

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA

Carolina Blois da Silva

Proposta de criação de diretrizes e ações na identificação de áreas potencialmente contaminadas em Manaus, com foco no Distrito Industrial, baseada em avaliação de estudos ambientais e legislações pré-existentes.

São Paulo

2022

CAROLINA BLOIS DA SILVA

Proposta de criação de diretrizes e ações na identificação de áreas potencialmente contaminadas em Manaus, com foco no Distrito Industrial, baseada em avaliação de estudos ambientais e legislações pré-existentes.

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.

Área de concentração: Investigação de Áreas Contaminadas

Orientador: Vicente de Aquino Neto

São Paulo

2022

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

Blois da Silva, Carolina

Perspectiva do Gerenciamento de Áreas Contaminadas Considerando os Riscos Associados a águas subterrâneas e águas superficiais da cidade de Manaus. / C. Blois da Silva -- São Paulo, 2022.

49 p.

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

1.Áreas Contaminadas 2.Legislação Ambiental 3.Contaminação de águas subterrâneas 4.Contaminação Ambiental 5.Gerenciamento Ambiental I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Química II.t.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha família, que em todas as minhas decisões na vida estiveram ao meu lado, me apoiando mesmo nas ideias mais desafiantes e mais loucas que vivi. Seja quando decidi terminar a graduação em geologia e morar sozinha em Brasília durante quatro anos, longe de todos, quando morei no interior do Maranhão trabalhando em uma mineração de ouro morando em um container 3 por 6 metros ou na carreira da arte e cultura, algo não valorizado no Brasil e que também faz parte de quem sou. Hoje sei que a minha família acolhe, aceita e abraça a filha que tem com todas as nuances que a faz existir e que agora entendem o propósito dela na vida: trabalhar para o bem do meio ambiente e das comunidades impactadas nas mais diversas regiões do país, e levar arte e cultura para tirar o sorriso do rosto das pessoas. Obrigada minha mãe Vânia que tanto amo, meu querido pai Evandro e minha maninha Daniela Blois, sem vocês não sou nada.

Ao meu companheiro Renato Giannico que caminha ao meu lado e me incentiva a ser melhor, me dá base e amor no dia a dia e sonha a vida junto comigo, você esteve sim ao meu lado nesses últimos dois anos, me dando força, carinho e amor pra eu nunca desistir e finalizar a pós-graduação, mesmo sendo dois anos de pandemia muito difíceis. Seu apoio, na presença e no carinho diário, me faz hoje concluir minha monografia da melhor forma possível. Obrigada por ser meu companheiro e me proporcionar a tranquilidade e o conforto que tanto precisava para vencer esta etapa.

Agradeço aos colegas da pós-graduação em “Gerenciamento de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields” da turma 2020 a 2022, que estiveram ao meu lado e que se uniram para compartilhar conhecimento e experiências do dia-a-dia e com quem aprendi bastante, em especial aos amigos de curso e da geologia Tati Rampini e Luis Alves e em especial a Tatiane Sitolini que me indicou o curso e que me apoia bastante no ramo de Gerenciamento de Áreas Contaminadas em São Paulo.

Ao Profº e orientador Vicente Aquino que me orientou nesse projeto de monografia e que me ajudou a construir o tema final e um texto com melhor embasamento e pelo excelente acompanhamento durante todo processo.

Não posso deixar ainda de agradecer aqueles que abriram as portas da UFAM para mim, onde iniciei meus estudos na geologia, a UnB onde finalizei meu curso de graduação e onde deixei grande parte dos meus amigos de vida e as empresas que trabalhei e as quais também foram grandes escolas da vida: Equinox Gold, Mineração Taboca e atualmente a Golder/WSP, onde coloco em prática todo o conhecimento adquirido na pós-graduação.

"Vou mostrando como sou
e vou sendo como posso
jogando meu corpo no mundo
andando por todos os cantos
e pela lei natural dos encontros
eu deixo e recebo um tanto
e passo aos olhos nus
ou vestidos de lunetas
passado, presente
participo sendo o mistério do planeta".

(Os Novos Baianos)

RESUMO

SILVA, Carolina Blois da. Perspectiva do Gerenciamento de Áreas Contaminadas Considerando os Riscos Associados a águas subterrâneas e águas superficiais da cidade de Manaus. 2022. 50 f. Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

O Gerenciamento de Áreas Contaminadas (GAC) no Estado do Amazonas ainda apresenta diretrizes incipientes de questões ambientais relacionados a contaminação das águas subterrâneas, águas superficiais e do solo, necessitando de um programa de GAC e de um sistema de banco de dados onde sejam cadastradas as áreas potencialmente contaminadas e áreas prioritárias para o Gerenciamento das áreas contaminadas no Estado. O presente trabalho propõe diretrizes iniciais para o GAC com foco de estudo a cidade de Manaus, a partir de um levantamento bibliográfico de trabalhos já realizados na área do Aquífero Alter-do-Chão, detalhamento de Legislações Federais e Estaduais de referência a nível nacional e que servem de base para a criação de diretrizes Estaduais no Amazonas para a elaboração de um programa de Gerenciamento de Áreas Contaminadas no Estado. Atualmente, o órgão que atua com atividades de controle ambiental no Estado do Amazonas é o Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas (IPAAM), sendo o órgão responsável pelo controle e monitoramento ambiental dos empreendimentos e/ou atividades utilizadoras de recursos naturais, consideradas potencialmente poluidoras ou degradadoras do meio ambiente, atuando no licenciamento e fiscalização destas atividades, em termos legislativos quanto a atividades de Gerenciamento de Áreas Contaminadas na cidade de Manaus. O IPAAM segue a Resolução CONAMA nº 420/2009, porém atualmente não existe uma diretriz Estadual ou municipal que detalhe os valores orientadores a serem seguidos na região para a identificação de áreas contaminadas, segundo D'Oliveira Gerente de Recursos Hídricos do IPAAM entrevistado em fevereiro de 2022, além D'Oliveira relata que é necessária a criação de um sistema de base de dados que reúna informações de áreas potencialmente contaminadas na cidade de Manaus, cadastro de empresas e suas atividades industriais potencialmente poluidoras e cadastros das substâncias químicas de interesse e o mapeamento das plumas de contaminação. Atualmente, a Secretaria Municipal do Meio Ambiente e Sustentabilidade – Semmas é responsável pelo licenciamento dos postos de combustíveis na região, serviço antes realizado pelo IPAAM até o ano de 2014.

Como proposta inicial aos órgãos ambientais competentes na cidade de Manaus, este trabalho sugere a criação de uma diretriz, elaborada em cooperação entre Estado e município, para um programa de Gerenciamento de Áreas contaminadas na cidade de Manaus, em atendimento à Resolução CONAMA 420/2009. Além disso, a criação de sistema de banco de dados integrado, onde sejam cadastradas as empresas com fontes de contaminação, mapeamento das atividades industriais presentes no Distrito Industrial e a identificação de fontes de contaminação e identificação de substâncias químicas de interesse que precisem ser analisadas nos poços de captação de água subterrânea no Distrito Industrial e propor monitoramento ambiental semestral dos poços.

Palavras Chave: Áreas Contaminadas. Legislação Ambiental. Contaminação de águas subterrâneas. Contaminação Ambiental. Gerenciamento Ambiental. Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Química.

ABSTRACT

SILVA, Carolina Blois da. Perspective on Management of Contaminated Areas Considering the Risks Associated with Groundwater and Surface Waters in the City of Manaus. 2022. 50 f. Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

The Management of Contaminated Areas in the State of Amazonas still presents incipient guidelines on environmental issues related to groundwater, surface water and soil contamination, requiring a GAC program and a database system where they are registered the potentially contaminated areas and priority areas for the management of contaminated areas in the State. The present work proposes initial guidelines for the GAC with a focus on the study of the city of Manaus, based on a bibliographic survey of works already carried out in the area regarding the vulnerability of the Alter-do-Chão Aquifer, details of Federal and State Laws of reference at national level and which serve as a basis for the creation of State guidelines in Amazonas for the elaboration of a program for the Management of Contaminated Areas in the State. Currently, the agency that works with environmental control activities in the State of Amazonas is the “*Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas (IPAAM)*”, being the agency responsible for the environmental control and monitoring of enterprises and/or activities that use natural resources, considered potentially polluting or degrading the environment, acting in the licensing and inspection of these activities, in legislative terms regarding the activities of Management of Contaminated Areas in the city of Manaus. IPAAM follows CONAMA Resolution No. 420/2009, but currently there is no State or municipal guideline detailing the guiding values to be followed in the region for the identification of contaminated areas, according to D'Oliveira Water Resources Manager of the IPAAM interviewed in February 2022, in addition to D'Oliveira reports that it is necessary to create a database system that gathers information on potentially contaminated areas in the city of Manaus, registers of companies and their potentially polluting industrial activities and registers of chemical substances of interest and mapping of contamination plumes. Currently, the Municipal Secretariat for the Environment and Sustainability – Semmas is currently responsible for licensing gas stations in the region, a service previously carried out by IPAAM until 2014. As an initial proposal to the competent environmental agencies in the city of Manaus, this work suggests the creation of a guideline, elaborated in cooperation between State and municipality, for a program of Management of Contaminated Areas in the city of Manaus, in compliance with CONAMA Resolution 420/2009, the creation of an integrated database system, where companies with sources of contamination are registered, mapping of industrial activities present in the Industrial District and the identification of sources of contamination and identification of chemical substances of interest that need to be analyzed in the wells of underground water collection in the Industrial District and propose biannual environmental monitoring of the wells.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Distribuição das áreas com potencial de exposição a contaminação do solo e água subterrânea no Brasil.	14
Figura 2 - Fluxograma das etapas da identificação das áreas com potencial de contaminação. Retirado da Instrução técnica nº 039 (CETESB).	21
Figura 3 - Extraído do texto do Programa Nacional de Recuperação de Áreas Contaminadas com destaque a representatividade das Áreas Contaminadas e Origem da Contaminação.	25
Figura 4 - Localização da cidade de Manaus. Fonte (IBGE,2010) retirado de SEMA/AM (2019)	27
Figura 5 - Unidades de Planejamento Hídrico do Amazonas, em destaque a localização da cidade de Manaus.	28
Figura 6 - Mapa com as estações pluviométricas ativas no Estado do Amazonas. Retirado de PERH-AM,2019.	29
Figura 7 - Localização das principais Unidades Estruturais Urbanas com forte presença de indústrias na cidade de Manaus.	31
Figura 8 - Mapa da área de Manaus e localização dos poços tubulares do PIM, Distrito I (Amarelo); Distrito II (Rosa) e Distrito III (Roxo). Retirado de Santos (2018).	33
Figura 9 - Seção Geológica entre Manaus e Itacoatiara com as relações geométricas entre as litologias ao longo do perfil. Retirado de (SOARES; WAHNFRIED; DINO, 2016).	36
Figura 10 - Localização dos pontos de checagem do nível estático em campo e amostragem de água - Projeto RIMAS. Extraído de Miranda (2017).	38
Figura 11 - Mapa da vulnerabilidade intrínseca de Manaus classificada pelo método DRASTIC. Extraído de Miranda (20.....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Atividades Potencialmente Geradoras de Áreas Contaminadas segundo a Resolução SMA-10 e SMA-11 emitida pela Secretária do Estado de Meio Ambiente (SP). ...	23
--	----

LISTA DE SIGLAS

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACI – Área sob investigação

ACRi – Área contaminada com risco confirmado

ACRe - Área em processo de remediação

ACRu – Área contaminada em processo de reutilização

ANA - Agência Nacional de Águas

AM – Amazonas

AME – Área em processo de monitoramento para encerramento

AR – Área reabilitadas para uso declarado

BTEX- Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CERH-AM - Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Amazonas

CMA- Concentrações Máximas Aceitáveis

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

DD- Decisão de Diretoria

DDT - Diclorodifeniltricloroetano

GAC- Gerenciamento de Áreas Contaminadas

HCH - Hexaclorociclohexano

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial

IPAAM - Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas

IPO - Indicador de Poluição Orgânica

LD- Limite de Detecção

MCA- Modelo Conceitual da Área

MMA - Ministério do Meio Ambiente

MO- Matéria Orgânica

NA - Nível d'água

ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

ONU – Organização das Nações Unidas

ORP- Oxidation Reduction Potential

PERH - Política Estadual de Recursos Hídricos

Ph- Potencial Hidrogeniônico

PIM - Polo Industrial de Manaus

PNMA - Política Nacional do Meio Ambiente

PNRAC - Programa Nacional de Recuperação de Áreas Contaminadas

PNRH - Política Nacional de Recursos Hídricos

POPs - Poluentes Orgânicos Persistentes

RMM - Região Metropolitana de Manaus

SEMMAS - Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Sustentabilidade

SMA - Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo

SINIR – Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos

SISNAMA - Sistema Nacional de Meio Ambiente

SISSOLO - Sistema de Informação de Vigilância em Saúde de Populações Expostas a Solo Contaminado

SP - Estado de São Paulo

SQI- Substância Química de Interesse

SUFRAMA - Superintendência da Zona Franca de Manaus

SVOC - Compostos orgânicos semivoláteis

TPH- Hidrocarbonetos Totais de Petróleo

UES - Unidade de Estruturação Urbana

USEPA – United States Environmental Protection Agency

USP- Universidade de São Paulo

VI- Valor de Intervenção

VP – Valor de prevenção

VRQs - Valores Orientadores de Referência de Qualidade

VOC- Compostos Orgânicos Voláteis

ZFM - Zona Franca de Manaus

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT.....vii

LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....viii

LISTA DE TABELAS.....ix

LISTA DE SIGLAS.....x e xi

SUMÁRIO.....xii

1 INTRODUÇÃO12

2 METODOLOGIA.....17

3 JUSTIFICATIVA18

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA19

**4.1 As diretrizes na esfera federal e o Estado de São Paulo como modelo no
Gerenciamento de Áreas Contaminadas.....20**

**4.2 A estruturação hídrica e espacial da cidade de Manaus e o Polo Industrial de Manaus
(PIM).....27**

**4.3 A vulnerabilidade do Aquífero Alter do Chão e a dinâmica atual dos usos e fluxo da
água subterrânea na cidade de Manaus.....34**

**4.4 As diretrizes Municipais na cidade de Manaus para o atendimento ao gerenciamento
de áreas contaminadas.....40**

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....45

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....48

1. INTRODUÇÃO

O avanço do processo de industrialização e o crescimento desordenado das cidades têm causado diversos problemas ao meio ambiente e para o ser-humano, além da contaminação das águas subterrâneas, solo e águas superficiais através de substâncias nocivas.

O uso da água subterrânea tem se tornado cada vez mais indispensável para o abastecimento de áreas de comércio, complexos industriais, empresas em diversos ramos, agricultura e sobretudo no que se refere à segurança hídrica em termos da governança de águas de qualidade. Além disso, em várias partes do Brasil estão ocorrendo, de forma mais recorrente, casos de superexploração e de contaminação nas águas subterrâneas, do solo e água superficial, o que é explicado pela falta de gestão dos recursos hídricos e do planejamento da ocupação territorial, e também um melhor planejamento do licenciamento de atividades potencial de contaminação nos diversos Estados do Brasil (Hirata et al. 2019).

Nos Estados Unidos e na Europa, a problemática da contaminação do solo e águas subterrâneas já vem sendo investigada nas últimas quatro décadas, sendo que dados do inventário realizado em 2016 na União Européia (EU) já mostravam 648.964 áreas cadastradas como áreas com presença de atividades potencialmente contaminadoras nos 28 países-membros (PÉREZ; EUGÊNIO, 2018). Dentre os principais poluentes identificados estão metais pesados e óleos minerais (ITPS, 2015). Nos Estados Unidos a United States Government Accountability Office (USGAO, 2015), estimou que, em 2013, 39 milhões de pessoas viviam a menos de 5 km das 1.158 áreas contaminadas da lista prioritária do Superfund, programa federal criado nos Estados Unidos para investigar e remediar áreas contaminadas no país, a partir da Lei de Resposta, Compensação e Responsabilidade Ambiental Abrangente de 1980 (CERCLA).

No Brasil, os primeiros registros da ocorrência de áreas já confirmadas como contaminadas foram identificados no Estado de São Paulo, tendo sido geridas pela CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo), entre 1970 a 1980, em locais com ações emergenciais como postos de combustível, casos de resíduos organoclorados na Baixada Santista e do caso conhecido em Porto Feliz (SP) de depósito irregular de solventes clorados.

Atualmente, o Estado de São Paulo é a região do país com maior quantidade de áreas identificadas com potencial de contaminação ou confirmadamente contaminadas. O total de áreas contaminadas registradas no Estado de São Paulo é de 6.434, de acordo com a relação de áreas contaminadas emitida pela instituição em Dezembro de 2020, e disponível no site da CETESB, sendo que a grande maioria áreas de postos de combustíveis (4.523) e seguido de áreas industriais (1.294).

No estado de São Paulo, a gestão das áreas classificadas como contaminadas é feita pela CETESB, a partir da Decisão de Diretoria N° 038/2017/C, de fevereiro de 2017, a qual estabelece procedimentos e diretrizes para o Gerenciamento de Áreas Contaminadas. O documento mostra que o gerenciamento é feito em dois processos,

sendo a primeira etapa do Processo de Identificação de Áreas Contaminadas, a partir da identificação de áreas com potencial de contaminação, priorização de áreas com potencial de contaminação, estudo de avaliação preliminar, investigação confirmatória, investigação detalhada e da avaliação de risco a saúde humana. Posteriormente, é realizada o Processo de Reabilitação de Áreas Contaminadas, com a elaboração do plano de intervenção, execução do plano de intervenção e monitoramento para encerramento.

A CETESB publica todos os anos a relação de áreas contaminadas do Estado de São Paulo, com a identificação da classificação de cada uma das áreas inseridas no banco de dados: contaminada com risco confirmado (ACRi), contaminada em processo de reutilização (ACRu), contaminada sob investigação (ACI), áreas em processo de monitoramento para encerramento (AME), áreas em processo de remediação (ACRe) e áreas reabilitadas para uso declarado (AR).

Do ponto de vista da proteção dos aquíferos mais profundos e explorados para abastecimento na região metropolitana da cidade de São Paulo, as SQIs orgânicas de origem antrópica que mais tem sido detectadas são os solventes clorados, que possuem uma densidade maior que a da água, como o caso da área de Jurubatuba, onde a partir da Deliberação CRH Nº 132 de abril de 2011, ficou estabelecida a área de restrição de uso de água subterrânea nesta região dentro de São Paulo, devido a presença de solventes clorados em grande quantidade e dispersão.

Com relação ao Gerenciamento de Áreas Contaminadas e com exceção do Estado de São Paulo, outros Estados no Brasil ainda apresentam normativas e legislações incipientes para a identificação de áreas contaminadas, tal como do processo de reabilitação de áreas contaminadas. Em dezembro de 2020, com o objetivo de melhorar a gestão de áreas contaminadas para o território nacional, o Ministério de Meio Ambiente (MMA) lançou o Programa Nacional de Recuperação de Áreas Contaminadas (PNRAC) e atualmente vem trabalhando no desenvolvimento de um sistema digital integrado chamado SINIR – Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos, o qual possibilitará o mapeamento e gestão das áreas contaminadas por todo território nacional.

O relatório emitido pelo PNRAC (2020) destaca as contaminações geradas por Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs), que são relacionadas à armazenagem, disposição de resíduos e produção industrial, com as substâncias comumente encontradas nas áreas contaminadas identificadas no relatório citado, sendo 50% da ocorrência de bifenilas policloradas (PCBs), que são bastante utilizadas no setor elétrico por terem uma alta propriedade de isolante, além da ocorrência de hexaclorociclohexano em 19% (HCH) e diclorodifeniltricloroetano em 15% (DDT). Tais substâncias são muito nocivas por permanecerem por longo período no meio ambiente, se bioacumularem nos organismos vivos e por apresentarem alta toxicidade e baixa taxa de degradação, o que torna o processo de remediação ambiental mais complexo e prolongado neste caso.

No Brasil, as áreas industriais que utilizam metais na cadeia produtiva podem liberar estes elementos químicos potencialmente contaminantes a partir da lixiviação de

substâncias contidas em resíduos, carreando para o solo e podendo atingir a água subterrânea. Os elementos químicos tóxicos mais recorrentes são: níquel, cobre, zinco, cádmio, chumbo, mercúrio e cromo, vistos que são comumente encontrados em resíduos provenientes de lâmpadas, pilhas, restos de tintas, latas e materiais metálicos dos processos industriais, entre outros (Cavallet, Carvalho, Fortes, 2013). Além dos metais, outra substância ocorrente em áreas contaminadas são os compostos orgânicos voláteis (VOCs), produtos oriundos do petróleo (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos, formando o grupo dos BTEX) e os compostos orgânicos semivoláteis (SVOCs) (EPA,2017).

Dados oriundos do Ministério da Saúde, do Sistema de Informação de Vigilância em Saúde de Populações Expostas a Solo Contaminado (SISSOLO), mostram que 34 milhões de pessoas, no ano de 2014, estavam potencialmente expostas a alguma área contaminada mapeada. O estudo realizado nesse ano mostrou as possíveis origens da contaminação (BRASIL, 2014b) na **Figura 01** abaixo.

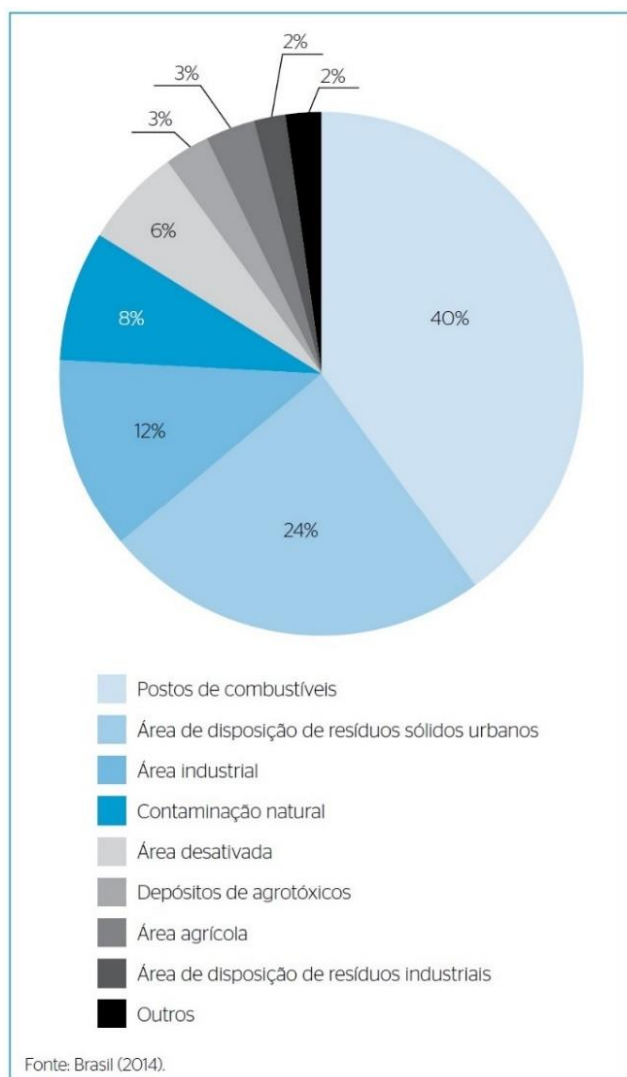


Figura 1 - Distribuição das áreas com potencial de exposição a contaminação do solo e água subterrânea no Brasil.

A área de foco do presente estudo abrange a cidade de Manaus dentro do contexto da gestão de recursos hídricos no Estado do Amazonas, e do Polo Industrial de Manaus (PIM), que representa atualmente no país um dos mais modernos centros industriais e tecnológicos na América Latina, com cerca de 600 empresas de médio e grande porte, contudo, nos dois últimos anos dezenas de empresas deixaram a Zona Franca por diversos motivos, como a pandemia da Covid-19, segundo o Portal da Amazônia no dia 04 de maio de 2022.

Em resposta ao Portal Amazônia, a Superintendência da Zona Franca de Manaus (Suframa) informou, que entre 2020 e 2022, um total de 84 empresas encerraram as atividades na ZFM, seja por decisão própria ou por penalidades aplicadas em razão de descumprimento de exigências legais. Um dos motivos que pode acarretar a saída de mais empresas da ZFM para outros polos nas regiões sudeste, centro-oeste e sul do país é a redução do IPI, que retiraria competitividade da Zona Franca.

Atualmente, o órgão que executa o controle ambiental no Estado do Amazonas é o Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas (IPAAM), responsável pelo controle ambiental dos empreendimentos e/ou atividades utilizadoras de recursos naturais, consideradas potencialmente poluidoras ou degradadoras do meio ambiente, atuando no licenciamento e fiscalização destas atividades, com a adoção de ações preventivas e corretivas visando à proteção do meio ambiente.

Em termos legislativos o IPAAM segue a Resolução CONAMA nº 420/2009, que “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”, além da Resolução CONAMA 357 que “Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências”. Ambas as resoluções apresentam os critérios e valores máximos permitidos para cada substância química de interesse analisada, além de estabelecer diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas de tais substâncias em decorrência de atividades antrópicas.

O decreto Nº 28.678, de 16 de Junho de 2009, emitido pelo Governo do Amazonas, atribui ao Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas – IPAAM a implementação e efetivação da Lei Estadual de Recursos Hídricos, a qual estabelece que é de responsabilidade do órgão o cadastro, o licenciamento, a fiscalização, a outorga e a pesquisa das águas subterrâneas, nos seus diversos usos, além da avaliação dos recursos hídricos subterrâneos e ao planejamento do seu aproveitamento racional, à outorga e fiscalização dos direitos de uso dessas águas e gerenciamento da conservação dos recursos hídricos subterrâneos. No capítulo IV e seção I do mesmo decreto, é indicado que nas áreas de proteção dos recursos hídricos é necessário a elaboração de um estudo hidrogeológico local e regional com a realização dos estudos abaixo relacionados:

I - Caracterização hidrológica e climática;

II - Características hidrogeológicas locais e sua inserção no contexto regional;

III - Características físico-químicas, químicas e sanitárias das águas, de acordo com a legislação vigente;

IV - Caracterização do uso do solo e das águas, com identificação das principais fontes de contaminação;

V - Análise das possibilidades de contaminação das fontes e seu grau de vulnerabilidade aos agentes poluentes;

VI - Identificação de medidas corretivas ou preventivas com estabelecimento de um plano de controle.

De tal forma que toda área que seja considerada de proteção ou do interesse da conservação e manutenção do equilíbrio natural das águas subterrâneas deverá ter um plano de restrição à captação e o uso dessas águas fiscalizado pelo IPAAM e que este proporá ao Conselho Estadual de Recursos Hídricos a delimitação das áreas de controle. Encontram-se no site do IPAAM alguns trabalhos de Estudo de Impacto Ambiental e Relatórios de Impacto Ambiental que descrevem os trabalhos de caracterização hidrogeológica local do empreendimento, da qualidade das águas superficiais, caracterização hidrológica e climática, estudo da qualidade das águas subterrâneas, caracterização geológica, geofísica e geomorfológica. Porém não é possível determinar se todos os EIA/RIMA já realizados na cidade de Manaus estão presentes no site do IPAAM.

O IPAAM também segue as diretrizes do Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH-AM), segundo a Resolução CERH Nº 01, de julho de 2016, a qual estabelece critérios técnicos a serem adotados pelo IPAAM para o processo de análise de pedido de outorga do direito de uso de recursos hídricos de domínio do Estado do Amazonas. As construções de poços tubulares devem ser avaliadas com vistas determinar a capacidade de produção dos aquíferos atravessados e dos poços já existentes nas proximidades, a fim de evitar-se o bombeamento excessivo, almejando o uso sustentável dos aquíferos, adequado aos contextos social, legal e econômico, sem impactar a qualidade natural da água subterrânea ou gerar efeitos indesejáveis, como danos ambientais.

A seção III da Resolução CERH-AM Nº 01 de 2016, define que para as águas subterrâneas, os usuários deverão apresentar ao IPAAM os laudos físico-químicos para caracterização hidroquímica, turbidez e temperatura, além das análises de coliformes fecais e totais NMP/100 ml, no caso de empresas do Distrito Industrial caso seja identificada uma fonte potencial poluidora esta empresa deverá atender a Resolução CERH-AM nº 01 de 2016 e apresentar ao IPAAM os resultados dos laudos físicos-químicos que são indicados pela própria IPAAM nas licenças de operação.

Além disso, os laudos físico-químicos, químicos e bacteriológicos, segundo a Resolução CERH 2016, devem apresentar o comparativo entre os resultados das análises e os valores máximos permitidos pela legislação constante da Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011, do Ministério da Saúde, indicando, inclusive, as condições de potabilidade da água analisada, entretanto entre a data da publicação de tal Resolução e o momento presente foi emitida nova portaria de potabilidade

pelo Ministério da Saúde, sendo ela designada PORTARIA GM/MS Nº 888, DE 4 DE MAIO DE 2021, sendo necessária a atualização da Resolução CERH 01-16 (Critérios análise de pedido de outorga do direito de uso de recursos hídricos) que é utilizada pelo IPAAM, com atendimento a nova portaria do Ministério da Saúde.

Por fim, este trabalho tem como objetivo realizar uma revisão bibliográfica do panorama atual das legislações ambientais aplicadas para o reconhecimento de possíveis contaminantes do solo e das águas subterrâneas, principalmente nas áreas do Distrito Industrial, além de mostrar os estudos mais recentes sobre a vulnerabilidade intrínseca do Aquífero Alter do Chão e identificação macro das atividades industriais com potencial de contaminação na região.

2. METODOLOGIA

O estudo foi realizado através de levantamentos bibliográficos e por pesquisas a sites governamentais e federais relacionados com a gestão de Recursos Hídricos nos Estados da região Norte do Brasil, tais como Agência Nacional de Águas (ANA), Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), Ministério do Meio Ambiente (CNRH), Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (CPRM), Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas (IPAAM), Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Amazonas (SDS-AM), Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Governo do Amazonas (SEMA/AM), além de entrevista com o Gerente de Recursos Hídricos do IPAAM, realizada no dia 23 de fevereiro de 2022.

Também foram realizadas buscas complementares em sites de pesquisas (ex. Google Scholar) para análise de trabalhos científicos de mestrado e/ou doutorado, uma vez que são escassas as informações nos sites oficiais dos governos supracitados, além de sites da Universidade Federal do Amazonas e Universidade de São Paulo. Tais pesquisas incluíram como palavras-chave: política estadual, outorga, plano de bacia, gerenciamento de áreas contaminadas, priorização de áreas de interesse; associados aos termos Recursos Hídricos, pesquisa sobre o Polo Industrial de Manaus. As pesquisas foram efetuadas entre agosto de 2021 a 16/02/2022, com revisão em fevereiro de 2022.

O presente estudo foi desenvolvido considerando-se manuais, legislações, normativas, resoluções e publicações técnicas, tendo como parâmetros principais os seguintes documentos:

- Lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos;
- Resolução SMA-10 e SMA-11;
- CONAMA 420;
- DD 38/2017 (Cetesb).

3. JUSTIFICATIVA

O trabalho proposto nesta dissertação propõe diretrizes iniciais para o Gerenciamento de Áreas Contaminadas para a cidade de Manaus, a partir de um levantamento bibliográfico de estudos já realizados na área no que tange a vulnerabilidade do Aquífero Alter-do-Chão, detalhamento de Resoluções Federais e Estaduais como referência a nível nacional e que servem de base para a criação de diretrizes Estaduais no Amazonas, como o caso das diretrizes da CETESB e um levantamento bibliográfico da estruturação hídrica e espacial da cidade de Manaus e do Polo Industrial de Manaus (PIM).

Assim esta monografia tem como objetivo apresentar de que forma se dá, atualmente, o controle, fiscalização e identificação de passivos ambientais presente na cidade de Manaus e como é de alta relevância iniciativas de órgãos municipais e Estaduais da criação de resoluções e legislações específicas focadas para a criação de um programa efetivo de Gerenciamento de Áreas Contaminadas.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Um conceito jurídico completo de poluição é o da Lei da Política Nacional do Meio Ambiente, que diz que é a degradação da qualidade ambiental, originada por atividades que direta ou indiretamente: “prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população, criem condições adversas às atividades sociais e econômicas, afetem desfavoravelmente a biota, afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente e lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos” (BRASIL, 1981).

O Decreto federal nº 76.389, de 03 de outubro de 1975 define poluição industrial como qualquer alteração das propriedades físicas, químicas ou biológicas do meio ambiente (solo, água e ar), causada por qualquer substância sólida, líquida e gasosa ou em qualquer estado da matéria, que, direta ou indiretamente, prejudique à saúde das populações, implante condições impróprias ao ambiente e provoque danos à fauna e à flora (BRASIL, 1975). Então, se verifica a presença de poluição, quando há alterações nas características do meio ambiente, o tornando impróprio às formas de vida que lá habitam.

Quando se trata de poluição industrial, é importante destacar alguns conceitos estabelecidos pela Lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos, no artigo 3º, inciso XVI, que define como resíduos sólidos, aqueles materiais, substâncias, objetos ou bens descartados resultantes de atividades humanas em sociedade, e dentre eles, os resíduos industriais. Estes resíduos, assim como todos os outros, porém originar áreas contaminadas, que pela lei, artigo 3º, inciso II, por meios regulares ou irregulares (BRASIL, 2010).

Segundo Sánchez (2001), áreas específicas que apresentam passivos ambientais associados, podem ter passado por tantas transformações no terreno e nos edifícios industriais, implicando na avaliação de questões como saúde e questões ambientais, que tornam a reciclagem da área mais duradoura, e acabam tendo um gerenciamento também complexo, que em muitas situações, extrapolam os limites do terreno. Ademais, muitas vezes, os custos de recuperação da área podem se tornar muito elevados ao ponto que a recuperação total da área para uso declarado e irrestrito se torna inviável economicamente (GLOEDEN, 1999, apud TOLEDO (2007).

4.1 As diretrizes na esfera federal e o Estado de São Paulo como modelo no Gerenciamento de Áreas Contaminadas

A Resolução da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo nomeada SMA-10, emitida pela CETESB, em 2017, dispõe sobre a definição das atividades potencialmente geradoras de áreas contaminadas prioritárias, desenvolvida com o objetivo de subsidiar a etapa de identificação das áreas com potencial de contaminação, que consiste na identificação destas atividades no Cadastros de Empresas Licenciadas no estado de São Paulo, e que estão incluídas no Sistema de Fontes de Poluição (SIPOL). Nesta etapa do procedimento de Gerenciamento de Áreas contaminadas, se procede a identificação do universo de áreas com maior potencial de gerar contaminação do solo e compartimentos ambientais a ele associado, onde deverão ser aplicadas as medidas de gestão.

O início do processo de gerenciamento de áreas contaminadas pode partir da solicitação de órgãos ambientais locais, porém também independente de solicitação pelo órgão ambiental, podendo ter ponto de partida da própria empresa ou responsável legal poluidor. No Estado de São Paulo, de acordo com o Decreto Estadual nº 59.263/13, os responsáveis legais deverão ser demandados a realizar a Avaliação Preliminar quando houver indícios ou suspeita de contaminação, isto é, quando houve a ocorrência de vazamentos ou o manejo inadequado de substâncias ou produtos que possam impactar o local. Caso haja a presença de instalações com projeto inadequado ou fora das normas existentes, que também possam facilitar a infiltração de contaminantes, também deve ser considerada como fator para ser executado a Avaliação Preliminar. O órgão ambiental também poderá solicitar a realização do estudo motivado por denúncias ou reclamações de terceiros.

A instrução técnica nº 039, emitida pela Diretoria de Controle e Licenciamento Ambiental do Estado de São Paulo, detalha os procedimentos do gerenciamento das áreas contaminadas no Estado. As informações presentes no SIPOL – Sistema de Fontes de Poluição e da Relação de Atividades Potencialmente Geradoras de Áreas Contaminadas e juntamente com o Departamento de Áreas Contaminadas (CA) irá atualizar anualmente a Relação de áreas com Potencial de Contaminação e com isso a relação das empresas cadastradas.

A relação de empresas cadastradas irá fornecer os dados das atividades potencialmente geradoras de áreas contaminadas de acordo com a Resolução SMA 10, a partir da identificação das áreas com potencial de contaminação estas deverão ser armazenadas no Sistema de Áreas Contaminadas e Reabilitadas (SIACR). A Figura 01 abaixo mostra o fluxograma das atividades que são seguidas nessa primeira etapa.

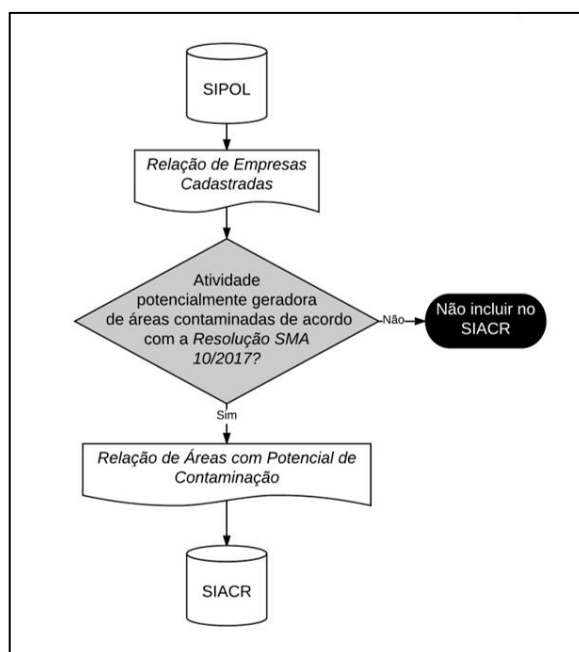


Figura 2 - Fluxograma das etapas da identificação das áreas com potencial de contaminação. Retirado da Instrução técnica Nº 039 (CETESB).

A Diretoria de Controle e Licenciamento Ambiental, por meio do Departamento de Áreas Contaminadas (CA) e do Departamento de Apoio Técnico (CT), deverá avaliar a Relação de áreas com Potencial de Contaminação e elencar as áreas prioritárias, a partir critérios definidos pela Diretoria de Controle e Licenciamento Ambiental com base em sugestões do CA e Departamentos de Gestão Ambiental e irá elaborar e atualizar anualmente a relação de Áreas com Potencial de Contaminação Prioritárias.

Nas resoluções (SMA-10) citadas acima são apresentadas as atividades de acordo com a classificação Nacional de Atividades Econômicas – CNAE. Sendo elas as atividades descritas abaixo:

Atividades Potencialmente Geradoras de Áreas Contaminadas - RESOLUÇÃO SMA/SP (2017) Nº 10.	
1	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Extração de carvão mineral; de petróleo e gás natural ▪ Extração de minerais metálicos; Metalurgia. ▪ Atividades de apoio à extração de petróleo e gás natural.
2	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Preparação e fiação de fibras têxteis. ▪ Tecelagem, exceto malha – subclasses > estamparia e texturização em fios, tecidos, artefatos têxteis e peças do vestuário; alvejamento, tingimento e torção em fios, tecidos, artefatos. têxteis e peças do vestuário. ▪ Curtimento e outras preparações de couro.

	Atividades Potencialmente Geradoras de Áreas Contaminadas - RESOLUÇÃO SMA/SP (2017) Nº 10.
3	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Desdobramento de madeira. ▪ Fabricação de celulose e outras pastas para a fabricação de papel. ▪ Atividade de impressão. ▪ Comércio atacadista especializado em outros produtos, exceto os grupos – Comércio atacadista de papel e papelão em bruto e de embalagens e Comércio atacadista especializado de outros produtos intermediários não especificados anteriormente.
4	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fabricação e refino de açúcar. ▪ Fabricação de coque, de produtos derivados do petróleo e de biocombustíveis. ▪ Fabricação de produtos químicos. ▪ Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos. ▪ Fabricação de pneumáticos e de câmaras de ar. ▪ Fabricação de vidro e de produtos do vidro; Fabricação de cimento e Fabricação de produtos cerâmicos.
5	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos ▪ Manutenção e reparação de máquinas e equipamentos ▪ Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos ▪ Fabricação de máquinas, aparelhos e materiais elétricos. ▪ Fabricação de máquinas e equipamentos ▪ Fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias ▪ Fabricação de outros equipamentos de transporte, exceto veículos automotores. ▪ Manutenção e reparação de máquinas e equipamentos ▪ Eletricidade, gás e outras utilidades ▪ Manutenção mecânica e elétrica de caminhões, ônibus e veículos pesados; Oficina mecânica de veículo automotor
6	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tratamento e purificação de água para fins de abastecimento (desinfecção, coagulação, floculação, decantação, filtração, correção do pH e fluoretação) ▪ Esgoto e atividades relacionadas ▪ Coleta, tratamento e disposição de resíduos; recuperação de materiais ▪ Descontaminação e outros serviços de gestão de resíduos
7	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Comércio varejista de combustíveis para veículos automotores ▪ Transporte ferroviário e metroferroviário; Transporte rodoviário de passageiros; Transporte rodoviário de carga e transporte dutoviário.
8	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fabricação de móveis com predominância de metal

	Atividades Potencialmente Geradoras de Áreas Contaminadas - RESOLUÇÃO SMA/SP (2017) Nº 10.
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fabricação de bijuterias e artefatos semelhantes ▪ Comércio atacadista especializado em outros produtos, exceto os grupos – Comércio atacadista de papel e papelão em bruto e de embalagens e comércio atacadista especializado de outros produtos intermediários não especificados anteriormente
9	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Eletricidade, gás e outras utilidades ▪ Armazenamento de produtos perigosos por conta de terceiros e serviço de abastecimento de navios ▪ Serviços de lavagem a seco e serviço de lavanderia ▪ Serviços de sepultamento.

Tabela 1- Atividades Potencialmente Geradoras de Áreas Contaminadas segundo a Resolução SMA-10 e SMA-11 emitida pela Secretária do Estado de Meio Ambiente (SP).

A etapa de Avaliação Preliminar é realizada nas áreas que foram consideradas prioritárias para o Gerenciamento de Áreas Contaminadas (GAC) pelo órgão regulador, ou pelo responsável legal da área, e é feita a partir da base de informações disponíveis, públicas ou privadas, sobre a área de interesse, com a aquisição de imagens de aéreas temporais por exemplo e com entrevistas dentro da empresa com funcionários, visando fundamentar a suspeita de contaminação de uma área e com objetivo de identificar as fontes primárias e potenciais de contaminação com base na caracterização das atividades historicamente desenvolvidas e em desenvolvimento no local, embasando o planejamento das ações a serem executadas nas etapas seguintes do gerenciamento. As ações iniciais do GAC, são fundamentais para que órgãos ambientais, como o IPAAM por exemplo, possam definir suas áreas prioritárias e identificação de áreas contaminadas de forma mais detalhada e mais criteriosa.

Desde o ano de 2002 a CETESB emite anualmente um resumo com informações registradas no seu Cadastro de Áreas Contaminadas e Reabilitadas, tanto em seu site quanto na internet, tal resumo apresenta o registro de todas as áreas identificadas como contaminadas sob investigação no estado, com a identificação da classificação em que cada uma se encontra no processo de gerenciamento de áreas contaminadas, áreas em processo de remediação, áreas reabilitadas para uso declarado, áreas contaminadas com risco confirmado e em processo de reutilização e das áreas contaminadas sob investigação. Além disso, emite anualmente os mapas atualizados das áreas contaminadas e reabilitadas de forma que é possível verificar qual atual situação de cada região dentro do processo de Gerenciamento de Áreas Contaminadas.

No Decreto Estadual nº 59.263/2013 do Estado de São Paulo, o qual “*Regulamenta a Lei nº 13.577, de 8 de julho de 2009, que dispõe sobre diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas, e dá providências correlatas*”, foi prevista a criação do Sistema de Áreas Contaminadas e Reabilitadas (SIACR), cujas finalidades são as de armazenar as informações coletadas durante o processo de identificação e reabilitação de áreas contaminadas, além de possibilitar o compartilhamento das informações

obtidas com os órgãos públicos, a sociedade civil, os diversos setores da cadeia produtiva local e regional, apoiando assim o gerenciamento de áreas contaminadas. No Estado do Amazonas não existe um sistema de registro com foco na áreas contaminadas, por isso, destaca-se a importância da implantação do sistema informatizado aplicado inicialmente na cidade de Manaus, para que ocorra o compartilhamento organizado e sistemático das informações para os órgãos gestores de recursos hídricos, as secretarias estaduais, o Ministério Público, as concessionárias de serviços e órgãos municipais de meio ambiente e de saúde, visto que o tema das áreas contaminadas tem relevância e necessita de recursos humanos com conhecimento adequado sobre gestão de áreas contaminadas nas esferas não só federal, mas estadual e municipal.

Segundo a Agência Câmara de Notícias emitida em Novembro de 2021, tramita em caráter conclusivo e que será analisado pelas comissões de Finanças e Tributação e de Constituição e Justiça e de Cidadania (CCJ), proposta que estabelece as diretrizes para a prevenção da contaminação do solo e o gerenciamento de áreas contaminadas em âmbito nacional, sendo nomeado Projeto de Lei 2732/11. A proposta sendo aprovada cria o Cadastro Nacional de Áreas Contaminadas e Reabilitadas, sendo um sistema de consulta pública e aberta à população, contendo informações sobre identificação e reabilitação de áreas contaminadas e também determinará as normativas e sequenciamento do gerenciamento de uma área com suspeita de contaminação ou já contaminada, desde a comunicação inicial, da investigação, avaliação de risco à saúde humana, da elaboração do plano de intervenção e posteriormente o monitoramento ambiental.

Dentro do Ministério de Meio Ambiente (MMA), no ano de 2020, foi lançado um Programa de Recuperação de áreas contaminadas em âmbito nacional, que tem como objetivo melhorar a gestão de áreas contaminadas no Brasil a partir da adoção de políticas públicas que possam obter resultados mais reais para a sociedade, aumentando a capacitação de órgãos ambientais no tema das áreas contaminadas, de modo que se tenha a disponibilidade de profissionais em maior quantidade e qualificados para realizar a gestão. Ademais, o MMA destaca em seu programa a otimização dos processos dos fluxos de trabalho, de tal maneira que as ações executadas tenham uma diretriz bem definida e se for necessário, realizar a atualização da normativa sobre o tema e por fim o conhecimento das principais tecnologias de remediação e recuperação em conjunto com soluções tecnológicas com dados especializados que possam transformar as informações para melhor formulação e implementação de políticas públicas no país.

O programa em fase de implementação não descreve o atual cenário do Estado do Amazonas dentro da Gestão de Áreas Contaminadas, o que torna mais relevante a atuação Estadual e Municipal do Estado de Amazonas e da cidade de Manaus o avanço regional e local de políticas públicas mais atualizadas quanto ao gerenciamento de áreas contaminadas para que os dados sejam mapeados e cadastrados. O gráfico da Figura 03 (MMA, 2020) a seguir, mostra a o mapeamento da quantidade das Área Contaminadas e Origem da Contaminação no Brasil e pode-se determinar que a maior concentração das áreas contaminadas ainda é representada em aproximadamente 74% por postos de gasolina, seguido das indústrias, ao passo que Manaus

aloja um dos maiores Distritos Industriais do Brasil, ressalta-se a importância do cadastro e identificação das áreas com indícios ou suspeita de contaminação na cidade de Manaus e principalmente no Polo Industrial de Manaus.



Figura 3-Extraído do texto do Programa Nacional de Recuperação de Áreas Contaminadas (MMA,2020) com destaque a representatividade das Áreas Contaminadas e Origem da Contaminação.

A Resolução CONAMA nº 420/2009, que “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”, estabelece que é de responsabilidade dos órgãos competentes executar ações específicas para a proteção da população que esteja exposta a concentrações de substâncias que tenham probabilidade de causar risco à saúde humana. Para a avaliação da qualidade de solo, segundo a resolução, com base na presença de substâncias químicas, esta deverá ser feita com base nos Valores Orientadores de Referência de Qualidade (VRQs), de Investigação (VI) e de Prevenção (VP).

Além disso, a Resolução detalha as diretrizes quanto às amostragens, análises e controle de qualidade durante o monitoramento do solo e das águas subterrâneas, as quais devem seguir procedimentos padronizados de coleta, manuseio, preservação, acondicionamento e transporte das amostras e atendendo os prazos de validade das amostras, além disso, as análises físicas, físico-químicas, químicas e biológicas devem ser realizadas com procedimentos reconhecimentos internacionalmente e em laboratórios acreditados pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial-INMETRO para os parâmetros de interesse.

Entretanto, segundo o MMA, em seu programa de áreas contaminadas, detalha que a Resolução CONAMA nº 420/2009 não vem sendo cumprida por alguns Estados na Federação, como por exemplo com relação ao Valor de Referência de Qualidade (VRQ) de algumas substâncias e ausência de informações oficiais sobre a quantidade de áreas contaminadas, além dos procedimentos executados por estados e municípios para promover a prevenção, identificação e gestão de áreas contaminadas, o que torna necessário Resoluções Estaduais mais

fortalecidas pelos próprios órgãos estaduais e com melhor fiscalização das ações que envolvem o tema da Gestão de Áreas contaminadas localmente.

Ao se tratar do atendimento aos padrões de qualidade das águas superficiais e do lançamento de efluentes em corpos hídricos, para o caso da cidade de Manaus em águas doces, a Resolução CONAMA 357, que *“Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de água superficiais, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes”*, deve levada em consideração durante o Gerenciamento de Áreas Contaminadas para classificar de forma correta os corpos hídricos, objetos de estudo nos monitoramentos ambientais e análise da qualidade das águas superficiais, tal como descrito no capítulo I e na Seção I da resolução como: classe especial, classe 1, classe 2, classe 3 ou classe 4, e essas classificações serem utilizadas durante a etapa de avaliação de risco a saúde a saúde humana, no momento que o modelo conceitual indica que a contaminação pode atingir um corpo de água superficial.

4.2 A estruturação hídrica e espacial da cidade de Manaus e o Polo Industrial de Manaus (PIM)

De acordo com o Relatório de Gestão de Recursos Hídricos do Amazonas, feito pela Secretaria de Meio Ambiente do Estado do Amazonas em 2019 (SEMA,2019), o Amazonas é o Estado brasileiro com maior extensão territorial, com aproximadamente 1.559.162 km² que equivalem a 18,3% da área do Brasil, no entanto possui a segunda menor densidade demográfica dentre os 27 estados brasileiros (dados do IBGE, Censo Demográfico 2010). A cidade de Manaus, objeto do presente estudo, é a capital do estado do Amazonas e a cidade com maior população no Estado, atualmente com 2.020.301 habitantes, e um crescimento populacional de 33% a cada década, em média (Figura 04).

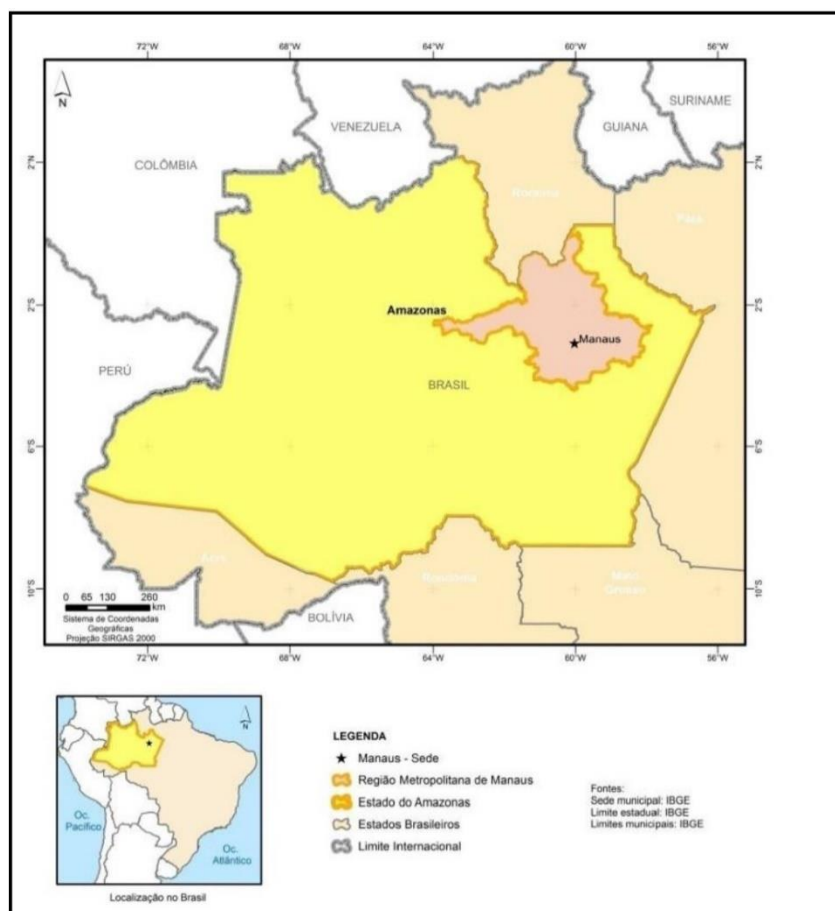


Figura 4- Localização da cidade de Manaus. Fonte (IBGE,2010) retirado de SEMA/AM (2019).

Segundo o Relatório de Gestão de Recursos Hídricos, emitido pela Secretaria de Meio Ambiente do Amazonas em 2019 (SEMA/AM), a partir da Resolução nº 03, de 21 de julho de 2016, foram divididas 09 Regiões Hidrográficas (RH's) pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Amazonas, com objetivo de melhorar a gestão das águas no Estado e executar a adequação da área de abrangência dos comitês de bacias hidrográficas com as bacias hidrográficas presentes no Amazonas, juntamente com a divisão municipal do Estado, destaca-se para o presente trabalho a Região Hidrográfica Madeira.

A cidade de Manaus está localizada na interface das Unidades de Planejamento Hídrico (UPH) do Baixo-Negro, Uatumã-Negro e Madeira Purus, como mostrado na Figura 05 abaixo. A UPH com maior demanda de abastecimento é Baixo Negro, devido à captação de Manaus (SEMA/AM, 2019).

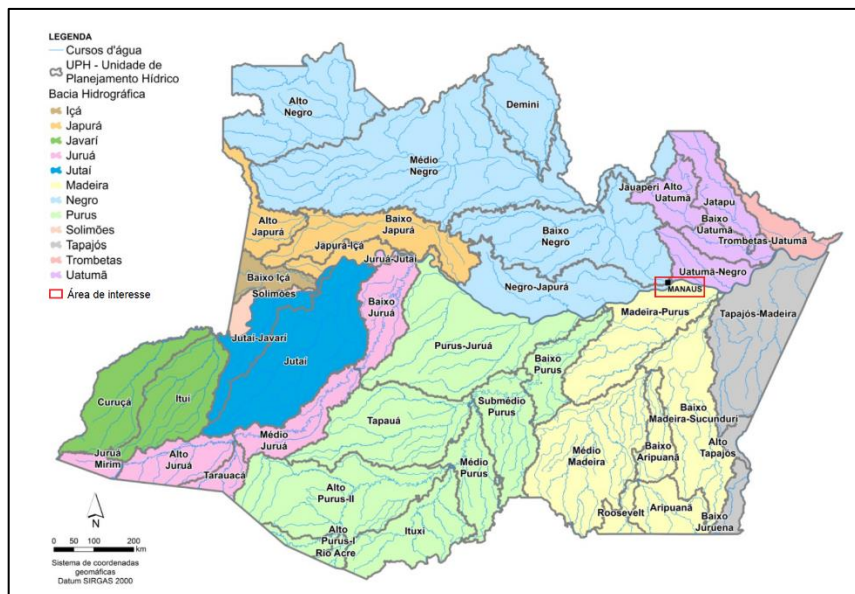


Figura 5 - Unidades de Planejamento Hídrico do Amazonas, em destaque a localização da cidade de Manaus.

Foram individualizadas 44 UPH parcialmente ou totalmente inseridas no território estadual, visto que as UPH foram delimitadas de tal forma que o Rio Solimões/Amazonas foi definido com um divisor de águas. Ressalta-se que a disponibilidade pode ser avaliada considerando o Rio Solimões/Amazonas como um receptor das bacias que contribuem a ele, tanto pela margem direita, quanto pela esquerda (SEMA/AM, 2019).

Segundo a Agência Nacional das Águas (ANA), as UPH são subdivisões de bacias hidrográficas, caracterizadas por uma homogeneidade de fatores geomorfológicos, hidrográficos e hidrológicos que permitem a organização do planejamento e do aproveitamento dos recursos hídricos ali existentes. As UPH são formadas por bacias ou sub-bacias hidrográficas de rios afluentes ou segmentos das bacias dos rios principais, com continuidade espacial.

O Plano Estadual de Recursos Hídricos do Amazonas (PERH-AM), emitido pela Secretaria do Estado de Meio Ambiente em 2019, destaca que o Estado do Amazonas possui apenas 73 estações fluviométricas capacitadas para realizar as análises da qualidade da água dos corpos hídricos superficiais, visto que o Estado do Amazonas tem aproximadamente 1.571.000 km² de extensão territorial. O trabalho de monitoramento é gerenciado pela ANA e operado pela CPRM, COHIDRO, CONSTRUFAM, Taboca, UFC e SEDAM-RO (Figura 06).

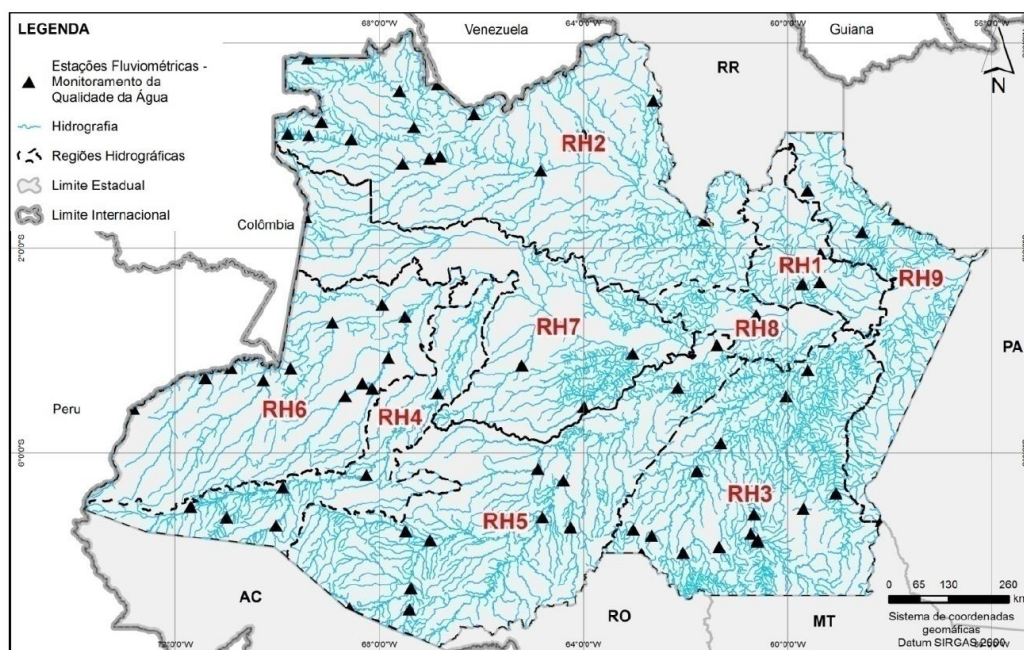


Figura 6 - Mapa com as estações pluviométricas ativas no Estado do Amazonas. Retirado de PERH-AM, 2019.

Ainda segundo o PERH-AM (2019, considerando que o número de estações pluviométricas em operação é de 188, a área de abrangência de cada estação é em média 8.290 km². Entretanto, a Organização Mundial Meteorológica indica que em regiões de planície este número deveria ser, no mínimo, uma estação a cada 575 km² (OMM, 2008). Essa recomendação não condiz sequer com a realidade da RH Manaus, que consiste na RH mais populosa e urbanizada do Estado do Amazonas.

Nas 73 estações ativas no Estado do Amazonas e na cidade de Manaus, são efetuadas medidas *in loco* de alguns parâmetros, sendo eles: pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e temperatura, através de sondas multiparamétricas, entretanto por dificuldades logísticas não são realizadas análises de parâmetros muito importantes para determinação da qualidade da água, como coliformes termotolerantes, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), nitrogênio, fósforo e outros parâmetros. Para melhorar a aquisição de dados, em 2018, o Estado do Amazonas aderiu ao Programa de Estímulo à Divulgação de Dados de Qualidade de Água - QUALIÁGUA, que é um programa de adesão voluntária que incentiva os Estados a alcançar a padronização dos métodos de coleta de amostras, parâmetros verificados, frequência das análises e divulgação dos dados de qualidade da água em escala nacional.

As próximas fases do QUALIÁGUA, é o de analisar os igarapés e rios dos municípios situados na Região Metropolitana de Manaus (RMM), onde serão coletados, até fevereiro de 2021, dados em Manacapuru, Itacoatiara, Itapiranga, Careiro da Várzea, Novo Airão, Presidente Figueiredo, Rio Preto da Eva, São Sebastião do Uatumã, Silves e Urucará, totalizando inicialmente 49

pontos de monitoramento. A meta do programa é realizar a análise em 144 pontos no Amazonas, até o final de 2025. Os dados vão compor a Rede Nacional de Monitoramento da Qualidade da Água (RNQA) e serão armazenados no Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb) da ANA, com acesso público garantido ao cidadão.

Em 2019, foi realizado um trabalho para avaliar a capacidade de assimilação de carga orgânica pelos corpos hídricos no Estado do Amazonas e na cidade de Manaus, com objetivo de determinar a capacidade de assimilação de carga orgânica a partir da relação entre a carga orgânica lançada e a carga orgânica máxima permissível, denominada Indicador de Poluição Orgânica – IPO. As cargas de DBO decorrentes da população urbana foram obtidas a partir do Atlas de Esgoto da ANA (2017) e as cargas de DBO das indústrias foram definidas considerando-se 200 mg DBO/L de efluente industrial, o qual foi considerado como sendo 80% (coeficiente de retorno de esgoto sanitário) da demanda de água para as indústrias, seguindo a metodologia utilizada pela ANA no Plano Estratégico de Recursos Hídricos dos Afluentes da Margem Direita do Rio Amazonas (PERH-MDA). A cidade de Manaus, foco do presente estudo, apresentou vazão de efluente de esgoto de 6,14 m³/s, concentração DBO lançada em 2016 de 258 mg DBO/L, com disponibilidade hídrica de 15.982,2 m³/s e consumo total de água de 16,469 m³/s, sendo classificada pelo estudo como IPO ótimo.

Segundo o Plano Estadual de Recursos Hídricos do Amazonas (SEMA, 2009), a atividade industrial em Manaus, a partir da concessão de incentivos fiscais da Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM) e da Superintendência da Zona Franca de Manaus (SUFRAMA) se fortaleceu na região, fazendo com que o Polo Industrial de Manaus se expandisse e se modernizasse. O Polo Industrial de Manaus conta com os seguintes tipos de atividades industriais e sua proporção: segmento eletroeletrônico (26,85%), bens de informática (21,98%), mecânico, fabricantes de automóveis (14,76%), químico (9,69%), metalúrgico (8,26%), termoplástico (6,68%), entre outras empresas, além de postos de gasolina distribuídos pela cidade. O crescimento da cidade de Manaus é explicado pela implantação da Zona Franca de Manaus, iniciado na década de 1950 e que hoje conta com mais de 600 indústrias e que no ano de 2021, segundo a Agência Brasil, as empresas tiveram um crescimento de 42,27%, entre janeiro a dezembro de 2021 e com faturamento de 116,59 bilhões de reais.

Segundo Freitas (2012) em seu trabalho de definir a localização das indústrias do polo industrial de Manaus, este mostrou que a cidade de Manaus possui 63 bairros e está dividida em 38 Unidades de Estruturação Urbanas – UESs e em dez corredores urbanos. Os locais com

maior quantitativo de empresas operando está localizado nas UESs: Distrito Industrial I, Distrito Industrial II, Corredor Nortesul, Corredor Aleixo e Japiim. A Figura 07 abaixo mostra a localização das principais Unidades Estrutural Urbanas com forte presença de indústrias na cidade de Manaus.

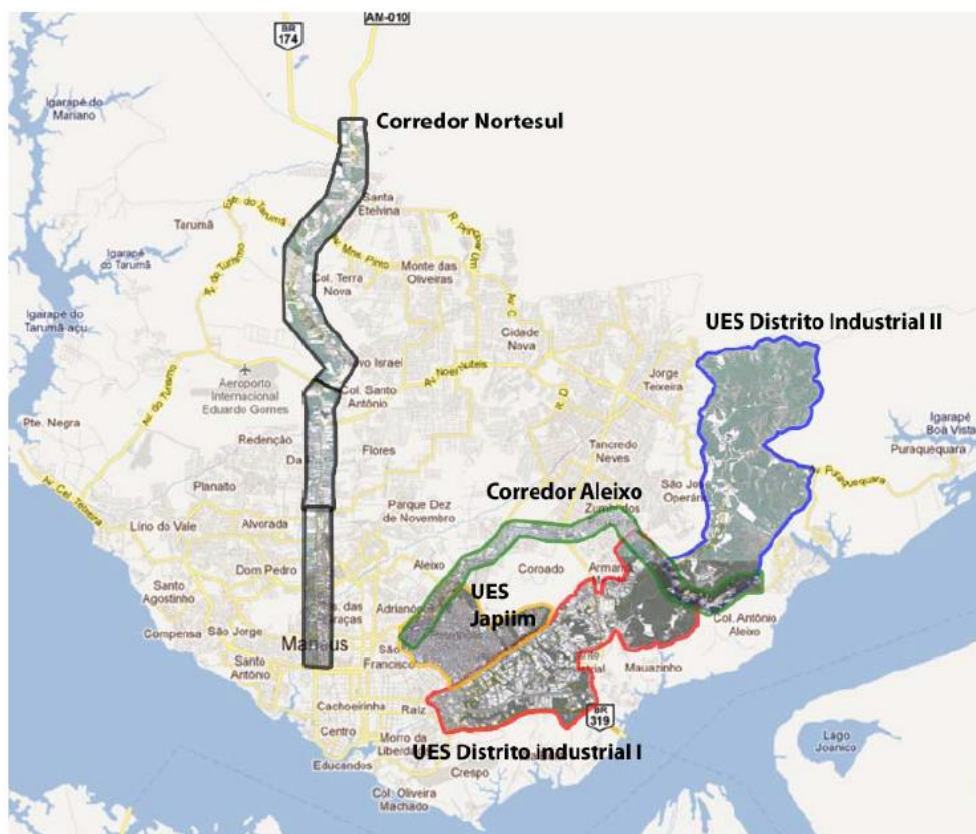
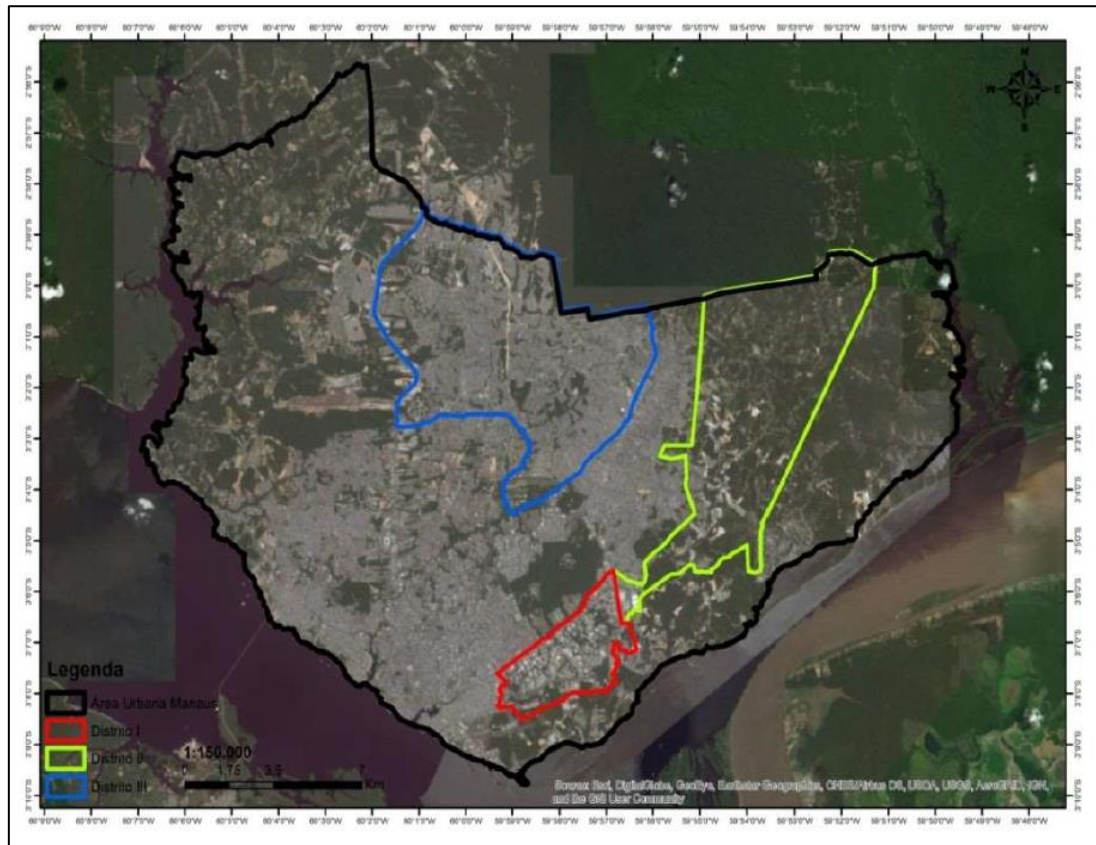


Figura 7 - Localização das principais Unidades Estrutural Urbanas com forte presença de indústrias na cidade de Manaus.

De acordo com Guerreiro (2020), o principal segmento da Zona Franca de Manaus é o de eletroeletrônicos, onde se destacam as seguintes indústrias: TPV, Semp-Toshiba, Philco, Panasonic, Flextronics, Positivo, Samsung, LG, Pioneer, Siemens, Fuji, Foxconn Moebg, Envision e Lenovo (SUFRAMA, 2017a). Outro setor com forte presença no polo industrial é de duas rodas, com as empresas Caloi, CR Zongshen, Prince Bike, Kawasaki, J Toledo da Amazônia, Bramont, Dafra, Moto Traxx, Garinni, Haobao, Harley-Davidson, MTD da Amazônia, Yamaha e Moto Honda (SUFRAMA, 2017a). Entre 2020 e 2022, um total de 84 empresas encerraram as atividades na ZFM, atualmente, a redução do IPI pode ocasionar a saída de mais empresas.

Segundo o SEMA (2019), as demandas hídricas das indústrias a partir de captações subterrâneas e superficiais necessitam de outorgas pelo Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas – IPAAM. As empresas presentes no PIM e Zona Franca de Manaus utilizam nos processos produtivos águas provenientes dos mananciais subterrâneos e superficiais, sendo abastecido através de poços tubulares e os corpos superficiais são utilizados para realizar o lançamento de e diluição de efluentes das indústrias.

Santos (2018), em seu trabalho realizado pelo Programa de Pós-Graduação Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua, intitulado “Proposta de precificação das águas subterrâneas para o uso do Polo Industrial de Manaus (PIM)”, confeccionou um mapa com a distribuição dos poços tubulares nos distritos I, distrito II e III, totalizando uma área de 132,01 km², visto na Figura 08 abaixo.



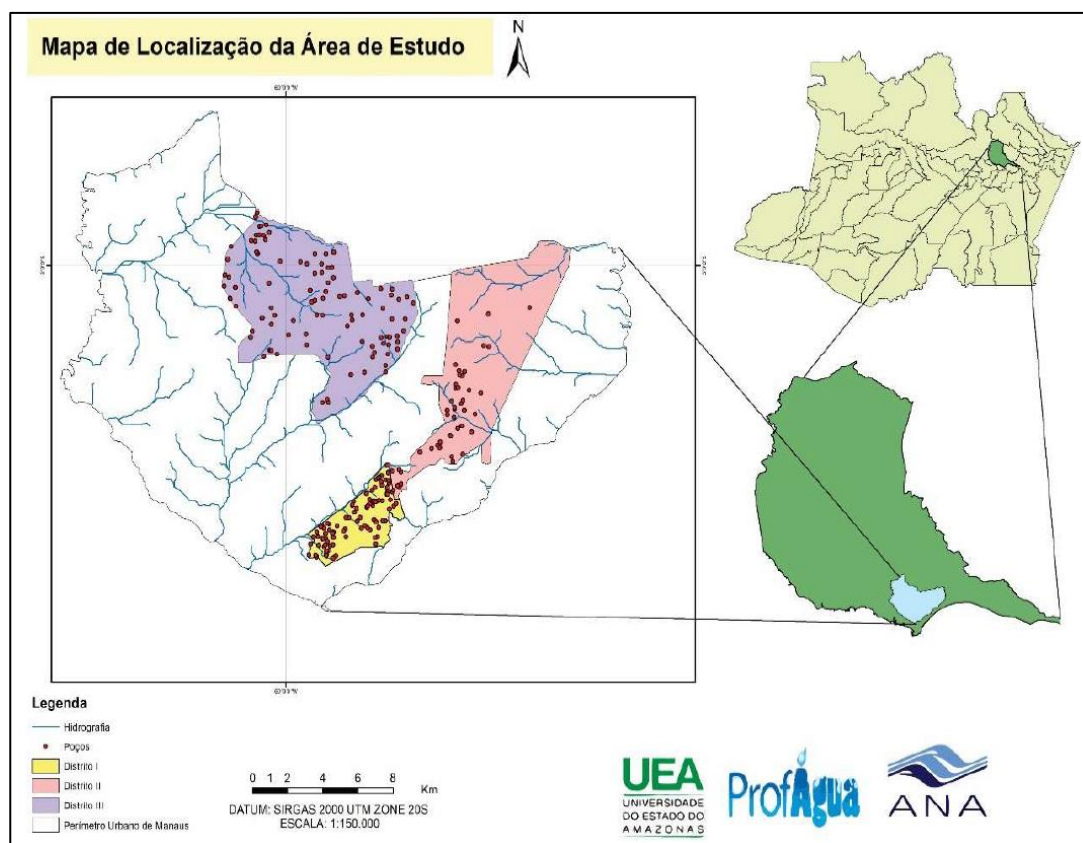


Figura 8 - Mapa da área de Manaus e localização dos poços tubulares do PIM, Distrito I (Amarelo); Distrito II (Rosa) e Distrito III (Roxo). Retirado de Santos (2018).

Atualmente, está sendo executado o levantamento nas bases de dados existentes e com obrigatoriedade de inserção de novas outorgas sobre o uso da água de pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, em todo o país, através do Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos (CNARH-40), instituído pela Resolução ANA nº 317, de 26 de agosto de 2003 (Santos, 2018). Esse programa tem como objetivo mapear a distribuição dos usos múltiplos da água e de seus usuários, incluindo o Polo Industrial de Manaus, tal como, atualizar e complementar dados. A partir dessa gestão dos recursos hídricos pelo cadastro das informações é possível controlar as outorgas, cobranças e otimizar a fiscalização.

Ademais, uma função importante do sistema de cadastro é de suprir a carência de dados qualitativos e quantitativos, citados anteriormente, nos bancos de dados de recursos hídricos do Estado do Amazonas e principalmente da cidade de Manaus. Além disso, para a identificação dos usuários e os tipos de uso da água subterrânea estes são divididos em dois grupos: outorgado e não outorgado e separados posteriormente com a finalidade de uso, podendo ser para abastecimento humano, abastecimento industrial e outros usos (Santos, 2018).

O Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos , atua no fortalecimento e implantação de um sistema de cadastro das áreas contaminadas, tal como, de áreas reabilitadas e em processo de reabilitação, para que sejam identificadas áreas com fontes de contaminação tanto no distrito industrial quanto fora do PIM e que os dados sejam integrados juntamente com o sistema de cadastro nacional que está sendo criado atualmente.

Segundo Saraiva (2017), que ele levou em consideração em seu trabalho de avaliação da sustentabilidade do uso da água do Aquífero Alter do Chão na zona urbana de Manaus, dois cenários possíveis:

- Um cenário otimista, assumiu que entre os anos de 2020 a 2025 assumiu a diminuição do fluxo migratório, a continuidade dos programas de expansão da rede de saneamento básico, desligamento dos poços de abastecimento público com grande vazão e a expansão dos pontos de captação de águas superficiais
- Um cenário pessimista com um afrouxamento nas políticas públicas de expansão da rede de saneamento básico, expansão urbana e demográfica, além de diretrizes para o uso racional do aquífero.

Para as projeções realizadas para 2025 por Saraiva (2017), no cenário otimista o qual considerou um aumento de 10% no uso do recurso hídrico subterrâneo, foi possível identificar um rebaixamento nas zonas norte, leste e central de Manaus e uma área com maior rebaixamento no Bairro do Novo Aleixo e São Jose, que ficam próximo ao Polo Industrial de Manaus. Já no cenário pessimista de uso de 30% do recurso hídrico subterrâneo a área de rebaixamento seria bem mais acentuada o que poderia gerar conflitos para os pequenos usuários, com poços incapazes de produzir água necessária para o sustento de uma residência, o que leva a pensar que seria um fator agravante também para as indústrias do entorno.

Por fim, Saraiva (2017) afirma que é de suma importância a realização de mais estudos para avaliar onde há a ocorrência da inversão de fluxo entre o aquífero e os igarapés na região, esse entendimento é importante para analisar se há o transporte de contaminantes dos cursos hídricos que cortam a cidade de Manaus para o aquífero local e para os poços residenciais, industriais e os poços de abastecimento público.

4.3 A vulnerabilidade do Aquífero Alter do Chão e a dinâmica atual dos usos e fluxo da água subterrânea na cidade de Manaus.

A cidade de Manaus está assentada sobre rochas sedimentares intemperizadas, de idade cretácea, da Formação Alter do Chão (FAC). A Formação Alter do Chão se distribuiu em uma vasta região na Bacia do Amazonas, e é composta por arenitos avermelhados silicificados com granulação fina a média, intercalados com níveis argilosos e caulíníticos e arenitos inconsolidados. Essas rochas apresentam estruturas sedimentares, tais como, estratificações tabulares, cruzadas e plano-paralelas e, como conteúdo fossilífero, fragmentos vegetais e indícios de manifestação biológica. Esta unidade sedimentar, unidade basal do Grupo Javari, representa a sedimentação flúvio-lacustre da Bacia Sedimentar do Amazonas (CAPUTO et al. 1972; CUNHA et al., 1994). Para os autores a fácies mais conhecida da Formação Alter do Chão é composta por arenitos, chamada localmente de “Arenito Manaus” e que também compõe a formação juntamente com fácies sedimentares argilosas e arenoargilosa (Aguilar, 2002).

O Aquífero Alter do Chão (AAC) é composto pela porção saturada em água da FAC, abrange parte dos estados do Amazonas e do Pará e se estende nas bacias sedimentares do Solimões e do Amazonas, compreendendo um sistema hidrogeológico com propriedades de

aquífero livre inserido na Região Hidrográfica do Amazonas (ANA, 2005). No geral, o AAC apresenta espessura média de 200 m, dos quais 175 m encontram-se saturados, e uma reserva permanente estimada na ordem de 14,4 km³ (Aguiar, 2012). Como O AAC possui conexão hidráulica lateralmente entre as bacias do Marajó, Amazonas, Solimões e Acre, sub-andinas, Abreu et al (2013) propõem a existência de um grande sistema aquífero chamado Sistema Aquífero Grande Amazônia (SAGA) que se estende lateralmente e abrange diversos aquíferos.

Segundo Saraiva (2017), que ele levou em consideração em seu trabalho de avaliação da sustentabilidade do uso da água do Aquífero Alter do Chão na zona urbana de Manaus, dois cenários possíveis:

- Um cenário otimista, assumiu que entre os anos de 2020 a 2025 assumiu a diminuição do fluxo migratório, a continuidade dos programas de expansão da rede de saneamento básico, desligamento dos poços de abastecimento público com grande vazão e a expansão dos pontos de captação de águas superficiais
- Um cenário pessimista com um afrouxamento nas políticas públicas de expansão da rede de saneamento básico, expansão urbana e demográfica, além de diretrizes para o uso racional do aquífero.

Para as projeções realizadas para 2025 por Saraiva (2017), no cenário otimista o qual considerou um aumento de 10% no uso do recurso hídrico subterrâneo, foi possível identificar um rebaixamento nas zonas norte, leste e central de Manaus e uma área com maior rebaixamento no Bairro do Novo Aleixo e São Jose, que ficam próximo ao Polo Industrial de Manaus. Já no cenário pessimista de uso de 30% do recurso hídrico subterrâneo a área de rebaixamento seria bem mais acentuada o que poderia gerar conflitos para os pequenos usuários, com poços incapazes de produzir água necessária para o sustento de uma residência, o que leva a pensar que seria um fator agravante também para as indústrias do entorno.

Por fim, Saraiva (2017) afirma que é de suma importância a realização de mais estudos para avaliar onde há a ocorrência da inversão de fluxo entre o aquífero e os igarapés na região, esse entendimento é importante para analisar se há o transporte de contaminantes dos cursos hídricos que cortam a cidade de Manaus para o aquífero local e para os poços residenciais, industriais e os poços de abastecimento público.

O fluxo principal das águas exibe direção de nordeste para sudoeste. Os fluxos secundários, de direções diversas, são gerados principalmente pelo rebaixamento provocado pelos igarapés do Quarenta, Mindu e Bolívia, associados à baixa transmissividade e exploração elevada nas imediações dessas drenagens (Miranda, 2017). Ainda segundo Saraiva (2017) nas porções onde o fluxo regional apresenta direção de nordeste para sudoeste e com concentração de fluxo, esta região apresenta valores baixos de coluna hidrostática, gerando um nível potenciométrico

também baixo. Adicionalmente, a região sul de Manaus possui níveis de água menos profundos, mesmo com uma grande densidade populacional em alguns locais, incluindo toda a orla da Ponta Negra, causado principalmente pelo abastecimento do aquífero pelo Rio Amazonas.

Soares, E.A.A., Wahnfried, I. e Dino, R. (2016), descreveram o Aquífero Alter do Chão o qual apresenta uma espessura saturada de aproximadamente 160 m e com profundidade do nível d'água de aproximadamente 30 m. A direção local de fluxo de água ocorre de nordeste para sudoeste (BRASIL, 2012). A transmissividade média definida para a área da cidade é de 4,68 m²/h, condutividade hidráulica média de 0,288 m/h, porosidade efetiva de 18% e velocidade linear média em torno de 0,000828 m/h (BRASIL, 2012). A Figura 09 abaixo mostra a seção geológica entre Manaus e Itacoatiara, com as relações geométricas entre as litologias ao longo do perfil.

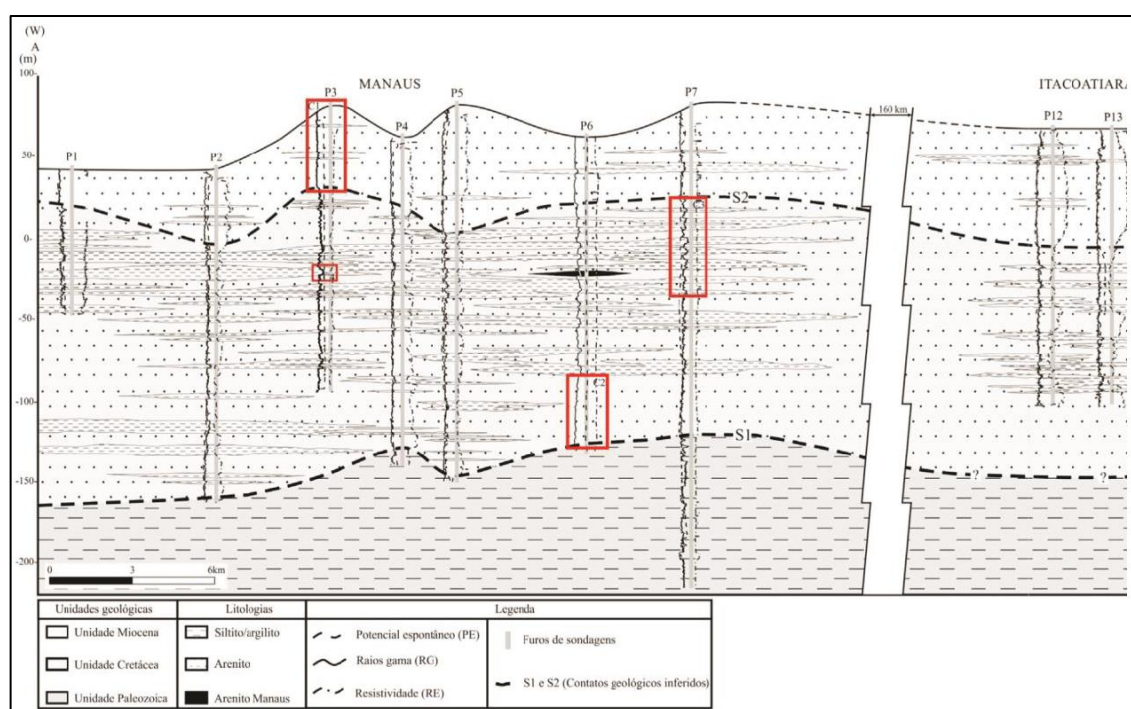


Figura 9 - Seção Geológica entre Manaus e Itacoatiara com as relações geométricas entre as litologias ao longo do perfil. Retirado de (SOARES; WAHNFRIED; DINO, 2016).

As águas do Aquífero Alter do Chão pouco mineralizadas, com concentração de sólidos totais dissolvidos oscilando entre 10 a 20 mg/L e pH variando de 4,5 a 5,5. Predominam os tipos sulfatada-cloretada potássica e cloretada-sódica (AGUIAR, 2002). Esses dados refletem infiltração rápida e ambiente de circulação quimicamente pobre (AGUIAR, 2012).

Em seu trabalho de caracterização da vulnerabilidade intrínseca do aquífero Alter do Chão na cidade de Manaus, Miranda (2017) explica o conceito de vulnerabilidade que é derivado a partir do princípio que o ambiente físico apresenta certo grau de proteção às águas

subterrâneas contra ações naturais e antrópicas, e principalmente com relação aos poluentes que adentram o subsolo. Segundo Abdullahi (2009), a vulnerabilidade do aquífero está relacionada com o tempo de percolação da água que chega pela superfície e se direciona a água subterrânea e durante esse processo com probabilidade de atenuação dos contaminantes por infiltração nos estratos geológicos, podendo alcançar o aquífero.

Miranda (2017) descreve as variáveis necessárias para a execução da avaliação da vulnerabilidade das águas subterrâneas a partir do estudo de (Focazio et al., 2002), considerando as propriedades do solo, as variáveis de recarga, a topografia do terreno em alguns casos, nível freático, litologia, condutividade hidráulica e espessura da zona não saturada, visto que este último é essencial para caracterizar a zona não saturada da camada saturada, visto que as características físico-químicas podem acentuar ou não o tempo de percolação de um tipo de contaminante e propriedades físicas podem reduzir a taxa de infiltração vertical da água.

O método para a avaliação da vulnerabilidade intrínseca adotado por Miranda (2017) foi o do tipo DRASTIC, que foi desenvolvido por Aller et al. (1987) através da Agência de Proteção Ambiental Estadunidense (Environmental Protection Agency – EPA), abrangendo em seus cálculos ponderados, grande parte dos parâmetros hidráulicos do aquífero, o qual o método considera a soma ponderada de sete valores relacionados a fatores hidrogeológicos, listados abaixo:

- Profundidade da zona não saturada do solo (D);
- Recarga do aquífero (R);
- Material do aquífero (A);
- Tipo de solo (S);
- Topografia ou declividade do terreno (T);
- Influência da zona não saturada (I);
- Condutividade hidráulica do aquífero (C).

Destaca-se do trabalho de Miranda (2017) a utilização de dados dos sete poços instalados e distribuídos na cidade de Manaus feitos pelo Projeto de Rede de Monitoramento de Águas Subterrâneas – RIMAS do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), que conta com sete poços instalados e distribuídos na cidade de Manaus dos quais seis foram construídos especificamente para monitoramento do Aquífero Alter do Chão (AAC), e um poço foi cedido pela empresa de abastecimento público de água da cidade. O objetivo dos poços são de

monitorar quanti-qualitativamente o nível estático e registro de medidas de hora em hora através de transdutor de pressão com checagem de campo e com amostragem anual para caracterização da qualidade da água. A Figura 10 abaixo mostra a localização dos poços do projeto RIMAS em Manaus.

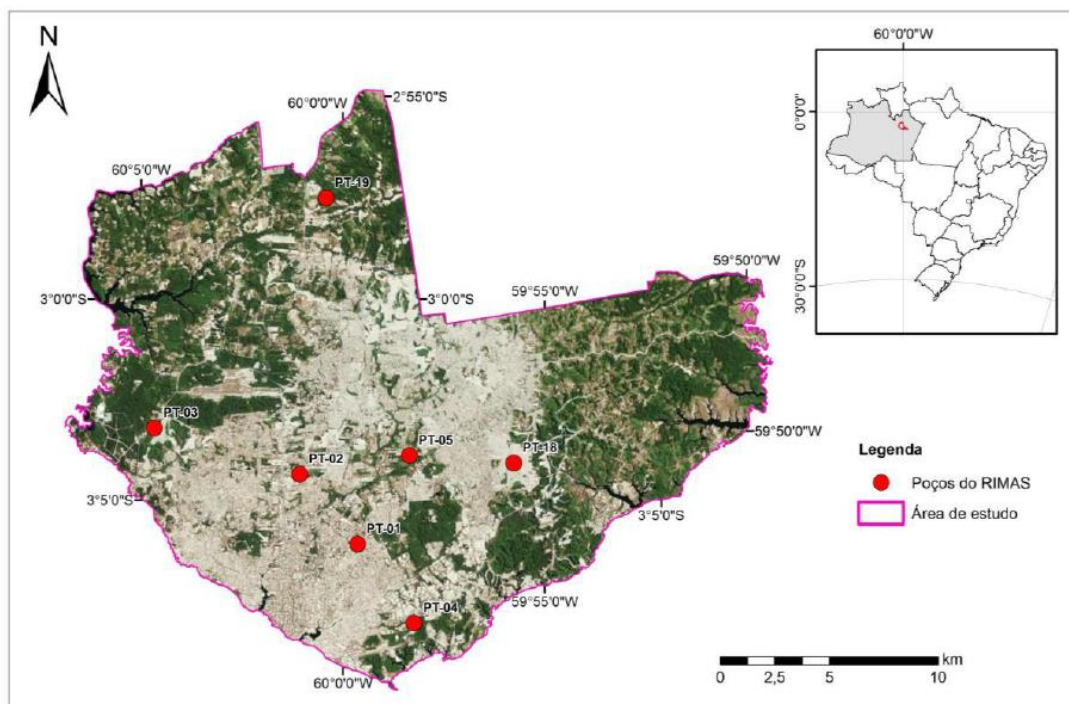


Figura 10 - Localização dos pontos de checagem do nível estático em campo e amostragem de água - Projeto RIMAS. Extraído de Miranda (2017).

O resultado encontrado por Miranda (2017) foi da predominância de níveis entre 15,2 e 22,9 m distribuídos por toda a área que sugere um índice intermediário de vulnerabilidade e na porção do extremo norte e nordeste ocorrem porções onde o nível d'água é mais raso, com valores abaixo de 15,2 m, o que sugere índice mais alto de vulnerabilidade. Para os locais com nível de água mais profundos estes foram interpretados como locais onde ocorre maior extração de água subterrânea por utilização de poços tubulares, e as áreas com níveis mais rasos podendo estar associadas a regiões próximas a drenagens. Observou-se que a área urbana de Manaus apresenta predomínio de taxas de recarga médias a altas com valores superiores a 153,45 mm/ano.

Ademais, Miranda (2017) classificou áreas com vulnerabilidade muito baixa em 1,28%, com vulnerabilidade baixa (40,01%), áreas com vulnerabilidade moderada a leve (57,36%), vulnerabilidade moderada (1,34%) e 0,01% como de vulnerabilidade alta. Sendo os bairros em áreas de vulnerabilidade alta os bairros Tarumã-Açu e Lago Azul, os bairros Aleixo, Parque 10 de novembro (abrangendo o Parque Ecológico do Mindu), Tarumã-Açu, Lago Azul e no extremo sul do bairro São Jorge, como vulnerabilidade moderada e que a área indicada como vulnerabilidade moderada no bairro Lago Azul é coincidente com o Aterro Sanitário de Manaus. E por fim, as áreas com vulnerabilidade baixa ocorrem nos bairros Distrito Industrial

I, Mauzinho, Vila Buriti e Colônia Antônio Aleixo, porém como reportado por Miranda (2017) o resultado desse último pode estar subestimado devido à ausência de dados de extração de água por poços particulares, sendo necessários novos estudos para as áreas (Figura 11).

Dessa forma, Miranda (2017) em seu mapa de vulnerabilidade apresenta uma escala regional com dados disponíveis até 2015, o que ficou recomendado em seu trabalho a implantação de projetos de uso e ocupação do solo a partir de estudos em escala de maior detalhe, adequados ao tipo de empreendimento, com identificação de fontes de contaminação mapeadas e a juntamente com as leis vigentes.

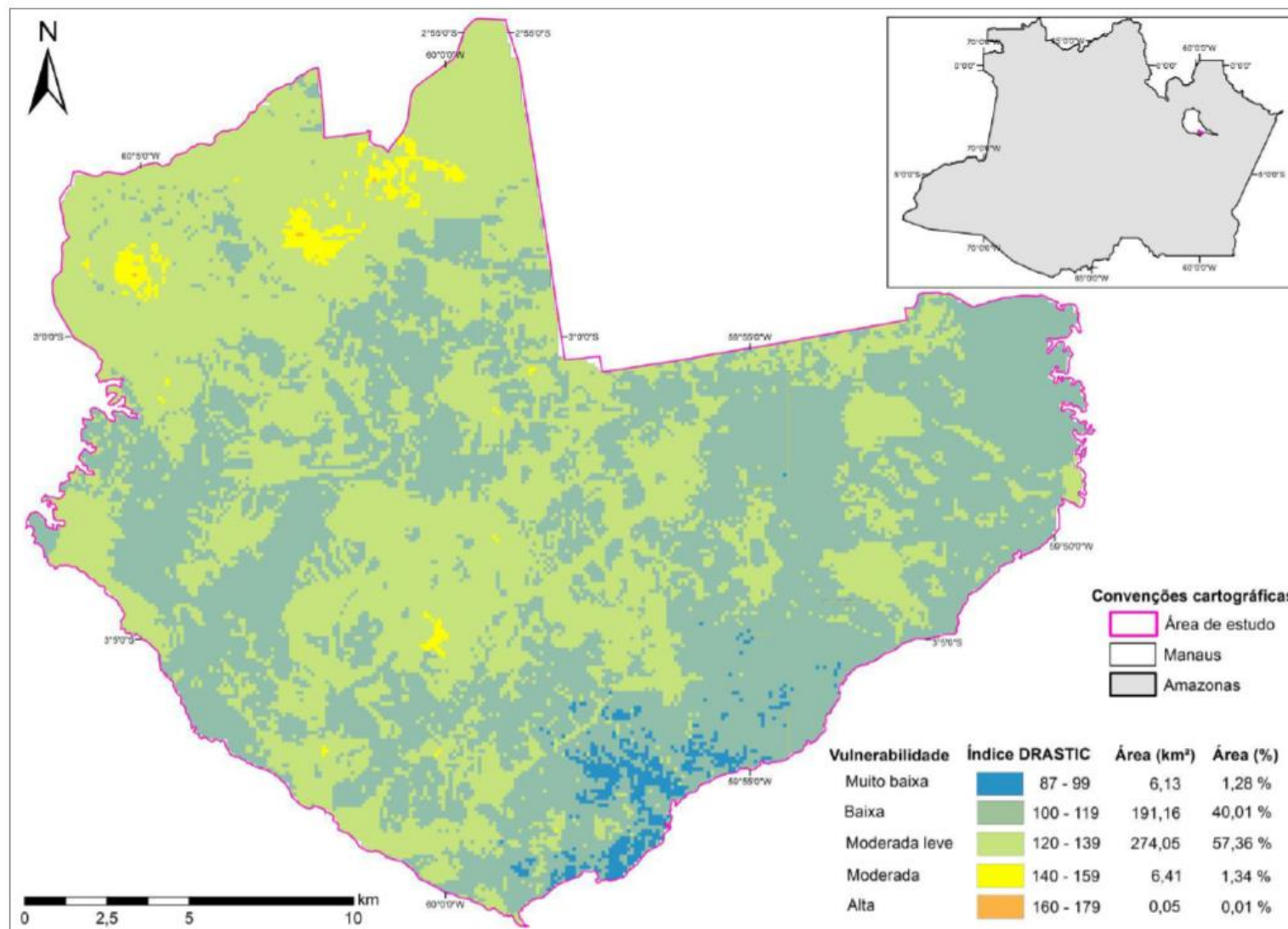


Figura 11 - Mapa da vulnerabilidade intrínseca de Manaus classificada pelo método DRASTIC. Extraído de Miranda (2017).

4.4 As diretrizes Municipais na cidade de Manaus para o atendimento ao gerenciamento de áreas contaminadas.

Em 2009 foram reformuladas as diretrizes da Política Estadual de Recursos Hídricos e do Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos, a partir do Decreto Nº 28.678, de 16 de Junho de 2009, o qual o Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas – IPAAM se tornou responsável por atender as atribuições de fiscalização e licenciamento das fontes potenciais de contaminação no Estado, além do cadastro, monitoramento, a outorga, a avaliação dos recursos hídricos e pesquisa das águas superficiais e subterrâneas, e por fim garantir o conhecimento do comportamento hidrológico dos mananciais e aspectos hidrogeológicos dos aquíferos, ao controle e à fiscalização da extração.

O Decreto Nº 28.678, de 16 de junho de 2009, seção I e artigo 7 determina que, para o estabelecimento das áreas de proteção ou perímetros de proteção dos recursos hídricos, onde ocorra a captação de água através de poços ou fontes e nascentes naturais, é necessária a proteção da qualidade das águas e o estabelecimento dos limites dos quais deverá haver restrições de ocupação e do uso do recurso hídrico. Ainda no decreto, em seu artigo 9, são descritas as etapas que deverão ser seguidas para a caracterização das áreas de proteção, destacando para o presente trabalho a caracterização físico-químicas, químicas e sanitárias das águas, caracterização do uso do solo e das águas, com identificação das principais fontes de contaminação, da análise das possibilidades de contaminação das fontes e seu grau de vulnerabilidade aos agentes poluentes e a identificação de medidas corretivas ou preventivas com estabelecimento de um plano de controle.

Ainda segundo o decreto mencionado, este classifica os tipos de áreas de proteção, sendo elas: (1) Área de Proteção Máxima – Áreas com zonas de recarga de aquífero muito vulnerável à contaminação e que tenham grande relevância para o abastecimento público; (2) Área de Restrição e Controle – áreas que necessitam de controle máximo das fontes poluidoras já implantadas e restrição a novas atividades potencialmente poluidoras e (3) Área de Proteção de Poços.

O Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas (IPAAM) é o órgão executivo do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Amazonas (SEMA, 2019) e que realiza o licenciamento e fiscalização das fontes de contaminação, consequentemente, o monitoramento dos passivos ambientais presentes no Estado e implantação de um Programa de Gerenciamento de Áreas Contaminadas no Estado. Além disso, é responsável por realizar as emissões de licenças de operação (L.O) para diversas atividades, dentre elas as atividades industriais e é responsável pelas emissões e renovações de licenças ambientais para as demais atividades. O órgão atende às seguintes resoluções no que diz respeito ao gerenciamento de áreas contaminadas e ao controle de passivos ambientais:

- **Resolução CONAMA 420/2009:** Estabelece 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. O anexo II da resolução, detalha a lista de valores orientadores para solos e para águas subterrâneas.

- **Resolução CONAMA nº 430/2005:** Esta resolução dispõe sobre as condições de padrões de lançamento de efluente e complementa e altera a Resolução nº 357/2005. Determina que o potencial poluidor realize o monitoramento dos efluentes oriundos da possível contaminação causada, a partir de análises físico-químicas feitas em laboratórios licenciado e cadastrado no IPAAM e reconhecido pelas legislações vigentes, tal como do envio dos laudos originais ou cópia autenticadas dos resultados, com assinatura do técnico responsável pela análise.
- **Resolução CONAMA nº 357/2005:** Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para os corpos de água superficiais, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes.
- **Resolução CONAMA nº 362/2005:** Estabelece que todo óleo lubrificante seja recolhido, coletado e tenha destinação final de modo que não prejudique negativamente o meio ambiente.
- **Resolução CONAMA nº 382/2006:** Realização de monitoramento das emissões atmosféricas oriundas da atividade produtiva da empresa, por meio de laboratório cadastrado e licenciado pelo IPAAM, devendo os resultados analíticos serem encaminhados ao IPAAM, atendendo os padrões de qualidade detalhados na resolução CONAMA nº 382/2006.
- **Resolução CONAMA nº 436/2011:** Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas instaladas antes de 2 de janeiro de 2007 ou que solicitaram Licença de Instalação (LI) anteriormente a essa data. Destacam-se os seguintes poluentes descritos na resolução: Gás natural, cana-de-açúcar, fusão secundária de chumbo, processos de fabricação de celulose, processos de refinaria de petróleo, turbinas a gás para geração de energia elétrica, processos da indústria de alumínio primário, produção de fertilizantes, ácido sulfúrico, ácido nítrico e ácido fosfórico, entre outros.

Segundo a Resolução nº 436/2011, as fontes emissoras de poluentes atmosféricos devem contar com a infraestrutura necessária para determinação direta de poluentes em dutos e chaminés, de acordo com metodologia normatizada ou equivalente aceita pelo órgão ambiental licenciador.

O Código Ambiental emitido pela Prefeitura Municipal de Manaus, Lei Nº 605 de 2001, que atualmente está em revisão e a atualização, tem como objetivo descrito em seu Art. 3º destacam-se os seguintes itens: “*II - articular e integrar as ações e atividades ambientais pelos diferentes órgãos federais e estaduais, quando necessário*”, “*XI – definir as áreas prioritárias da ação municipal, relativas a questão ambiental, atendendo aos interesses da coletividade*” e “*XII – propugnar pela regeneração de áreas degradadas e pela recuperação dos mananciais hídricos do município*”. Logo, fica evidente a importância do município como agente articulador e fomentador de políticas públicas para a cidade de Manaus e sua responsabilidade,

junto aos demais órgãos ambientais da área de estudo, com relação ao gerenciamento de áreas contaminadas local.

Em 2016, foram aprovados duas Resoluções junto ao Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH/AM). As Resoluções 01 e 02 de 19/07/16, que estabelece critérios técnicos a serem utilizados pelo IPAAM para o processo de análise de pedido de outorga do direito de uso de recursos hídricos de domínio do Estado do Amazonas. Outro marco importante para a gestão estadual é o Plano Estadual de Recursos Hídricos do Amazonas que encontra-se aprovado e publicado no DOE em 10 de julho de 2020.

Em entrevista com o Gerente de Recursos Hídricos do IPAAM, Sr Sérgio Martins D'Oliveira realizada no dia 23/02/2022, este relatou que não é aplicado no Estado do Amazonas, segundo o Capítulo II – Art. 8 da Resolução CONAMA 420, a comparação de dados analíticos em comparação com valores orientadores (VRQs) do solo para substâncias químicas de interesse. Além disso, não há uma base de dados criada pelo Estado do Amazonas com os dados coletados nas amostragens, das determinações analíticas, VRQs tabelados e não existe atualmente um programa de gerenciamento de áreas contaminadas específico para as condições ambientais para cidade de Manaus. Segundo D'Oliveira, atualmente o IPAAM segue os valores orientadores presentes na Resolução CONAMA 420/2009 para solo e água subterrânea e especifica em seus relatórios as condições físico-químicas específicas já estudadas para região, além disso o entrevistado relatou sobre a necessidade da criação de um sistema de base de dados que reúna o mapeamento de áreas potencialmente contaminadas na cidade de Manaus contendo os registros e cadastros das substâncias químicas de interesse e o mapeamento das plumas de contaminação.

Outro ponto levantado durante a entrevista foi com relação ao atendimento da Resolução CONAMA nº 273 de 2000, que diz respeito ao licenciamento ambiental pelos órgãos competentes para as instalações e sistemas de armazenamento de derivados de petróleo e outros combustíveis, emissão de plano de encerramento de atividades no caso de desativação e investigação da contaminação. Neste sentido o entrevistado relatou que até o ano de 2014 o licenciamento dos postos de combustíveis era de competência do IPAAM, órgão Estadual, porém atualmente é de responsabilidade da Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Sustentabilidade – SEMMAS, o controle e fiscalização do licenciamento ambiental dos postos de combustíveis. Em junho de 2021 foi realizada uma reunião entre a Prefeitura de Manaus, empresários e demais representantes de postos localizados na cidade de Manaus, para orientar os donos de postos de combustíveis de como realizar o passo-a-passo do pedido de licenciamento ambiental de seus estabelecimentos, atendendo o código ambiental do município.

Cabe ao IPAAM a implementação do cadastro dos usuários, o licenciamento, a fiscalização, o monitoramento, a outorga e a pesquisa das águas superficiais e subterrâneas, nos seus diversos usos e acompanhamento de suas interações com o ciclo hidrológico e cobrança pelo uso da água no Estado de Amazonas. A Lei nº. 3.167/07 atribuiu outras competências, conforme explicita o art. 63:

- (I) Outorgar e suspender o direito do uso de água, mediante procedimentos próprios e vigência vinculada à publicação do ato no Diário Oficial do Estado;
- (II) Estabelecer, com base em proposição dos Comitês de Bacia Hidrográfica, as derivações, captações e lançamentos considerados insignificantes;
- (III) Aplicar penalidades por infrações previstas nesta Lei, em seu regulamento e nas normas deles decorrentes, inclusive as originárias de representação formal, subscritas por unidades executivas descentralizadas;
- (IV) Exercer o poder de polícia administrativa no tocante às águas sob sua responsabilidade;
- (V) Validar licenças ambientais para captação de água potável obtida de poços tubulares, expedidas anteriormente à vigência desta Lei, sujeito o licenciado às normas e condições necessárias à continuidade do uso da água;
- (VI) Promover estudos visando à elaboração de inventários de necessidade de água, características do meio hidrográfico do Estado, evolução da qualidade da água e pesquisa de inovações tecnológicas;
- (VII) Implantar, operar e manter estações medidoras de dados hidrometeorológicos, em acordo com critérios definidos nos Planos de Bacia Hidrográfica ou no Plano Estadual de Recursos Hídricos;
- (VIII) Controlar, proteger e recuperar os recursos hídricos nas bacias hidrográficas do Estado;
- (IX) Fazer cumprir as disposições legais relativas à utilização, ao desenvolvimento e à conservação dos recursos hídricos do Estado;
- (X) Exercer o controle do uso da água, bem como proceder à correção de atividades degradantes dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos do Estado;
- (XI) Empreender diretamente estudos recomendados pelos Planos Estaduais Hídricos, ou confiá-los a organismos especializados;
- (XII) Desenvolver estudos envolvendo o uso e a preservação da água, considerando os aspectos físico, socioeconômico, ambiental e jurídico, para aprimorar o conhecimento do setor no âmbito do Estado;
- (XIII) Implantar e operacionalizar o sistema de cobrança pelo uso da água;
- (XIV) Acompanhar e cadastrar a execução de obras previstas nos planos de usos múltiplos de águas, levadas a efeito no território estadual;
- (XV) Promover o embargo às intervenções levadas a efeito nas bacias hidrográficas, julgadas incompatíveis com a Política Estadual de Recursos Hídricos ou com o uso racional da água;
- (XVI) Assessorar os Comitês de Bacia Hidrográfica, na busca de soluções para seus problemas específicos;

(XVII) Manter balanço atualizado da disponibilidade de recursos hídricos no Estado;

(XVIII) Analisar e emitir parecer sobre os projetos e obras a serem financiadas com recursos gerados pela cobrança do uso de recursos hídricos, dentro do limite previsto para este fim, disponível na subconta correspondente, e encaminhá-los à instituição financeira responsável pela administração desses recursos;

(XIX) Promover o cadastramento, a avaliação e a classificação dos usos insignificantes, de acordo com os parâmetros estabelecidos em Regulamento e

(XX) Autorizar, previamente, a captação de água para fins de distribuição por caminhões ou carros-pipa, com natureza comercial ou não, com exigência de encaminhamento trimestral, pelos responsáveis, dos resultados de análises físico-química e biológica, sem prejuízo de outros tipos de análise tido por necessárias, no resguardo do interesse público.

Ademais, quando não forem definidos parâmetros de classificações e quanto aos enquadramentos de corpos de água de domínio estadual, são utilizados o disposto das seguintes resoluções:

I - Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) n° 357, de 17 de março de 2005;

II - Resolução CONAMA n° 396, de 03 de abril de 2008;

III - Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) n° 91, de 05 de novembro de 2008;

IV - Resolução CONAMA n° 430, de 13 de maio de 2011 e;

V - Resolução CNRH n° 15, de 11 de janeiro de 2001.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De modo geral, o Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas (IPAAM) é o órgão executivo do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Amazonas (SEMA, 2019) e que realiza o licenciamento e fiscalização das fontes de contaminação, consequentemente, o monitoramento dos passivos ambientais presentes no Estado e também é responsável pela implantação de um Programa de Gerenciamento de Áreas Contaminadas no Estado. O órgão atende a Resolução CONAMA Nº 420/2009, porém a partir do relato do Gerente de Recursos Hídricos do IPAAM, Sr Sérgio Martins D'Oliveira realizada no dia 23/02/2022, este disse que não é realizada comparação dos resultados analíticos com os valores orientadores do solo e água subterrânea para substâncias químicas de interesse. Além disso, não há uma base de dados criada pelo Estado do Amazonas com os dados coletados nas amostragens, das determinações analíticas, VRQs tabelados e não existe atualmente um programa de gerenciamento de áreas contaminadas específico para as condições ambientais para cidade de Manaus.

De acordo com as considerações e estudos aqui apresentados, é notável que os órgãos municipais e Estaduais da cidade de Manaus necessitam de legislações e ações específicas de acordo com as condições ambientais, geológicas e hidrogeológicas locais no que diz respeito ao Gerenciamento de Áreas Contaminadas. Desse modo, será detalhado a seguir uma proposta de ações prioritárias e sequenciais que o IPAAM pode adotar como forma de iniciar o processo de Gerenciamento de Áreas Contaminadas na cidade de Manaus, objeto de estudo do presente trabalho.

1) Criação de uma diretriz única, elaborada em cooperação entre Estado e município, de legislação específica para o Gerenciamento de Áreas contaminadas na cidade de Manaus, que contenha os VRQs específicos pra região, tanto pra solo quanto pra água subterrânea e que contemple o gerenciamento de áreas contaminadas em postos de gasolina, indústrias e demais fontes poluidoras, atendendo assim a Resolução CONAMA 420/2009, que visa a criação de um programa de GAC eficiente e robusto. Essa diretriz deve conter a exigência aos responsáveis legais, de estudos hidrogeológicos, tal como do mapeamento das plumas de contaminação e atualização dos modelos conceituais e identificação das fontes de contaminação. Como modelo o órgão ambiental local pode utilizar a Decisão de Diretoria Nº 038/2017/C, de 07 de fevereiro de 2017 emitido pela Cetesb e da Instrução Técnica 039 (atualizada em 2019) também emitida pela Cetesb (SP), esses documentos mostram com detalhes o passo-a-passo das etapas

executadas durante o Gerenciamento de Áreas Contaminadas e que podem servir de exemplo para os órgãos ambientais da cidade de Manaus.

2) Criação de sistema de banco de dados integrado e com dados públicos, onde sejam cadastradas as empresas com fontes de contaminação a partir das etapas destacadas no fluxograma a seguir. Esse sistema de banco de dados visa um controle efetivo do Estado do monitoramento das fontes contaminantes de solo e água subterrânea e atualização das informações em um único sistema pertencente ao programa de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da cidade de Manaus. O objetivo desse sistema de banco de dados é de armazenar as informações coletadas durante o processo de identificação e reabilitação de áreas contaminadas, além de possibilitar o compartilhamento das informações obtidas com os órgãos públicos, a sociedade civil, os diversos setores da cadeia produtiva local e regional, apoiando assim o gerenciamento de áreas contaminadas.

O IPAAM, órgão responsável pelo gerenciamento dos passivos ambientais e áreas contaminadas na cidade de Manaus, poderia criar um sistema de informações integrado contendo a relação das áreas contaminadas identificadas e iniciando o cadastro das informações a partir das licenças ambientais cadastradas em seu site e que apresenta informações da empresa, fonte poluidora, atividades industriais e possíveis contaminantes, tal como do georreferenciamento dos responsáveis legais pelos passivos ambientais. Atualmente o IPAAM não possui um sistema de registro das fontes potenciais de poluição licenciadas no Estado, apenas do registro das licenças de operação, da renovação das licenças emitidas e das exigências do órgão perante a empresa para atender as condicionantes ambientais.

Segundo D'Oliveira, Gerente de Recursos Hídricos do IPAAM entrevistado no dia 23 de fevereiro de 2022, atualmente no Amazonas não existe um sistema de banco de dados focado para o Gerenciamento de Áreas Contaminadas o que prejudica o controle e monitoramento por parte dos órgãos ambientais neste tema, para D'Oliveira a criação do sistema de banco de dados deve ser vista como prioridade. Visto isso, é necessária e urgente a criação de um sistema de base de dados que reúna as informações de áreas potencialmente contaminadas na cidade de Manaus contendo os registros e cadastros das substâncias químicas de interesse, atividades industriais desenvolvidas e atualização das informações no sistema.

3) Mapeamento das atividades industriais presentes no Distrito Industrial e cruzamento das informações a partir do mapeamento segundo a identificação de fontes de contaminação

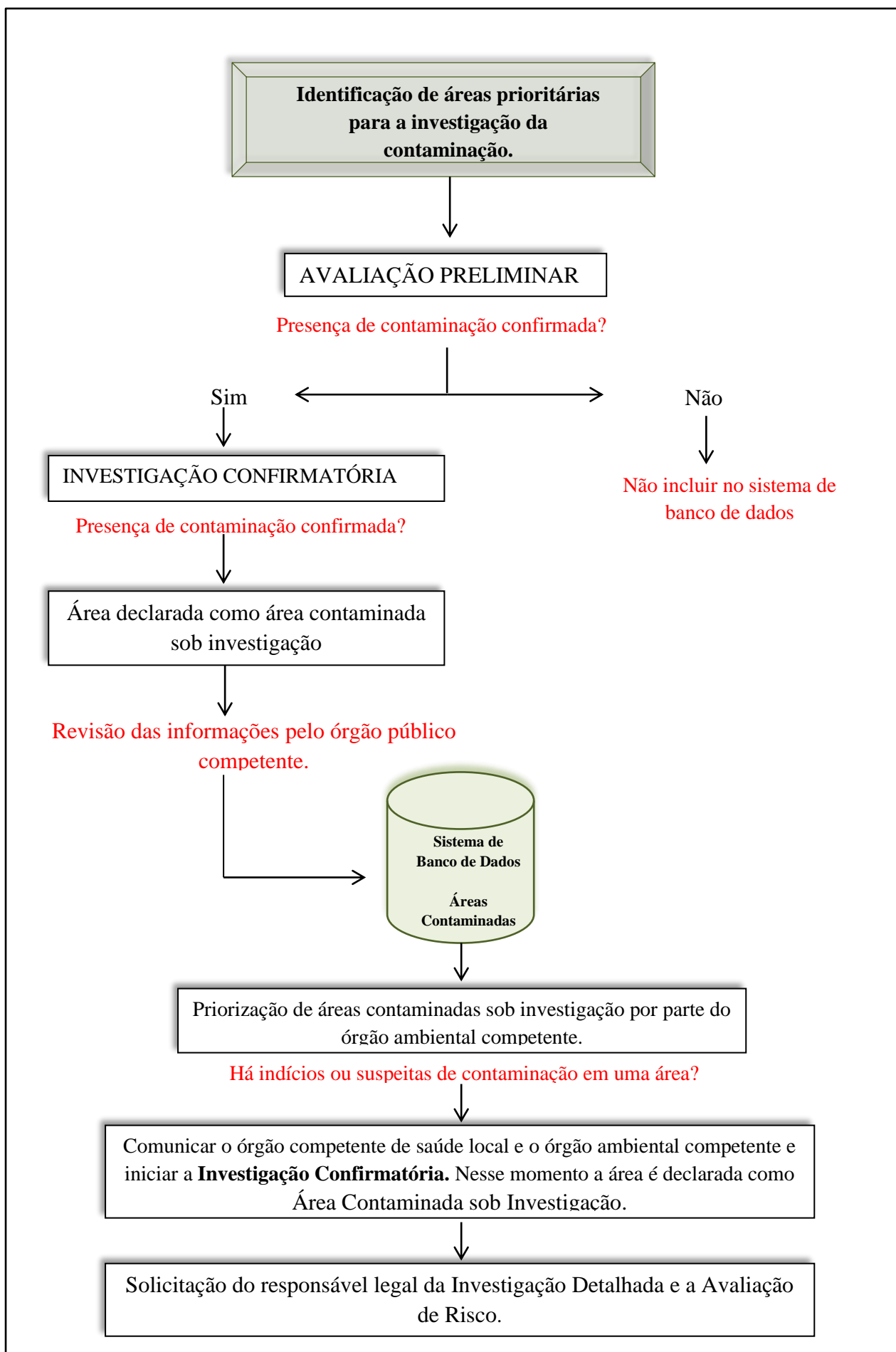
presente nestas empresas com a Resolução SMA-10, detalhada no item 4.1 do presente trabalho, classificação das áreas com potencial de contaminação (AP) e posteriormente os responsáveis legais de tais áreas deverão realizar a Avaliação Preliminar destinada à identificação de indícios ou suspeitas de contaminação caso demandados pelo órgão regulador.

4) Com relação aos poços de captação de água subterrânea, seria necessário identificar aqueles poços que pertencem ao Distrito Industrial, realizar a identificação das substâncias químicas de interesse (SQI) e propor a inclusão de outras SQIs que sejam relevantes para a avaliação da qualidade da água subterrânea captada para abastecimento nestes locais e considerar nas diretrizes criadas no programa de Gerenciamento de Áreas Contaminadas o monitoramento semestral dos poços.

5) O fluxograma abaixo mostra o passo-a-passo que os órgãos ambientais competentes da cidade de Manaus podem seguir para iniciar o programa de Gerenciamento de Áreas Contaminadas. Visto que a criação da legislação única para atendimento do GAC e a criação do sistema de banco de dados deveriam ser entendidas como ações prioritárias.

O quadro a seguir, mostra as legislações e fluxograma que poderiam servir de suporte e embasamento para o IPAAM, quanto ao Gerenciamento de Áreas Contaminadas.





6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, C. J. B. 2002. **Carta Hidrogeológica da cidade de Manaus**. Manaus: CPRM, 2002. 8 p.
- As águas subterrâneas e sua importância ambiental e socioeconômica para o Brasil. 1. ed. São Paulo: [s. n.], 2019. 66 p. ISBN 978-85-63124-07-4. DOI 10.11606/9788563124074. Disponível em: <https://igc.usp.br/blog/2020/06/29/as-aguas-subterraneas-e-sua-importancia-ambiental-e-socioeconomica-para-o-brasil/>. Acesso em: 11 jan. 2022.
- ALLER, L.; BENNETT, T.; LEHR, J. H.; PETTY, R. J.; HACKETT, G. DRASTIC: A standardised system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings [Report]. - Oklahoma : US EPA Report 600/2-87/035, Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory, 1987.
- ANDERSON, P. W. **More is different: broken symmetry and nature of hierarchical structure of science**. *Science*, v. 177, n. 4047, p. 393-396, 1972.
- BRASIL. CPRM (Ed.). Carta hidrogeológica da cidade de Manaus: Relatório Preliminar. Manaus: CPRM, 2002.
- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. CETESB. INSTRUÇÃO TÉCNICA Nº 039, Agosto de 2009.
- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. CETESB. DECISÃO DE DIRETORIA Nº 038/2017/C, DE 07 FEVEREIRO DE 2017. Fevereiro de 2017.
- Código Ambiental do Município de Manaus. Lei Nº 605 de 24 de julho de 2001. Prefeitura Municipal de Manaus.
- CUNHA, P. R. C.; GONZAGA, F.G.; COUTINHO, L.F.C.; FEIJÓ, F.J. Bacia do Amazonas. Boletim de Geociências da PETROBRAS, Rio de Janeiro: Petrobras, 1994. v.8, n.1, p. 47-55, jan./mar.
- CUNHA, P. R. C.; MELO, J.H. G. de; SILVA, O.B. da. Bacia do Amazonas. Boletim de Geociências da PETROBRAS, Rio de Janeiro: Petrobras, 2007. v. 15, n. 2, p. 227- 251.
- FERREIRA, A.V. et al. Orange IV stabilizes silk fibroin microemulsions. *Engineering in Life Sciences*, Weinheim, v.15, n.4, p. 400-4009, May 2015. doi: 10.1002/els.201400190.
- GOVERNO DO ESTADO DO AMAPÁ (Estado). Política Estadual de Recursos Hídricos e do Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos nº 1, de 16 de junho de 2009. Decreto N.º 28.678, de 16 de Junho de 2009. Manaus, 16 jun. 2009. v. 1, p. 1-36.
- HIRATA, et al. As águas subterrâneas e sua importância ambiental e socioeconômica para o Brasil. Universidade de São Paulo, 2019. Doi 10.11606/9788563124074.

- Metais pesados no rejeito e na água em área de descarte de resíduos sólidos urbanos. LE Cavallet, SG Carvalho, P Fortes Neto - Revista Ambiente & Água, 2013.
- MIRANDA, Janaína Simone Neves. Caracterização da vulnerabilidade intrínseca do Aquífero Alter-do-Chão na cidade de Manaus - AM. 2017. 130 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2017.
- PÉREZ, A.P.; EUGENIO, N.R. (2018) Status of local soil contamination in Europe: revision of the indicator “Progress in the management contaminated sites in Europe. Luxemburgo: Publications Office of the European Union.
- PLANO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DO AMAZONAS PERH/AM JANEIRO/2019 - Relatório Técnico RT 03 - DIAGNÓSTICO, PROGNÓSTICO E CENÁRIOS FUTUROS DOS RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO - Tomo II - Relatório Preliminar (Secretaria Estadual do Meio Ambiente).
- Política Estadual de Recursos Hídricos. Decreto Nº 28.678 de 16 de junho de 2009. Governo do Estado do Amazonas.
- Relatório de Gestão dos Recursos Hídricos no Amazonas, 2019 – Secretaria de Meio Ambiente do Amazonas.
- Resolução CONAMA Nº 420/2009. Ministério do Meio Ambiente.
- SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE. Resolução CERH-AM Nº 01, de 19 de Julho de 2016: Resolução Estadual. Manaus, 19 jul. 2016.
- SARAIVA, A. M. Avaliação da Sustentabilidade do Uso da Água do Aquífero Alter do Chão na Zona Urbana de Manaus. 2015. 73 f. Monografia. Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2015.
- SOARES, Emílio Alberto Amaral; WAHNFRIED, Ingo; DINO, Rodolfo. Subsurface stratigraphy of the cretaceous-neogene sedimentary sequence of Manaus and Itacoatiara regions, Central Amazon. Geologia Usp. Série Científica, [s.l.], v. 16, n. 1, p.23-41, 7 abr. 2016. Universidade de São Paulo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBiUSP. <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2316-9095.v16i1p23-41>.
- TOLEDO, Manoel Paulo de. Proposta de metodologia para estabelecimento de uso e ocupação do solo em áreas contaminadas. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.