECIMENTOS

À Rose Mesquita Werlang, minha esposa e amiga de fé, por todo amor, compreensão e colaboração, sempre torcendo por mim, muito obrigado por ter estado ao meu lado nessa fase importante da minha carreira. Ao meu filho Gabriel Mesquita Werlang, brilhante, à minha enteada Luane Mesquita Guimarães, linda e maravilhosa.

À Cetrel, na pessoa do gerente, químico Eduardo Fontoura, que através do programa de desenvolvimento individual, me apoiou, concedeu auxílio financeiro e possibilitou a construção dessa monografia.

Por fim, não posso deixar de agradecer aos meus amigos e familiares pelo estímulo constante, contribuindo para meu crescimento profissional.

“Viva hoje! Arrisque hoje! Faça hoje! Não se deixe morrer lentamente! Não se esqueça de ser feliz... Feliz... Arriscar à Fazer, para Viver Feliz!”

Pablo Neruda

RESUMO

WERLANG, Jordon Luiz. Avaliação das metodologias de amostragem no monitoramento da qualidade das águas subterrâneas do Polo Industrial de Camaçari. 2020. 47 f. Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de *Brownfields*) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2020.

Estudos relacionados à amostragem de águas subterrâneas indicam que o uso de diferentes metodologias pode provocar alterações nos resultados das amostras coletadas. A metodologia de amostragem de água subterrânea por baixa vazão minimiza a perturbação do poço e conseqüentemente apresenta resultados analíticos estáveis. O objetivo do trabalho foi avaliar o comportamento dos resultados históricos gerados pelas técnicas de amostragem chamada de baixa vazão e amostrador descartável *bailer*, provenientes do programa de monitoramento das águas subterrâneas do Polo Industrial de Camaçari. Para esse trabalho foram avaliados resultados de dois períodos de sete anos de monitoramento, cada período realizado com metodologias de amostragens diferentes. Após a avaliação da consistência dos resultados analíticos obtidos foram selecionados grupos de compostos considerados de relevância na avaliação da qualidade das águas subterrâneas. Os dados foram selecionados e avaliados por grupos de compostos voláteis, semivoláteis e metais. A pesquisa envolveu análise do coeficiente de variação médio do perfil analítico ao longo de dois períodos de monitoramento. Ao final do trabalho foi possível confirmar que, no universo de dados avaliados e utilizando somente o coeficiente de variação dos resultados, em períodos diferentes, a metodologia de amostragem *bailer* apresentou variação menor, para o grupo de compostos voláteis e semivoláteis e o método baixa-vazão apresentou menores variações no grupo dos metais.

Palavras-chave: Monitoramento ambiental. Água [investigação]. Aquíferos.

ABSTRACT

WERLANG, Jordon Luiz. Evaluation of sampling methodologies for monitoring the quality of groundwater at the Camaçari Industrial Complex. 2020. 47 f. Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de *Brownfields*) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2020.

Studies related to groundwater sampling indicate that the use of different methodologies can cause changes in the results of the collected samples. The low flow groundwater sampling methodology minimizes well disturbance and consequently presents stable analytical results. The objective was to evaluate the behavior of the historical results generated by the sampling techniques called low flow and disposable bailer sampler, from the groundwater monitoring program at the Camaçari Industrial Complex. For this work, the results of two periods of seven years of monitoring were evaluated, each period carried out with different sampling methodologies. After evaluating the consistency of the analytical results obtained, the groups of compounds considered relevant for the assessment of groundwater quality were selected. Data were selected and evaluated by groups of volatile, semi-volatile compounds and metals. The research involved analysis of the average coefficient of variation of the analytical profile over two monitoring periods. At the end of the work, it was possible to confirm that, in the universe of evaluated data and using only the coefficient of variation of the results, in different periods, the bailer sampling methodology showed less variation for the group of volatile and semi-volatile compounds and the low-flow method showed less variations in the group of metals.

Keywords: Environmental monitoring. Water [research]. Aquifers.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 OBJETIVO GERAL	12
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
1.3 JUSTIFICATIVA.....	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1 CARACTERIZAÇÃO HIDROGRÁFICA DE CAMAÇARI – BA.....	16
2.1.1 Geologia Local.....	16
2.2 HIDROGEOLOGIA	17
2.2.1 Água Subterrânea.....	18
2.2.2 Vulnerabilidade do Aquífero para Contaminação	25
2.3 TIPOS DE AMOSTRAGEM DE ÁGUA SUBTERRÂNEA	28
2.3.1 Amostragem com Baixa Vazão	31
2.3.2 Amostragem com Bailer	31
3 METODOLOGIA.....	32
3.1 COLETA DE DADOS.....	32
3.2 TRATAMENTO DOS DADOS.....	35
3.2.1 Estatística: Coeficiente de Variação.	36
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
5 CONCLUSÕES	41
REFERÊNCIAS.....	43

ÍNCIDES DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa Geológico Regional	17
Figura 2 – Seção Hidrogeológica Transversal ao Sistema Aquífero Recôncavo na Área de Camaçari – Dias D'Ávila.	19
Figura 3 – Mapa Potenciométrico Inferido do Sistema Aquífero Recôncavo.	20
Figura 4 – Modelo Deposicional para a Formação Marizal.	21
Figura 5 - Representação de Água no Solo	22
Figura 6 – Precipitação na área de influência do Polo	23
Figura 7 - Polo Industrial de Camaçari	24
Figura 8 - Polo Industrial de Camaçari	28
Figura 9 – Mapa de Localização dos poços utilizados no estudo.....	33

1 INTRODUÇÃO

O Polo Industrial de Camaçari (PIC), em operação desde 1978, é o primeiro complexo petroquímico planejado do País e o maior complexo industrial integrado do Hemisfério Sul. A poligonal industrial que delimita a área abrange os municípios de Camaçari e Dias D'Ávila. Nela, estão instaladas indústrias que atuam nos segmentos da petroquímica/químico, automotiva, metalurgia do cobre, celulose solúvel, têxtil, bebidas, pneus, energia eólica, fármacos, fertilizantes e serviços (CALDAS, 2005).

Com a implantação do PIC ficou evidenciada a necessidade da prevenção e da proteção da qualidade das águas subterrâneas da região tendo em vista que a localização está sobre um sistema aquífero que apresenta vulnerabilidade e risco de contaminação (SANTOS, 2010).

As águas subterrâneas representam um importante recurso para o abastecimento público, necessitando da elaboração de políticas de proteção com a definição de planos que garantam a manutenção da qualidade deste recurso (MELO et al., 2019, p.3); isto é, este importante mineral é indispensável para a saúde humana e para a economia local.

A água pode constituir-se num mineral indispensável, para a subsistência de todos os seres vivos; desta maneira, esta importante substância precisa ser analisada para avaliação quanto à sua qualidade, a fim de que a saúde humana não seja comprometida de maneira significativa, uma vez que exista um padrão potabilidade ideal para o consumo humano (FUNASA, 2014).

Reis (2012), afirma ainda que a proteção do solo se constitui num desafio a ser estabelecido e implementado; o ato de coordenar e integrar esforços, de diversas partes interessadas, com a finalidade proteger o solo nas zonas aquíferas vulneráveis durante sua ocupação e uso.

A busca pelo uso sustentável dos recursos hídricos na região de abrangência do Complexo Industrial de Camaçari e a qualidade desses recursos têm sido os principais desafios dos trabalhos desenvolvidos pelo Plano de Gerenciamento de Recursos Hídricos - PGRH.

A almejada sustentabilidade perpassa por uma gestão integrada, com a participação dos diversos atores envolvidos, seja poder público, iniciativa privada e sociedade civil. A gestão é centralizada, para que as ações aplicadas sejam mais efetivas com a finalidade a que se propõe.

O PGRH do Polo Industrial de Camaçari - PIC está estruturado para dar suporte às empresas instaladas no PIC para atender aos condicionantes da Licença de Operação da Portaria INEMA N° 16.507/2018.

Diante da necessidade do monitoramento das águas subterrâneas da região, este trabalho apresenta um estudo comparativo das metodologias de coleta de água subterrânea nos poços de monitoramento existentes no PIC. Foram avaliadas as metodologias de amostragem por *bailer*, ocorridas no período entre os anos de 2006 e 2012, e por baixa vazão, no período entre 2013 e 2019; consolidando uma avaliação de dois períodos iguais de sete anos.

Conforme o IBGE (2020), Camaçari – BA, constitui-se de um município litorâneo, com área territorial de 785,421 km²; a 48 km de distância da capital baiana.

Neste sentido, segundo Nascimento e Alves (2011, p.54), o Polo Industrial de Camaçari representa uma das principais fontes da economia do Estado da Bahia, quanto a empregos, geração de impostos e renda, ou seja, uma região bastante rica e extremamente importante para a Bahia.

Ao considerar a abordagem dos autores mencionados no parágrafo anterior é importante frisar, apesar das potencialidades econômicas existentes no PIC, que nesta região também fica situada a formação que origina o Aquífero de São Sebastião, indispensável para o abastecimento hídrico metropolitano; assim, precisa-se considerar as principais ameaças a este manancial subterrâneo.

É importante frisar que além do abastecimento humano, existe no município de Camaçari outra demanda significativa, o abastecimento industrial, visto que está localizado em seu território o maior complexo industrial integrado do Hemisfério Sul, com mais de 90 empresas químicas (BOTELHO, 2014); isto é, tais demandas deixam evidenciada a especificidade do solo local e consequentemente nos aquíferos locais.

Conforme o Perfil (2000), Camaçari limita-se com os municípios de Mata de São João e Dias D'Ávila; ao Sul com Lauro de Freitas, a Oeste com Simões Filho e a Leste com o Oceano Atlântico; cobrindo grande parte da região metropolitana baiana.

Nascimento e Alves (2011) informam que:

A região de influência do Pólo Industrial de Camaçari (PIC) situa-se a 50 km ao norte do Município de Salvador, Estado da Bahia, estando localizada no divisor de águas das bacias hidrográficas do rio Joanes e a do rio Jacuípe, que apresentam modelos de fluxo variáveis e, complexas relações de carga e descarga com as águas subterrâneas (NASCIMENTO, ALVES, 2011, p.55).

A região de Camaçari – BA, possui um considerável reservatório de água. Assim, é importante salientar que localmente ocorrem sedimentos areno-argilosos das formações São Sebastião e Marizal, do Grupo Barreiras além das coberturas superficiais (NOVAIS, 2014), ou seja, algumas ocorrências endêmicas na região municipal podem requerer o uso de uma ferramenta adequada à especificidade local.

Soares (2011, p.19), informa que o polo consiste em:

...maior complexo industrial integrado do Hemisfério Sul, com mais de 60 empresas químicas, petroquímicas e de outros ramos de atividade como a indústria automotiva, de celulose, metalurgia do cobre, têxtil, bebidas e serviços, produzindo mais de 50% dos petroquímicos básicos gerados na indústria brasileira (SOARES, 2011, p.19)

Seguindo esta linha, Nascimento e Alves (2011, p.1), menciona que o Polo Industrial de Camaçari possui uma importância econômica, bastante significativa para a região metropolitana baiana. No entanto, o gerenciamento ambiental é indispensável para manter a qualidade da água; a curto, médio e longo prazo.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho consiste em apresentar uma análise, utilizando o coeficiente de variação, dos resultados históricos gerados pelas técnicas de amostragem chamada de baixa vazão e amostrador descartável *bailer*, provenientes

do programa de monitoramento das águas subterrâneas do Polo Industrial de Camaçari.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver um levantamento de literatura a respeito da metodologia ideal de amostragem no monitoramento da qualidade das águas subterrâneas do Polo Industrial de Camaçari;
- Apresentar os principais tipos de metodologia de amostragem no monitoramento da qualidade das águas subterrâneas;
- Utilizando o coeficiente de variação, avaliar os resultados históricos gerados pelas técnicas de amostragem por baixa vazão e por *bailer*. Dados estes provenientes do programa de monitoramento das águas subterrâneas do Polo Industrial de Camaçari.

1.3 JUSTIFICATIVA

A água é vital para a sobrevivência de todos os seres vivos; assim, este importante mineral apesar de abundante em solo brasileiro, é escasso porquanto, apenas 2,4% de toda água do planeta é doce; no entanto, nas condições ideais de consumo a quantidade possa ser ainda menor. Da água doce existente a maior parte se concentra nas capotas polares e geleiras, representando 2,08% do total de água, e a água subterrânea representa apenas 0,29% de toda água existente em nosso planeta.

A água consiste-se em um importante mineral, extremamente importante para a sobrevivência de qualquer ser vivo. No entanto, tal mineral pode estar ameaçado caso não seja preservado. Assim, fica evidenciada a necessidade de se desenvolver uma pesquisa a respeito das ferramentas de avaliação das amostras de água subterrânea, podendo apresentar a melhor metodologia de amostragem.

Este mineral, extremamente vital para a subsistência humana, também se armazena no subsolo, formando o aquífero, definido como um sistema de armazenamento e escoamento de água subterrânea, no qual os efeitos de impulsos se propagam, influenciando o funcionamento do sistema, num período determinado (REIS, 2012).

Referindo-se a Camaçari – BA, destaca-se, conforme Santos (2013), que 81,5% do aquífero Marizal na área PIC apresenta vulnerabilidade muito alta, alta e moderada à poluição da água subterrânea, utilizando o Índice DRASTIC como metodologia de análise.

O DRASTIC está entre as abordagens mais populares usadas na estimativa da vulnerabilidade da água subterrânea devido à sua capacidade e facilidade de uso.

Assim, para preservação da qualidade dos mananciais e da água que abastece a indústria e a comunidade da região do PIC, este trabalho possui grande relevância social e comercial, no sentido que a abordagem dela pode trazer suporte no direcionamento das técnicas de amostragem eficientes e aplicáveis na região do complexo industrial e seu entorno.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A Revisão bibliográfica do presente trabalho foi desenvolvido da seguinte forma:

Inicialmente, tendo como meta o alcance aos objetivos descritos nesta pesquisa, foi feita uma busca em plataformas de pesquisa como: Portal CAPES, Scopus, Scielo, A Biblioteca Digital da USP, entre outros; uma vez que este tema, apesar de possuir bastante referencial teórico, por se tratar de uma pesquisa descritiva, foi necessária uma leitura minuciosa do material a ser utilizado nesta pesquisa. Deste modo, durante a leitura das obras pré-selecionadas na primeira etapa desta pesquisa, as obras que não possuísem abordagem satisfatória para o tema escolhido desta obra, foram descartadas. As obras que mais se enquadraram no tema abordado nesta pesquisa, foram selecionadas e incluídas no trabalho.

Negrão *et al* (2013, p.1), apresenta que: “A amostragem da água subterrânea envolve tradicionalmente a purga de um poço de monitoramento para remover a água estagnada no revestimento do poço antes da amostragem.”; este processo pode se tornar difícil e caro e os custos de tratamento podem aumentar muito os orçamentos da amostragem.

Desta maneira, esta etapa da pesquisa faz uma abordagem descritiva, uma vez que nesse método, partimos da observação de fatos ou fenômenos cujas causas desejamos conhecer (FREITAS, PRODANOV, 2013, p.29); e esta foi a principal estratégia investigativa nesta pesquisa.

Além disso, esta obra faz uma abordagem empírica e epistemológica a respeito das metodologias de amostragem no monitoramento da qualidade das águas subterrâneas em Camaçari - BA; apresentando as tecnologias mais utilizadas para o desenvolvimento pleno desta prática profissional.

Assim, foi desenvolvida uma análise estatística, dos dados coletados a partir das amostras avaliadas. Tais dados foram plenamente fundamentados a partir da problemática apresentada principalmente na justificativa desta pesquisa.

2.1 CARACTERIZAÇÃO HIDROGRÁFICA DE CAMAÇARI – BA

O PIC está localizado em uma extensa planície que abrange bacias hidrográficas vulneráveis à contaminação e com complexas relações de carga e descarga de águas subterrâneas e sistemas estuarinos próximos, mananciais importantes para região (ROEDEL, 2017).

A Bacia Hidrográfica do Recôncavo Norte é limitada ao Oeste com a bacia de rio Paraguaçu, a Leste com o Oceano Atlântico, ao Sul a Bacia Hidrográfica do Recôncavo Sul e ao Norte pela Bacia Inhambupe (BAHIA, 1996).

A Bacia está segmentado em 8 sub-bacias e a área de estudo está inserida dentro das sub-bacias do Rio Joanes e Jacuípe.

2.1.1 Geologia Local

A Geologia é a ciência que estuda a Terra, sua composição, processos internos e externos e de sua evolução.

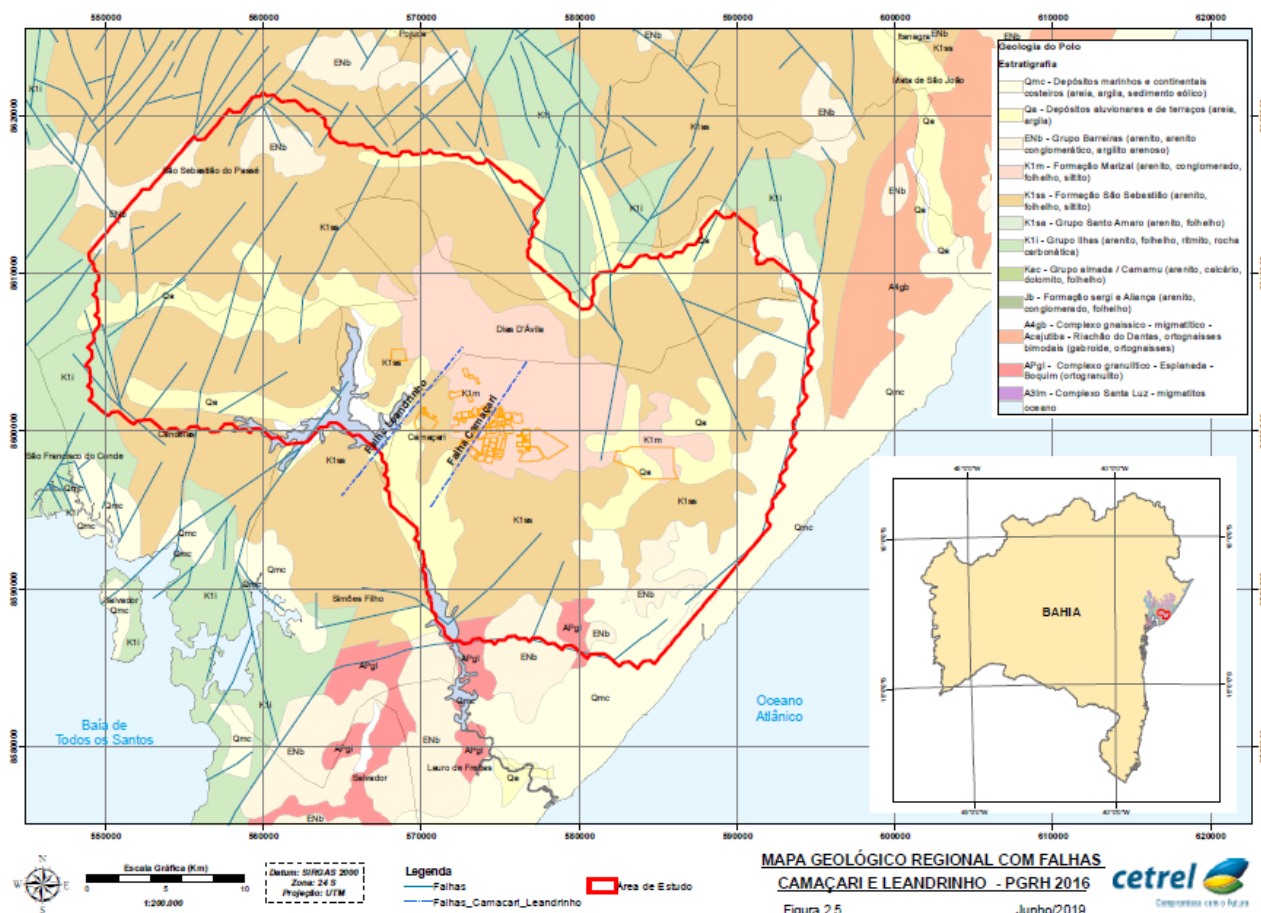
A formação das rochas é resultante de um conjunto de fatores físicos, químicos e biológicos. A geologia tem sobretudo, como objetivo maior, estudar história geral da Terra. Assim, para nosso estudo podemos sintetizar que o objetivo da geologia serve para resolução de problemas ambientais e estabelecimento de critérios para evitar danos ao meio ambiente e a valorização da relação entre o ser humano e a natureza.

A área de pesquisa está inserida na Bacia do Recôncavo, que corresponde ao compartimento sul do sistema Recôncavo-Tucano-Jatobá, nos estágios iniciais da abertura do oceano Atlântico-sul (NOVAIS, 2014, p.33).

O Mapa Geológico (Figura 1) mostra o posicionamento das Falhas de Leandrinho e Falha de Camaçari, ambas situadas na porção central da área de estudo, interpretada por Lima (1999) a partir de dados geofísicos obtidos da Petrobrás. Nascimento e Alves (2011, p.55), afirmam que na área afloram sedimentos das Formações Marizal, São Sebastião e Barreira, além de sedimentos

quaternários identificados com mais frequência nos vales da rede de drenagem que ocorrem ao longo da área.

Figura 1 – Mapa Geológico Regional



Fonte: CETREL (2019, v.2, p;19)

2.2 HIDROGEOLOGIA

A “hidrogeologia é a área da geologia que estuda as águas em sua ocorrência, movimento, volume, qualidade e distribuição em subsuperfície. As águas subterrâneas ocupam vazios intergranulares ou poros das rochas sedimentares ou falhas, fissuras e fraturas de rochas cristalinas”; ou melhor, consiste-se numa ciência que estuda as ocorrências relacionadas a água (NOVAIS, 2014, p.20).

Através da hidrogeologia é possível verificar a vazão de poço e a recarga e proteção natural do aquífero. Conforme estrutura geológica a água nela armazenada

comporta-se de maneira diferente. Em rochas cristalinas a velocidade de deslocamento e capacidade de armazenamento são menores que em rochas porosas.

Com base na mineralogia e na sua alteração é possível prever a qualidade química natural de uma água subterrânea, a qual é definida pela importância relativa dos principais elementos químicos dissolvidos que a água apresenta.

Assim, Soares (2011, p.36), defende que:

Existem basicamente dois sistemas de aquíferos um profundo denominado Formação São Sebastião que pode alcançar até 1000 m de profundidade com água doce, é o aquífero responsável pelo suprimento de água do PIC e das sedes dos municípios de Camaçari e Dias D'Ávila e de pequenas comunidades locais (SOARES, 2011, p.36),

Para Santos e Oliveira (2013, p.3), “Os rios Joanes e Jacuípe formam uma conexão hidráulica com a água subterrânea do aquífero local, com fluxos variáveis e complexas relações de carga e descarga, estando o aquífero sujeito à influência das atividades do PIC e das cidades de Camaçari e Dias D'Ávila”; assim, tais rios constituem a bacia hidrográfica da região; lembrando que o relevo regional apresenta três tipos de formação: aplainamento, acumulação e dissecação.

2.2.1 Água Subterrânea

Na região de Camaçari e Dias D'Ávila, local do atual estudo, no intervalo de 500 metros de profundidade, ocorrem sedimentos das Formações Barreiras e Marizal, dispostos de forma discordante sobre a Formação São Sebastião.

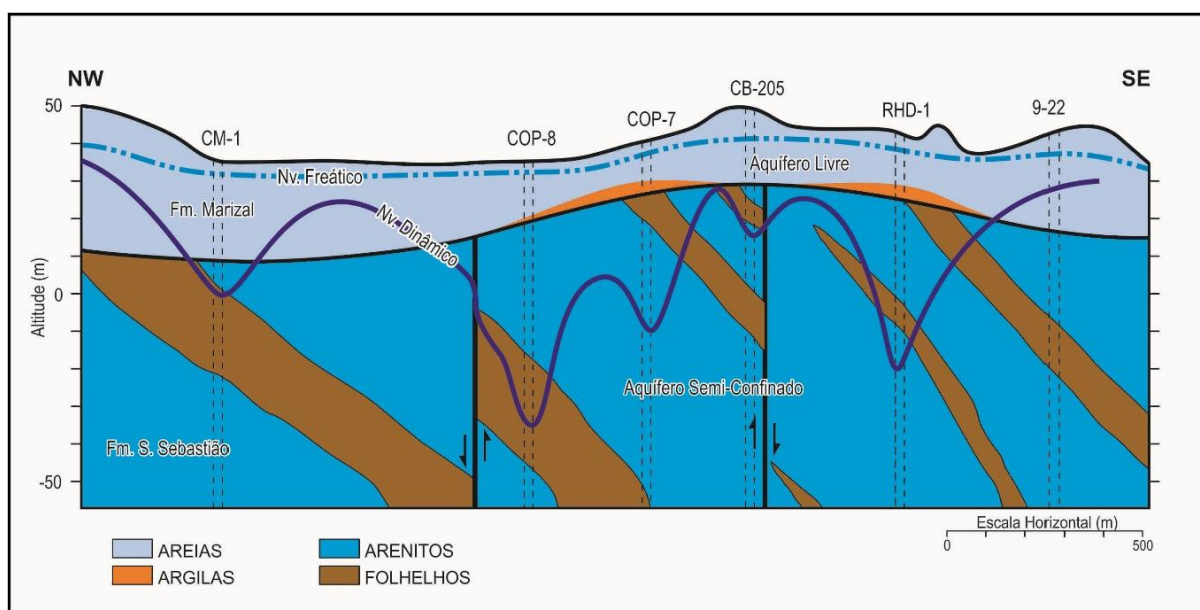
Essa região fica sob o aquífero que contribui para o abastecimento da zona metropolitana, cujo clima, descrito por Santos e Oliveira (2013,) corresponde a quente e úmido, com chuvas concentradas no período de abril a junho, com o mês de maio mais chuvoso e entre outubro e março tem-se o período seco. Essa condição mantém ativo o maior manancial da zona metropolitana baiana.

Segundo Lima (1999), o sistema de aquífero do recôncavo pode ser descrito em dois componentes: sendo o primeiro, freático, composto pelas Formações Barreiras, Marizal e parte superior da Formação São Sebastião, e outro,

semiconfinado ou artesiano, composto pelos arenitos dispostos totalmente na Formação São Sebastião.

Na Figura 2 podemos observar, na seção geológica, os níveis basais conglomeráticos da Formação Marizal em contato com a Formação São Sebastião (ROEDEL, 2017).

Figura 2 – Seção Hidrogeológica Transversal ao Sistema Aquífero Recôncavo na Área de Camaçari – Dias D'Ávila.



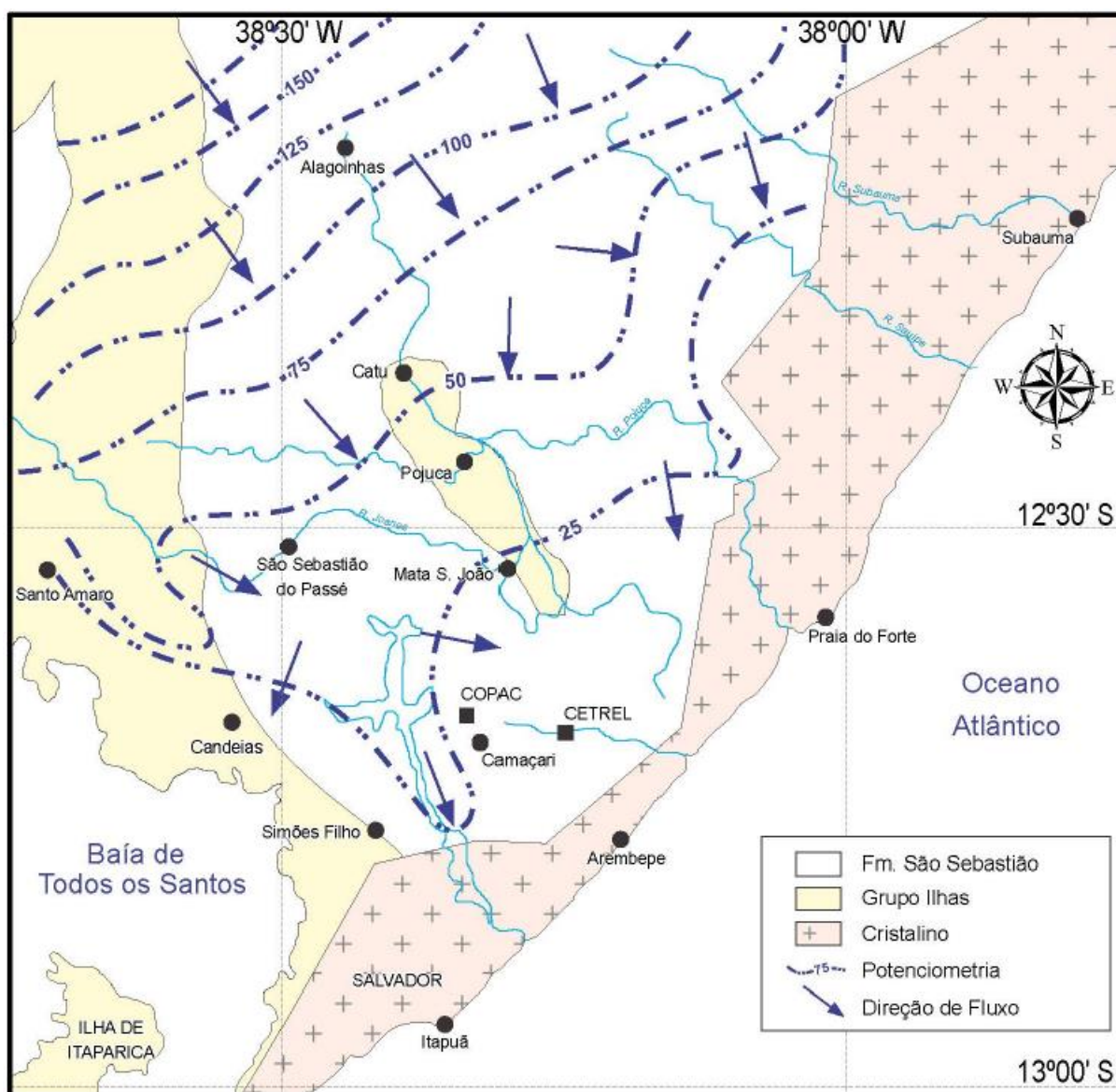
Fonte: LIMA (1999)

A presença das camadas de folhelho (em espessuras que podem superar 50 metros) caracterizam o aquífero São Sebastião (F. SS) em trechos confinados a semiconfinados, complicando ainda a relação com o aquífero freático superior (Marizal), pois, em alguns trechos, ocorre conexão hidráulica entre as formações, especialmente em função da composição estrutural de falhas recortando a F. SS. O nível d'água das porções confinadas/semiconfinadas pode se elevar até acima da zona de contato entre as formações, podendo até se apresentar como surgente (LIMA, 1999).

A Figura 3 apresenta o Mapa Potenciométrico Regional Inferido da Bacia Hidrográfica do Recôncavo Norte.

O fluxo regional subterrâneo concorda com o mergulho dos estratos, saindo de oeste-noroeste (W-NW) para sul-sudeste (S-SE), e o gradiente hidráulico regional é da ordem de 0,0035 (LIMA, 1999).

Figura 3 – Mapa Potenciométrico Inferido do Sistema Aquífero Recôncavo.



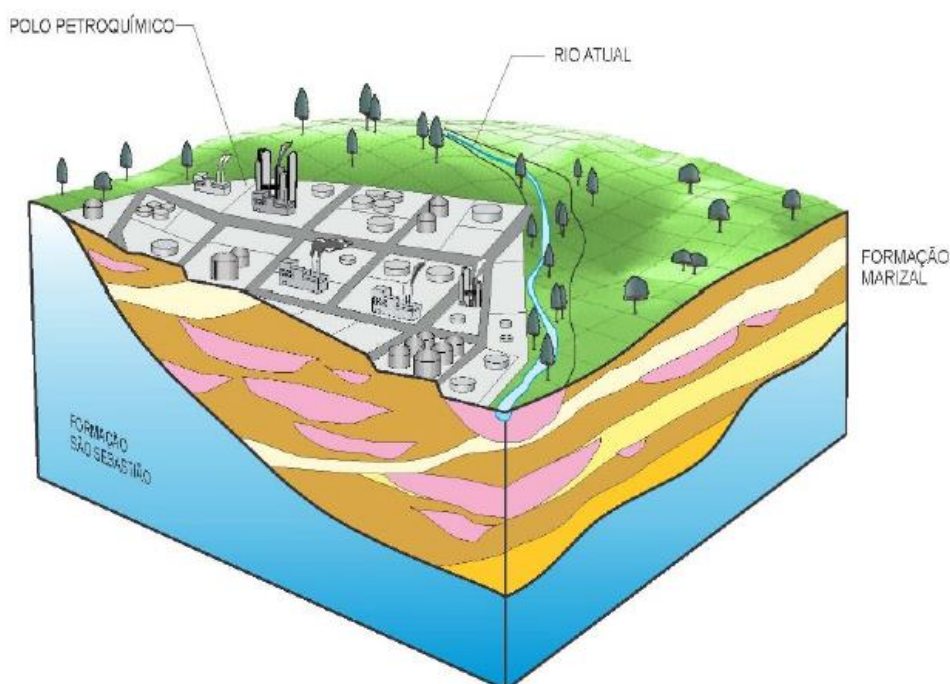
Fonte: LIMA (1999)

Do ponto de vista hidráulico, o aquífero São Sebastião constitui-se num meio extremamente heterogêneo, podendo apresentar localmente efeitos de confinamento devido à presença de níveis menos permeáveis (argilitos e folhelhos)

(SOARES, 2011, p.36); assim, tais águas possuem grande importância para a economia baiana.

As camadas sedimentares estão localizadas na Formação São Sebastião, com características que variam entre semiconfinado e confinado, conectados hidraulicamente por falhas. Podemos visualizar o modelo conceitual deposicional (Figura 4) apresentado no trabalho de Maia Nobre (1996) sobre a Formação São Sebastião, indicando relevo acidentado com elevações e depressões entre as formações.

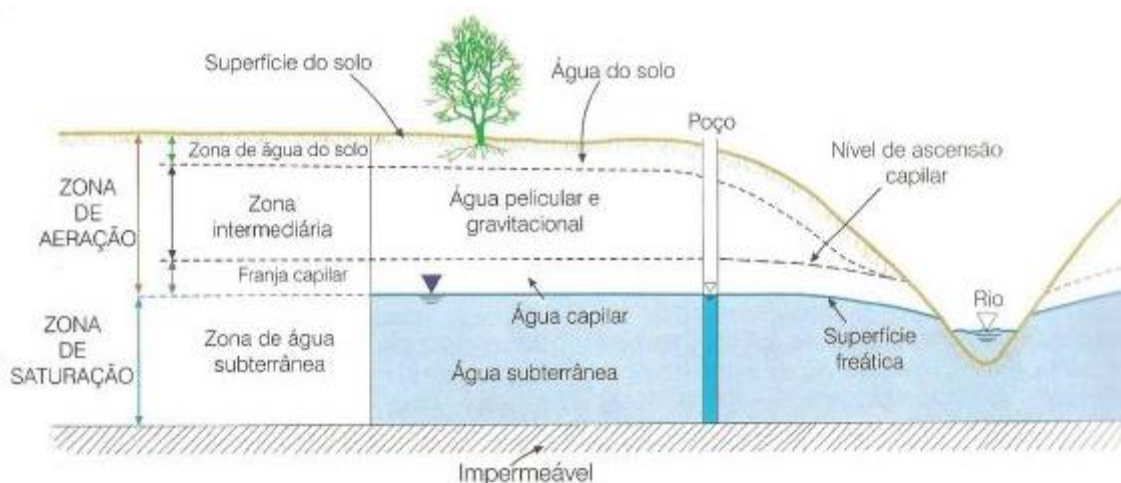
Figura 4 – Modelo Depositional para a Formação Marizal.



Fonte: MAIA NOBRE (1996)

Segundo Novais (2014, p.20), as zonas em subsuperfície podem receber a seguinte classificação: Zona Saturada, Zona não-saturada ou Zona da Aeração conforme representado na Figura 5, que possuem a seguinte descrição:

Figura 5 - Representação de Água no Solo



Fonte: NOVAIS (2014)

Zona Saturada - Estende-se da superfície freática até o limite de ascensão capilar da água (NOVAIS, 2014);

Zona não-saturada ou Zona da Aeração - É a zona situada entre a superfície freática e a superfície do terreno e nela os poros estão parcialmente preenchidos por ar e vapor d'água (NOVAIS, 2014):

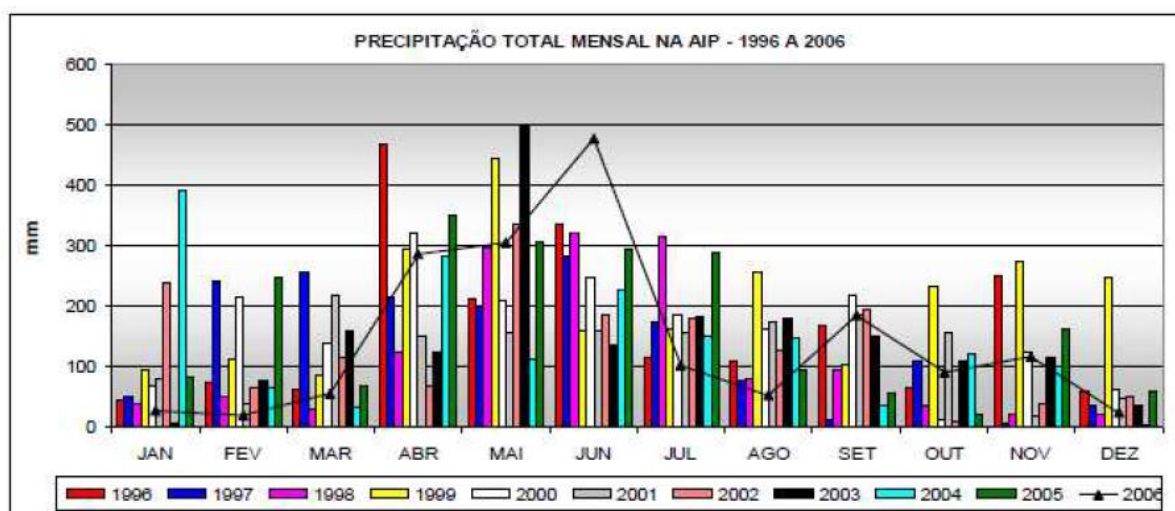
- Zona Capilar → Estende-se da superfície freática até o limite de ascensão capilar da água (NOVAIS, 2014);
- Zona intermediária → estende-se entre o limite capilar da água e o limite de alcance das raízes das plantas; isto é, zona da evapotranspiração (NOVAIS, 2014);
- Zona de Água no Solo → situada entre as extremidades radiculares da vegetação e superfície do terreno (NOVAIS, 2014);
- Aquífero → material poroso saturado que armazena a água permitindo sua respectiva circulação (NOVAIS, 2014);

- Aquiclude → material poroso saturado que permite a circulação lenta da água com velocidade insuficiente para abastecer um poço ou uma fonte (NOVAIS, 2014);
- Aquitardo → material poroso que apesar de conter água a velocidade de circulação é muito reduzida (NOVAIS, 2014);
- Aquifugo → material impermeável e incapaz de armazenar ou transmitir água (NOVAIS, 2014).

Observa-se na ilustração de, Novais (2014), como se dá todo o processo de distribuição de água desde a superfície até o solo, e conseqüentemente; como ocorre a formação dos principais aquíferos.

Santos (2016, p.44), cita que, no mundo, a captação de água triplicou nos últimos 50 anos, e já se estima que 20% das reservas subterrâneas sejam exploradas acima de sua capacidade de recuperação natural, podendo caracterizar a ameaça à qualidade deste importante mineral, deste modo, verifica-se a necessidade do uso de uma importante metodologia de avaliação da qualidade da água.

Figura 6 – Precipitação na área de influência do Polo

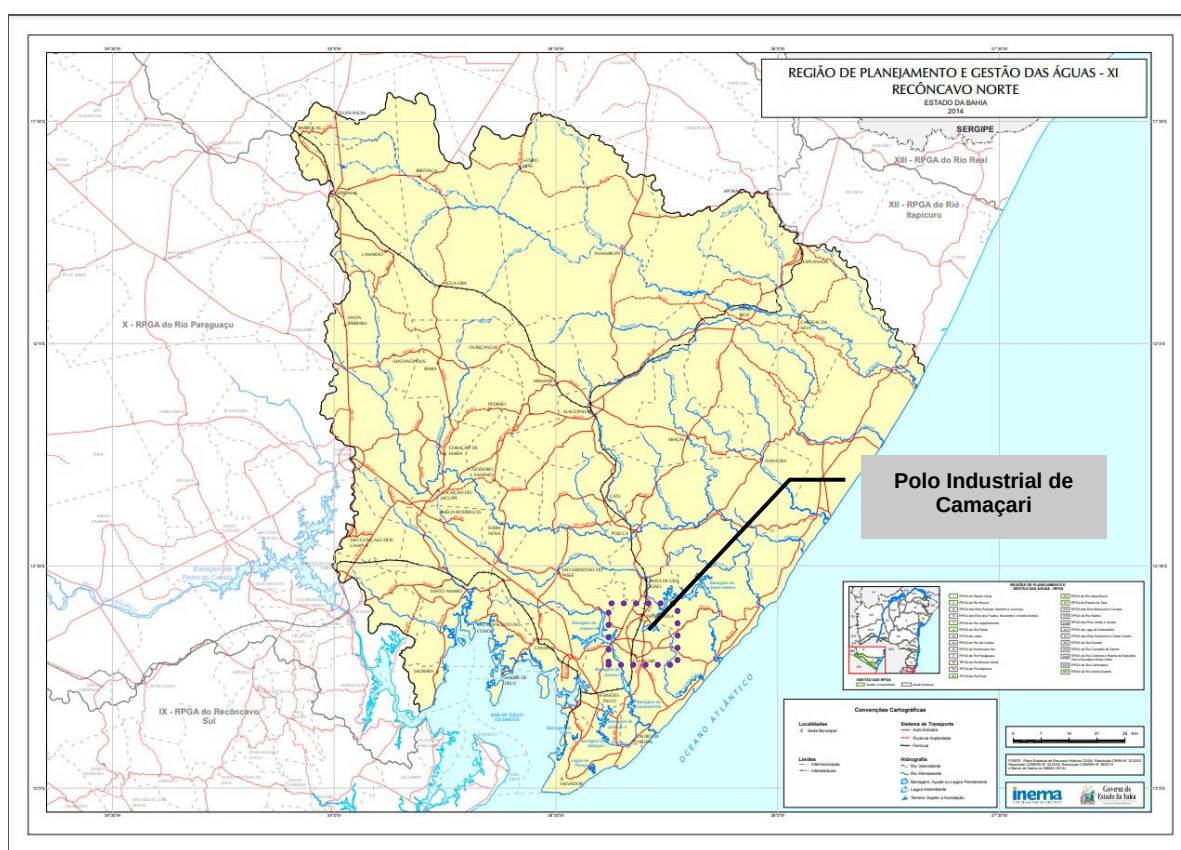


Fonte: SOARES (2011)

Santos (2016, p.44), cita que, no mundo, a captação de água triplicou nos últimos 50 anos, e já se estima que 20% das reservas subterrâneas sejam exploradas acima de sua capacidade de recuperação natural, podendo caracterizar a ameaça à qualidade deste importante mineral, deste modo, verifica-se a necessidade do uso de uma importante metodologia de avaliação da qualidade da água.

Soares (2011), afirma que segundo a classificação de Koppen, o clima da região é tropical quente e úmido, com temperatura média de 25.4°C e com chuvas mais concentradas nos meses de abril a junho conforme ilustra a Figura 6 o comportamento mensal da precipitação medida na área de influência do PIC - 1996 a 2006; que também alimenta a formação aquífera de São Sebastião.

Figura 7 - Polo Industrial de Camaçari



Fonte: INEMA, (2014)

No entanto, acrescenta que nesta região, encontra-se o Polo Industrial de Camaçari; que fica situado também no divisor de águas das Bacias Hidrográficas formadas pelos Rios Jacuípe e Joanes, compondo a Bacia Sedimentar do Recôncavo da Bahia, conforme pode visualizar na Figura 7 (INEMA, 2014).

2.2.2 Vulnerabilidade do Aquífero para Contaminação

Com relação à vulnerabilidade de um aquífero, Novais (2014) definiu como sendo um termo utilizado para caracterizar a susceptibilidade de um aquífero em ser afetado por carga contaminante.

As principais vulnerabilidades em que as águas podem ficar expostas são as seguintes:

- **Relativa** → são classificadas uma com relação à outra e não possuem significado absoluto (NOVAIS, 2014);
- **Absoluta** → seria associado à capacidade de degradação de um contaminante ou grupo de contaminantes (NOVAIS, 2014);
- **Geral ou Universal** → Dirige-se a todas as atividades ou classes de contaminantes (NOVAIS, 2014);
- **Específica** → Volta-se a um certo contaminante ou ainda atividade ou classe contaminante (NOVAIS, 2014);

Assim, a vulnerabilidade aquífera se torna menor quanto maior for o tempo de trânsito para o contaminante percorrer da superfície até a zona saturada. Um longo tempo de trânsito permite a atenuação do contaminante tanto por filtragem quanto por degradação, segundo Novais (2014). Quanto menor a exposição ao poluente, menor será a exposição aos contaminantes, podendo diminuir o índice de contaminação do aquífero.

A vulnerabilidade intrínseca ou natural está estritamente associada às características naturais do aquífero, assim, de modo mais amplo, agregada ao uso e ocupação do solo, não sendo a vulnerabilidade uma propriedade absoluta, mas uma

indicação relativa de áreas onde a contaminação tem maior probabilidade de ocorrer (SANTOS, OLIVEIRA, 2013, p.2).

O DRASTIC é um modelo que considera os principais fatores hidrológicos e geológicos com potencial impacto na poluição dos aquíferos. Seu acrônimo significa D - profundidade da água subterrânea, R - taxa de recarga, A - aquífero, S - solo, T - topografia, I - impacto da zona vadosa e C - condutividade hidráulica do aquífero.

A profundidade do lençol freático (D) é a espessura da camada atravessada pelo poluente antes de atingir o aquífero. A vulnerabilidade do aquífero é inversamente proporcional à profundidade do lençol freático.

A recarga líquida (R) representa o volume de água infiltrada que chega ao aquífero. A possibilidade de contaminação aumenta se a recarga líquida aumentar. Três tipos de recarga podem ser distinguidos: direta, indireta e localizada.

O meio aquífero (A) consiste em diferentes tipos de rochas que servem como aquífero.

A parte superior da zona vadosa, com intensa atividade biológica, é definida como o meio do solo (S).

A topografia (T) é definida pela inclinação do terreno, juntamente com sua variação. Uma baixa inclinação determinará um pequeno fluxo superficial e um alto risco de poluição.

O impacto da zona vadosa (I) - A camada não saturada situada acima do lençol freático é chamada de vadosa. A transferência do poluente é influenciada pela litologia da zona vadosa.

A condutividade hidráulica do aquífero (C) é a capacidade dos materiais do aquífero de deixar a água para passar por ele. A vulnerabilidade do aquífero é baixa para condutividades hidráulicas reduzidas.

SANTOS e OLIVEIRA (2013) desenvolveram um estudo sobre a vulnerabilidade do aquífero à contaminação no PIC utilizando o método DRASTIC (ALLER *et al.*, 1987). Utilizando o método DRASTIC, SANTOS e OLIVEIRA (2013) calcularam os índices de vulnerabilidade permitindo mapear o risco potencial de contaminação do aquífero que está apresentada na Tabela 1. Pelos índices

apresentados apenas 18,5% da área do PIC é enquadrada como vulnerabilidade Baixa ou Muito Baixa, enquanto isso 83,5 % da área do PIC possui vulnerabilidade de contaminação Moderada, Alta ou Extremamente Alta.

O mapa de vulnerabilidade da região do PIC, permite relacionar o risco potencial de contaminação com as fontes potenciais de poluição, principalmente associadas às atividades industriais, áreas de disposição de resíduos, tubovias, sistemas de transporte de efluentes e outras associadas às estruturas urbanas.

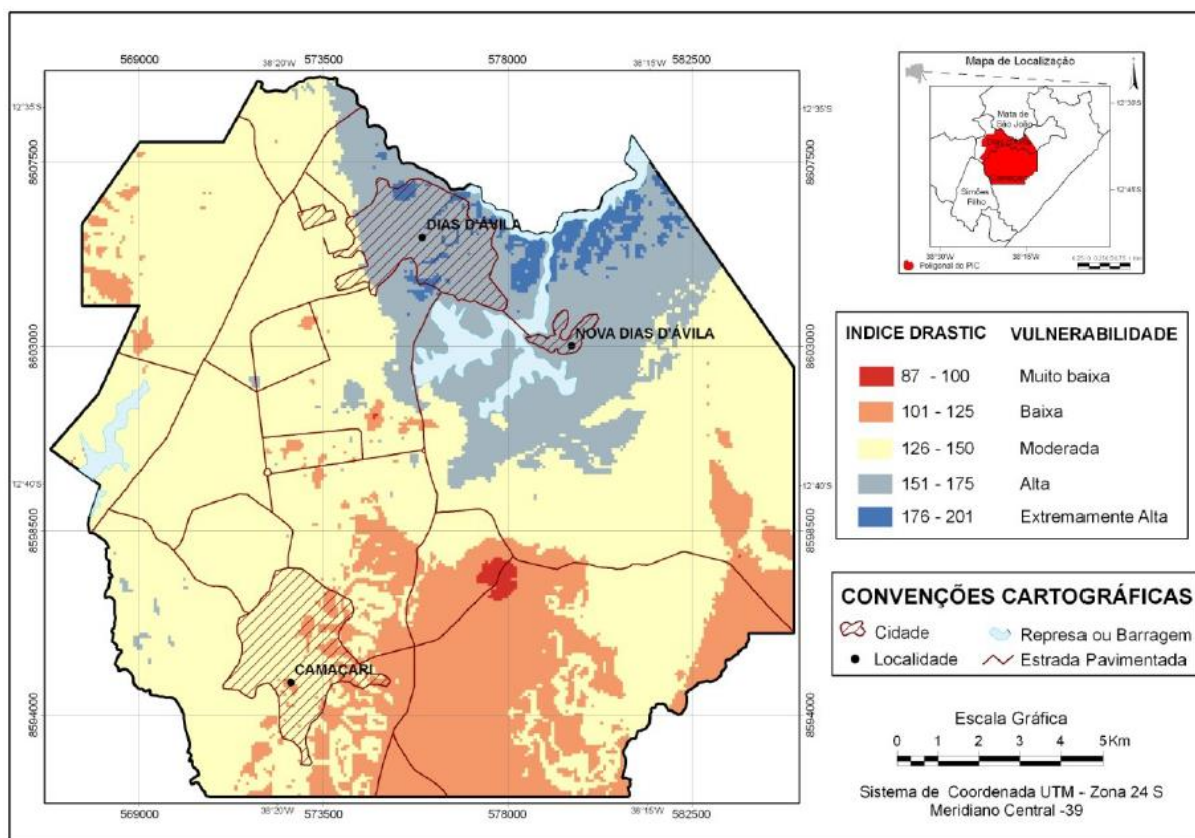
Tabela 1 – índices de Vulnerabilidade, pelo método DRASTIC.

Índice DRASTIC	Vulnerabilidade	Área (km²)	Área (%)
87 – 100	Muito baixa	0,7	0,3
101 – 125	Baixa	43,4	18,2
126 -150	Moderada	147,4	61,7
151 – 175	Alta	42,8	17,9
176 -201	Extremamente alta	4,7	2,0

Fonte: SANTOS e OLIVEIRA (2013)

Essa vulnerabilidade à poluição do aquífero (Figura 8) sob o complexo industrial de Camaçari reforça a necessidade de serem utilizadas técnicas de monitoramento efetivas e que tragam informações confiáveis.

Figura 8 - Polo Industrial de Camaçari



Fonte: SANTOS e OLIVEIRA, (2013)

2.3 TIPOS DE AMOSTRAGEM DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

Puls e Barcelona (1996), afirmam que os métodos e objetivos de análise das águas subterrâneas visavam à avaliação da qualidade da água de aquíferos como fontes de água potável.

Segundo Bottura (2009), pesquisar a água envolve muito mais do que coletar a amostra; uma vez que este estudo se inicia a partir da avaliação preliminar da região onde foi coletado o material, os instrumentos a serem utilizados ou até mesmo o tratamento dos dados, resultados a partir da pesquisa.

Neste sentido, é importante salientar que antes da coleta de qualquer amostra, faz-se necessária uma avaliação preliminar da área a ser estudada, verificando: a existência de plantas, protocolos e objetivos do programa de amostragem; os poços que serão pesquisados em concomitância com a programação prévia e suspeita de contaminação; o acesso a eles, quais os parâmetros físicos e químicos que necessitam ser adquiridos; a profundidade a ser pesquisada, além do *Checklist* de equipamentos necessários para o uso (MILIORINI, ISHIMINE, 2020).

Além disso, para fazer a coleta, precisa-se também de: avaliar a estrutura a ser utilizada para o procedimento; a profundidade, e os fatores físico-químicos que podem comprometer significativamente a amostra a ser coletada, além dos fatores hidrogeológicos e geológicos (BOTTURA, 2009)

A água subterrânea faz parte de um processo dinâmico e interativo do ciclo hidrológico, pelo qual a água circula do oceano para a atmosfera e dessa para os continentes, de onde retorna, superficial e subterraneamente, ao oceano (SANTOS-FILHO, 2011), ou seja, quando se refere a análise de águas subterrâneas, faz-se necessária uma avaliação prévia do local a ser estudado para construção de um modelo conceitual bem definido (Figura 4).

Já Parker e Ranney (1997), ensinam que previamente a coleta da amostra, o pesquisador precisa atentar-se para a descontaminação prévia do coletor de amostra, a fim de que resíduos não comprometam o material coletado, e consequentemente prejudicando os resultados adquiridos a partir da execução da coleta, não esquecendo-se da escolha da modalidade de amostragem mais adequada para a pesquisa a ser desenvolvida.

No entanto, Bottura (2009) defende que os métodos de amostragem, passaram por grandes progressos, que foram aprimorados somente quando surgiram os primeiros casos de contaminação de solos e águas nos anos 70, e assim, já na década de 90, começaram os debates relacionados a qualidade da água para consumo humano. Desta maneira, o autor afirma que existam os seguintes tipos de amostragem:

Amostragem com purga → combina as informações do projeto e características do poço de monitoramento com as características hidráulicas do meio saturado penetrado pelo poço (BOTTURA, 2009);

Amostragem sem purga → Apesar de procedimento ainda controverso, os defensores da amostragem sem purga baseiam-se nos distúrbios originados no interior do poço, para justificarem sua adoção; ou seja, a necessidade ou não de purga e o método para sua realização é assunto polêmico e discutido há várias décadas no cenário internacional (BOTTURA, 2009);

Amostragem passiva → é entendida como o procedimento para coleta de amostra de água de determinado intervalo do meio saturado sem induzir ações de transporte por bombeamento ou técnicas de purga (BOTTURA, 2009).

De acordo as normas técnicas da ABNT (2010), ao referir-se a águas subterrâneas, o método mais adequado consiste no método de purga com rebaixamento mínimo do nível da água do poço, sem comprometimento da qualidade das amostras a serem coletadas. No entanto, é no momento da definição do plano de amostragem que se deve escolher o método mais adequado para amostragem, já que ele depende de fatores como a profundidade e a capacidade hidráulica do poço.

Tanto os métodos de amostragem por baixa vazão e por *bailer* são métodos de purga para amostragem de água subterrânea. Esses métodos consistem em garantir que a água coletada seja representativa do aquífero, de forma a assegurar a menor incerteza possível a qualidade da água subterrânea. (ABNT, 2010).

O método de amostragem por baixa vazão, também conhecido como método de purga de baixa vazão e rebaixamento mínimo, utiliza de recursos para garantir que durante a amostragem o aquífero tenha um rebaixamento mínimo e considera a estabilização das condições geoquímicas da água para iniciar processo de coleta (ABNT, 2010).

O método por *bailer*, também conhecido como amostragem por purga de volume determinado, é utilizado em poços que permitem remover um volume definido e ainda obter rebaixamentos o mínimo possível (ABNT, 2010).

2.3.1 Amostragem com Baixa Vazão

Conforme lecionam Miliorini e Ishimine (2020, p.8), “O referido método baseia-se na amostragem por meio da adoção de uma baixa velocidade de entrada de água no ponto de captação da bomba inserido no poço durante o bombeamento do mesmo, e não necessariamente à vazão da água despejada na superfície”; deste modo, os autores listam os aspectos positivos e negativos deste método:

Aspectos positivos → Eliminação dos efeitos da turbulência durante as amostragens, eliminação da necessidade de esgotamento dos poços a serem amostrados e monitoramento contínuo de parâmetros físico-químicos durante a amostragem (MILIORINI, ISHIMINE, 2020, p.9);

Aspectos negativos → principal empecilho para sua aplicação ainda é o seu custo elevado, cujo impacto é minimizado somente em casos em que são realizadas várias campanhas de amostragem, numa mesma área e ao longo do tempo (monitoramentos periódicos) (MILIORINI, ISHIMINE, 2020, p.9);

2.3.2 Amostragem com Bailer

Segundo Miliorini e Ishimine (2020, p.6), os *bailers* são amostradores que podem ser compostos por PVC, polietileno, polipropileno, teflon, alumínio ou aço inox, e inseridos lentamente no interior do poço, sem haver limitação de profundidade e tipo de poço. Os autores recomendam a utilização de um amostrador para cada poço. Os aspectos positivos e negativos referentes a adoção deste método são:

Aspectos positivos → principal vantagem com relação à adoção deste método é seu baixo custo de aplicação, por isso ainda se trata do mais utilizado (MILIORINI, ISHIMINE, 2020, p.6);

Aspectos negativos → necessidade de esgotamento dos poços e a geração, ainda que minimizada pelos cuidados tomados durante a amostragem, de turbulência na água que está sendo amostrada (MILIORINI, ISHIMINE, 2020, p.6).

3 METODOLOGIA

Neste tópico da pesquisa é apresentada a estratégia de investigação utilizada para o desenvolvimento do estudo, composta pela coleta de dados e tratamento de dados; no entanto, os dados analisados nesta pesquisa, não poderão ser divulgados na sua integralidade por serem considerados sigilosos e sujeitos a políticas externas.

3.1 COLETA DE DADOS

Os dados fornecidos e utilizados nesse estudo foram gerados e fornecidos para atender o Plano de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Polo Industrial de Camaçari (PGRH). O PGRH tem como um dos seus objetivos o monitoramento das águas subterrâneas do polígono onde as indústrias estão inseridas e representadas pelo Comitê de Fomento Industrial de Camaçari (COFIC). Esse trabalho de gerenciamento ambiental do polo é executado através do PGRH, que conduz os trabalhos de monitoramento e tratamento dos dados da qualidade das águas subterrânea. O PGRH revisa e consolida anualmente os programas de monitoramentos, definindo, para cada finalidade, os poços, os parâmetros e a frequência das análises. Os dados oriundos desse PGRH alimentam uma plataforma de gerenciamento de dados ambientais. Para construção dos programas de monitoramento são levados em consideração as substâncias químicas de interesse de cada unidade industrial, histórico de eventos e de resultados analíticos, e das ações para eliminação de fontes primárias e secundárias.

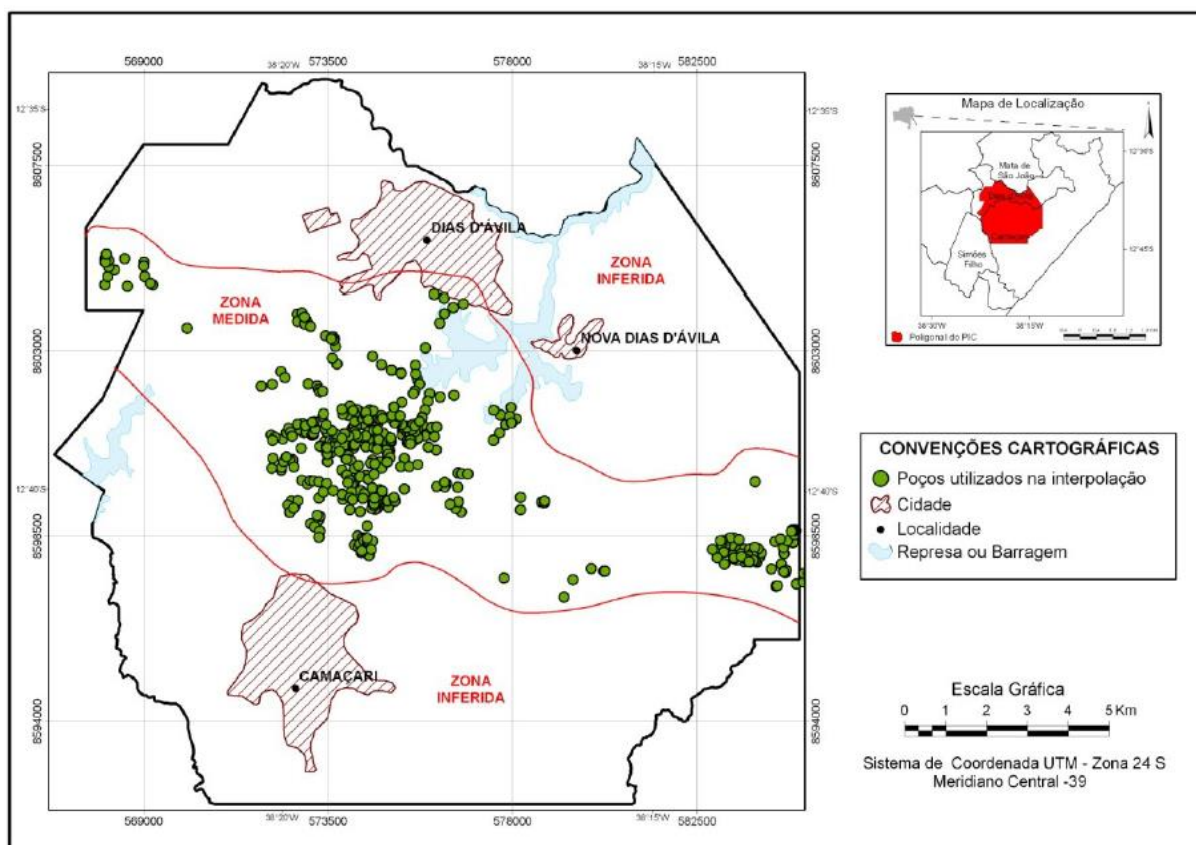
Assim, o Programa de Monitoramento, estabelece critérios e diretrizes para monitoramento da qualidade, proteção e conservação das águas subterrâneas e superficiais na área do Complexo Industrial de Camaçari, a fim de embasar as empresas na identificação, prevenção e reversão de processos de superexploração, poluição e contaminação provenientes das atividades industriais ali exercidas.

Os resultados do monitoramento fornecem informações às empresas com intuito de subsidiar as ações preventivas e proativas para manutenção da qualidade e quantidade, gerenciamento da disponibilidade e garantia ao atendimento das

funções de uso industrial, social e econômico das águas da região. Os dados norteiam a tomada de decisões para exploração, desenvolvimento e gerenciamento dos recursos hídricos, conhecimento das características hidroambientais e a preservação, bem como o desencadeamento de ações mitigadoras, nos casos de poluição/contaminação (WERLANG, 2019).

As águas subterrâneas nas áreas do PIC são monitoradas semestralmente considerando-se os diferentes ciclos de sazonalidade.

Figura 9 – Mapa de Localização dos poços utilizados no estudo.



Fonte: SANTOS e OLIVEIRA (2013)

A rede atual de monitoramento dos recursos hídricos na área de influência do PIC, demonstrada na Figura 9 (Santos e Oliveira, 2013), é constituída pela rede de monitoramento das águas subterrâneas através de Poços de Monitoramento -PM (1.522), Poços de Monitoramento Multinível -PMM (314), Poços de Monitoramento Multinível Profundos -PMMP (16), Poços de Monitoramento Profundo -PMP (17) e

Poços de Produção -PP (207). A rede foi construída baseada na norma NBR 13895 – Construção de poços de monitoramento e amostragem e a localização dos poços é frequentemente revista de acordo com a necessidade e objetivos específicos, como eventos de investigação, remediação ou mudança de *layout* da indústria.

O Programa de Monitoramento da Qualidade dos Recursos Hídricos faz parte do Plano de Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Polo Industrial de Camaçari, e está estruturado para atender as condicionantes da Portaria do INEMA 16.507/2018, Licença de Operação do Polo Industrial de Camaçari e as ações estabelecidas neste documento estão validadas pela Comissão Técnica de Garantia Ambiental (CTGA) do Comitê de Fomento Industrial (COFIC) e aprovadas pelo INEMA – Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

O Programa de Monitoramento da Qualidade dos Recursos Hídricos atua em toda região de influência do Complexo Industrial de Camaçari e adjacências.

Todo o processo de amostragem utilizado para execução para monitoramento, juntamente com os métodos laboratoriais são submetidos e acreditados pelo INMETRO (ABNT NBR ISO IEC 17.025).

A metodologia, para o controle de qualidade da execução das amostragens nos poços da rede de monitoramento, foi executada de acordo com instrumentos normativos do PGRH, que inclui manual de gestão da qualidade de recursos hídricos, procedimentos e instruções operacionais de monitoramento ambiental e de investigação/avaliação ambiental de solo e águas subterrâneas. Esses procedimentos incluem instruções operacionais para medição de nível d'água e parâmetros físico-químicos *in situ*, amostragem de água subterrânea e determinam os processos de controle de qualidade de amostragem de acordo com o documento normativo do INMETRO ABNT NBR ISO IEC 17.025.

As amostras de água subterrânea foram coletadas conforme procedimentos e atendendo às recomendações contidas na ABNT NBR 15.847:2010 – (Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento – Métodos de purga).

Todos os ensaios químicos e físico-químicos, bem como os procedimentos de coleta e preservação das amostras foram baseados nas metodologias estabelecidas

no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 23ª edição (BIRD, 2017), ou outras normas padronizadas e reconhecidas.

Todos os laboratórios utilizados para análises das amostras de águas subterrâneas possuem acreditação na Norma ISO/IEC 17025

Para efeitos de controle de qualidade na análise de voláteis a cada vinte pontos de amostragem foram coletados os brancos de campo, de equipamento e de viagem (WERLANG, 2020) e foram coletadas duplicatas seguindo a definição do programa de gerenciamento de dados ambientais.

As substâncias químicas de interesse monitoradas nas águas subterrâneas pelo PGRH são aquelas relacionados na lista de valores orientadores para solo e para águas subterrâneas, Anexo II da Resolução CONAMA Nº 420, de 28 de dezembro de 2009 (BRASIL, 2009).

Assim, nesta pesquisa, foi feita uma seleção dos dados, que foram agrupados em grupos de voláteis, semivoláteis e metais provenientes da amostragem dos poços da região de Camaçari – BA, sendo divididos em dois períodos iguais de sete anos. O primeiro período de campanhas de monitoramento, entre 2006 e 2012, foram gerados utilizando a metodologia de amostragem através de *bailer* e o segundo período de campanhas de monitoramento, entre 2013 e 2019, foram gerados com a metodologia de amostragem por baixa vazão para o monitoramento de poços de água subterrânea, a partir do método de Purga Mínima (WERLANG, 2019).

3.2 TRATAMENTO DOS DADOS

Os dados gerados nas campanhas de monitoramento do PIC são organizados e controlados pelo sistema de gerenciamento dos dados ambientais do PGRH. Esse sistema de gerenciamento de dados tem como objetivo principal avançar na melhoria da qualidade do tratamento de dados e otimizar os trabalhos de gestão visando avaliar os dados em maior grau de complexidade, trazendo também um aumento da produtividade na execução das atividades rotineiras.

O PGRH implantou e customizou no ano de 2012 um conjunto de softwares que compõem o sistema de Gerenciamento de Dados Ambientais, buscando relacionar todo o ciclo de informações geradas nos estudos ambientais desde a etapa de planejamento, passando pela coleta de dados de campo, análise dos resultados até a disponibilização desses dados devidamente tratados ou/não para o cliente.

A implantação do sistema também propiciou o repensar do fluxo de trabalho do PGRH, otimizando as atividades de campo e especialmente gerando informes imediatos aos clientes sobre status da campanha de monitoramento, via e-mail ou web e reduzindo o prazo de entrega dos resultados analíticos também via e-mail ou web.

Dentre as principais vantagens oferecidas pelo Sistema de Gerenciamento de Dados Ambientais para o PGRH está o armazenamento e a gestão de grande quantidade de dados ambientais em um ambiente seguro, confiável e de rápido processamento aumentando o controle da qualidade de dados. Atualmente aproximadamente dois mil poços de monitoramento e cerca de dois milhões de resultados analíticos são gerenciados no banco de dados (WERLANG, 2020).

É importante frisar que nas respectivas ferramentas de amostragem foram encontradas algumas vantagens e desvantagens, que posteriormente serão expostas em tabelas ou gráficos.

3.2.1 Estatística: Coeficiente de Variação.

Lira (2020, p.32), informa que o coeficiente de variação “É definido como o quociente entre o desvio padrão e a média, multiplicado por 100, para expressar porcentagem”; assim, tal método torna-se o mais recomendado para esta pesquisa, uma vez que a mesma, não seja afetada pelas unidades de medidas variáveis. Deste modo, esta obra, consiste-se numa pesquisa feita a partir da amostragem e assim, seguiu-se o seguinte padrão:

Medidas de Dispersão → Lira (2020, p.27), informa que “Para descrever adequadamente a distribuição de frequências de uma variável quantitativa, além da

informação do valor representativo da variável (tendência central), é necessário dizer também o quanto estes valores variam, ou seja, o quanto eles são dispersos”;

Variância e desvio de padrão → A variância da variável aleatória, representada por $V(X)$ ou σ^2 , é obtida elevando-se os desvios em relação à média ao quadrado (LIRA, 2020, p.30);

Coefficiente de Variação → É uma medida de dispersão relativa. É definido como o quociente entre o desvio padrão e a média, multiplicado por 100, para expressar porcentagem (LIRA, 2020, p.32);

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para avaliação das metodologias de amostragem no monitoramento da qualidade das águas subterrâneas do Polo Industrial de Camaçari utilizou-se o coeficiente de variação como ferramenta estatística que apresentou condição de avaliar a variação dos resultados e comparar as metodologias.

Os dados foram agrupados em voláteis, semivoláteis e metais. Dentro dos grupos foram divididos os dados coletados com a metodologia de amostragem *bailer*, no período de 2006 a 2012, e os dados coletados pela metodologia de baixa vazão, utilizados no período de 2013 a 2019.

Foram escolhidos períodos iguais de sete anos, para as duas metodologias, para não favorecer qualquer tipo de metodologia.

Do universo de dados utilizados foram excluídos da avaliação os poços que não apresentavam resultados com valores acima do limite de detecção do método analítico. Esses dados não apresentariam variação e não contribuiriam para análise.

Após a seleção de dados efetivos foi contabilizado um número maior de dados no período utilizado para amostragem pela metodologia com baixa vazão. Para igualar essas medidas variáveis o mais adequado foi utilizar o coeficiente de variação, que é uma medida de dispersão relativa e mais recomendada para esta pesquisa para que não seja afetada pelas unidades de medidas variáveis.

Conforme foi exposto no tópico metodológico referente ao tratamento de dados, utilizou-se o coeficiente de variação, para análise dos dados.

Na Tabela 2 os dados estão separados por grupo de compostos analisados, períodos de amostragem e por metodologia de amostragem. Na **quarta coluna (Tabela 2)**, Dados Observado (n), estão numerados a quantidade de análise para cada situação. Nas duas últimas colunas da Tabela 2 estão relacionados respectivamente a média do desvio padrão e a média do coeficiente de variação.

Lembrando que os dados brutos não podem ser apresentados por serem considerados sigilosos.

Avaliando os dados entre cada grupo de compostos verificamos que para o grupo de metais, a metodologia de amostragem por *bailer* (82%), apresentou um coeficiente de variação maior no que pelo método de baixa-vazão (75%). Para o grupo de voláteis e semivoláteis os resultados se apresentam de forma inversa, ou seja, para esses grupos de compostos o coeficiente de variação teve resultado melhores com o método de amostragem *bailer*, em comparação com o método baixa-vazão. Para os voláteis o coeficiente de variação por *bailer* apresentou coeficiente de variação de 80% contra 84% da baixa-vazão e para os semivoláteis o coeficiente de variação foi de 86% para *bailer* contra 92% da metodologia de baixa-vazão.

Tabela 2 - Tratamento de Dados

Grupo de Compostos	Período de Monitoramento (ano)	Metodologia de amostragem	Dados Observados (n)	Média do desvio padrão (MeDP)	Média do Coeficiente de Variação (MeCV)
Metais	2005 – 2012	<i>Bailer</i>	4052	7,1	82%
	2013 - 2019	Baixa Vazão	24977	5,8	75%
VOC	2005 - 2012	<i>Bailer</i>	21220	885,3	80%
	2013 - 2019	Baixa Vazão	36050	1693,2	84%
SVOC	2005 - 2012	<i>Bailer</i>	7029	2490,3	86%
	2013 - 2019	Baixa Vazão	26248	47501,4	92%

Fonte: Próprio autor (2020)

De acordo com Puls *et al.* (1996) o *bailer* foi o pior dispositivo para a coleta de água subterrânea, no que se refere a detecção de metais em água subterrânea. Esta constatação condiz com os resultados apresentados nesta pesquisa, na qual se constatou a maior variação dos dados nas análises das amostras coletadas por tal método. Observa-se tal evidência na coluna da Tabela 2, que apresenta a Média do Coeficiente de Variação, uma vez que a oscilação dos resultados obtidos do método por *bailer* é superior ao de baixa-vazão.

Para Yeskis *et al.* (1988), que avaliou uma variedade de bombas e *bailers* nas amostragens de poços para análise de voláteis, os dados de *bailer* mostravam

imprecisão em relação ao sistema de baixa vazão, o que não foi observado nas amostras analisadas nesta pesquisa para o mesmo grupo de compostos voláteis e para semivoláteis. Pelos dados coletados avaliados nesta pesquisa para estes grupos de compostos, em dissonância com autores como Yeskis *et al.* (1988), Puls *et al.* (1996), e Miliorini e Ishimine (2020); podemos sugerir a utilização do método *bailer*, que apresentou menor variação nos dados históricos, em relação aos resultados obtidos pelo método baixa vazão.

5 CONCLUSÕES

Nesta obra, buscou-se o desenvolvimento de uma investigação a respeito das águas subterrâneas de Camaçari – BA, assim, para a execução de tal procedimento, foram utilizados dois métodos de coleta de amostra; o *Bailer* e o de Baixa Vazão.

Desta maneira, nesta monografia buscou-se o desenvolvimento de uma investigação que possuía como objetivo geral - apresentar o resultado, utilizando o coeficiente de variação, da análise referente a avaliação do comportamento dos resultados históricos gerados pelas técnicas de amostragem chamada de baixa vazão e amostrador descartável *bailer*, provenientes do programa de monitoramento das águas subterrâneas do Polo Industrial de Camaçari; já os específicos - desenvolver um levantamento de literatura a respeito de monitoramento da qualidade das águas subterrâneas; apresentar os principais tipos de metodologia de amostragem no monitoramento da qualidade das águas subterrâneas; e demonstrar a metodologia de amostragem no monitoramento da qualidade das águas subterrâneas, ideal para tal procedimento.

Desta maneira, durante a execução da pesquisa, utilizando somente o coeficiente de variação como critério nos dados disponíveis, notou-se que, apesar das incertezas e variáveis que podem interferir nos resultados, o método de amostragem adequado para a pesquisa, esteve condicionado ao grupo de composto investigado nas amostras avaliadas, uma vez que nos dados que foram coletados e avaliados, notou-se que no grupo dos **Metais**, o método bailer apresentou uma *média de coeficiente de variação*, superior ao do método de baixa vazão; no entanto, dentro do grupos dos **Voláteis e Semivoláteis**, ocorreu o contrário, apresentando maior média de coeficiente de variação no método de amostragem de baixa vazão. Assim, fica explícito que a escolha do método de amostragem ideal estará condicionada ao composto pesquisado.

Assim, tais objetivos foram atingidos em sua integralidade, deste modo, espera-se que os dados expostos nesta investigação sejam utilizados como embasamento teórico, para que outros pesquisadores venham utilizá-la em suas respectivas obras.

Como recomendação de estudo, no refinamento desse trabalho, pode-se realizar a avaliação dos resultados de compostos específicos que apresentam os maiores coeficientes de variação.

Outros estudos que podem ser realizados para entender melhor o perfil dos resultados é a análise das metodologias de amostragem utilizando o mesmo poço e variação das concentrações nos poços em relação ao nível d'água.

REFERÊNCIAS

ALLER, L.; BENNET, T.; LEHR, J.H. AND PETTY, R. J. **DRASTIC. A standardized system for evaluating ground-water pollution potential using hydrogeological setting**. US-EPA Report 600/2-85/018; 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15847**: Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento: métodos de purga Rio de Janeiro - RJ: 2010. 22 p.

BAHIA (Estado). Secretaria de Recursos Hídricos Saneamento e Habitação. **Plano Diretor de Recursos Hídricos: Bacias Hidrográficas do Recôncavo Norte e Inhambupe** – Documento Síntese. Governo do Estado da Bahia. Salvador. Bahia. 1996.

BIRD, R.B.; EATON, A.D.; RICE, E.W. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 23rd edition. Published by the American Public Health Association, American Waters Works Association and Water Environment Federation. Washington – D.C. 2017.

BOTELHO, Geraldo Leite (org.). **Plano Municipal de Saneamento Básico: Camaçari - BA**. [S. l.: s. n.], 2014. 171 p. Disponível em: <http://arquivos.camacari.ba.gov.br/sedur/pmsb/Sintese%20do%20PMSB.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2020.

BOTTURA, João Alberto. **Amostragem de Água Subterrânea em Poços de Monitoramento**. [S. l.: s. n.], 2009. 49 p. Disponível em: http://www.helix.eng.br/downloads/curso_aesasamostragem_pm2008.pdf. Acesso em: 1 ago. 2020.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em

decorrência de atividades antrópicas. **Diário Oficial da União nº 249**, de 30 dez. 2009, págs. 81-84.

CETREL S.A. Gerenciamento Ambiental, **Consolidação dos Dados do PGRH na Região de Influência do Complexo Industrial de Camaçari – período de 2017-2018**. Camaçari-BA, 2019.

FUNASA, Fundação Nacional da Saúde (org.). **Manual de Controle da Qualidade da Água para Técnicos que Trabalham em ETAS**. [S. l.: s. n.], 2014. 116 p. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4321633/mod_resource/content/1/Manual%20cont_quali_agua_tecnicos_trab_emetas.pdf. Acesso em: 19 jul. 2020.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Camaçari**. Camaçari - BA, 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ba/camacari.html>. Acesso em: 18 jul. 2020.

INEMA Mapa Região de Planejamento e Gestão das Águas – XI Recôncavo Norte. Salvador - BA: [s. n.], 2014. **Mapa Região de Planejamento e Gestão das Águas – XI Recôncavo Norte**. Disponível em: <http://www.inema.ba.gov.br/wp-content/files/XI-RPGA-DO-RECONCAVO-NORTE.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2020.

LIMA, O.A.L. **Caracterização Hidráulica e Padrões de Poluição no Aquífero Recôncavo na Região de Camaçari – Dias D’Ávila**. Tese (Submetida para Concurso Público de Professor Titular) – Departamento de Geologia e Geofísica Aplicada do Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia, 1999.

LIRA, Sachiko Araki. **Estatística**. [S. l.: s. n.], 2020. 192 p. Disponível em: http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TMEC011/ESTAT%CDSTICA_APLICADA_1SEM_2020.pdf. Acesso em: 23 jul. 2020.

MAIA NOBRE ENGENHARIA. **Estudos Litoestratigráfico da Área do Complexo Petroquímico de Camaçari**. Camaçari: CETREL S.A., 1996.

MELO, Danilo Heitor Caires Tinoco Bisneto *et al.* Vulnerabilidade à Contaminação doo Aquífero no Município de Camaçari – BA: Uma Aplicação dos Métodos GOD e

GODS. **Revista da Universidade Federal do Ceará**, Fortaleza - CE, p. 1-13, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/333815077_Vulnerabilidade_a_contaminacao_do_aquifero_no_municipio_de_Camacari_-_BA_uma_aplicacao_dos_metodos_GOD_e_GODS. Acesso em: 19 jul. 2020.

MILIORINI, Luiz Fernando; ISHIMINE, Vinicius. **Métodos de Amostragem de Águas Subterrâneas e Aplicabilidade da Portaria 518 do Ministério da Saúde**. [S. l.: s. n.], 2020. 20 p.

NASCIMENTO, Sérgio Augusto de Moraes; ALVES, Jamille Evangelista. Caracterização Hidrogeoquímica e Evolução da Água Subterrânea na Área do Polo Industrial de Camaçari – BAHIA. **Cadernos de Geociências**, [s. l.], p. 54-62, 2011.

NEGRÃO, Paulo *et al.* Low-Flow/Low-Volume Purging and Sampling of Ground-Water Monitoring Wells: Performance and Application Criteria. **Artigos Técnicos sobre Amostragem de Águas Subterrâneas**, [s. l.], p. 1-9, 2013. Disponível em: <https://www.clean.com.br/artigos/sampling/IAH,%20LFS%20Paper.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2020.

NOVAIS, Diego Menezes. **Vulnerabilidade Aquífera com Parâmetros Geoeletricos na Região do Pólo Industrial de Camaçari, Bahia**. Orientador: Prof. Dra. Susana Silva Cavalcanti. 2014. 60 p. Monografia (Graduação Em Geofísica) - Universidade Federal da Bahia, [S. l.], 2014.

PARKER, Louise V.; RANNEY, Thomas A. Decontaminating Groundwater Sampling Devices. **Special Report**, [s. l.], p. 1-26, 1997. Disponível em: <https://www.clean.com.br/artigos/sampling/SR97-25%20Decontaminating%20Groundwater%20Sampling%20Devices.pdf>. Acesso em: 1 ago. 2020.

PERFIL e Diagnóstico de Camaçari. Camaçari - BA: [s. n.], 2000. Disponível em: <https://www.aocp.com.br/concursos/arquivos/perfilediagnosticodecamacari.pdf>. Acesso em: 18 jul. 2020.

PULS, Robert W.; BARCELONA, Michael J. Low-Flow (Minimal Drawdown) Ground-Water Sampling Procedures. **Ground Water Issue**, [s. l.], p. 1-12, 1996.

REIS, Débora (org.). **Contaminação dos Aquíferos em Parques Industriais: Aquífero São Sebastião**. [S. l.: s. n.], 2012. 10 p.

ROEDEL, Rosialine Marques. **Proposição de Critérios técnicos para outorga de águas subterrâneas. Estudo de caso: polo industrial de Camaçari**. Orientadora: Dr. Iara de Oliveira Brandão. 2017. 215 p. Dissertação de Mestrado (Mestre - Engenharia Ambiental Urbana) - Universidade Federal da Bahia, Salvador - BA, 2017.

SANTOS-FILHO, Manoel Gomes dos. Comparação entre Resultados Analíticos de Metais Pesados Obtidos de Amostras não Filtradas e Filtradas e Amostradas pelo Método de Purga por Baixa Vazão. Uma Contribuição ao Gerenciamento de Áreas Contaminadas. **Centro Universitário Fundação Santo André: XIX Congresso de Águas Subterrâneas**, [s. l.], p. 1-24, 2011.

SANTOS, Paulo Roberto Penalva dos. **Metodologia para a tomada de decisão sobre a utilização de água subterrânea no abastecimento público no entorno de áreas urbanas industrializadas**. Orientador: Dr. Wanderley da Silva Paganini. 2016. 335 p. Tese de Doutorado (Doutor - Saúde Ambiental) - Universidade de São Paulo, São Paulo - SP, 2016.

SANTOS, Paulo Roberto Penalva dos; OLIVEIRA, Iara Brandão de. **Estudo da Vulnerabilidade à Poluição do Aquífero Marizal na Região de Influência do Polo Industrial De Camaçari (PIC) - BAHIA. ABAS: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, Bahia**, p. 1-18, 2013.

SOARES, Marco Antônio Wenceslau. **Um Estudo Comparativo entre Metodologias de Amostragem Tradicional e Low Flow Sampling de Águas Subterrâneas: Resultados Preliminares**. Orientador: Prof. Liou Kuo Yen, MSc. 2011. 66 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Ambiental) - Faculdade de Ciência e Tecnologia – ÁREA1, [S. l.], 2011.

WERLANG, Jordon Luiz (org.). **Consolidação dos Dados do PGRH na Região de Influência do Complexo Industrial De Camaçari**; [S. l.: s. n.], 2019. 94 p.

WERLANG, Jordon Luiz (org.). **Programa de Monitoramento da Qualidade dos Recursos Hídricos 2020**. [S. l.: s. n.], 2020. 25 p.

YESKIS, D., Chiu, K., Meyers, S., Weiss, J., Bloom, T.. A Field Study of Various Sampling Devices and Their Effects on Volatile Organic Contaminants. **Proceedings of the Second National Outdoor Action Conference, NWWA**, Las Vegas, NV, May 23-26, 1988.