

# UFPA

**PPGEC**

# Universidade Federal do Pará

---



Gabriela Rousi Abdon da Silva

**Caracterização dos sólidos sedimentados na  
rede coletora de esgoto da região  
metropolitana de Belém-PA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

Instituto de Tecnologia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Dissertação orientada pelo Professor Dr. Francisco Carlos Lira  
Pessoa.

Gabriela Rousi Abdon da Silva

**Caracterização dos sólidos sedimentados na rede coletora de esgoto da região metropolitana de Belém-PA**

Defesa de Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Linha de Pesquisa: Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Francisco Carlos Lira Pessoa.

BELÉM – PA

2022

## CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DOS SÓLIDOS SEDIMENTADOS NA REDE COLETORA DE ESGOTO DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM-PA


AUTORA:

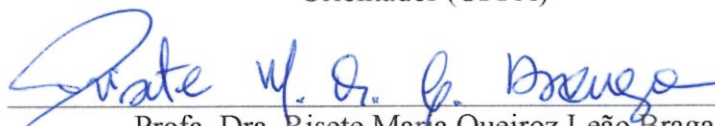
**GABRIELA ROUSI ABDON DA SILVA**


DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À BANCA  
EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA CIVIL DO INSTITUTO DE  
TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO  
PARÁ, COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO  
GRAU DE MESTRA EM ENGENHARIA CIVIL NA  
ÁREA DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO  
AMBIENTAL.

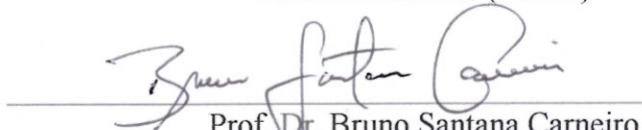
APROVADO EM: 10 / 05 / 2022.


BANCA EXAMINADORA:

  
Prof. Dr. Francisco Carlos Lira Pessoa  
Orientador (UFPA)

  
Profa. Dra. Risete Marta Queiroz Leão Braga  
Coorientadora (UFPA)

  
Profa. Dra. Rafaela Faciola Coelho de Souza Ferreira  
Membro Externo (UFAL)

  
Prof. Dr. Bruno Santana Carneiro  
Membro Externo (IEC)

  
Profa. Dra. Mariane Furtado Gonçalves  
Membro Interno (UFPA)

Visto:

Prof. Dr. Marcelo de Souza Picanço  
Coordenador do PPGEC / ITEC / UFPA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD  
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará  
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a)  
autor(a)

---

A135c Abdon da Silva, Gabriela Rousi.  
Caracterização dos sólidos sedimentados na rede  
coletora de esgoto da região metropolitana de Belém- PA. /  
Gabriela Rousi Abdon da Silva. — 2022.  
79 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Francisco Carlos Lira Pessoa  
Coorientação: Prof<sup>a</sup>. Dra. Risete Maria Queiroz Leão  
Braga  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,  
Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em  
Arquitetura e Urbanismo, Belém, 2022.

1. Sedimentos de esgoto. 2. Reciclagem . 3. Estação  
de tratamento de esgoto . I. Título.

CDD 620.191

---

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pela vida, saúde, sabedoria e força para seguir, sem ele nada seria possível.

A toda a minha família, paterna e materna, por sempre acreditarem na minha capacidade e por me amarem incondicionalmente.

Agradeço em especial as mulheres da minha família, representadas pela minha mãe, Glaucia Abdon, minha madrinha, Rousiane Abdon, minha tia, Eliete Santos e minhas avós, Maria de Nazaré Abdon e Telma Nunes, que demonstraram sempre a força e a capacidade feminina e formaram boa parte do que eu sou hoje.

Ao meu irmão, a minha motivação diária para seguir e o incentivo constante para eu buscar ser o melhor exemplo possível.

Aos meus amigos, incansáveis e pacientes que estiveram sempre ao meu lado, dando força e apoiando em todos os passos que trilho.

Ao meu orientador Prof. Francisco Carlos Lira Pessoa, pela confiança, pela orientação e o apoio durante este árduo percurso.

A Prof.<sup>a</sup>. Risete Braga, pela contribuição na pesquisa, pela parceria durante toda vida acadêmica, pela confiança e por todo amor compartilhado.

A todos os professores que contribuíram de forma direta e indireta para eu chegar até aqui.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro com concessão de bolsa de estudo para realização desta pesquisa.

Ao Instituto Evandro Chagas e a Companhia de Saneamento do Estado do Pará pela parceria firmada.

Por fim, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para a realização desta dissertação e a todos que, assim como eu, acreditam que a educação sempre é o melhor caminho.

## RESUMO

A problemática ambiental vinculada a falta de rede coletoras de esgoto e o baixo volume de efluentes tratado no Brasil, demonstra a necessidade de ampliação das redes e construção de novas estações de tratamento de esgoto (ETE's). O funcionamento do sistema de esgotamento sanitário carrega consigo pontos positivos e negativos, um dos passivos ambientais atrelados a esse sistema são os sedimentos encontrados nas redes coletoras e nas estações de tratamento, esse material é comumente despejado em terrenos, sem haver um conhecimento prévio da sua composição e as possíveis consequências atreladas a sua disposição irregular. Autores relatam que os sedimentos do esgoto encontrados em ETE's são passíveis de reciclagem, subordinando-se apenas da sua composição, questiona-se então se há a mesma possibilidade para o material coletado nos poços de visita da rede coletora de esgoto. Desta forma, o objetivo do presente estudo foi caracterizar os sedimentos de três poços de visita na rede coletora de esgoto da Região Metropolitana de Belém, para tal fim foram realizadas análises físicas e químicas, a exemplo da caracterização granulométrica e a análise de metais. Ao fim, observou-se que dentre os três pontos estudados (Uso comercial, uso residencial e uso misto) e os dois períodos sazonais (mais chuvoso e menos chuvoso), a maior fração granulométrica encontrada em todas as amostras pertence à faixa de areia fina e somente o ponto residencial do período menos chuvoso apresentou risco ambiental para aplicação em possível forma de reciclagem, devido à presença de altas concentrações de chumbo em sua composição.

## **ABSTRACT**

The environmental problem linked to the lack of sewage collection networks and the low volume of treated effluents in Brazil demonstrates the need to expand networks and build new sewage treatment stations (ETE's). The functioning of the sanitary sewage system carries positive and negative points, one of the environmental liabilities linked to this system are the sediments found in the collection networks and in the treatment plants, this material is commonly dumped on land, without prior knowledge of its composition and the possible consequences linked to its unuven disposition. Authors report that the sewage sediments found in ETE's are subject to recycling, depending only on their composition, it is then questioned whether there is the same possibility for the material collected in the manholes of the sewage collection network. In this way, the objective of the present study was to characterize the sediments of three manholes in the sewage collection network of the Metropolitan Region of Belém, for this purpose, physical and chemical analyzes were carried out, such as granulometric characterization and analysis of metals. In the end, it was observed that among the three points studied (Commercial use, residential use and mixed use) and the two seasonal periods (rainier and less rainy), the highest granulometric fraction found in all samples belongs to the fine sand range. and only the residential area in the less rainy period presented an environmental risk for application in a possible form of recycling, due to the presence of high concentrations of lead in its composition.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Coleta de esgoto tipo combinado.....	20
Figura 2-Sistema de coleta tipo separador absoluto. ....	20
Figura 3-Sistema de coleta tipo convencional. ....	22
Figura 4-Sistema de coleta tipo condominial do tipo passeio.....	22
Figura 5- Traçado da rede de coleta de esgoto na região metropolitana de Belém. .	28
Figura 6-Mapa das localizações dos pontos de amostragem.....	29
Figura 7-Fluxograma dos bairros de amostragem e sua tipologia de uso do solo. ...	30
Figura 8-Área de influência dos pontos de coleta- Município de Belém.....	31
Figura 9- Área de influência ponto residencial- Município Marituba. ....	32
Figura 10-Caminhão Hidrojato. ....	34
Figura 11-Fluxograma do processo de coleta e segregação das amostras. ....	35
Figura 12-A) Coleta do material líquido; B) Coleta do material sólido (análise química); C) Coleta do material sólido (análises físicas).....	36
Figura 13-Processo de secagem por exposição solar.....	37
Figura 14- Mudança visual do material durante o processo de secagem; A) Aspecto do material no dia da coleta; B) Mudança após 6 dias de secagem; C) Mudança após 8 dias de secagem. ....	45
Figura 15-Granulometria material PROSEGE Marambaia. ....	45
Figura 16-Parte do material pertencente a faixa granulométrica grossa. ....	46
Figura 17- Mudança visual durante o proceso de secagem. A) Material no dia da coleta; B) 17 dias após a coleta; C) 22 dias após a coleta. ....	47
Figura 18-Granulometria material PROSEGE Marambaia chuvoso.....	47
Figura 19- Mudança visual durante o processo de secagem. A) Material no dia da coleta; B) 28 dias após a coleta; C) 35 dias após a coleta. ....	48
Figura 20- Curva granulométrica ponto Centro- período menos chuvoso.....	49
Figura 21-Mudança visual durante o proceso de secagem. A) Material no dia da coleta; B) 15 dias após a coleta; C) 36 dias após a coleta. ....	50
Figura 22- Granulometria ponto Centro- período chuvoso. ....	50
Figura 23-Mudança visual durante o processo de secagem. A) Material no dia da coleta; B) 10 dias após a coleta; C) 20 dias após a coleta. ....	51
Figura 24- Granulometria ponto Marituba- período menos chuvoso. ....	51



Figura 25- Mudança visual durante o proceso de secagem. A) Material no dia da coleta; B) 21 dias após a coleta; C) 59 dias após a coleta.....	53
Figura 26-Granulometria ponto Marituba- período chuvoso.....	53
Figura 27- Ensino fundamental por ponto. ....	54
Figura 28- Distribuição de renda por ponto de amostragem .....	55
Figura 29- Comparativo dos resultados de massa específica.....	55
Figura 30- Granulometria, comparativo dos três pontos. A) Período Menos Chuvoso; B) Período Mais Chuvoso.....	56
Figura 31- BTEX; Comparativo entre os pontos e períodos.....	58
Figura 32- Comparativo das concentrações de metais; A) Período menos chuvoso; B) Período mais chuvoso.....	59
Figura 33- Visita no ponto de coleta Marituba.....	61
Figura 34- Concentração de Alumínio e uso do solo.....	62
Figura 35-Concentração de Ferro e uso de solo.....	63

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1-Tipos de amostras, parâmetros a serem analisados e respectivas técnicas de análises. ....	37
Quadro 2-Características demográficas e sociais dos pontos de amostragem.....	42

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1- Resumo resultados ponto PROSEGE Marambaia.....	43
Tabela 2- Resumo resultados Sistema Antigo. ....	43
Tabela 3- Resumo resultados Viver Melhor Marituba .....	44

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	12
2	OBJETIVOS .....	15
2.1.	Geral.....	15
2.2.	Específicos .....	15
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
3.1.	Saneamento .....	16
3.1.1.	Resíduos gerados nos sistemas de saneamento .....	17
3.2.	Sistema de esgoto sanitário .....	19
3.2.1.	Tipos de rede coletora de esgoto.....	19
3.2.2.	Papel dos poços de visita na rede coletora de esgoto .....	23
3.2.3.	Características dos sedimentos nos poços de visita.....	24
3.2.4.	Tipos de reciclagem dos sedimentos de esgoto .....	25
4	ÁREA DE ESTUDO .....	27
4.1.	Pontos de amostragem.....	30
4.1.1.	Minha casa Minha Vida- Condomínio Viver Melhor Marituba .....	33
4.1.2.	Programa de Ação Social em Saneamento (PROSEG).....	33
4.1.3.	Sistema Antigo.....	33
5	METODOLOGIA .....	34
5.1.	Coleta e secagem.....	34
5.2.	Análises físico-químicas .....	37
5.2.1.	Análise de Metais.....	38
5.2.2.	Análise de BTEX.....	38
5.2.3.	Umidade.....	39
5.2.4.	Limite de Atterberg ou Índice de Plasticidade .....	39
5.2.5.	Granulometria .....	40
5.2.6.	Massa Específica .....	41
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	42
6.1.	Características sociais dos pontos de amostragem.....	42
6.2.	Caracterização física e química dos solos sedimentados nos poços de visita..	43
6.3.	Ponto de coleta PROSEGE Marambaia .....	44

6.3.1. Resultado período menos chuvoso.....	44
6.3.2. Resultado período mais chuvoso.....	46
6.4. Ponto de coleta Sistema Antigo.....	48
6.4.1. Resultado período menos chuvoso.....	48
6.4.2. Resultado período mais chuvoso.....	49
6.5. Ponto de coleta Residencial Marituba .....	51
6.5.1. Resultado período menos chuvoso.....	51
6.5.2. Resultado período mais chuvoso.....	52
6.6. Comparativos .....	54
7 APLICAÇÕES .....	63
8 CONCLUSÕES .....	64
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	66

## 1 INTRODUÇÃO

O quantitativo de água necessário para as atividades humanas, bem como a produção dos mais diversos tipos de produtos, vem crescendo significativamente. Em contraponto, o montante de recursos hídricos disponível não aumenta, resultando na necessidade de investimentos no saneamento, tangendo principalmente o tratamento e abastecimento de água a população, como também o tratamento do esgoto gerado. Este último, visa acelerar a autodepuração do corpo hídrico receptor, assim como, a reciclagem desse efluente tratado para fins diversos, como uso paisagístico e descargas de privadas (LEONETI, PRADO e OLIVEIRA, 2011).

Segundo o ranking do saneamento do ano de 2019, elaborado pelo Instituto Trata Brasil, somente nove municípios brasileiros apresentavam 100% de coleta de esgoto, outros 13 apresentam valores superiores a 98%, totalizando 22 municípios com coleta de esgoto considerada universalizada, um valor ínfimo comparado a totalidade 5.570 municípios existentes no país. O ranking ainda relata que a menor porcentagem de coleta de esgoto foi constatada no município de Ananindeua no estado do Pará, onde somente cerca de 0,98% das águas residuais são coletadas.

Ainda segundo o ranking do Instituto Trata Brasil, em 2019, cerca de 21 municípios apresentaram porcentagem acima de 80% de tratamento do esgoto coletado e dois municípios apresentaram a porcentagem de 0%. Os municípios de Belém e Ananindeua, apresentaram porcentagem de tratamento, de toda a água residuária coletada, de 0,78 e 0,77, respectivamente.

Nota-se assim, a necessidade da expansão das redes de coleta de esgoto assim como a implantação de novas estações de tratamento no país todo, especialmente na região norte. O ranking do saneamento do ano de 2021, mostrou que as porcentagens de coleta e tratamento de esgoto para Belém e Ananindeua apresentaram leve crescimento, porém ainda estão ocupando posições entre os piores municípios brasileiros.

Entretanto, Vaz, Ducatti e Pasqualetto (2003) explanam que antigamente, quando se falava da implementação de estações de tratamento de esgoto, as chamadas ETE's, não se enxergava os passivos ambientais ocasionados por ela, só eram observados os pontos positivos acerca da mitigação do problema das águas residuais. É certo que com o decorrer dos anos estudos foram realizados afim de

avaliar as consequências ambientais da instalação e operações de ETE's e seus subprodutos.

Azevedo (2014) relata que as ETE's geram, além do subproduto líquido, subprodutos sólidos, semissólidos e gasosos. Dos Santos *et al.*, (2019), no livro "Caracterização, Tratamento e Gerenciamento de Subprodutos de Correntes de Esgotos Segregadas e Não Segregadas em Empreendimentos Habitacionais", disponibilizam um capítulo inteiro para o tema dos subprodutos do esgoto, com enfoque principal nos subprodutos específicos da ETE, abordando desde o tratamento primário até o final.

Neste contexto, Rodriguez *et al.*, (2012) afirmam que águas residuais e as águas pluviais transportam uma quantidade considerável de sólidos, causando obstruções na rede de coleta e transporte, tornando as obstruções um problema não exclusivo das ETE's. Os autores ainda relatam casos de países que sofreram inundações advindas da oclusão das redes de esgoto por depósito de sedimentos.

Desta forma, a rede coletora de esgoto serve como um sistema para acúmulo de sólidos, o que favorece os processos físicos, químicos e biológicos, afetando diretamente o tratamento da água residual. Nos anos 80 a França e o Reino Unido, iniciaram programas com investimentos em pesquisas para entender melhor a origem e os efeitos dos sólidos no esgoto (Ashley *et al.*, 2003). Deste modo, os sólidos sedimentados na rede de coleta e transporte de esgoto se tornaram um objeto de estudo, visando diminuir as consequências de sua ocorrência e analisando suas possibilidades de tratamento e reciclagem.

Ballén *et al.*, (2016) relatam que as características dos sedimentos encontrados em poços de visita sofrem interferência, principalmente, da sua localização devido ao uso do solo.

Jiménez *et al.*, (2004), realizaram um estudo na cidade do México, financiado pelo governo mexicano, onde foram qualificados os sedimentos de 15 pontos distintos na rede de coleta e transporte de esgoto da cidade (um sistema combinado, ou seja, o que sofre contribuição tanto de águas pluviais como as águas residuais), além de amostras de lodo de 20 estações de tratamento de esgoto, onde foram encontrados hidrocarbonetos e chumbo em algumas das amostras coletadas, evidenciando que em alguns pontos, os sólidos, sedimentados nas redes coletoras de esgoto, podem ser considerados resíduos perigosos.

Yesil et al., (2021) relatam que as concentrações de metais pesados em lodos e sedimentos de esgoto servem como obstáculo para sua aplicação no solo, destacam também que os processos de estabilização e higienização usuais não são tão eficientes tratando-se dos metais.

Ressalta-se então, que a reciclagem dos sedimentos depende diretamente da composição química dos mesmos, revelado assim a existência ou não de possibilidades de tratamento desses biossólidos, e especificando o processo de higienização e, conseqüentemente, a tipologia de reciclagem são mais adequados para cada subproduto.

Dentre os processos de higienização desse material sólido Borges et al., (2016) citam os processos de calagem, cloração e a insolação, onde os dois primeiros processos são os mais utilizados devido sua facilidade de uso e seu baixo custo. Os autores relatam que em suas análises o processo de higienização que obteve melhor resultado foi a calagem a partir da concentração de 10%.

São poucos os trabalhos técnicos nacionais, com ou sem vínculo governamental, que apresentam caracterização dos sedimentos presentes na rede de coleta de esgoto, os estudos encontrados tratam da temática utilizando as ETE's como ponto de estudo, não analisando os materiais encontrados em poços de visitas, canais de macrodrenagem e estações elevatórias.

Borges et al.,(2016), Silva et al., (2018) e Freire (2018) são exemplos de pesquisas realizadas no Brasil, em que todos os autores se ativeram ao estudo da reciclagem dos sólidos sedimentados nos desareanadores, com enfoque de reciclagem do material para utilização na construção civil.

Desta forma, é de suma importância coletar, caracterizar e tratar todos os subprodutos sólidos da coleta e tratamento de esgoto, para que o tratamento e/ou disposição seja realizada de maneira correta, onde não haja danos ambientais e a saúde da população ou que esses sejam minimizados.

Para tal, é necessário que mais estudos acerca desses subprodutos sejam realizados no Brasil, considerando que cada município necessitará de estudo específico, já que tanto as condições físicas, climáticas, ambientais e sociais, irão interferir nas características físicas, químicas e biológicas de cada subproduto gerado.

Portanto, este estudo objetiva a caracterização física e química dos sedimentos presentes em poços de visita da rede coletora de esgoto da região metropolitana de



Belém, levando em consideração os aspectos econômicos, físicos e sociais de cada localidade de coleta, visando por fim, a obtenção de um comparativo entre pontos e avaliando as possibilidades de uso do material coletado.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1. Geral**

Analisar a possibilidade de os sólidos sedimentáveis na rede coletora de esgoto serem reciclados e reincorporados ao sistema produtivo como insumos ou matéria prima por meio da caracterização física e química.

### **2.2. Específicos**

- Analisar os índices de qualidade dos sedimentos encontrados na rede coletora.
- Estabelecer comparativo dentre a qualidade dos sedimentos gerados, como também de fatores sociais e econômicos da população referente aos pontos de coleta;
- Propor soluções para uma destinação ambientalmente adequada.

### **3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

#### **3.1. Saneamento**

A lei nº11.445/2007 traz consigo a definição do termo “saneamento básico”, onde o mesmo abrange os serviços de drenagem das águas pluviais, abastecimento de água, esgotamento sanitário e a limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos.

Siani e Toneto Júnior (2010) relatam que entre os anos de 1970 e 2004 a quantidade de domicílios com abastecimento de água foi o aspecto do saneamento básico que mais evoluiu, crescendo algo em torno de 60% no período em questão, seguido pela rede de esgoto que cresceu cerca de 50% no mesmo período. Os autores ainda explanam dados que demonstram que a partir da década de 70 os investimentos na área de saneamento se mantiveram quase constantes.

Em contraponto, Leoneti, Prado e Oliveira (2011) acentuam que neste século o setor do saneamento básico está recebendo uma atenção maior dos governantes, entretanto esses investimentos devem ser fiscalizados e investigados para que a população seja realmente atendida.

Segundo um estudo da Fundação Nacional de Saúde (FUNASA, 2010), ocorreu uma redução significativa na taxa de mortalidade das doenças infecciosas e parasitárias relacionadas ao saneamento, onde essa redução está relacionada as melhorias sanitárias implementadas no país desde de o início do século XX, todavia essas tipologias de doenças ainda se apresentaram como as principais causas de óbitos nas regiões Norte e Nordeste do país, o que muitas vezes está correlato a alta desigualdade social e econômica presente no Brasil e principalmente nas regiões em questão, afetando grupos populacionais distintos dentro de cada localidade.

Doenças Relacionadas ao Saneamento Ambiental Inadequado (DRSAI) como a diarreia, hepatite A, febre amarela, malária, entre outras, são responsáveis por uma boa parte das internações em unidades de saúde (PIMENTEL et al, 2020). Lima et al., (2018) mostram que entre as doenças consideradas de veiculação hídrica, a diarreia e a gastroenterite são as que ocorrem com maior frequência no município de Belém e que esta incidência está relacionada ao crescimento desenfreado da população que a expansão da rede coletora de esgoto não consegue acompanhar.

Outra exemplificação de doença endêmica de transmissão fecal-oral correlata a situação do saneamento no mundo é o vírus da COVID-19, que está

especificamente relacionado a coleta e tratamento do esgoto, haja vista que focos do vírus foram encontrados ativos em excrementos dos pacientes infectados (YEO, KAUSHAL e YEO, 2020).

Desta forma é possível notar que o acesso ao saneamento básico de qualidade não é só um direito da população como também é essencial para a manutenção de uma sociedade saudável.

A importância do saneamento tange outras áreas da sociedade, afetando desde a valorização de imóveis até na própria qualidade dos corpos hídricos (GARCIA e FERREIRA, 2017) que posteriormente podem ser utilizadas para abastecimento humano, irrigação e dessedentação de animais.

Enquanto de um lado, um sistema completo de saneamento tem por objetivo evitar os diversos tipos de poluição associados que conseqüentemente acarretam doenças, de outro lado tem-se o ponto de vista econômico e as vantagens a longo prazo de redução de custos com tratamento de água, a economia associada a prevenção de doenças e preservação de locais favoráveis a arrecadação turística tais como as praias (FUNASA, 2006).

Diante do exposto, os serviços de saneamento básico devem ser melhor abordados e investimentos corretos devem ser realizados para ampliação de redes de abastecimento de água, coleta e transporte de esgoto, redes de drenagem pluvial e em coleta e manejo dos resíduos sólidos, entretanto é necessário que estas melhorias e ampliações sejam atreladas a sustentabilidade, que se refere a minimização da geração de passivos ambientais pelos serviços que o saneamento abrange.

#### 3.1.1. Resíduos gerados nos sistemas de saneamento

Todas as atividades correlatas ao saneamento, assim como quase todas as ações humanas, geram algum tipo de resíduos, sejam eles sólidos, semissólidos ou líquidos.

A Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) Lei nº12.305/2010, em seu art. 13, classifica os resíduos gerados no saneamento básico como os provenientes dos sistemas de abastecimento de água, coleta e tratamento de esgoto e drenagem pluvial.

Batista (2018), ratificam o disposto na PNRS quantos as três tipologias de resíduos do saneamento, a primeira faz referência aos resíduos da macrodrenagem, onde poucas são as informações sobre essa tipologia em questão, a segunda é o resíduo proveniente de ETE e a terceira é o resíduo proveniente de ETA, as duas últimas são as mais discutidas e com maior quantidade de informações de cunho quantitativo.

Dos Santos, Teixeira e Neves (2017) relatam que uma quantidade grande de resíduos sólidos é direcionada aos corpos hídricos por meio dos sistemas de drenagem, isso corre principalmente em países ainda em desenvolvimento onde o sistema de limpeza pública apresenta falhas.

Achon e Cordeiro (2015) apontam que dentro do sistema de abastecimento de água os resíduos gerados são associados as águas de lavagem de filtros e os lodos gerados nos decantadores e floculadores. Esses lodos gerados podem diferir quimicamente entre si dependendo do modelo de tratamento de água utilizado, porém, de modo geral, a NBR 10.004/2004 classifica esse material advindo de ETA's como resíduo não inerte classe IIA.

Tratando do sistema de coleta e tratamento do esgoto, os subprodutos advindos das ETE's são resíduos grosseiros e grande fração de areia, esses materiais estão sendo reinseridos, vagarosamente, em sistemas produtivos ou outras formas de aproveitamento (SILVA, POAGUE e NUNES, 2018).

Vesenti et al., (2020) indicam que grande parte do lodo gerado nas ETE's tem possibilidade de aproveitamento na agricultura, mas para isso é necessário que ocorra uma caracterização prévia do material devido as cargas orgânicas presentes, estas serão diretamente associadas aos excrementos humanos, o que infere em altas possibilidades da presença de organismos patogênicos, além da presença de metais que se relaciona aos despejos comerciais e industriais.

Achon, Barros e Cordeiro (2013) alertam para a infração das leis nº 9.605/1998 e nº 11.445/2007 pelas companhias de saneamento, onde tanto as estações de tratamento de água quanto as elevatórias, redes de coleta e as estações de tratamento de esgoto não apresentam disposição/destinação ambientalmente adequada para os resíduos e rejeitos gerados durante seus processos. Assim os autores abrem discussão acerca das normativas ISO 24.510/2007, ISO 24.511/2007

e ISO 24.518/2007, as quais apresentam indicadores que podem ser ferramentas para uma gestão correta e sustentável das ETAS e ETES.

### **3.2. Sistema de esgoto sanitário**

O esgotamento sanitário é um sistema componente do saneamento e fundamental para o controle de transmissão de doenças de veiculação hídrica (MENDES e BARCELLOS, 2018). Joseph-Duran et al., (2014) esclarecem que esse sistema é composto por tubulações, poços de visita, estações de bombeamento, outras instalações hidráulicas que, geralmente, estão enterradas no subsolo e por fim as estações de tratamento.

Os sistemas de esgotamento sanitário, no que tange ao tratamento, apresentam diferentes níveis, existem tratamento preliminar, secundário e o final que seria a chamada desinfecção, sendo esta última etapa a principal responsável pela eliminação de patógenos das águas residuárias (ROLLEMBERG, BARROS e LIMA, 2020)

O passo inicial para a universalização do serviço de tratamento do esgoto sanitário é o dimensionamento e implementação de redes coletoras. Nessas redes, ocorre o depósito de sedimentos, óleos e graxa e até mesmo o depósito de gorduras, que podem ou não estar contaminados por metais pesados devido a existência de ligações industriais clandestinas na rede de esgoto doméstico (JIA et al., 2021), os sedimentos também podem carregar patógenos advindos tanto pelas ligações doméstica como também pela ligação de redes de esgoto hospitalares (ROLLEMBERG, BARROS e LIMA, 2020).

A escolha do tipo de rede coletora de esgoto a ser implementada é de grande importância para o correto dimensionamento da rede, o dimensionamento das estações elevatórias (caso seja necessário) e a escolha das tipologias de tratamento a serem utilizados na ETE.

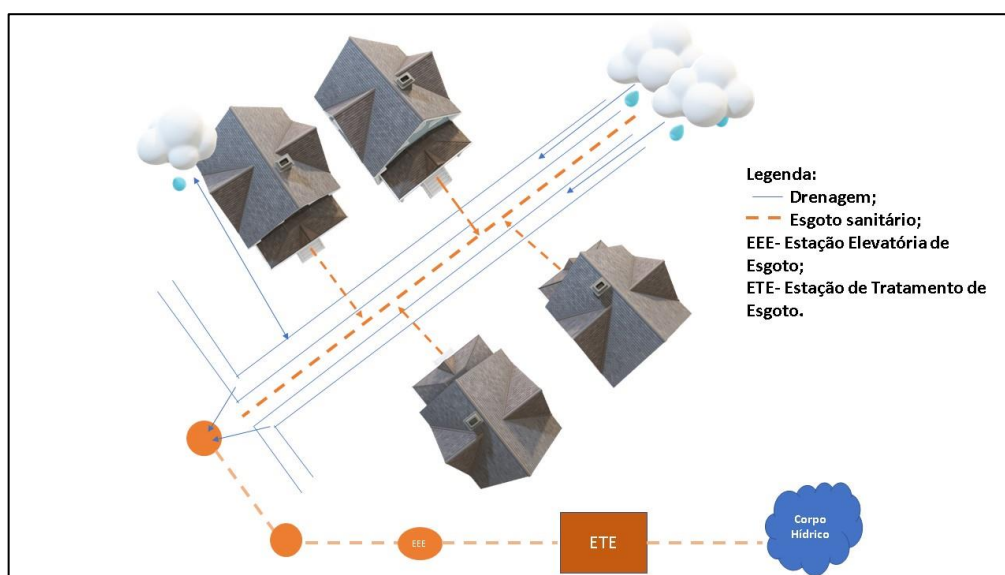
#### **3.2.1. Tipos de rede coletora de esgoto**

Segundo Pereira e Silva (2018), existem três tipos de rede coletora de esgoto, são eles: separador absoluto, sistema separador parcial e sistema combinado, onde no primeiro sistema a rede de coleta de esgoto é totalmente separada da rede de

drenagem, o segundo, por sua vez, faz a coleta de esgoto e recebe uma parcela das águas pluviais, normalmente advindas de telhados e pátios, e por fim, o último sistema refere-se a coleta de esgoto e águas pluviais conjuntamente.

No sistema combinado (figura 1), Noro (2012) relata que deve ser considerado, que com a agregação das vazões de esgoto e as vazões de drenagem, obtêm-se um sistema de coleta com maior vazão e considerável variação sazonal, assim, em alguns países coloca-se by-pass em época alta pluviosidade, já que o volume de chuva dilui o esgoto sanitário, fazendo com que a vazão passada pelo by-pass seja lançada diretamente no corpo receptor.

Figura 1- Coleta de esgoto tipo combinado.

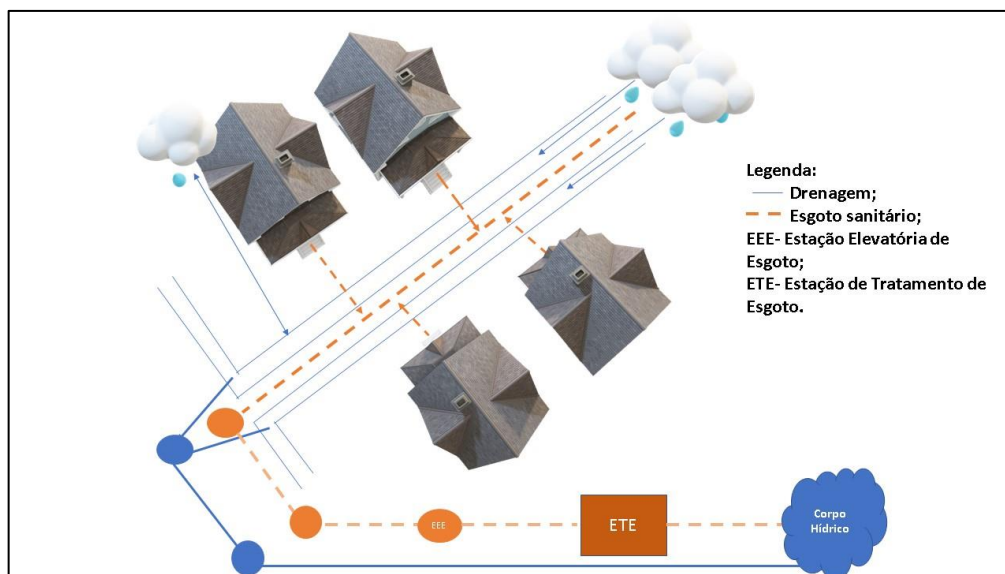


Fonte: Adaptado de Pereira e da Silva, 2018.

Jamwal et al., (2015) elucidam que o tipo de sistema de coleta de esgoto a ser implementado deve ser escolhido com base na realidade de cada local, assim, em países subtropicais e com alto poder econômico, o sistema combinado é uma alternativa viável, já em países tropicais, com altos índices pluviométricos e/ou regiões com menor poder econômico, é aconselhável a implantação de rede coletora do tipo separador parcial ou separador absoluto.

No Brasil, normalmente é adotado o sistema de rede do tipo separador absoluto (figura 2), partindo da teoria de que as águas pluviais não apresentam carga poluidora significativa.

Figura 2- Sistema de coleta tipo separador absoluto.



Fonte: Adaptado de Pereira e da Silva, 2018.

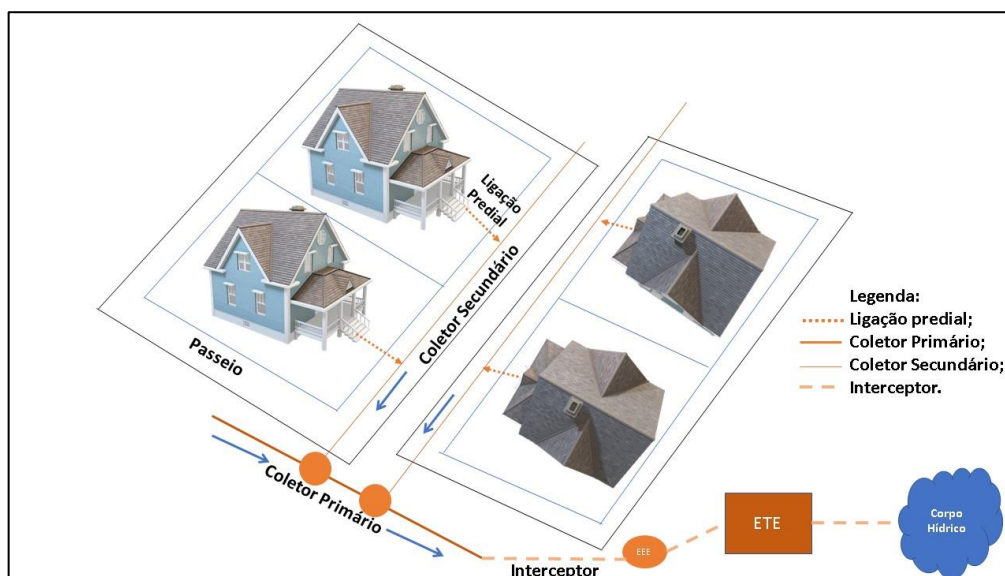
A teoria da ausência de carga poluidora significativa, desconsidera a parcela dos primeiros minutos de chuva que lavam as vias, ruas, entre outros, e acabam por lixiviar vários tipos de materiais, influenciando diretamente na carga poluidora que é encaminhada para o sistema de drenagem. Outro ponto que caracteriza a ineficiência do sistema separador absoluto nas redes brasileiras é a expressiva quantidade de ligações clandestinas de redes de esgoto doméstico em redes de drenagem, fazendo com que esse tipo de sistema não seja efetivo na prática (NORO, 2012).

Uma rede coletora do tipo separador absoluto pode apresentar diferentes configurações, podendo ser do modelo convencional ou condominial, no caso da região metropolitana de Belém existe também o modelo denominado simplificado, como é explicado pela Companhia de Saneamento do Estado do Pará (COSANPA)(?)<sup>1</sup>.

O modelo convencional (figura 3), segundo Lima (2006), é caracterizado pela presença de rede coletora com seus coletores prediais, coletores secundários e coletor tronco, além de apresentar interceptores, emissário, poços de visita, estações elevatórias, estação de tratamento de esgoto, e corpo hídrico receptor.

<sup>1</sup> Informação cedida pelo setor técnico da COSANPA por meio eletrônico, onde o documento anexado não apresentava data específica.

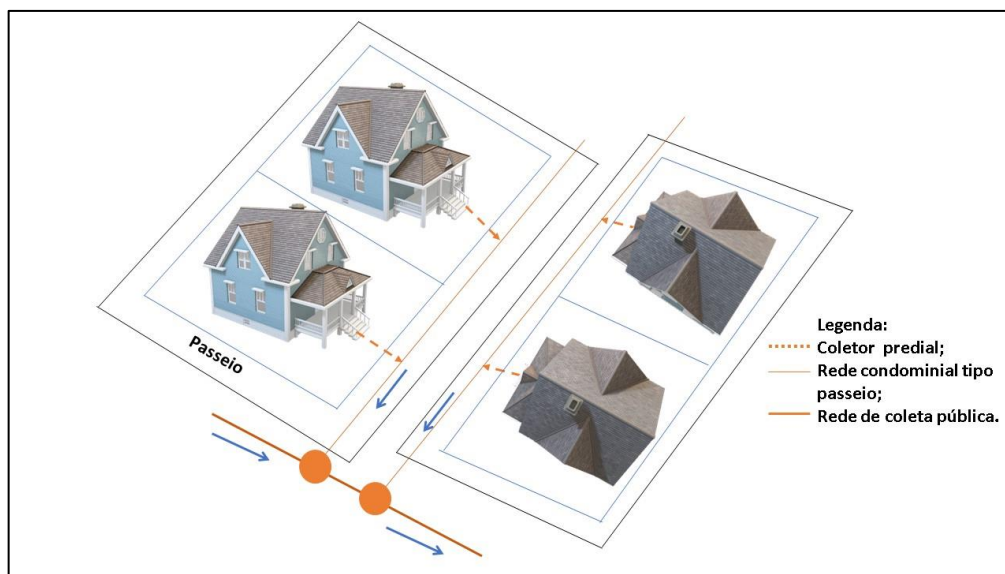
Figura 3- Sistema de coleta tipo convencional.



Fonte: Adaptado de Pereira e da Silva, 2018.

Já o modelo condominial (figura 4) se caracteriza pela presença de ramal condominial, podendo ser fundo ou frente de lote ou até mesmo nas calçadas, rede coletora, estação elevatória, estação de tratamento de esgoto e por fim corpo receptor.

Figura 4- Sistema de coleta tipo condominial do tipo passeio.



Fonte: Adaptado de Pereira e da Silva, 2018.

Lima (2006) ainda relata que a principal diferença entre esses dois modelos de sistemas de rede coletora é a questão do domínio, enquanto o convencional por ser alocado normalmente em vias públicas é de domínio público, o condominial é de domínio privado, já que se localiza no interior dos lotes.



Quanto ao sistema simplificado, basicamente as fossas sépticas são ligadas as caixas de inspeção, onde essas passam pela rede pública de coleta de esgoto chegando aos poços de visita, onde desse o esgoto é transportado para as caixas de visita da galeria pluvial, chegando ao canal de macrodrenagem.

A partir da definição entre sistema separador e o sistema combinado, a principal problemática apresentada é que mesmo sendo projetado como sistema separador absoluto, vários pontos do país, e principalmente da região metropolitana de Belém, funcionam como sistema combinado ou misto, já que as redes de drenagem pluvial muitas vezes são inadequadas e/ou há ligações clandestinas de esgoto interligadas a rede de drenagem o que foi evidenciado por Silva, Naylander e Pereira (2020). Assim, as redes que foram projetadas para suportar as vazões somente de esgoto ou somente de drenagem são colocadas a prova ao terem que suportar o somatório de vazão de esgoto e água pluvial.

Bertolino *et al.*, (2017) esclarecem que as ligações clandestinas muitas vezes não são descobertas já que as ligações prediais na rede coletora de esgoto não são de responsabilidade das companhias de saneamento dos estados e sim da população, o que dificulta o trabalho dos técnicos das respectivas companhias.

### 3.2.2. Papel dos poços de visita na rede coletora de esgoto

Pereira e Silva (2018) conceituam o poço de visita como uma câmara passível de visitação, podendo ser construída de alvenaria ou concreto, com abertura na sua parte superior, com objetivo de servir como meio para que técnicos e trabalhadores possam realizar serviços de inspeção, desobstrução e limpeza na rede.

Os poços de visita devem ser utilizados quando: há a interligação de mais de dois trechos ao coletor, em inícios de coletores, nas mudanças de declividade, direção, diâmetro e/ou material, nas reuniões de coletores, nas reuniões de coletores que exijam a utilização de degraus e tubos de queda e trechos com profundidades maiores que 3 m (NBR 9649/1986).

Segundo Azevedo Netto (1979) o poço de visita é um dos principais pontos de ocorrência de infiltração parasitária nos sistemas de rede coletora de esgoto, podendo ser atenuada pelas utilizações de estruturas de concretos, ou de estruturas de alvenaria com revestimento impermeável externo e interno.

Beg *et al.*, (2018) explicam que o fluxo dentro de um poço de visita é complexo, envolvendo fenômenos hidráulicos, que geram consequências na perda geral de energia, transporte e dispersão de materiais particulados dentro do PV.

### 3.2.3. Características dos sedimentos nos poços de visita

O depósito de sedimentos nas redes coletoras afeta diretamente a área efetiva de fluxo das tubulações, diminuindo a capacidade de transporte e aumentando a resistência hidráulica, ocorrendo principalmente nos períodos secos, de baixo índice pluviométrico, devido à baixa velocidade de fluxo, ou após a ocorrência de eventos pontuais de chuva forte (REGUEIRO-PICALLO *et al.*, 2017).

Fernandéz e Del Pino (2009) enfatizam que o material que sedimenta nas redes de transporte e coleta de esgoto possui as mesmas características dos sedimentos que chegam nas estações de tratamento. Peter *et al.*, (2014) explicam que esses sólidos sedimentados devem ser considerados como um problema ambiental significativo já que suas características químicas estão diretamente ligadas ao consumo de oxigênio e a liberação de poluentes aderidos aos sedimentos. Liu *et al.*, (2016) explanam que os processos de sedimentação dentro da rede contribuem de maneira significativa para a produção de sulfeto e metano no esgoto

Ashley *et al.*, (2003) estimam uma taxa de disposição de cerca de 30 a 500g/m.dia nas redes de coleta e transporte de esgoto, essa extensa faixa de quantitativo variável é devido a inexistência de generalidade das redes de coleta de esgoto mundial, desta forma os autores enfatizam que cada situação deve ser tratada e estudada individualmente.

Assim, o transporte de sedimentos de esgoto que ocorrem durante os transbordamentos em dias de chuva, se tornam uma fonte de poluição expressiva, acarretando impactos relevantes ao meio ambiente (SUÁREZ e PUERTAS, 2005). Para que esse problema não ocorra, é necessário que a limpeza dos sistemas de coleta e tratamento de esgoto seja realizada regularmente, mesmo que isso acarrete custos de manutenção (LANGE e WICHERN, 2013).

Atualmente, o material sólido retirado dos poços de visita durante as ações de manutenção e desobstrução é despejado no solo, sem que haja conhecimento prévio da composição química desse material.

Estudos como o de Borges et al., (2016) e Silva et al., (2018), caracterizaram e analisaram o quantitativo e potencialidades poluidoras dos sedimentos encontrados nos desarenadores das ETE's. Pérez *et al.*, (2016) e Suárez e Puerta (2005) analisaram as características físicas e químicas dos sedimentos de esgotos de águas pluviais e as cargas poluidoras de sedimentos em eventos de transbordos de esgoto.

Fernández e Flores (2008) realizaram um estudo de caracterização dos sedimentos de esgoto depositados na rede coletora da cidade de Santander na Espanha, onde os autores enfatizam que esse é o mesmo material que decanta nas estações de tratamento de esgoto, sendo de vital importância o conhecimento da evolução temporal das características físicas, químicas e biológicas.

Jiménez *et al.*, (2004) realizaram caracterização dos lodos e dos sedimentos de esgoto e avaliação de potencial reciclagem desse material na cidade do México, os autores enfatizam que os sedimentos gerados na rede coletora possuem características semelhantes ao lodo gerado nas estações de tratamento de esgoto.

Ashley *et al.*, (2005) apresentaram um estudo bibliográfico analisando os estudos e investimentos feitos em sólidos de esgotos nos 20 anos anteriores a publicação da pesquisa, mostrando que ainda são poucas as pesquisas nessa área e o investimento nas redes de coleta de esgoto não são acompanhadas de investimentos em pesquisas específicas.

Assim, é notória a importância da caracterização dos sedimentos, avaliando assim sua periculosidade e conferindo a classificação dos mesmos, por fim possibilitando aferir que tipos de reciclagem ou reciclagem adequadas para esse tipo de material.

#### 3.2.4. Tipos de reciclagem dos sedimentos de esgoto

Ressalta-se que cada localidade com suas características físicas, climáticas, sociais e econômicas geram diferentes tipos de sedimentos (CÁRDENAS *et al.*, 2017).

Cárdenas *et al.*, (2017) relatam que os sedimentos gerados na cidade de Puente Aranda em Bogotá, são recomendados para a fabricação de pozolana e cimento Portland, observando que em alguns casos é necessário a adição de cal. Os autores ainda relatam a necessidade de algum tipo de processo de higienização do material para posterior reciclagem.

Duarte *et al.*, (2018) e Colpas *et al.*, (2014) realizaram estudos acerca do aproveitamento da areia extraída da estação de tratamento de esgoto, e o segundo estudo também analisou a utilização do lodo de estações de tratamento de esgoto em blocos para construção civil.

Borges *et al.*, (2016) analisaram a utilização dos sedimentos de esgoto em argamassas para concretos não estruturais, os autores apontaram para a importância do processo de higienização do material para diminuição do teor de umidade além da diminuição da carga de coliformes e sólidos voláteis, além de afirmar a possibilidade da incorporação do sedimento de esgoto como substituto parcial da areia comercial de construção civil. Notou-se que após a higienização o resíduo torna-se resíduo classe II A (não perigosos e não inertes), recomendando-se a utilização de até 70% dessa areia residual em substituição como agregado miúdo em argamassas de cimento e cal e em concreto não estrutural, os autores mostraram ainda que a ETE em questão gerava aproximadamente 25 toneladas por mês de areia residual.

Silva *et al.*, (2018) relataram que uma média de 101,45 toneladas de areia são retiradas por mês da estação estudada, onde todo o material é encaminhado ao aterro sanitário da região, afetando o volume útil de disposição de outros tipos resíduos. Assim, os autores demonstraram que é viável a utilização da areia do desarenador como material para construção civil, onde a comercialização do material higienizada acarretaria lucro a partir do vigésimo mês.

Estudos, como o de Coelho *et al.*, (2019) tratam da utilização de lodos estabilizados de esgoto (biossólidos) na agricultura como complemento nutritivo aos solos de plantio, o que pode ser uma possível reciclagem para os sedimentos, haja vista que Jimenez *et al.*, (2004) relatam que os sedimentos presentes na rede de coleta de esgoto são similares aos lodos, se tornando assim necessário somente um processo de estabilização desse material para posterior utilização.

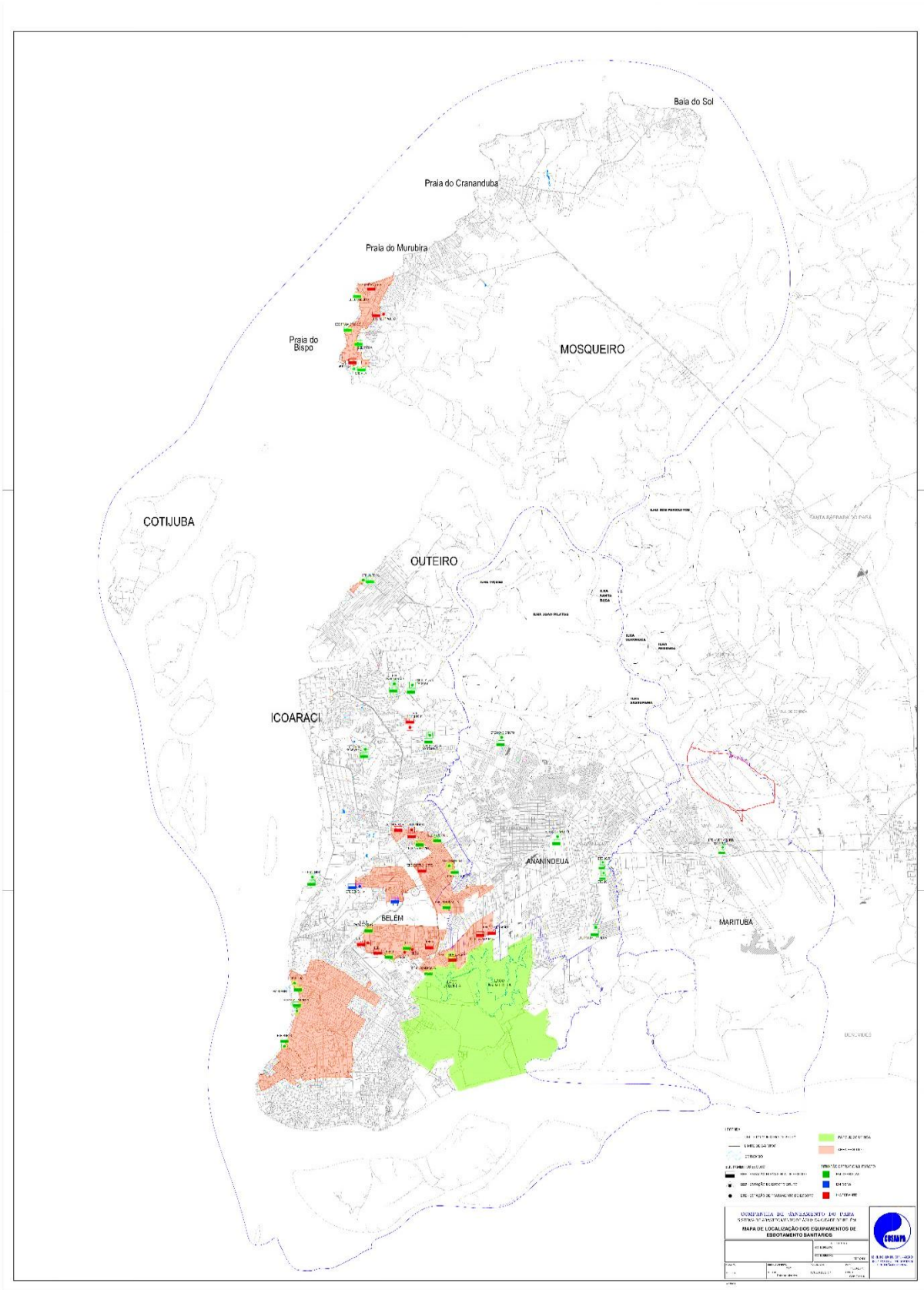
Outra possibilidade de reciclagem abordada em cima do lodo de esgoto é a incorporação desse material na produção de produtos cerâmicos, a exemplo do estudo realizado por Areias *et al.*, (2017).

#### **4    ÁREA DE ESTUDO**

A Região Metropolitana de Belém (RMB) é composta pelos municípios de Ananindeua, Belém, Benevides, Marituba, Santa Bárbara do Pará e Santa Isabel do Pará. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), estima-se que em 2022 a RMB abrigue cerca de 2.272.032 habitantes, o que representa um terço da população paraense. Ocupa uma área de 3.565 km<sup>2</sup>, cerca de 1% de toda área do estado.

A RMB é caracterizada por superfície plana, terra de baixa altitude e declividade suave com hidrografia de grande porte, com alta incidência de favelização (DIAS et al., 2021). É uma região localizada no estuário-foz do rio Amazonas, delimita pelo rio Guamá e a Baía do Guajará e é caracterizada pela expressiva presença de ilhas periféricas (LIMA et al., 2021). Dentre os municípios da RMB, somente dois serão objetos de estudo, Belém e Marituba. Há diferentes tipos de sistemas de rede coletora de esgoto dentro da RMB, o traçado da rede de coleta de esgoto da região metropolitana de Belém está apresentado na figura 5.

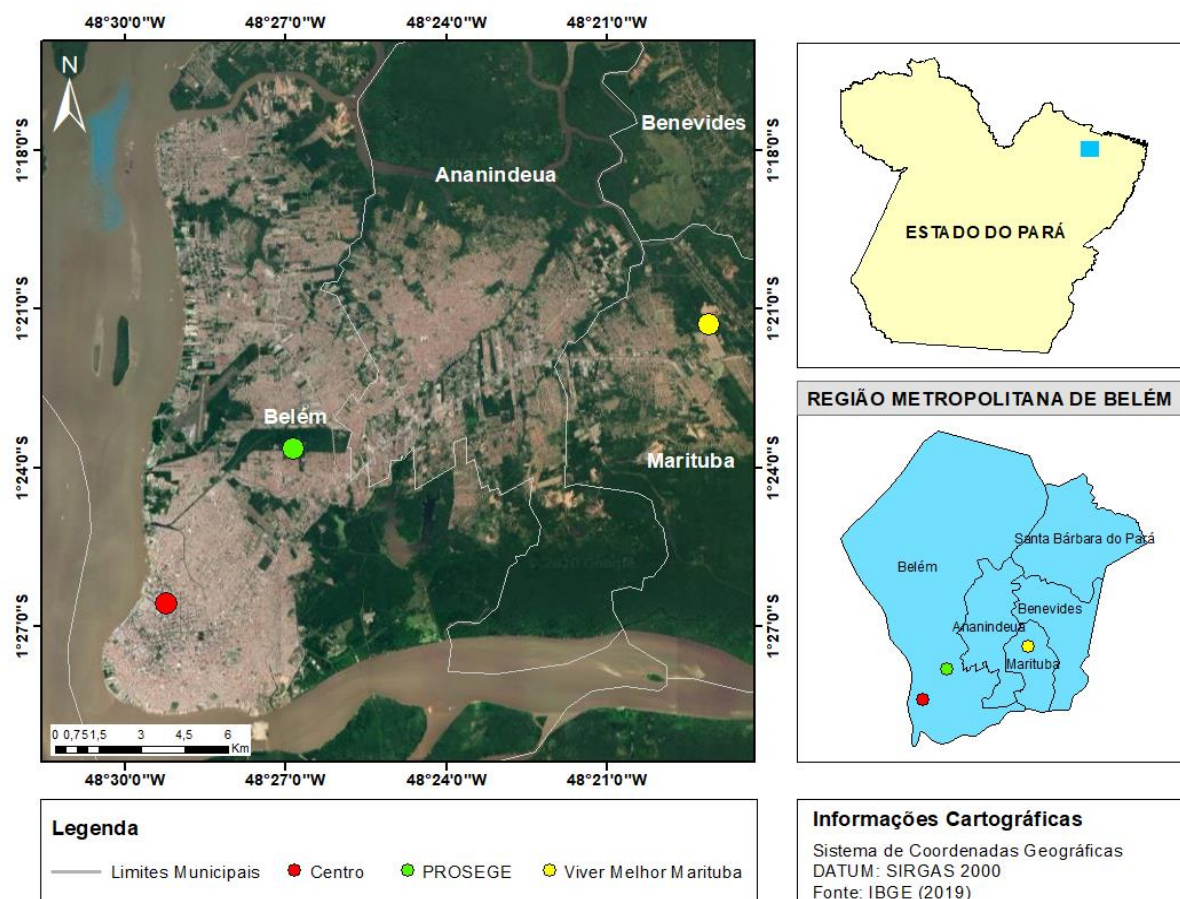
Figura 5- Traçado da rede de coleta de esgoto na região metropolitana de Belém.



Fonte: Companhia de Saneamento do Estado do Pará (COSANPA), 2019.

Foram abordados nesta pesquisa 3 pontos de coleta das amostras de sedimentos de esgoto, distribuídos em três setores distintos, dois pontos dentro do município de Belém e um ponto dentro do município de Marituba. Determinou-se então a coleta representativa do Sistema Antigo Centro, outro do sistema PROSEGE e, por fim, do Residencial Viver Melhor Marituba (figura 6).

Figura 6- Mapa das localizações dos pontos de amostragem.



Fonte: Autor, 2020.

Belém é a capital do estado do Pará, é o município com maior IDH do estado, conta com aproximadamente 1.506.420 habitantes e ocupando cerca de 1.059 km<sup>2</sup> (IBGE, 2010), o município está situado em zona equatorial distante a 120 km do Oceano Atlântico, apresentando clima subtropical úmido, situada na zona climática Af, segundo a classificação de Köppen.

A capital do estado do Pará, apresenta alto índice pluviométrico anual, apresentando dois períodos climáticos distintos, dos meses de dezembro a maio o período mais chuvoso e dos meses de junho a novembro o menos chuvoso,

(MOREIRA *et al.*, 2019). As precipitações anuais podem ultrapassar 3000 mm na região sul de Belém e a temperatura média ultrapassa 26°C (ALVARES *et al.*, 2013).

O município de Belém, especificamente, é composto por oito distritos, são eles: Belém, Bengui, Entrocamento, Guamá, Icoraci, Outeiro, Mosqueiro e Sacramento (Plano Municipal de Saneamento Básico e Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário de Belém-Pará, 2014). Dentre os distritos há 4 unidades de negócio, ou seja, cada qual responsável pela manutenção, operação e intervenção nos setores pertencentes a elas.

Segundo o Atlas Esgoto da Agência Nacional de Águas (ANA), Belém, apresenta atualmente cerca de 20,46% do esgoto coletado por rede, onde somente cerca de 10,66% do material coletada é tratado, 31,06% dos moradores da capital paraense contam com soluções individuais para tratamento dos efluentes gerados e, a maior parcela da população, cerca de 48,48%, não tem acesso a rede coletora e nem apresenta tratamento para seu esgoto gerado.

O município de Marituba, é parte integrante da Região Metropolitana de Belém, considerado como um município novo já que sua emancipação só ocorreu em 1994 (SANTOS e NOGUEIRA, 2020), tem distância aproximada de 11km em relação a capital paraense, é caracterizado pela expansão de núcleos urbanos o que faz com que ocorram representativos problemas socioeconômicos e ambientais (CARNEIRO *et al.*, 2020).

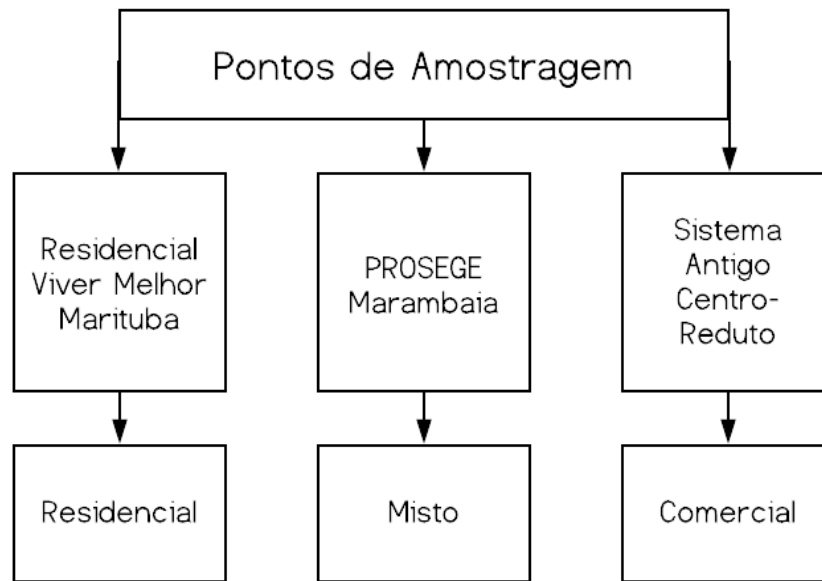
Os dados do Atlas Esgoto são extremamente alarmantes em relação ao município de Marituba, é apontado que somente 4,38% do esgoto gerado é coletado, e não há tratamento para esse efluente, 14,51% da população utiliza alguma forma de solução individual para seu efluente gerado e 81,11% da população residente do município não possui nenhum tipo de coleta ou tratamento de esgoto.

#### **4.1. Pontos de amostragem**

Foram escolhidos três pontos de amostragem dentro da Região Metropolitana de Belém, com base nas demandas da COSANPA, cada ponto faz referência a uma tipologia de amostra: Residencial, Comercial e Misto como mostra a figura 7.

Figura 7-Fluxograma dos bairros de amostragem e sua tipologia de uso do solo.

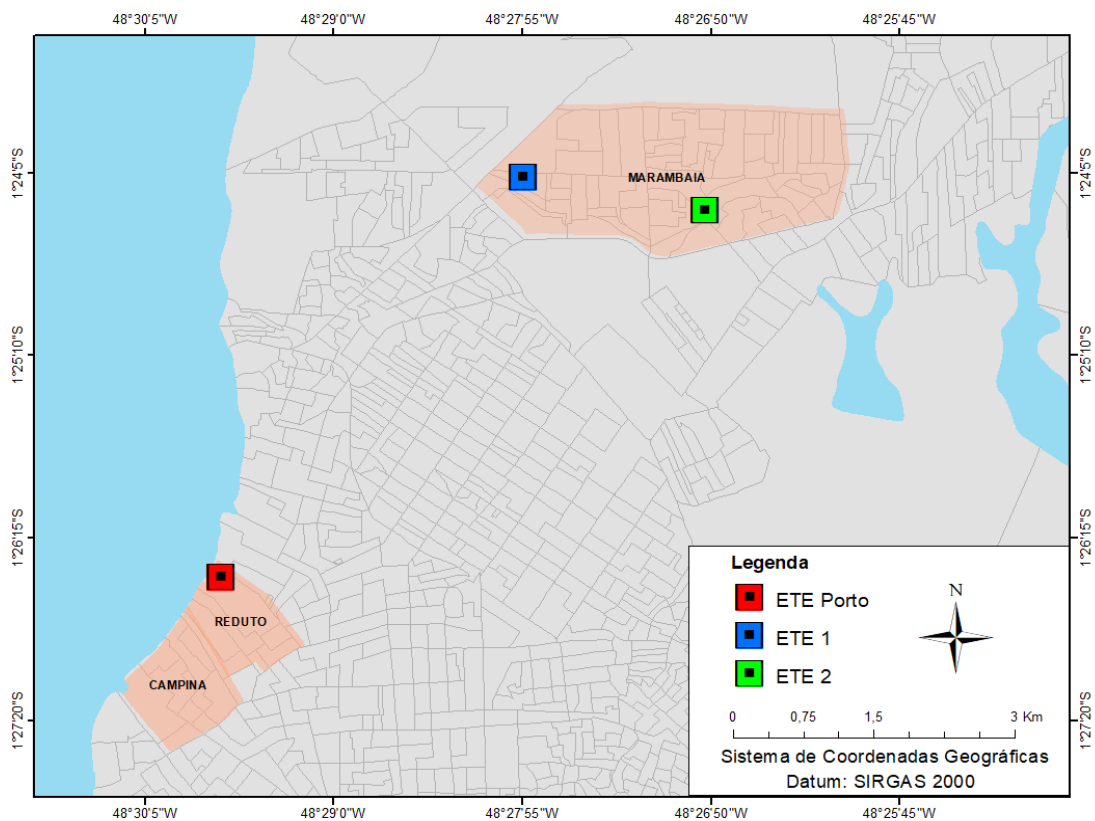




Fonte: Autor, 2020.

Os dois pontos inseridos no município de Belém são o do bairro da Marambaia e do bairro do Reduto, este último sofre grande influência do bairro da campina, assim a identificação da área de influência de cada ponto de coleta está apresentada na figura 8.

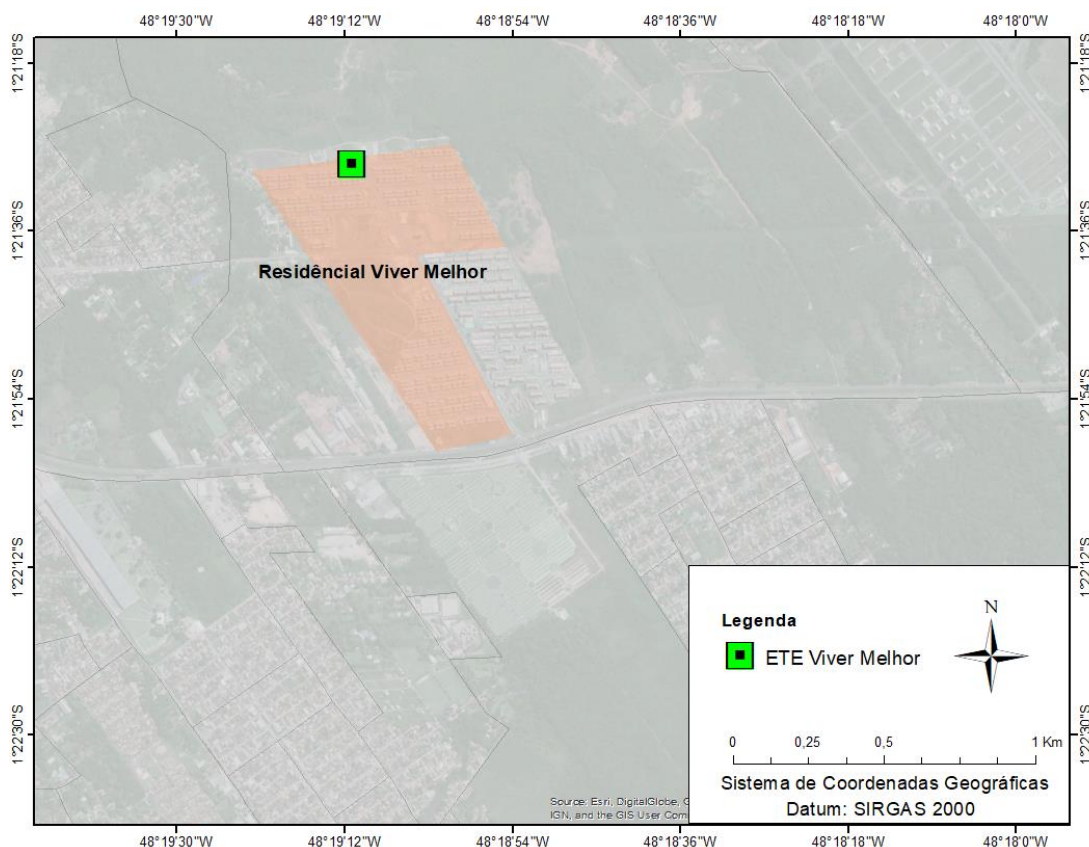
Figura 8- Área de influência dos pontos de coleta- Município de Belém.



Fonte: Autor, 2022.

O ponto inserido no município de Marituba é dentro do Residencial Viver Melhor Marituba, assim, infere-se que sua área de influência (figura 9) é a da contribuição advinda somente da coleta condominial.

Figura 9- Área de influência ponto residencial- Município Marituba.



Fonte: Autor, 2022.

O anexo I apresenta o quantitativo de ordens de serviços de limpeza de poços de visita e demais constituintes da rede coletora de esgoto, onde é possível observar que no período de janeiro a dezembro de 2020, cerca de 358 serviços de limpeza foram executados só em poços de visita, o que demonstra que, mesmo sem uma medida quantitativa em volume ou peso do material gerado por ano, a estimativa de produção do material anualmente é elevada e significativa.

É inexistente a medição de material coletado, ou alguma forma de quantificação gerada em determinado período, assim deve-se considerar que a capacidade volumétrica de um caminhão hidro-jato pode variar entre 5 a 20 m<sup>3</sup>.

#### 4.1.2. Minha casa Minha Vida- Condomínio Viver Melhor Marituba

Em 2014 foi iniciado a implementação do Residencial Viver Melhor Marituba, localizado na BR 316, Km 15, no bairro Total Ville Bella Città, contando com 4.000 residências (COSTA e FARIAS, 2019). Segundo Buenaño (2019) a COSANPA assumiu a operação dos sistemas de abastecimento de água e tratamento de esgoto do Residencial, já que os moradores reclamavam da qualidade destes serviços desde a entrega das residências em 2018. Assim, até os dias atuais a COSANPA continua a executar obras de reparo das redes, e entrou em contato com a construtora responsável pela obra para que os reparos sejam ressarcidos e assim a concessionária possa operar os sistemas adequadamente.

#### 4.1.3. Programa de Ação Social em Saneamento (PROSEG)

A implementação desse sistema de esgotamento sanitário teve início em 1933, onde abrange os bairros da Guanabara e Marambaia, atendendo uma área total de 812,5 ha e apresentando 104.285 m de rede coletora de esgoto (Plano Municipal de Saneamento Básico e Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário de Belém-Pará, 2014), ambos os bairros são pertencentes ao município de Belém. O tipo de esgotamento sanitário adotado nesse sistema é o convencional.

#### 4.1.4. Sistema Antigo

Dois setores apresentam o sistema antigo da rede de coleta de esgoto, uma parte do bairro da Marambaia em conjunto a parte do bairro do Souza e o outro é o setor que engloba parte dos bairros do centro de Belém (Comércio, Cidade velha, Reduto, Umarizal e Nazaré). A rede atrelada ao sistema antigo segue o modelo convencional, onde nos bairros do centro ainda são redes de manilha de barro e nos bairros da Marambaia e Souza são de cimento amianto.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Informação cedida por representantes da COSANPA.

## 5 METODOLOGIA

### 5.1. Coleta e secagem

Foram coletadas amostras de cada um dos 3 pontos da Região Metropolitana de Belém, sendo uma amostra de líquido e duas de semissólidos por ponto e por sazonalidade.

A metodologia de coleta foi adaptada de Fernández e Flores (2008), devido a impossibilidade da realização de coleta diretamente dos PV's, sendo assim, as amostras foram coletadas diretamente do caminhão hidro jato, como mostra a figura 10.

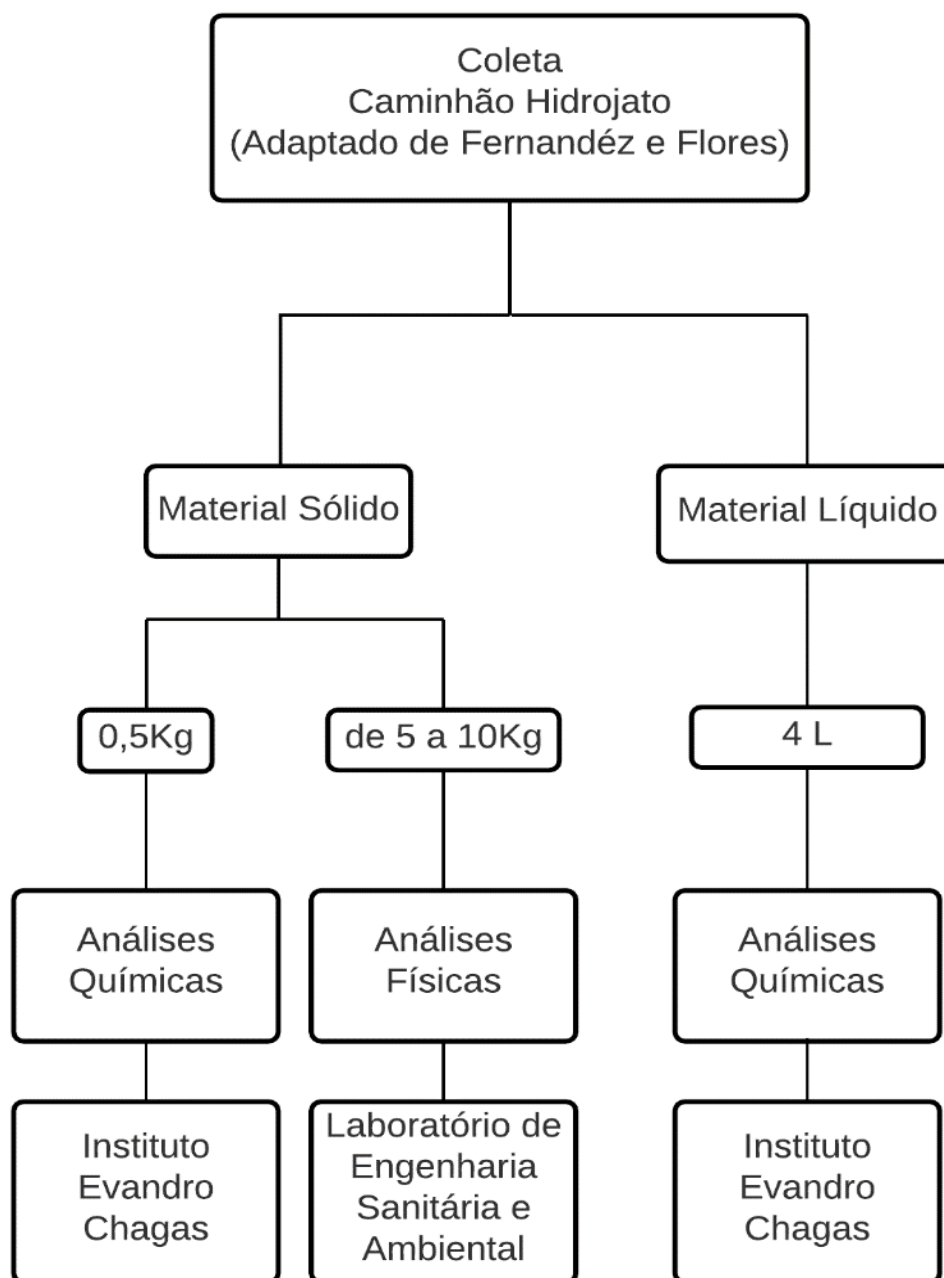
Figura 10- Caminhão Hidro jato.



Fonte: Autor, 2020.

A figura 11 apresenta um esquema resumido dos processos de coleta das amostras. Enfatiza-se que foi realizado a adaptação assim, cada vez que o caminhão succionava o material do ponto de coleta pré-estabelecido, o mesmo se encaminhava para a sede da COSANPA Marambaia e lá a coleta era realizada.

Figura 11- Fluxograma do processo de coleta e segregação das amostras.



Fonte: Autor, 2020.

Assim, cerca de 0,5 Kg de semissólido e aproximadamente 4 L de líquido foram coletados para as análises químicas. Uma parcela de 5 a 10 kg de material em estado semissólido foi destinada para as análises físicas (Figura 12).



Figura 12- A) Coleta do material líquido; B) Coleta do material sólido (análise química); C) Coleta do material sólido (análises físicas).



Fonte: Autor, 2020.

O processo de secagem escolhido para ser aplicado no material é o de exposição solar como é exemplificado na figura 13, sua escolha se deu devido a facilidade de execução e baixo custo de realização. Sweya e Mgana (2020) afirmam que em países em desenvolvimento este método é o mais empregado e de modo geral apresenta boa eficiência não só para evaporação de água e secagem do material como também para desinfecção e remoção de patógenos, sem que ocorra a diminuição significativa da matéria orgânica.

Figura 13- Processo de secagem por exposição solar.



Fonte: Autor, 2021.

Esta fase inicial, a secagem, é essencial para o processo de caracterização, já que logo após a coleta, o material apresenta consistência pastosa o que impossibilita a execução das análises físicas.

## 5.2. Análises físico-químicas

Como não há normatizações acerca das análises específicas para caracterizar ou qualificar a tipologia de material em questão, foram utilizadas as NBR's para caracterização de solos e as normatizações internacionais para análise de qualidade da água e efluentes. No quadro 1 é relatado os parâmetros físicos e químicos realizados nas amostras de sedimento e as respectivas técnicas de análise utilizadas.

Quadro 1-Tipos de amostras, parâmetros a serem analisados e respectivas técnicas de análises.

<b>Tipo de amostra</b>	<b>Parâmetros</b>	<b>Técnica de Análise</b>
Líquida	BTEX	A determinação de BTEX em amostras de água será realizada conforme o método EPA 0010 (EPA, 2007).
Sólido úmido	Metais	Os metais Alumínio (Al), Bário (Ba), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Níquel (Ni), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Sódio (Na) e Zinco (Zn) serão analisados por Espectrometria de Emissão Ótica com Plasma Induzido (ICP OES), no equipamento ICP-OES Modelo Vista- MPX CCD simultâneo, axial da

		VARIAN® com um sistema de amostragem automático (SPS- 5).
Sólido pós exposição solar	Umidade	ABNT NBR 6457/2016
	Granulometria	ABNT NBR 7181:2016, versão corrigida:2017
	Massa específica	ABNT NBR 6458/2016
	Limite de Liquidez	ABNT NBR 7180/2016
	Limite de plasticidade	ABNT NBR 7180/2016

Fonte: Autor, 2020.

As análises de BTEX e Metais foram realizados no Instituto Evandro Chagas, e as demais no Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal do Pará.

#### 5.2.1. Análise de Metais

A técnica utilizada neste estudo para a determinação da presença de metais e suas respectivas concentrações é chamada de Espectrometria de Emissão Ótica com Plasma Induzido (ICP OES). Santos Júnior et al., (2006) caracterizam essa metodologia como de grande importância já que, além de possibilitar determinações simultâneas e alta precisão é também, significativa do ponto de vista do avanço de estudos científicos em diversas áreas, desde meio ambiente até medicina forense.

Hou et al., (2006) descrevem essa metodologia, onde as amostras, devidamente preparadas, são injetadas em um plasma, usualmente de argônio, induzido por radiofrequência. Assim, a emissão atômica que emana do plasma é coletada e verificada por um dispositivo que analisa o comprimento de onda.

#### 5.2.2. Análise de BTEX

A presença de BTEX, principalmente no ar, é bastante estudada devido a sua relação com o câncer, já que o Benzeno é categorizado como cancerígeno e o Etilbenzeno como possivelmente cancerígeno (Golkhorshidi *et al.*, 2019). No Brasil, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), em sua resolução nº 357/2005, apresenta as concentrações limites toleráveis dos hidrocarbonetos conhecidos como BTEX em água para consumo humano.



Assim a análise da presença do conjunto de hidrocarbonetos composto por benzeno, tolueno, etil-benzeno e os xilenos, no material líquido coletado, foi realizada de acordo com a metodologia descrita pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) número 0010, denominada cromatografia gasosa. Esta é uma das técnicas mais comumente utilizadas para detecção de BTEX em água, segundo Gebara *et al.*, (2013), onde, normalmente, necessita de uma etapa prévia de extração e pré concentração dos analitos para que os baixos teores de limites de detecção sejam alcançados.

### 5.2.3. Umidade

Segundo a ABNT-NBR 6457/2016 de preparação de amostras para o ensaio de compactação e ensaios de caracterização, obtém-se o teor de umidade do material que é essencial para a realização dos demais ensaios de caracterização física da amostra. O conhecimento do teor de umidade do solo é de igual importância para outros fins como os de irrigação, plantio, entre outros (GUTIERRES e NEVE, 2021), o teor de umidade é obtido através da equação 1.

$$h = \left( \frac{P_w - P_s}{P_s} \right) * 100 \quad \text{Eq 1.}$$

Onde:

h- Teor de umidade (%);

P<sub>w</sub>- Peso úmido do solo (g);

P<sub>s</sub>- Peso seco do solo (g).

### 5.2.4. Limite de Atterberg ou Indice de Plasticidade

O Limite de Liquidez, segundo a NBR 6459/1984 é resultado da relação entre a porcentagem de umidade e o número de golpes para fechamento da canelura aberta no aparelho denominado “Casagrande”, objetivando alcançar a porcentagem de umidade que o fechamento ocorra com 25 golpes.

O Limite de Plasticidade, segundo a NBR 7180/1984, faz referência a menor porcentagem de umidade onde o solo se comporta plasticamente, assim é feito um “rolo” fino de solo (a espessura deve ser o mais similar ao gabarito) onde o este “rolo”

é manuseado até sua fissura em pequenos pedaços, posteriormente esse material é levado a estufa para aferição da umidade. Os dois limites são aferidos com base na umidade, assim todo o procedimento é baseado no cálculo de umidade apresentado na equação 1.

Araujo et al., (2015) ressalta que a avaliação do índice de plasticidade é essencial para que se verifique a aplicabilidade do subproduto na confecção de materiais cerâmicos, já que para estes exigem-se níveis de plasticidade médios. Dessa forma os resultados do limite de liquidez e plasticidade de cada material coletado originará o Índice de plasticidade (Equação 2).

$$IP = LL - LP \quad \text{Eq 2.}$$

Onde:

IP- Índice de plasticidade (%);

LL- Limite de liquidez (%);

LP- Limite de plasticidade (%).

#### 5.2.5. Granulometria

Capelli (2016) afirma que o solo deve ser nomeado pela maior fração presente em sua composição seguido dos adjetivos das frações restantes que podem influenciar no comportamento do material.

A metodologia de análise para determinação das frações granulométricas do solo é baseada na normatização brasileira ABNT-NBR 7181/2006, onde a mesma pode ser realizada com a combinação de peneiramento e sedimentação ou somente com o peneiramento, dependendo da característica do material e a finalidade do estudo.

Para a parte de granulometria de material seco, obtém-se a porcentagem passado em cada peneira a partir da equação 3, apresentada na NBR 7181/2016.

$$Qg = \left( \frac{M_s - M_i}{M_s} \right) * 100 \quad \text{Eq.3}$$

Onde:

Qg- Porcentagem de material passado em cada peneira (%);

Ms- Massa total seca (g);

Mi- Massa do total retido acumulado em cada peneira (g).

A metodologia de granulometria utilizada apresenta algumas limitações, como por exemplo considerar que não ocorre interação entre as partículas e que as mesmas apresentam densidades iguais (Ribeiro, Angelim e Guimarães, 2014).

#### 5.2.6. Massa Específica

A metodologia de análise para determinação da massa específica segue a normatização brasileira ABNT-NBR 6458/2016. Souza, Assis e Couto (2018), afirmam que a massa específica de um material está diretamente relacionada a porosidade do mesmo. Carrijo (2005), mostra que, nos casos de agregados reciclados adicionados ao concreto, a massa específica é responsável por determinar a quantidade dos materiais a serem utilizados na mistura. Além da importância já mencionada da realização do ensaio de massa específica, o mesmo é imprescindível para os cálculos do ensaio de sedimentação.

No contexto do uso de lodos de ETE's e ETA's, Roque, Montalvan e Boscov (2021) explanam que a relação entre a massa específica dessa tipologia de material com a quantidade de matéria orgânica no mesmo é inversamente proporcional. A massa específica dos grãos é obtida através da equação 4.

$$\delta = \frac{\frac{M1 \cdot 100}{100 + h}}{\left(\frac{M1 \cdot 100}{100 + h}\right) + M3 - M2} * \delta T \quad \text{Eq.4}$$

Onde:

$\delta$ - Massa específica dos grãos do solo (g/cm<sup>3</sup>);

M1- Massa do solo úmido (g);

M2- Massa do picnômetro + solo+ água, na temperatura T de ensaio (g);

M3- Massa do picnômetro cheio de água até a marca de referência, na temperatura T de ensaio (g);

h- Umidade inicial da amostra;

$\delta T$ - Massa específica da água na temperatura T de ensaio.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1. Características sociais dos pontos de amostragem

A partir dos dados obtidos no anuário estatístico do município de Belém e nos dados eletrônicos disponíveis no Atlas do Desenvolvimento Humano, foi possível organizar os dados referentes aos bairros de amostragem pertencentes ao município de Belém e no caso do município de Marituba, devida a dificuldade e a ausência de dados do bairro de localização do ponto de coleta, foram utilizados dados referentes ao município como um todo. Aos resultados estão apresentados no quadro 2.

Quadro 1- Características demográficas e sociais dos pontos de amostragem.

<b>Características</b>	<b>Ponto Marambaia</b>	<b>Ponto Marituba</b>	<b>Ponto Reduto</b>
<b>População total</b>	66.708	108.246	6.373
<b>Homens</b>	46,56%	49,78%	43,03%
<b>Mulheres</b>	53,44%	50,22%	56,97%
<b>0-4 anos</b>	6,69%	8,79%	3,66%
<b>5-14 anos</b>	10,52%	21,54%	7,83%
<b>15-24 anos</b>	18,08%	19,31%	15,85%
<b>25-64 anos</b>	55,69%	44,27%	56,50%
<b>≥65 anos</b>	9,03%	6,08%	16,17%
<b>≥ 18 anos c/Fundamental completo</b>	77,17%	60,44%	95,05%
<b>Renda per capita</b>	R\$ 722,48	R\$ 382,02	R\$ 4.342,04
<b>Residências com banheiro e água encanada</b>	94,75%	78,47%	98,39%

Fonte: Adaptado a partir do Anuário Estatístico de Belém, 2011 e 2019 e Atlas do Desenvolvimento Humano, 2013.

São nítidas as diferenças sociais entre os bairros, principalmente na questão de renda e escolaridade. Destaca-se a porcentagem de domicílios com banheiro e água encanada no município de Marituba, 78,47%, o que significa que cerca de 21,53% da população residente na região não apresenta condições hidrossanitárias adequadas à habitação humana.

## 6.2. Caracterização física e química dos solos sedimentados nos poços de visita.

A caracterização física e química dos solos sedimentados nos pontos de coleta (PROSEGE Marambaia, sistema antigo e Residencial Marituba) foi realizada em dois períodos distintos: período menos chuvoso e o período chuvoso.

D'Alessandro et al., (2014) ressaltam que as características do esgoto gerado variam de acordo com os usos a qual água foi submetida por determinada população, estes usos alternam-se de acordo com o clima, tempo, situação social e econômica, além de hábitos culturais de cada comunidade. Assim, é importante a avaliação das características do material gerado em diferentes períodos sazonais, no caso de Belém, período menos e mais chuvoso.

A Tabela 01 apresenta os resultados da caracterização para o ponto de coleta da rede de esgoto PROSEGE- região metropolitana de Belém.

Tabela 1- Resumo resultados ponto PROSEGE Marambaia.

<b>PROSEGE</b>		
<b>Data coleta</b>	<b>06/08/2020</b>	<b>11/01/2021</b>
<b>Parâmetros Físicos</b>	<b>Período menos chuvoso</b>	<b>Chuvoso</b>
Massa específica	2,61 g/cm <sup>3</sup>	2,61 g/cm <sup>3</sup>
Porcentagem de areia fina	62,07%	48,07%
Limite de Liquidez	23,61%	Não aplicável
Limite de Plasticidade	Não Plástico	Não Plástico
<b>Parâmetros químicos</b>	<b>Período menos chuvoso</b>	<b>Chuvoso</b>
BTEX	Abaixo dos limites	Abaixo dos limites
Metais	Alumínio 285,52 mg/L; Ferro 55,62 mg/L	Abaixo dos limites

Fonte: Autor, 2022.

Os resultados das análises químicas e físicas do ponto de coleta “Sistema Antigo” dentro do município de Belém, estão apresentados na tabela 02.

Tabela 2- Resumo resultados Sistema Antigo.

<b>Sistema Antigo</b>		
<b>Data coleta</b>	<b>25/08/2020</b>	<b>25/02/2021</b>
<b>Parâmetros Físicos</b>	<b>Período menos chuvoso</b>	<b>Chuvoso</b>
Massa específica	2,61 g/cm <sup>3</sup>	2,60 g/cm <sup>3</sup>
Porcentagem de areia fina	68,85%	70,77%

Limite de Liquidez	Não aplicável	Não aplicável
Limite de Plasticidade	Não Plástico	Não Plástico
<b>Parâmetros químicos</b>	<b>Período menos chuvoso</b>	<b>Chuvoso</b>
BTEX	Abaixo dos limites	Abaixo dos limites
Metais	Alumínio 69,47 mg/L; Ferro 30,63 mg/L	Abaixo dos limites

Fonte: Autor, 2022.

A tabela 03 apresenta o resumo dos resultados do condomínio Viver Melhor Marituba, localizado no município de Marituba.

Tabela 3- Resumo resultados Viver Melhor Marituba

<b>Viver Melhor Marituba</b>		
<b>Data coleta</b>	<b>14/08/2020</b>	<b>09/03/2021</b>
<b>Parâmetros Físicos</b>	<b>Período menos chuvoso</b>	<b>Chuvoso</b>
Massa específica	2,59 g/cm <sup>3</sup>	2,60 g/cm <sup>3</sup>
Porcentagem de areia fina	62,71%	59,67%
Limite de Liquidez	Não aplicável	Não aplicável
Limite de Plasticidade	Não Plástico	Não Plástico
<b>Parâmetros químicos</b>	<b>Período menos chuvoso</b>	<b>Chuvoso</b>
BTEX	Abaixo dos limites	Abaixo dos limites
Metais	Alumínio 70,14 mg/L; Chumbo 138,37 mg/L	Abaixo dos limites

Fonte: Autor, 2022.

### 6.3. Ponto de coleta PROSEGE Marambaia

#### 6.3.1. Resultado período menos chuvoso

O primeiro sedimento foi coletado no dia 6 de agosto de 2020, referente ao ponto de amostragem do bairro da Marambaia, e o mesmo foi posto em secagem natural no mesmo dia de coleta. O material apresentou modificação do aspecto visual durante o processo de secagem, como pode ser observado na figura 14.

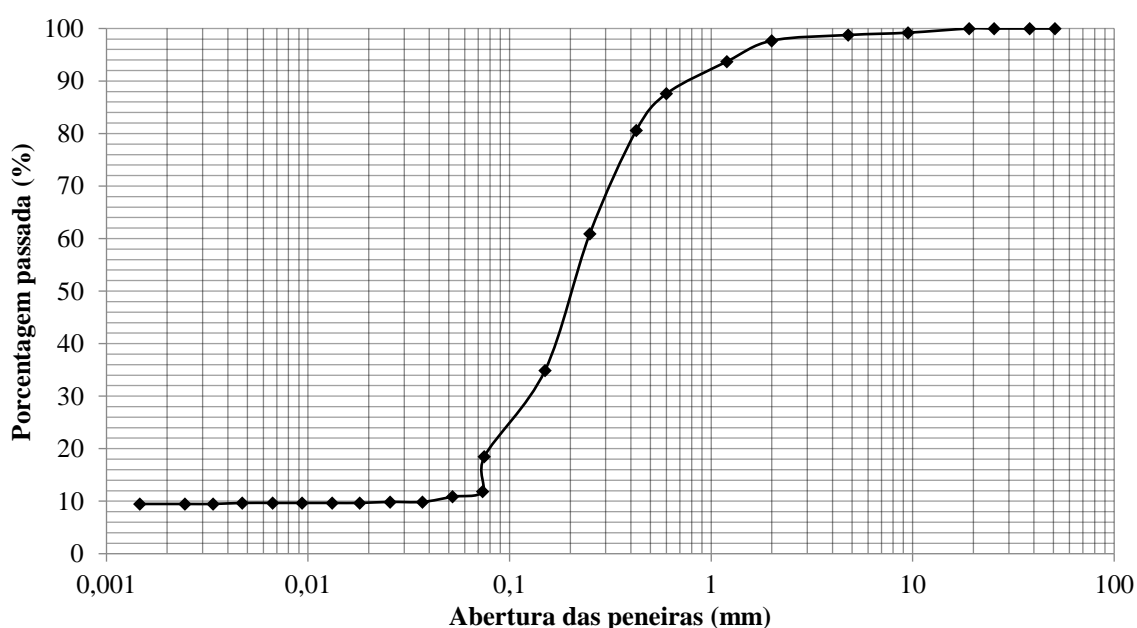
Figura 14- Mudança visual do material durante o processo de secagem; A) Aspecto do material no dia da coleta; B) Mudança após 6 dias de secagem; C) Mudança após 8 dias de secagem.



Fonte: Autor, 2020.

Assim, após a secagem, o biossólido representativo do sistema PROSEGE Marambaia foi caracterizado apresentando massa específica igual a  $2,61 \text{ g/cm}^3$ , com teor de umidade igual a 0,66%. A análise granulométrica em conjunto a sedimentação (Figura 15) demonstraram que o material coletado apresenta cerca de 62,08% de areia fina, 17,10% de areia média, 9,02% de silte e cerca de 9,47% de argila.

Figura 15- Granulometria material PROSEGE Marambaia.



Fonte; Autor, 2020

A pequena porcentagem de material grosso (1,24% da faixa granulométrica de pedregulho e 1,07% da faixa de areia grossa) corresponde, em grande parte, a restos de material orgânico sedimentados, tais como caroços de frutas, pedaços de folhas e lascas finas de madeira (figura 16).

Figura 16- Parte do material pertencente a faixa granulométrica grossa.



Fonte: Autor, 2020.

Para o material em questão, o teste de limite de plasticidade resultou em material não plástico. Já o teste de limite de liquidez resultou em 23,61%, assim, utilizando a equação 1, o índice de plasticidade do material resultou em 23,61%.

Os resultados para as análises de metais e BTEX para o ponto Marambaia, resultaram em concentrações de benzeno, tolueno, etil-benzeno e os xilenos abaixo dos limites estabelecidos para lançamento de efluentes pela Resolução 430 de 2011, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Em questão aos metais, somente o ferro apresentou concentração superior ao valor estabelecido como de referência, chegando à concentração de 57,75 mg/L. A maior concentração de metal encontrada foi o de Alumínio, 285,15 mg/L.

#### 6.3.2. Resultado período mais chuvoso

A coleta do período chuvoso do ponto Marambaia ocorreu no dia 11 de janeiro de 2021, o material foi submetido a secagem natural e ocorreu alteração na coloração como pode ser observado na figura 17.



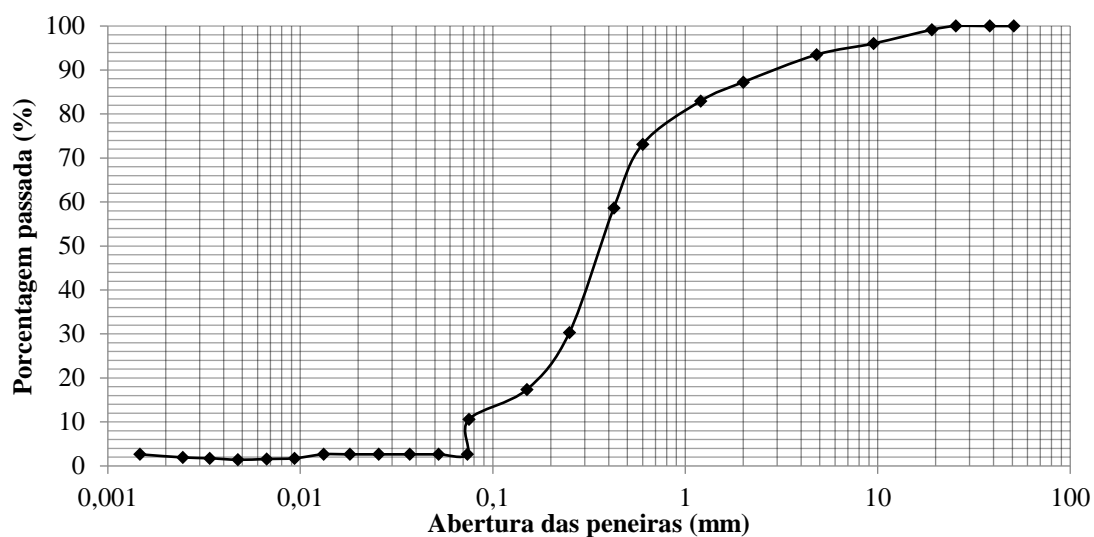
Figura 17- Mudança visual durante o processo de secagem. A) Material no dia da coleta; B) 17 dias após a coleta; C) 22 dias após a coleta.



Fonte: Autor, 2021.

Após a secagem foram realizadas as análises de caracterização física, o ensaio de granulometria mostrou que a maior porcentagem, 48,07%, do material é compatível como areia fina, seguido de 28,60% de areia média e 8,64% de silte. Entre as menores porcentagens estão a de areia grossa, 6,22%, e argila, 1,94%, como pode ser observado na figura 18.

Figura 18- Granulometria material PROSEGE Marambaia chuvoso.



Fonte: Autor, 2021.

O resultado de massa específica do ponto Marambaia para o período chuvoso se manteve igual ao valor encontrado para o período seco,  $2,61 \text{ g/cm}^3$ . Quanto ao teor de umidade o valor encontrado foi de 3,27%. Não foi possível realizar os ensaios de limite de liquidez e limite de plasticidade do material.

As análises químicas resultaram em valores de hidrocarbonetos monoaromáticos insignificantes baseando-se na Resolução CONOMA nº430/2011. Os metais, que apresentaram altas concentrações no período seco (Ferro e Alumínio), retrataram concentrações bem mais baixas para o período chuvoso, 3,95 mg/L de Ferro e 1,90 mg/L de Alumínio.

#### 6.4. Ponto de coleta Sistema Antigo

##### 6.4.1. Resultado período menos chuvoso

A coleta do ponto reduto no período menos chuvoso ocorreu no dia 25 de agosto de 2020, onde o mesmo processo de secagem, secagem natural, fora aplicado. O aspecto visual apresentou modificação semelhante ao ponto Marambaia, tendo uma diferença de coloração do material seco, como mostra a Figura 19.

Figura 19- Mudança visual durante o processo de secagem. A) Material no dia da coleta; B) 28 dias após a coleta; C) 35 dias após a coleta.

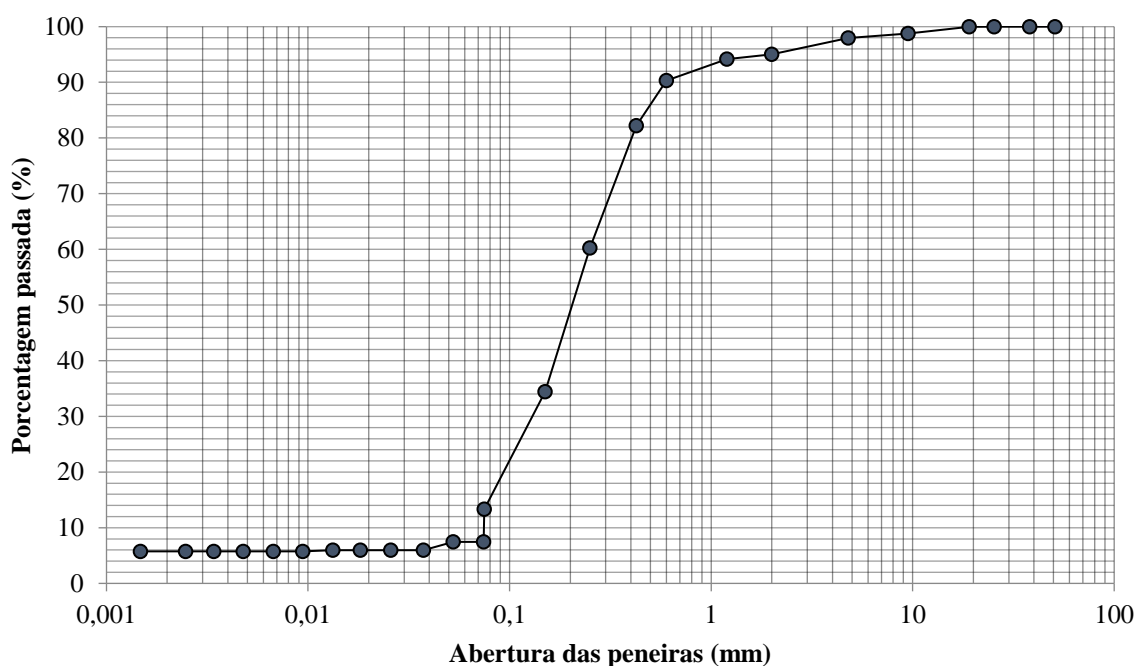


Fonte: Autor, 2020.

Após o processo de secagem o material foi encaminhado para caracterização física, resultando em uma massa específica de  $2,61 \text{ g/cm}^3$ , com teor de umidade de

1,7%. A análise granulométrica mostrou que cerca de 68,85% do material é composto por areia fina e 12,84% de areia média, sendo as duas faixas granulométricas mais presentes no material, as demais faixas variaram em torno de 2,06% de pedregulho a 7,58% de silte, como pode ser observado na figura 20.

Figura 20- Curva granulométrica ponto Centro- período menos chuvoso.



Fonte: Autor, 2020.

Não foi possível gerar resultado acerca do limite de Atterberg devido ao material não possibilitar a execução dos ensaios.

Os valores de concentração de BTEX para este ponto foram considerados ínfimos em relação a Resolução CONAMA Nº430/2011. Quanto aos metais, somente os componentes Ferro e Alumínio apresentaram concentrações mais elevadas (30,63 mg/L de ferro e 69,47 mg/L de Alumínio).

#### 6.4.2. Resultado período mais chuvoso

A coleta do ponto do sistema antigo referente ao período chuvoso foi realizada dia 25 de fevereiro de 2021, o processo de secagem natural foi aplicado, onde a diferença visual do material também foi observada (figura 21), apresentando como maior diferencial em relação ao período menos chuvoso a menor quantidade de resíduos de construção civil.



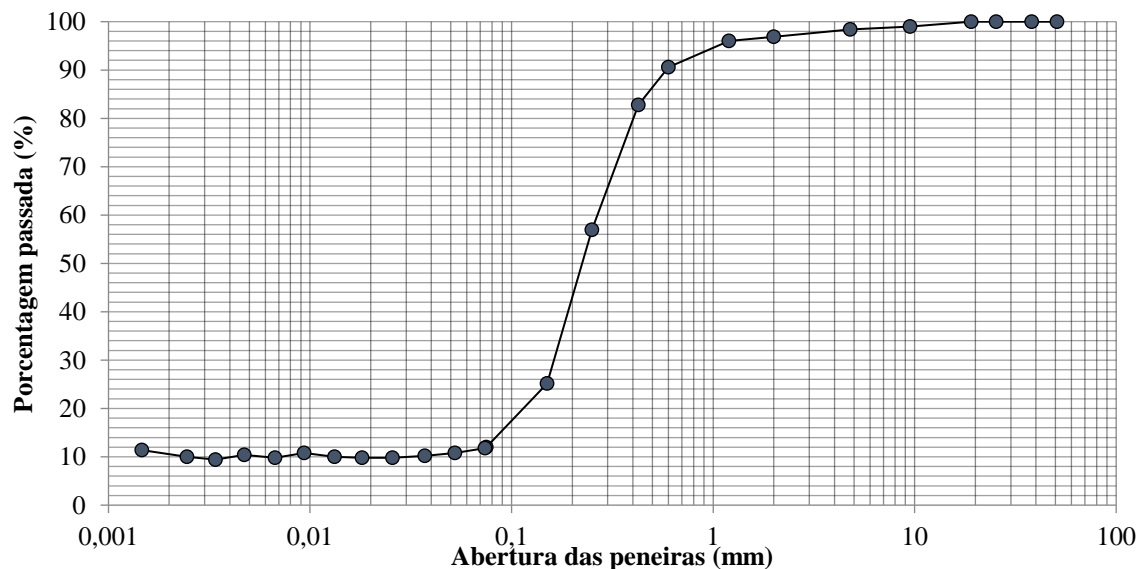
Figura 21- Mudança visual durante o processo de secagem. A) Material no dia da coleta; B) 15 dias após a coleta; C) 36 dias após a coleta.



Fonte: Autor, 2021.

O resultado da análise granulométrica mostrou que cerca de 70,77% do material apresenta a faixa granulométrica característica de areia fina, seguida pelas frações de 14,10% de areia média e 10,01% de argila, com porcentagens quase baixas de silte (1,97%), pedregulho (1,62%) e areia grossa (1,54%), como mostra a figura 19.

Figura 22- Granulometria ponto Centro- período chuvoso.



Fonte: Autor, 2021.

A umidade do material se apresentou na faixa de 0,48%, o ensaio de limite de liquidez resultou na impossibilidade de análise e por fim, o material apresentou massa específica de 2,60 g/cm<sup>3</sup>.

Os resultados das análises químicas mostraram concentrações insignificantes de BTEX tomando como parâmetro a Resolução CONAMA Nº 430/2011, em relação aos metais, ferro e alumínio que tinham apresentado concentrações mais elevadas no período seco, tiveram suas concentrações reduzidas, 3,53 mg/L de Ferro e 2,05 de Alumínio.

## 6.5. Ponto de coleta Residencial Marituba

### 6.5.1. Resultado período menos chuvoso

A coleta do ponto Marituba para o período menos chuvoso foi realizada dia 14 de agosto de 2020, a aplicação do processo de secagem natural resultou na mudança de coloração do mesmo como pode ser observado na figura 23.

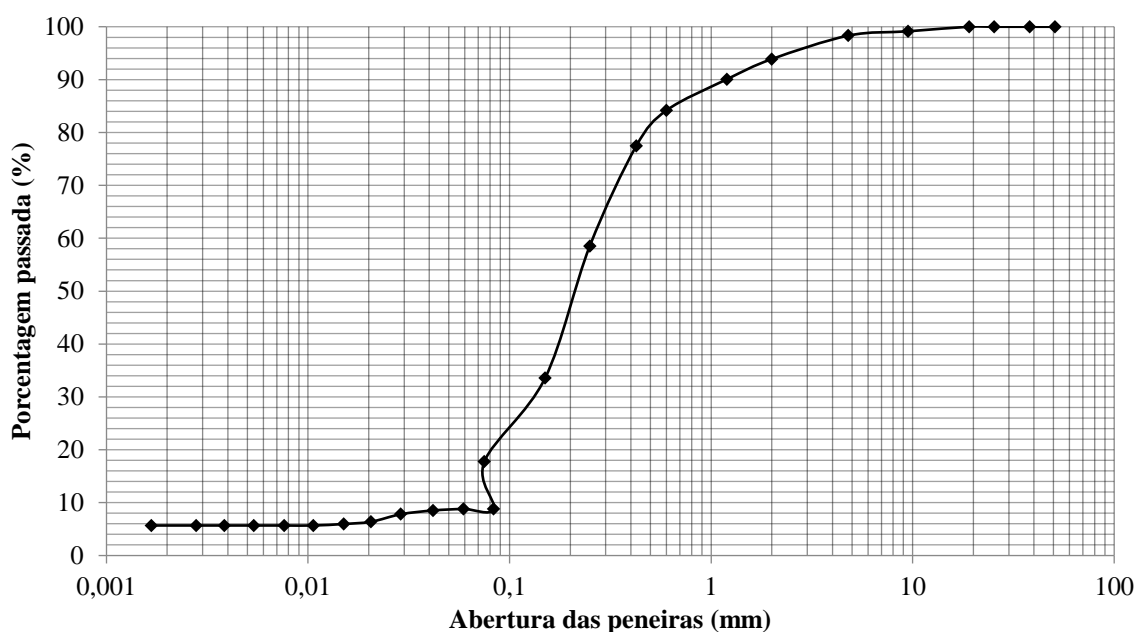
Figura 23- Mudança visual durante o processo de secagem. A) Material no dia da coleta; B) 10 dias após a coleta; C) 20 dias após a coleta.



Fonte: Autor, 2020.

A análise granulométrica mostrou que cerca de 59,67% do material apresenta-se na fração granulométrica característica de areia fina, seguido das porcentagens representativas de 16,44% de areia média, 12,08% de silte, 5,68% de argila, 4,44% de areia grossa e 1,68% de pedregulho, como pode ser observado na figura 24.

Figura 24- Granulometria ponto Marituba- período menos chuvoso.



Fonte: Autor, 2020.

O material apresentou teor de umidade na faixa de 2,19%, assim como nos pontos anteriores, não foi possível realizar a análise de índice de plasticidade. A massa específica do material foi de 2,59 g/cm<sup>3</sup>.

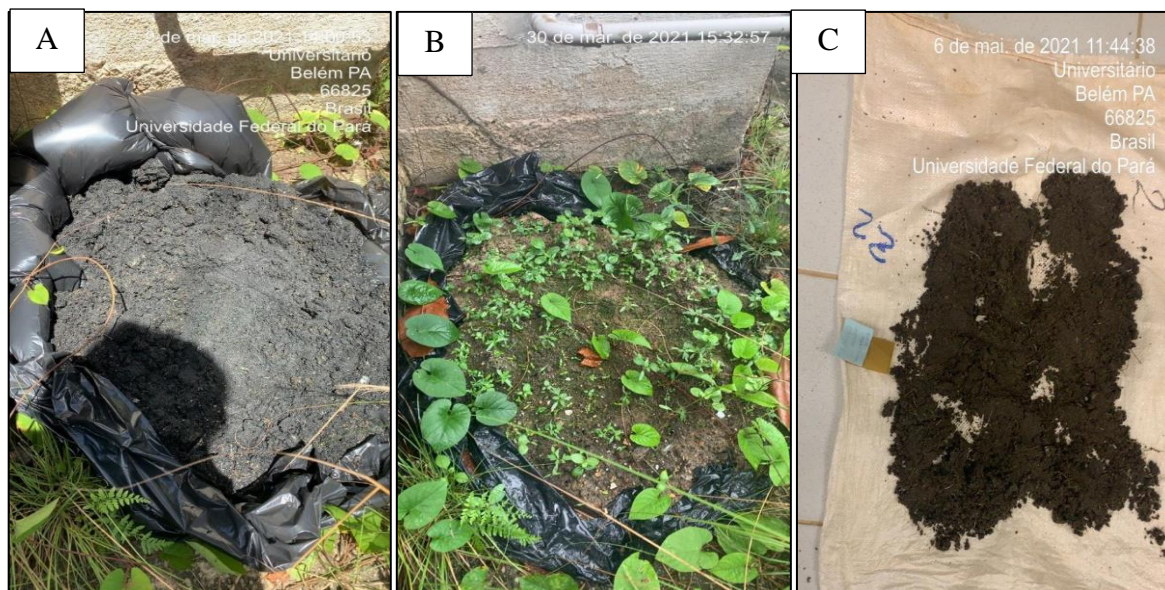
As análises químicas mostraram que os valores de concentrações de BTEX foram insignificantes em relação aos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA Nº 430/2011, porém quanto aos metais, foi constatada a presença de elevada concentração de chumbo, cerca de 138,37 mg/L, assim como também a alta concentração de alumínio, 70,14 mg/L.

#### 6.5.2. Resultado período mais chuvoso

A coleta do ponto Marituba período chuvoso foi realizada dia 09 de março de 2021, o material foi submetido a processo de secagem natural, onde sua mudança de coloração também pode ser observada (figura 25). Por conta de obras no laboratório de análises físicas, o material desse ponto ficou um período maior em processo de secagem.



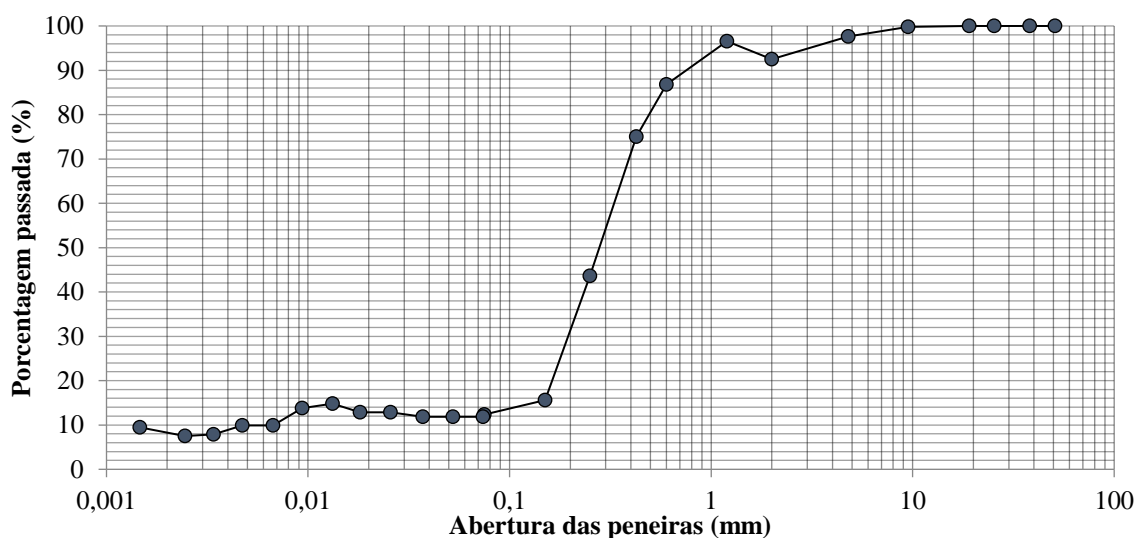
Figura 25- Mudança visual durante o processo de secagem. A) Material no dia da coleta; B) 21 dias após a coleta; C) 59 dias após a coleta.



Fonte: Autor, 2021.

Assim como para as outras amostras, após o período de secagem o material foi encaminhado ao laboratório para análises físicas. A análise granulométrica mostrou que cerca de 62,71% do material de apresenta na fração granulométrica de areia fina, seguido pelas porcentagens de 17,46% de areia média, 7,62% de argila, 5,15% de areia grossa, 4,70% de silte e 2,36% de pedregulho, como pode ser observado na figura 26.

Figura 26- Granulometria ponto Marituba- período chuvoso.



Fonte: Autor, 2021.

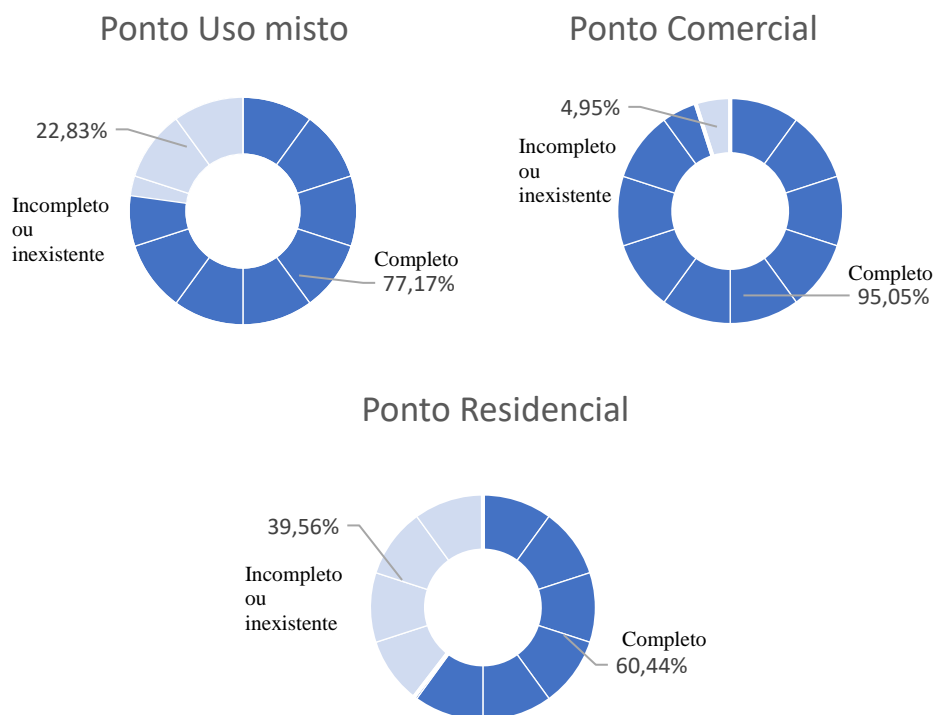
O resultado de massa específica resultou em 2,67 g/cm<sup>3</sup>, o teor de umidade do material foi de 0,52%. Assim, como a maioria dos outros materiais, este não possibilitou a realização das análises de limite de liquidez e plasticidade.

Quanto as análises químicas, as concentrações de BTEX presentes na amostra estavam bem abaixo dos limites estabelecidos para lançamento de efluentes pela Resolução CONAMA Nº 430/2011. Com relação as concentrações de metais, todos os presentes na amostra estavam com concentrações baixas, destacando-se o cálcio que apresentou a maior concentração entre os presentes, na faixa de 3,82 mg/L. O chumbo, que no período menos chuvoso apresentou concentração expressiva, no período chuvoso apresentou concentração de 0,0042 mg/L.

## 6.6. Comparativos

De acordo com o quadro 1, o ponto com maior índice de população com ensino fundamental completo é a população do ponto referente ao sistema antigo (figura 27).

Figura 27- Ensino fundamental por ponto.

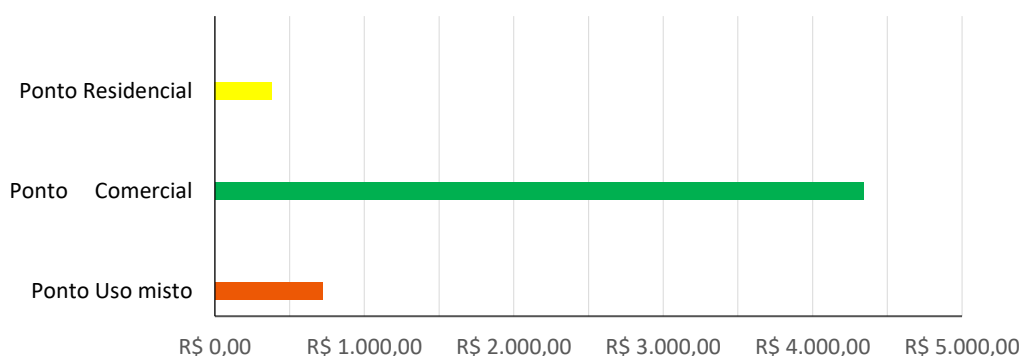


Fonte: Autor, 2021.



Ernica e Rodrigues (2020) esclarecem que a desigualdade educacional dentro das metrópoles brasileiras está diretamente atrelada as diferenças socioespaciais de cada cidade, além da intensificação do déficit educacional em regiões periféricas devido a distribuição desproporcional de renda, fato evidenciado na figura 28, onde é possível observar que o ponto caracterizado como sistema antigo é o que apresenta maior renda per cápita.

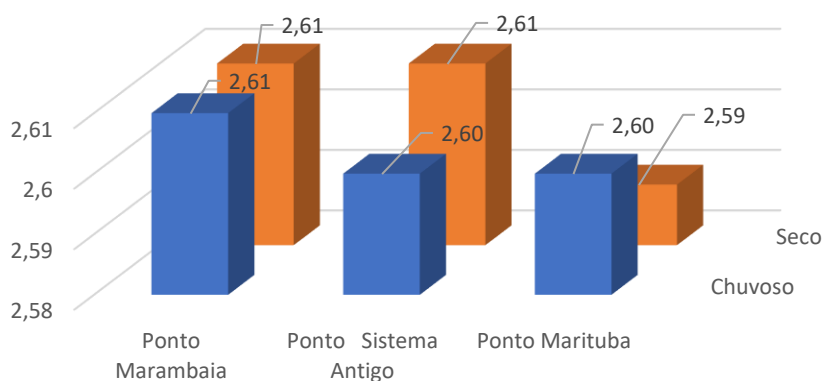
Figura 28- Distribuição de renda por ponto de amostragem



Fonte: Autor, 2021.

Quanto ao comparativo dos resultados laboratoriais, a figura 29 mostra os resultados de massa específica dos materiais. É possível observar que tanto a variação sazonal como as características socioeconômicas do local de coleta não alteraram significativamente a massa específica, resultando todos os ensaios em valores variando entre 2,59 g/cm<sup>3</sup> a 2,61 g/cm<sup>3</sup>.

Figura 29- Comparativo dos resultados de massa específica.



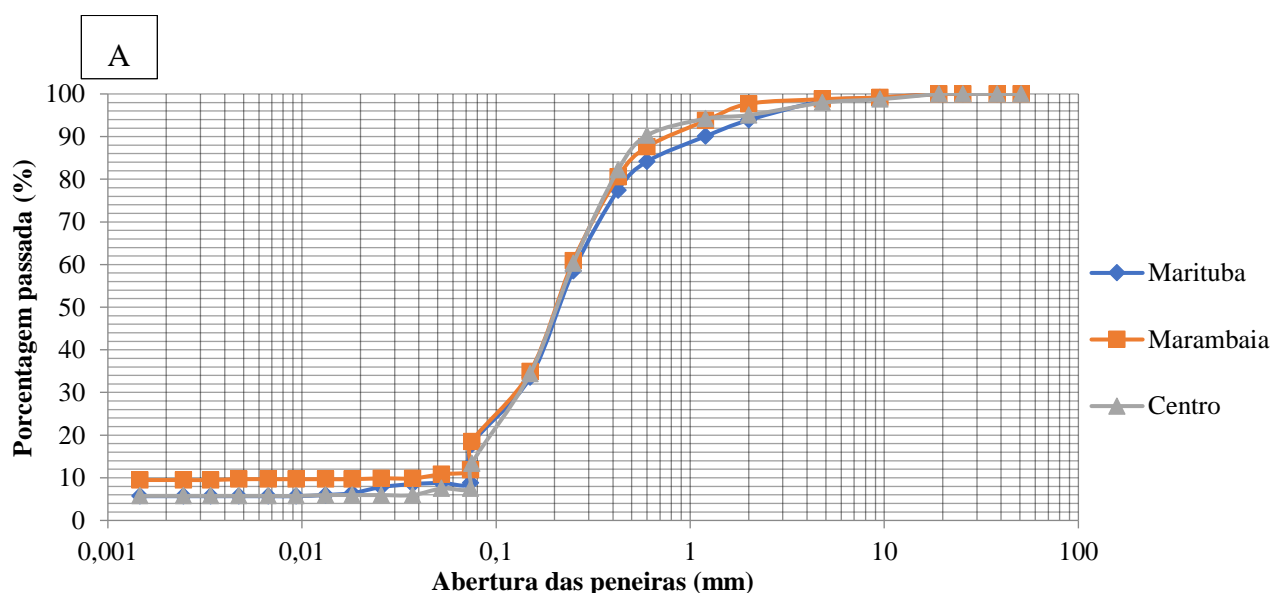
Fonte: Autor, 2021.

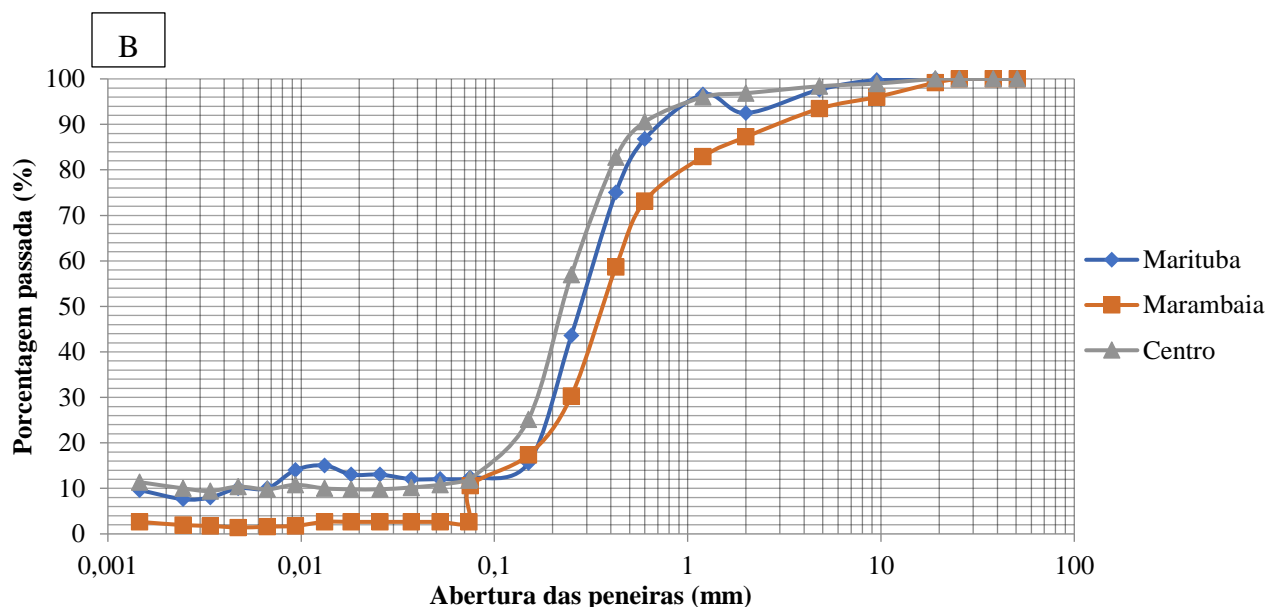
A massa específica do ponto sistema antigo, que apresenta maior renda e maior índice de população com ensino fundamental completo, e a massa específica encontrada para o ponto Marituba, ponto com piores cenário econômico e educacional, apresentaram valores próximos

Fernandez et al., (2018) relata que, os agregados miúdos utilizados para a produção de cimento, apresentam massa específica em torno de  $2,57 \text{ g/cm}^3$ . Borges (2016) apresenta valores de  $2,44 \text{ g/cm}^3$  de massa específica para areia residual do tratamento preliminar de ETE, material similar ao analisado com valor próximo ao encontrado, demonstrando que o material estudado tem compatibilidade deste parâmetro para utilização em materiais cimentícios.

A figura 30 mostra o comparativo da granulometria dos três pontos, onde é possível observar que mesmo com a diferença de tipo de uso e ocupação do solo e a diferença de sazonalidade, as maiores porcentagens de material são de areia, especificamente de areia fina.

Figura 30- Granulometria, comparativo dos três pontos. A) Período Menos Chuvoso; B) Período Mais Chuvoso.





Fonte: Autor, 2021.

A expressiva percentagem de areia em ambos os pontos é condizente com o observado por Bong, Lau e Ghani (2014) que caracterizaram os sedimentos apresentados em drenos de concreto na Malásia, os autores mostraram que a areia é o componente principal dentre os sedimentos e os siltes e argilas se apresentam como componentes secundários.

Ainda sobre a características granulométricas do material, Freire (2018) apresenta resultado similar ao encontrado, mostrando que o material encontrado em caixas de areia de ETE's pode ser considerado como areia fina, sugerindo uma aplicação em materiais cimentícios, argamassas e até mesmo revestimentos.

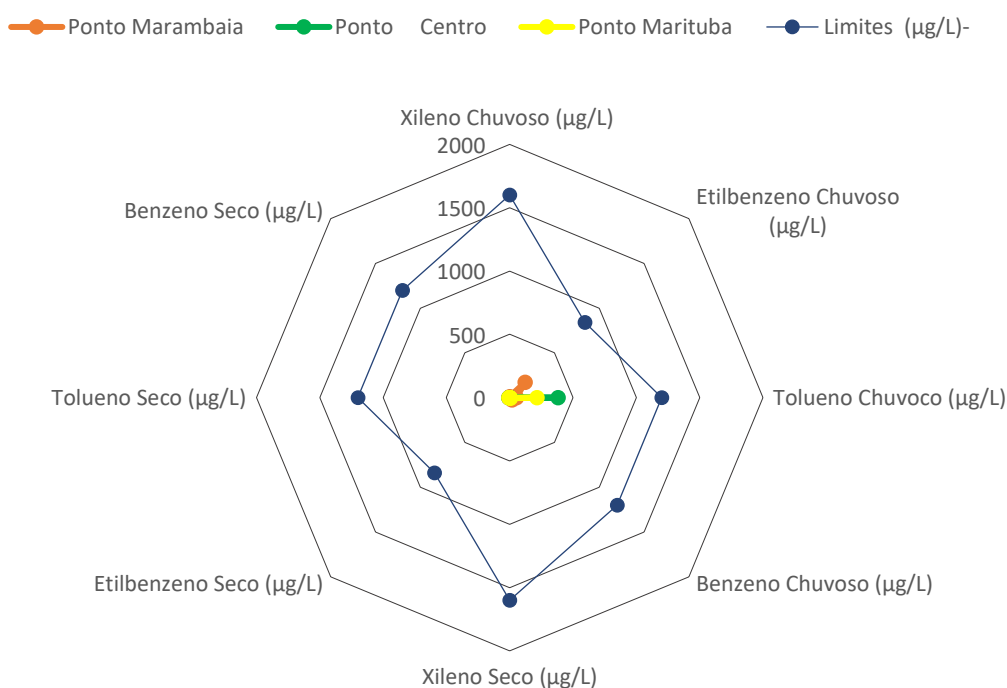
Arulrajah et al., (2011) apresentaram, em seu estudo, percentagens, iguais ou superiores a 50%, de partículas maiores que 0,075 mm, demonstrando uma classificação igual aos demais artigos de percentagem mais expressiva de areia fina, entretanto os autores acreditam que, na verdade, essas partículas são constituídas por partículas originárias de menor tamanho que se aderem devido ao tempo de armazenamento desses sólidos.

As diferenças encontradas nas granulometrias, tanto entre os pontos quanto ao período de coleta, se dão devido a diferença do tipo de sedimento que cada ponto gera correlato ao uso do solo em cada área (FERNANDÉZ e DEL PINO, 2009 & Wang ET AL., 2021) e o fator diluição. Fernández e Del Pino (2009), ainda afirmam que a

maior presença de partículas menores implica em um volume maior de vazios o que acarreta em maior capacidade de contaminação tanto da parte líquida quanto sólida.

Quanto aos BTEX, a figura 31 demonstra o comparativo entre os pontos nos períodos chuvoso e menos chuvoso. É necessário enfatizar a importância da análise desses hidrocarbonetos já que, os mesmos são indicadores de contaminação da água e/ou solo por meio de gasolina (CARVALHO *et al.*, 2014), o que poderia impossibilitar sua reciclagem.

Figura 31- BTEX; comparativo entre os pontos e períodos.



Fonte: Autor, 2021.

É possível observar que em ambos os períodos e pontos, não há a presença de BTEX em concentrações alarmantes ou que impossibilitem sua utilização, todos se encontram abaixo das concentrações estabelecidas pela Resolução CONAMA nº430/2011, que estabelece padrões de lançamento de efluentes.

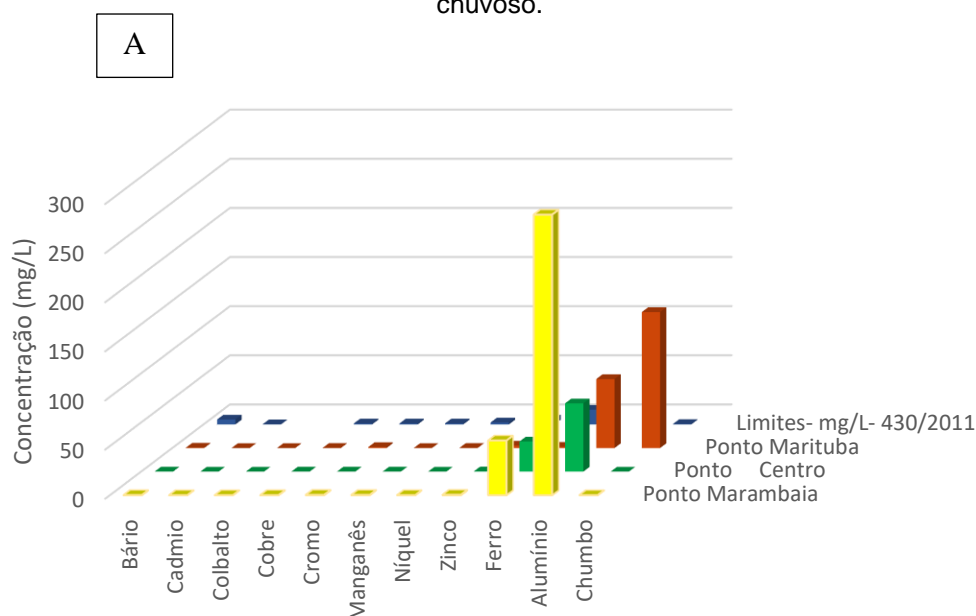
Jiménez *et al.*, (2004) em seu estudo realizado no México, também encontrou valores de Benzeno, Xileno e Tolueno abaixo dos valores estabelecidos para norma Mexicana usada como referência os canais abertos, barragens e outros, entretanto, nas chamadas estações de transferência, que se assemelham a funcionalidade do caminhão hidrojetado, foram encontrados valores de hidrocarbonetos totais elevados.

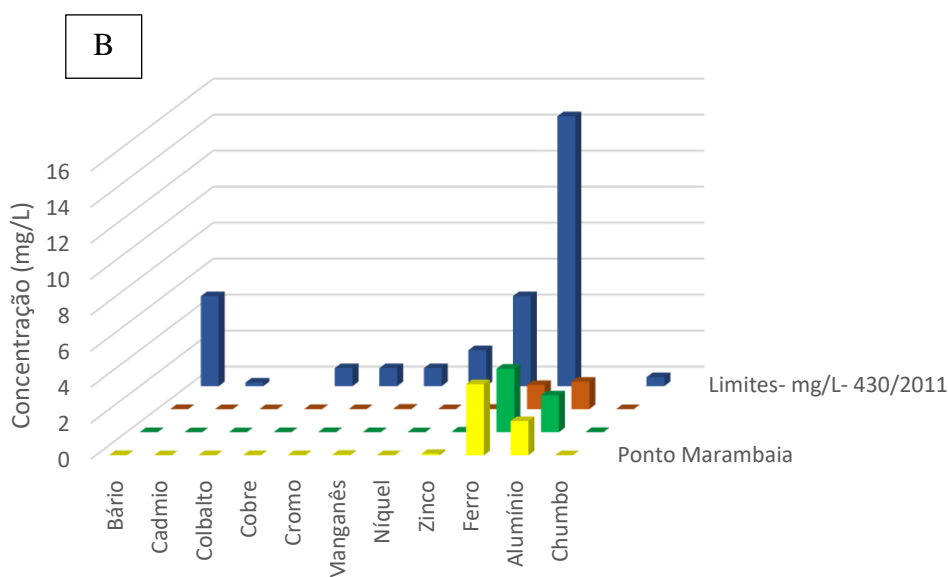
De maneira geral, os valores encontrados de BTEX para os três pontos de estudo nos dois períodos de amostragem não interferem na reciclagem do material, sendo os mesmos considerados insignificantes em comparação aos valores estabelecidos pela resolução supracitada.

A concentração de Tolueno mais expressiva (382 mg/L) foi observada no ponto centro (sistema antigo) que é caracterizado como área comercial com alta renda per capita e maior porcentagem de habitantes com ensino fundamental completo e no período mais chuvoso. A realidade encontrada deve-se ao maior fluxo de automóveis e demais veículos que utilizam combustíveis derivados de petróleo quando comparado aos demais pontos estudados e sua área de abrangência reduzida quando comparado ao ponto Marambaia, outro fator é a maior lixiviação de compostos em períodos chuvosos (MAGALHÃES et al., 2016).

Os resultados da análise de metais são apresentados na figura 27, onde nota-se a presença de ferro em concentrações acima dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº430/2011 no período seco ou menos chuvoso, nos pontos Marambaia e Centro, já as concentrações altas de alumínio foram observadas em todos os três pontos neste mesmo período. Destaca-se a alta concentração de chumbo no ponto Marituba no período seco.

Figura 32- Comparativo das concentrações de metais; A) Período menos chuvoso; B) Período mais chuvoso.





Fonte: Autor, 2021.

Analisando ainda a figura 32, observa-se que no período chuvoso nenhum dos metais excedeu o limite estabelecido para despejo de efluentes segundo a Resolução CONAMA nº430/2011. Fernandez e Del Pino (2009), evidenciam que a concentração de poluentes em sólidos sedimentáveis de esgoto são maiores em tempo seco.

É importante discutir sobre a presença de chumbo no ponto Marituba no período seco que não é compatível com o esperado nem com o que foi encontrado por Wang et al., (2021), onde a presença de metais pesados em concentrações elevadas só foi evidenciada em pontos considerados comerciais.

O chumbo encontrado no período seco no ponto Marituba, não foi presente em concentração significativa no período chuvoso, em vista disso, foi realizada uma visita mais detalhada no ponto em questão (figura 33) afim de verificar se há algum fator que explique a descarga desse tipo de componente, ou avaliar a possibilidade de este ter sido um lançamento pontual.



Figura 33- Visita no ponto de coleta Marituba.



Fonte: Autor, 2021.

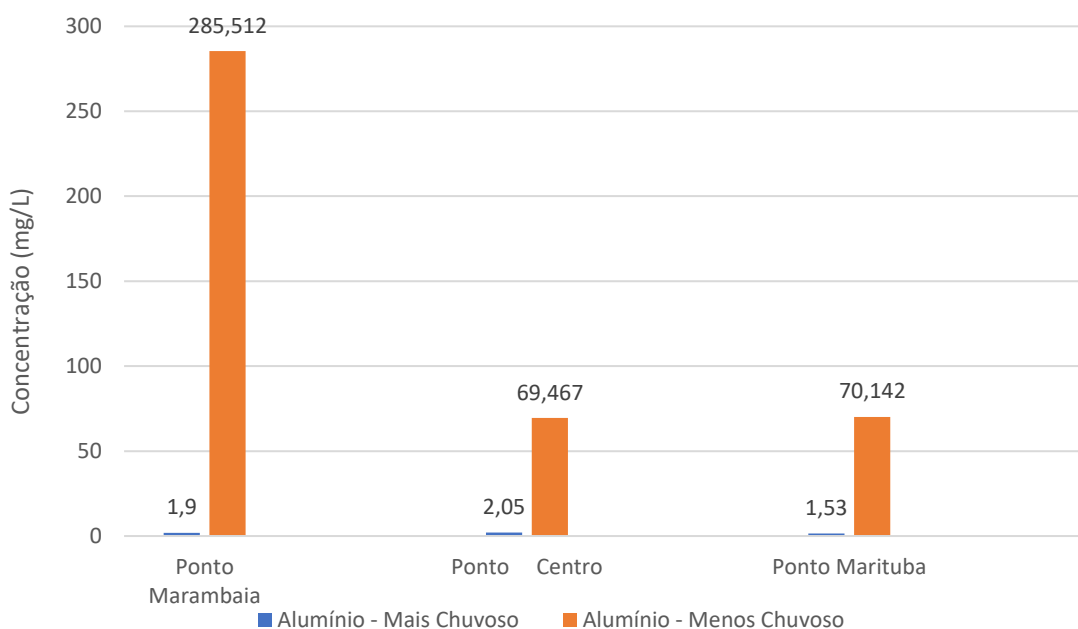
Quanto as altas concentrações de ferro encontradas nos pontos Centro e Marambaia, essas não interferem na possível aplicação do material no solo, como explicam Mass et al., (2014) que a partir de seu experimento demonstraram que mesmo o esgoto apresentando alta concentração de ferro, a irrigação do solo com o mesmo não alterou significativamente a concentração deste componente no solo.

Em relação ao parâmetro alumínio, a legislação brasileira não apresenta valor de referência considerando as águas residuais, entretanto, segundo a CETESB

(2019), concentrações de alumínio superiores a 90 mg/L são encontradas em águas que sofrem descargas de mineração apresentando elevada acidez, destaca-se também que, segundo Miguel et al., (2010), é comum a presença de alumínio nos solos brasileiros e que as altas concentrações desse metal em solos ácidos pode desfavorecer o crescimento de algumas espécies de plantas, o que pode vir a interferir na aplicabilidade do material estudado como adubo para alguns tipos de plantação.

O parâmetro alumínio, o ponto com uso do solo residencial e comercial apresentaram valores bem aproximados, enquanto o ponto de uso misto apresentou um valor expressivamente elevado para o período menos chuvoso (figura 34).

Figura 34- Concentração de Alumínio e uso do solo.



Fonte: Autor, 2022.

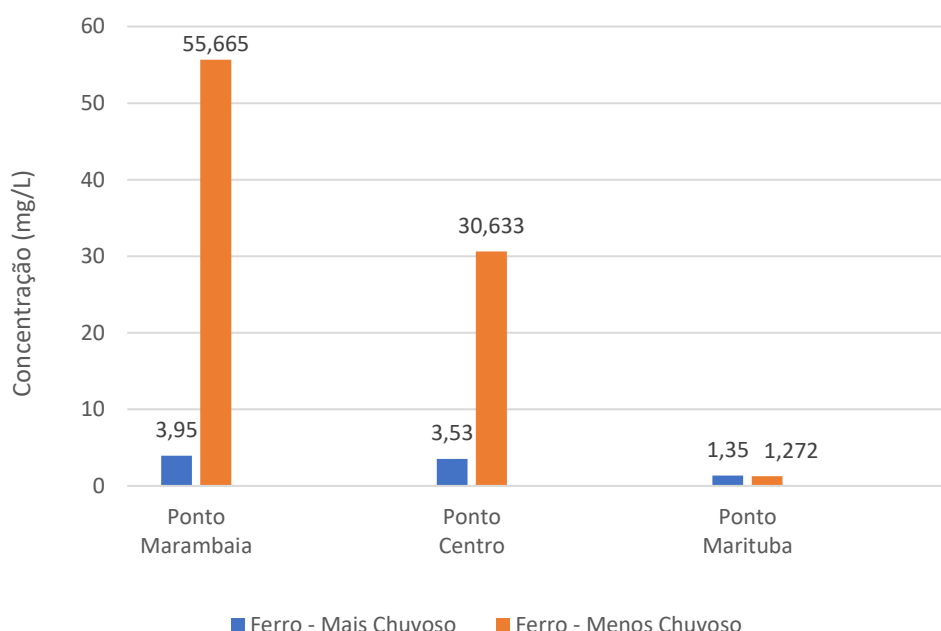
O fato de o alumínio ser encontrado em maior concentração no ponto comercial e no ponto misto está em concordância com o resultado encontrado por Cárdenas et al., (2017), que mostraram que o tipo de uso do solo influencia na concentração de alumínio no esgoto, além de relatarem que locais comerciais são mais propensos a altas concentrações desse metal. Quanto às características físicas como granulometria e massa específica, essas não apresentaram relação com o tipo de uso do solo em cada ponto de amostragem.



Magalhães et al., (2016) explicam que em períodos chuvosos mesmo com o aumento do escoamento superficial e o consequente crescimento de lixiviação de metais, o aumento de vazão contribui com a diluição dos mesmos, o que embasa o fato de no período chuvoso para ambos os pontos analisados, as concentrações de Alumínio serem ínfimas quando comparadas ao período menos chuvoso.

A concentração de ferro apresentou variações de acordo com o tipo de uso de solo (figura 35), onde no ponto residencial (Viver melhor Marituba) o valor da concentração de ferro foi bem abaixo seja no período menos chuvoso seja no período mais chuvoso, já no ponto misto e no comercial esse parâmetro não seguiu o esperado.

Figura 35- Concentração de Ferro e uso de solo.



Fonte: Autor, 2022.

## 7 APLICAÇÕES

Devido a inexistência de altas concentrações de BTEX, o material tem possibilidades variadas de aplicação, as baixas concentrações de metais também corroboram com as aplicações normalmente sugeridas nas literaturas para os lodos de esgoto que apresentam grande semelhança ao material estudado.

Bonini, Alves e Montanari (2015) alertam que a aplicação de lodo pode ser benéfica para a recuperação de solos degradados. Quanto as possibilidades de

aplicação na agricultura dependeram principalmente do tipo de plantio a ser executado, a exemplo do que é relatado por Oliveira e França (2016), onde os autores explicam que o Alumínio já é um componente muito encontrado em solos ácidos e que pode ser prejudicial para uma grande quantidade de espécies de plantas, entretanto algumas poucas espécies tem capacidades adaptativas que permitem que o Alumínio seja acumulado sem que ocorram danos a sua produção e exemplo da espécie Vochysiaceae.

Quanto as taxas de Ferro, Tavares et al., (2020) relatam que altas taxas de Ferro podem ser encontradas em solos alagados, suas altas taxas podem acarretar em morte celular de algumas tipologias de plantas e outras acabam se adaptando e em alguns casos realizando a liberação do excesso de ferro pelas raízes.

Para as aplicações na construção civil as questões de características químicas não são efetivamente abordadas nos estudos científicos, as porcentagens de aplicação relacionados a resistência são os pontos mais abordados. Souza et al., (2020) discutiram acerca da importância das composições químicas para utilização do lodo de esgoto na produção de agregados leves, os autores mostram que em caso de presença de componentes inadequados ao uso, as concentrações químicas podem ser controladas com aditivo de outros materiais não afetando assim as possibilidades de utilização dos bio sólidos de esgoto como agregados avaliando somente a questão ambiental, tendo que ser posteriormente avaliada a questão econômica.

Os resultados apresentados mostraram então que as aplicações mais ambientalmente viáveis para a utilização do material coletado dos poços são a de aplicação para adubamento de solos degradados, aplicação em solos para a agricultura e em aplicações como agregados na construção civil. Ressalta-se a importância da avaliação de qual tipo de plantação será realizada e de qual solo será utilizado para plantio anteriormente a aplicação dos bio sólidos para que não ocorra o processo de acúmulo de componentes nocivos as plantas.

## **8 CONCLUSÕES**

A problemática dos sólidos sedimentados na rede coletora de esgoto se mostrou importante, não só do ponto de vista ambiental como também econômico, devido as diversas possibilidade de reinserção desse material no meio produtivo das

mais diversas áreas, tendo destaque a construção civil e a agricultura. Ao passo que para iniciar seu estudo de reintrodução na cadeia produtiva é crucial a caracterização do material a ser utilizado.

Assim, os resultados das análises granulométrica dos materiais coletados nos três pontos distintos e nos dois períodos sazonais, foram considerados favoráveis, devido sua compatibilidade com as referências bibliográficas estudadas. É notório a maior diferença granulométrica entre os pontos no período chuvoso, isso se deve tanto a maior taxa de diluição, quanto também a diferença de uso do solo.

As diferenças entre as características sociais não se mostraram tão relevantes como fatores de interferência nos resultados das análises laboratoriais, entretanto as desigualdades sociais e econômicas podem interferir no quantitativo do material produzido.

A maior diferenciação entre os pontos foi observada quanto ao chumbo encontrado no período seco para o ponto de coleta Marituba, que foi investigado e não apresentou nenhuma descarga específica que explicasse tal concentração. Para posteriores estudos, que venham a utilizar este ponto em questão, recomenda-se a coleta e análise mensal do material retirado, para que se comprove que a alta concentração de chumbo foi um ponto fora da normalidade.

De modo geral, as amostras de biossólidos coletada nos três pontos distintos e nos dois períodos sazonais, analisadas química e fisicamente, com finalidade de avaliar sua possibilidade de reciclagem, se mostraram, em via de regra, aptas as mais diversas maneiras de reincorporação, seja na área de construção civil, seja na área da agricultura.

Por fim, aconselha-se que em futuros estudos, onde as circunstâncias mundiais sejam favoráveis e haja um maior período disponível para realização dos ensaios laboratoriais, mais pontos da rede coletora de esgoto sejam analisados, e, posteriormente, os tratamentos e as possibilidades de reciclagem dessa tipologia de material sejam testados para eleger os mais adequados a cada tipo de material.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), NBR. 9649/1986. **Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário**. Rio de Janeiro, 1986.

\_\_\_\_\_.NBR 6459/1984: **Solo – Determinação do limite de liquidez**. Rio de Janeiro, 1984

\_\_\_\_\_.NBR 7181/2016: **Solo: Análise granulométrica**. Rio de Janeiro, v. 13, 2016.

\_\_\_\_\_.NBR 6457/2016: **Amostras de solo-Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_.NBR 6508/2016: **Grãos de solos que passam na peneira de 4, 8 mm: determinação da massa específica: método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_.NBR 7180/2016: **Solo-Determinação do limite de plasticidade**. Método de Ensaio, 2016.

\_\_\_\_\_.NBR 10.004/2004 - **Classificação de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro, ABNT, 2004.

ACHON, C. L.; BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. **Resíduos de estações de tratamento de água e a ISO 24512: desafio do saneamento brasileiro**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 18, n. 2, p. 115-122, 2013. Disponível em:<[https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-41522013000200003&script=sci\\_arttext&tlng=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-41522013000200003&script=sci_arttext&tlng=pt)> Acesso feito em: 07 de agosto de 2020.

ACHON, C.L e CORDEIRO, J.S. **Destinação e disposição final de lodo gerado em ETA - LEI 12.305/2010**. ASSEMAE - Associação Nacional dos Serviços Municipais de Saneamento. XIX Exposição de Experiências Municipais em Saneamento. Maio - Poços de Caldas/MG, 2015.

AHYERRE, M.; CHEBBO, G.; SAAD, M. **Sources and erosion of organic solids in a combined sewer**. Urban Water, v. 2, n. 4, p. 305-315, 2000. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1462075801000127>> Acesso feito em:10 janeiro de 2020.

ALVARES, C. A. et al. **Mapa de classificação climática de Köppen para o Brasil**. Meteorologische Zeitschrift, v. 22, n. 6, p.711-728, 2013. Disponível em:<[https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen\\_s\\_climate\\_classification\\_map\\_for\\_Brazil](https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen_s_climate_classification_map_for_Brazil)>. Acesso feito em: 02 de fevereiro de 2020.

ARAÚJO, F. C. et al. **Caracterização física do resíduo de uma estação de tratamento de água para sua utilização em materiais de construção**. Cerâmica, v.

61, n. 360, p. 450-456, 2015. Disponível em:<[https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0366-69132015000400450&script=sci\\_arttext&tlng=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0366-69132015000400450&script=sci_arttext&tlng=pt)> Acesso feito em: 22 de agosto de 2020.

AREIAS, I. O. R. et al. **Incorporação de lodo da estação de tratamento de esgoto (ETE) em cerâmica vermelha**. Cerâmica, v. 63, n. 367, p. 343-349, 2017. Disponível em:<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S036669132017000300343&lang=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S036669132017000300343&lang=pt)> Acesso feito em: 20 de janeiro de 2020.

ARULRAJAH, Arul et al. **Select chemical and engineering properties of wastewater biosolids**. Waste Management, v. 31, n. 12, pág. 2522-2526, 2011. Disponível em:<[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X11003217?casa\\_token=KEo-BejXOoUAAAAA:8KAX-Im2k9BVpG680aks2K6liVgXSEGmf2w1j5TBEda\\_5EwJrhx9hR2N\\_ICvxA8sExlvucd0a6wA](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X11003217?casa_token=KEo-BejXOoUAAAAA:8KAX-Im2k9BVpG680aks2K6liVgXSEGmf2w1j5TBEda_5EwJrhx9hR2N_ICvxA8sExlvucd0a6wA)> Acesso feito em: 10 de setembro de 2020.

ASHLEY, R.; BERTRAND-KRAJEWSKI, J.-L.; HVITVED-JACOBSEN, T. **Sewer solids—20 years of investigation**. Water Science and Technology, v. 52, n. 3, p. 73-84, 2005. Disponível em:<<https://iwaponline.com/wst/article-abstract/52/3/73/11279>> Acesso feito em: 12 de setembro de 2020.

ASHLEY, R., CRABTREE, B., FRASER, A. e HVITVED-JACOBSEN, T. **Investigação europeia sobre sedimentos de esgotos e poluentes e processos associados**. Jornal da engenharia hidráulica, 129 (4), 267-275, 2003. Disponível em:<<https://ascelibrary.org/doi/pdf/10.1061/%28ASCE%290733-9429%282003%29129%3A4%28267%29>> Acesso feito em: 23 de fevereiro de 2020.

ATLAS DO DESENVOLVIMENTO HUMANO NO BRASIL. **Atlas Brasil, 2013**. Disponível em:<<http://atlasbrasil.org.br/2013/>> Acesso feito em: 10 de agosto de 2020.

AZEVEDO NETTO, J. M. **Contribuições Indevidas para a Rede de Esgotos**. In: Revista DAE, n.120, p. 36-38, 1979. Disponível em:<[http://revistadae.com.br/artigos/artigo\\_edicao\\_120\\_n\\_313.pdf](http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_120_n_313.pdf)> Acesso feito em: 15 de março de 2020.

AZEVEDO, L, dos S. **APROVEITAMENTO DOS SUBPRODUTOS GERADOS NAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO DE JUIZ DE FORA**. 2014. Disponível em:<<http://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2014/02/TFC-LARIZA-DOS-SANTOS-AZEVEDO.pdf>> Acesso feito em: 03 de maio de 2020.

BALLÉN, JF C. et al. **Sediments settled in stormwater sewer systems: assessment of possible uses through quality analysis**. Novatech 2016 - 9ème Conférence internationale sur les techniques et stratégies pour la gestion durable de l'Eau dans la Ville / 9th International Conference on planning and technologies for sustainable management of Water in the City, Jun 2016, Lyon, France.

BATISTA, C. B. S. **Panorama dos resíduos dos serviços públicos de saneamento básico no Brasil**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Disponível em:<[https://www.saneamentobasico.com.br/wp-content/uploads/2020/04/residuosdeservicospublicosdesaneamento\\_monografia.pdf](https://www.saneamentobasico.com.br/wp-content/uploads/2020/04/residuosdeservicospublicosdesaneamento_monografia.pdf)> Acesso feito em: 09 de junho de 2020.

BELÉM. Secretaria Municipal de Coordenação Geral do Planejamento e Gestão. **Anuário estatístico do município de Belém**. Belém, 2011. Disponível em:<[http://www.belem.pa.gov.br/app/ANUARIO\\_2011/0-00\\_Sumario.pdf](http://www.belem.pa.gov.br/app/ANUARIO_2011/0-00_Sumario.pdf)> Acesso feito em: 10 de setembro de 2020.

BELÉM. Secretaria Municipal de Coordenação Geral do Planejamento e Gestão. **Anuário estatístico do município de Belém**. Belém, 2019. Disponível em:<<http://anuario.belem.pa.gov.br/>> Acesso feito em: 10 de setembro de 2020.

BEG, Md N. A. et al. **Um estudo comparativo da hidráulica de bueiros usando PIV estereoscópico e diferentes modelos de RANS**. Ciência e Tecnologia da Água , 2018. Disponível em:<<https://iwaponline.com/wst/article/2017/1/87/38750/A-comparative-study-of-manhole-hydraulics-using>> Acesso feito em: 20 de fevereiro de 2020.

BERTOLINO, M.; KONDAGESKI, J. H.; WEINSCHUTZ, R.. **Água de chuva domiciliar no esgoto separador absoluto**. Revista DAE, 2017. Disponível em:<[http://revistadae.com.br/artigos/artigo\\_edicao\\_213\\_n\\_1741.pdf](http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_213_n_1741.pdf)> Acesso feito em: 25 de agosto de 2020.

BONG, C. H. J.; LAU, T. L.; AB. GHANI, A. **Tamanho do sedimento e características de deposição em drenos de concreto urbano da Malásia - um estudo de caso da cidade de Kuching**. Urban Water Journal , v. 11, n. 1, pág. 74-89, 2014. Disponível em:<[https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/1573062X.2012.750371?casa\\_token=ji4r0qrqkxwAAAAA%3AM1r9mvXyZzDfBBv\\_Yh6Lh63nloePDDXF7AwMPJFB6xkrYnMwZ3tJ1\\_B7Blwli8jaFhWBtnhf0BC5sqITIA](https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/1573062X.2012.750371?casa_token=ji4r0qrqkxwAAAAA%3AM1r9mvXyZzDfBBv_Yh6Lh63nloePDDXF7AwMPJFB6xkrYnMwZ3tJ1_B7Blwli8jaFhWBtnhf0BC5sqITIA)> Acesso feito em: 09 de agosto de 2020.

BONINI, C. S. B; ALVES, M. C.; MONTANARI, R. **Lodo de esgoto e adubação mineral na recuperação de atributos químicos de solo degradado**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 19, p. 388-393, 2015. Disponível em:<<https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n4p388-393>> Acesso feito em: 15 de fevereiro de 2022.

BORGES, N. B.; CAMPOS, J. R.; FERREIRA, G. T. **Caracterização e aproveitamento dos resíduos removidos nos gradeamentos e desarenadores de estações de tratamento de esgoto**. Anais, 2017. Disponível em:<<https://repositorio.usp.br/item/002864188>> Acesso feito em: 30 de maio de 2020.

BORGES, N. B. et al. **Potencialidade da utilização da areia removida em desarenadores de estação de tratamento de esgoto na construção civil, como material alternativo à areia comercial comum**. Revista DAE, v. 64, p. 64-79, 2016.

Disponível em:<<https://bdpi.usp.br/item/002799936>> Acesso feito em: 26 de março de 2020.

BRASIL. Lei 11.445, de 5 de janeiro de 2007. **Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico e dá outras providências.** Brasil, 2007. Disponível em:<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm)> Acesso feito em: 14 de fevereiro de 2020.

BRASIL. Resolução CONAMA n.º 357, de 17 de março de 2005. **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.** Brasil, 2005.

BRASIL. Resolução CONAMA Nº 430 de 13 de maio de 2011. **Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.** Brasil, 2011.

BUENAÑO, B. **Cosanpa intensifica reparos no Residencial Viver Melhor Marituba.** Agência Pará, 05 de setembro de 2019. Disponível em:<<https://agenciapara.com.br/noticia/14794/>> Acesso feito em: 11 de setembro de 2020.

CAPELLI, R. B. **Comparação de métodos na análise granulométrica de rejeitos de mineração.** Monografia de conclusão de curso. Universidade Federal de Ouro Preto, 2016. Disponível em:<[https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/506/1/MONOGRAFIA\\_Compara%C3%A7%C3%A3oM%C3%A9todosAn%C3%A1lise.pdf](https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/506/1/MONOGRAFIA_Compara%C3%A7%C3%A3oM%C3%A9todosAn%C3%A1lise.pdf)> Acesso feito em: 25 de junho de 2021.

CARDENAS, J. et al. **Determinação de características físico-químicas de sólidos de sistemas de drenagem urbana para uso potencial: estudo de caso em Bogotá-Colômbia.** Transações de Engenharia Química, v. 57, p. 577-582, 2017. Disponível em:<<https://www.10.3303/CET1757097>> Acesso feito em: 10 de fevereiro de 2022.

CARNEIRO, C. da S. G. et al. **Multitemporalidade do uso e cobertura da terra utilizando a plataforma Google Earth: estudo de caso do Centro Sócio Educacional Fazendinha Esperança, Marituba, Pará.** Revista Brasileira de Geografia Física, v. 13, n. 06, p. 2874-2884, 2020.

CARVALHO, D. de A. *et al.*, **Análise de BTEX em água: comparação entre duas colunas cromatográficas.** Revista Ambiente & Água, v. 9, n. 1, p. 149-160, 2014. Disponível em:< [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1980-993X2014000100014](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1980-993X2014000100014)> Acesso feito em: 20 de setembro de 2020.

CARRIJO, P. M. **Análise da influência da massa específica de agregados graúdos provenientes de resíduos de construção e demolição no desempenho mecânico do concreto.** São Paulo: USP, 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, 2005. <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-11052006-143829/publico/Dissertacao.pdf>.

COELHO, T. R.; DA SILVA, J. A. F.; DIAS, M. V. **Lodo de estação de tratamento de esgoto (ETE) e compostagem orgânica em cultivo de mudas nativas: estudo na região dos lagos RJ-Brasil.** Revista Internacional de Ciências, v. 9, n. 2, p. 84-102, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.12957/ric.2019.39002>> Acesso feito em: 01 de março de 2022.

COSTA, T. B. da.; FARIAS, F. da. S. **AValiação DO DESEMPENHO DE SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO: ESTUDO DE CASO NO RESIDENCIAL VIVER MELHOR MARITUBA FINANCIADO PELO PROGRAMA MINHA CASA MINHA VIDA, NO MUNICÍPIO DE MARITUBA-PA.** 2019. Disponível em:<<https://www.saneamentobasico.com.br/wp-content/uploads/2020/01/desempenho-sistema-tratamento-esgoto-sanitario.pdf>> Acesso feito em: 25 de agosto de 2020.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARÁ (COSANPA). **Apresentação da USTE.** 22 slides.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, CETESB. **Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo.** Apêndicie E, p. 10. 2019. Disponível em:<<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2020/09/Apendice-E-Significado-Ambiental-e-Sanitario-das-variaveis.pdf>> Acesso feito em: 20 de outubro de 2020.

COLPAS, F. T. et al. **Incorporação de lodo e areia de ETE em blocos para construção civil: avaliação do crescimento de fungos.** Revista DAE, 2011. Disponível em:<[http://www.revistadae.com.br/artigos/artigo\\_edicao\\_186\\_n\\_1437.pdf](http://www.revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_186_n_1437.pdf)> Acesso feito em: 20 de julho de 2020.

DE LIMA, A. M. M. et al. **Dinâmica do hidroterritório da Região Metropolitana de Belém (PA).** Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento, v. 10, n. 5, pág. e25620514723-e25620514723, 2021. Disponível em:<<http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i5.14723>> Acesso feito em: 23 de janeiro de 2022.

DIAS, E. C. et al. **Determinação comparativa da precipitação anual média na região metropolitana de Belém-PA.** Research, Society and Development, v. 10, n. 4, p. e24510414133-e24510414133, 2021. Disponível em:<<http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i4.14133>> Acesso feito em: 12 de fevereiro em 2022.

DUARTE, P.A.; LIMA, M.R.P; SANTOS, C.M.L. **Aproveitamento da areia extraída de Estações de Tratamento de Esgoto.** 6º Congresso Internacional de Tecnologia para o Meio Ambiente, Bento Gonçalves-RS, Brasil, 2018. Disponível em:<[https://siambiental.ucs.br/congresso/getArtigo.php?id=390&ano=\\_sexto](https://siambiental.ucs.br/congresso/getArtigo.php?id=390&ano=_sexto)> Acesso feito em: 14 de agosto de 2020.

FARANAK G.; *et al.*, **On the nature and health impacts of BTEX in a populated middle eastern city: Tehran, Iran.** Atmospheric Pollution Research, V. 10, 2019, p.



921-930. Disponível em:<  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1309104218306524>> Acesso feito em: 14 de abril de 2021.

FERNÁNDEZ, L. R; DEL PINO, L, F. **Caracterización de sedimento acumulado en alcantarillas. Caso: Ciudad de Santander en España.** Anales Científicos. Universidad Nacional Agraria La Molina, 2009. p. 145-157. Disponível em:<<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6171115>> Acesso feito em: 05 de agosto de 2020.

FERNANDEZ, L. P. et al. **Avaliação da incorporação do lodo de Estação de Tratamento de Água em peças de concreto intertravado.** Matéria (Rio de Janeiro), v. 23, 2018. Disponível em:<<https://www.scielo.br/j/rmat/a/GBtHRBtrvrrFnByy4yYYXkS/?lang=pt>> Acesso feito em: 05 de setembro de 2021.

FERREIRA, M. de P.; GARCIA, M. S. D. **Saneamento básico: meio ambiente e dignidade humana.** Dignidade Re-Vista, v. 2, n. 3, p. 12, 2017. Disponível em:<<http://periodicos.puc-rio.br/index.php/dignidaderevista/article/view/393/274>> Acesso feito em: 01 de agosto de 2020.

FREIRE, M. de O. T. B. **Reutilização de resíduo proveniente da caixa de areia de estações de tratamento de esgoto na construção civil: estudo de caso.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2018. Disponível em:<<https://monografias.ufrn.br/jspui/handle/123456789/7862>> Acesso feito em: 18 de agosto de 2020.

FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JÚNIOR, J. A. da. **Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r).** Revista Política Hoje, 2009. Disponível em:<<https://periodicos.ufpe.br/revistas/politica hoje/article/viewFile/3852/3156>> Acesso feito em: 07 de abril de 2020.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (BRASIL). **Manual de saneamento.** Funasa, 2006. Disponível em:<<https://wp.ufpel.edu.br/ccz/files/2016/03/FUNASA-MANUAL-SANEAMENTO.pdf>> Acesso feito em: 06 de agosto de 2020.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Impactos na saúde e no sistema único de saúde decorrentes de agravos relacionados a um saneamento ambiental inadequado.** 2010. Disponível em:<[http://www.funasa.gov.br/site/wpcontent/files\\_mf/estudosPesquisas\\_ImpactosSaude.pdf](http://www.funasa.gov.br/site/wpcontent/files_mf/estudosPesquisas_ImpactosSaude.pdf)> Acesso feito em: 12 de agosto de 2020.

GEBARA, S. S. et al., **Métodos para análises de HPA e BTEX em águas subterrâneas de postos de revenda de combustíveis: um estudo de caso em Campo Grande, MS, Brasil.** Química Nova, v. 36, n. 7, p. 1030-1037, 2013. Disponível:< <https://doi.org/10.1590/S0100-40422013000700018> > Acesso feito em: 10 de abril de 2021.

GUTIERRES, M. I.; NEVES, E. **A IMPORTÂNCIA DO MONITORAMENTO DA UMIDADE DO SOLO ATRAVÉS DE SENSORES PARA OTIMIZAR A IRRIGAÇÃO NAS CULTURAS**. ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, v. 18, n. 35, 2021. <http://www.conhecer.org.br/enciclop/2021A/a%20importancia.pdf>.

HOPKINS, W. G. **Correlation coefficient: a new view of statistics**. 2000. Disponível em: <<http://www.sportsci.org/resource/stats/correl.html>> Acesso feito em: 14 de abril de 2020.

HOU, X. et al. **Espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado**. Enciclopédia de Química Analítica: Aplicações, Teoria e Instrumentação , p. 1-25, 2006. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/9780470027318.a51110.pub3>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Panorama das Cidades**. Disponível em:< <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/belem/panorama>> Acesso feito em: 02 de agosto de 2020.

INSTITUTO TRATA BRASIL (2019). **Ranking do saneamento 2019**. Disponível em:< [http://www.tratabrasil.org.br/images/estudos/itb/ranking-2019/Relat%C3%B3rio\\_-\\_Ranking\\_Trata\\_Brasil\\_2019\\_v11\\_NOVO\\_1.pdf](http://www.tratabrasil.org.br/images/estudos/itb/ranking-2019/Relat%C3%B3rio_-_Ranking_Trata_Brasil_2019_v11_NOVO_1.pdf)> . Acessado em: 22 de janeiro de 2020.

JAMWAL, P.; ZUHAIL, T. M. D.; Urs, P. R.; SRINIVASAN, V.; LELE, S. **Contribution of sewage treatment to pollution abatement of urban streams**. Current Science, 108, 4, 677-685, 2015. Disponível:< [http://atree.org/sites/default/files/articles/Jamwal\\_et\\_al\\_CS-2015.pdf](http://atree.org/sites/default/files/articles/Jamwal_et_al_CS-2015.pdf)> Acesso feito em: 25 de janeiro de 2022.

JIMÉNEZ, B., MÉNDEZ, J. M., BARRIOS, J. A., SALGADO, G., & Sheinbaum, C. **Characterization and evaluation of potential reuse options for wastewater sludge and combined sewer system sediments in Mexico**. Water Science and Technology, 2004. Disponível em:<<https://iwaponline.com/wst/article-abstract/49/10/171/10301>> Acesso feito em: 04 de junho de 2020.

JOSEPH-DURAN, B. , OCAMPO-MARTINEZ, C. , e CEMBRANO, G. **Modelagem híbrida e controle de horizonte de recuo de redes de esgoto**. Recursos Hídricos. Res. , 50 , 8497 – 8514, 2014. Disponível em:<10.1002/2013WR015119> Acesso feito em: 10 de janeiro de 2022.

KIPERSTOK, A. et al. **Caracterização, tratamento e gerenciamento de subprodutos de correntes de esgotos segregadas e não segregadas em empreendimentos habitacionais**. Fortaleza-Ceará, 2019. Disponível em:<[file:///C:/Users/Gabriela%20Abdon/Desktop/06\\_11\\_2019\\_Prosab\\_Tratamento\\_d\\_e\\_Esgoto.pdf](file:///C:/Users/Gabriela%20Abdon/Desktop/06_11_2019_Prosab_Tratamento_d_e_Esgoto.pdf)> Acesso feito em: 11 de maio de 2020.

LANGE, R.-L .; WICHERN, M. **Dinâmica da sedimentação em sistemas combinados de esgoto**. Ciência e Tecnologia da Água , v. 68, n. 4, p. 756-762, 2013.

Disponível em:<<https://iwaponline.com/wst/article/68/4/756/17648/Sedimentation-dynamics-in-combined-sewer-systems>> Acesso feito em: 13 de junho de 2020.

LEONETI, A. B., PRADO, E. L.do., OLIVEIRA, S. V. W. B, de. **Saneamento básico no Brasil: considerações sobre investimentos e sustentabilidade para o século XXI.** *Revista de Administração Pública-RAP*, 45(2), 331-348, 2011. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/rap/v45n2/03.pdf>> Acesso feito em: 10 de junho de 2020.

LIMA, J. et al. **Morbidade e mortalidade por doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado em Belém do Pará.** *Ciência E Sustentabilidade*, v. 4, n. 2, p. 115-132, 2018. Disponível em:<<https://periodicos.ufca.edu.br/ojs/index.php/cienciasustentabilidade/article/view/316/302>> Acesso feito em: 04 de fevereiro de 2022.

LIMA, M. L. V. de. **Infra-estrutura de esgoto sanitário no município de Belém: cobrança por serviços de esgotamento sanitário nas bacias hidrográficas do Reduto e do Uma.** 2006. Disponível em:<[http://repositorio.ufpa.br/jspui/bitstream/2011/3555/4/Dissertacao\\_Infr\\_aestruturaEsgotoSanitario.pdf](http://repositorio.ufpa.br/jspui/bitstream/2011/3555/4/Dissertacao_Infr_aestruturaEsgotoSanitario.pdf)> Acesso feito em: 13 de abril de 2020.

LIU, Y., TUGTAS, AE, SHARMA, KR, Ni, BJ e YUAN, Z. **Produção de sulfeto e metano em sedimentos de esgoto: levantamento de campo e avaliação de modelos.** *Water research*, 2016. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135415303766>> Acesso feito em: 18 de março de 2020.

MAAS, G. B. *et al.*, **METAIS PESADOS EM UM LATOSSOLO VERMELHO EM FUNÇÃO DE DOSES DE LODO DE ESGOTO.** *Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia*, v. 11, n. 1, 2014. Disponível em:<<file:///C:/Users/Gabriela%20Abdon/Downloads/EAPT-2012-989.pdf>> Acesso feito em: 12 de setembro de 2020.

MAGALHÃES, G. C. de et al. **Metais potencialmente tóxicos em rios a montante do Pantanal Norte.** *Revista Ambiente & Água*, v. 11, p. 833-850, 2016. Disponível em:<<https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1827>> Acesso feito em: 15 de fevereiro de 2022.

MENDES, T. M. e BARCELLOS, C. **A dimensão territorial do esgotamento sanitário: o caso do Recreio dos Bandeirantes, Rio de Janeiro, Brasil.** *Ciência & Saúde Coletiva*. 2018, v. 23, n.2, pp. 647-658. Disponível em:<<https://doi.org/10.1590/1413-81232018232.27732015>>. Acesso feito em: 04 de fevereiro de 2022.

MIGUEL, P. S. B. et al. **Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas: mecanismos de tolerância, sintomas, efeitos fisiológicos, bioquímicos e controles genéticos.** *Ces revista*, v. 24, n. 1, p. 13-29, 2010. <https://seer.cesjf.br/index.php/cesRevista/article/view/661/519>

MOREIRA, F. D. S. de A., FERREIRA, G. R. B., DIAS, L. C., VITORINO, M. I. (2019). **Variabilidade espaço temporal da precipitação na Cidade de Belém-PA e sua relação com a incidência de Leptospirose (Variability temporal space of precipitation in the City of Belém-PA and its relation with the incidence of Leptospirosis)**. Revista Brasileira de Geografia Física, 2019. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/234853/32115>> Acesso feito em: 10 de janeiro de 2020.

NORO, E. A. **Sistema combinado de esgotamento sanitário: alternativa viabilizadora de sistemas de esgoto**. 2012. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/63204/000861997.pdf?sequence=1>> Acesso feito em: 17 de maio de 2020.

OLIVEIRA, H., FRANÇA, F. **RELAÇÃO ENTRE ESPÉCIES DE VOCHYSIACEAE E A PRESENÇA DE ALUMÍNIO NO SOLO**. Anais dos Seminários de Iniciação Científica, n. 20, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.13102/semic.v0i20.3059>> Acesso feito em: 15 de fevereiro de 2022.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELÉM. Secretaria Municipal de Saneamento. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário do Município de Belém do Pará - PMSB**. Belém: SESAN/PMB, 2014. Disponível em: <[http://ww3.belem.pa.gov.br/www/wp-content/uploads/PMSB-Bel%C3%A9m-PA\\_Volume-I.pdf](http://ww3.belem.pa.gov.br/www/wp-content/uploads/PMSB-Bel%C3%A9m-PA_Volume-I.pdf)> Acesso feito em: 08 de abril de 2020.

PEREIRA, J. A. R.; da S. , SOARES, J.M. **Rede coletora de esgoto sanitário: projeto, construção e operação**. 3<sup>ª</sup> edição. 2018. p. 75.

PÉREZ P., A., BALLÉN, J. F. C., PEÑA GUZMÁN, C., Torres A., A. **Sediments settled in stormwater sewer systems: assessment of possible uses through quality analysis**. Pollution des rejets urbains de temps de pluie/Pollution of wet weather flow, 2016. Disponível em: <<http://documents.irevues.inist.fr/bitstream/handle/2042/60423/1C23-170CAR.pdf>> Acesso feito em: 17 de fevereiro de 2020.

PIMENTEL, J. M. F. et al. **Internações hospitalares por doenças relacionadas ao saneamento básico inadequado na Bahia, de 2010 a 2016**. Brazilian Journal of health Review, v. 3, n. 4, p. 7945-7957, 2020. Disponível em: <<https://www.brazilianjournals.com/index.php/BJHR/article/view/12999/10930REGUEI>>

RO-PICALLO, M., NAVES, J., ANTA, J., SUÁREZ, J., & PUERTAS, J. **Monitoramento de características de sedimentos de acumulação em modelo físico de esgoto em grande escala com águas residuais urbanas**. Ciência e Tecnologia da Água, 76 (1), 115-123, 2017. Disponível em: <<https://iwaponline.com/wst/article/76/1/115/24998/Monitoring-accumulation-sediment-characteristics>> Acesso feito em: 02 de setembro de 2020.

ROLLEMBERG, S.; DE BARROS, A. N.; DE LIMA, J. P. M. **Avaliação da contaminação, sobrevivência e remoção do coronavírus em sistemas de**

**tratamento de esgoto sanitário.** Revista Tecnologia, v. 41, n. 1, 2020. Disponível em:<<https://periodicos.unifor.br/tec/article/view/10849>> Acesso feito em: 20 de fevereiro de 2022.

RIBEIRO, I.; ANGELIM, R. R.; GUIMARÃES, R. C. **Análise granulométrica de solos tropicais com granulômetro a laser.** Monografia de Conclusão de Curso. ENC/UEG, 2014. Disponível em:< <https://docplayer.com.br/42929291-Analise-granulometrica-de-solos-tropicais-com-granulometro-a-laser.html>> Acesso feito em: 20 de junho de 2021.

RODRÍGUEZ, J. P. et al. **A database and model to support proactive management of sediment-related sewer blockages.** Water research, v. 46, n. 15, p. 4571-4586, 2012. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135412004514>> Acesso feito em: 16 de julho de 2020.

RUSHFORTH, P. J.; TAIT, S. J.; SAUL, A. J. **Modeling the erosion of mixtures of organic and granular in-sewer sediments.** Journal of hydraulic engineering, v. 129, n. 4, p. 308-315, 2003. Disponível em :<[https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2003\)129:4\(308\)?casa\\_token=aXJIDBE5BKYAAAAA:Q4yw6uVvvaoGfD2wFda zNt9OlcRoeH0zOH8Jr2zDvhTk9lpMRvkaKE5PMORj\\_u04F8o\\_Ne40xg-t](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)0733-9429(2003)129:4(308)?casa_token=aXJIDBE5BKYAAAAA:Q4yw6uVvvaoGfD2wFda zNt9OlcRoeH0zOH8Jr2zDvhTk9lpMRvkaKE5PMORj_u04F8o_Ne40xg-t)> Acesso feito em: 02 de março de 2022.

SANTOS, G. A. N. dos; NOGUEIRA, R. J. B. **Novos espaços habitacionais e tipologias de transporte: Notas relacionadas a casos em Ananindeua e Marituba, Pará.** Humanidades & Inovação, v. 7, n. 16, p. 392-404, 2020.

SILVA, W. R.; POAGUE, K. I. H. M.; NUNES, J. C. S. **Estudo de viabilidade econômica do aproveitamento comercial de areia retida no tratamento preliminar da ETE Onça–MG.** The Journal of Engineering and Exact Sciences, v. 4, n. 4, p. 0445-0449, 2018. Disponível:<<https://periodicos.ufv.br/jcec/article/view/2551/1079>> Acesso feito em: 14 de fevereiro de 2022.

SANTOS, J. I. N. dos.; TEXEIRA, L. G.; NEVES, R. R. **QUANTIFICAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS CARREADOS NA REDE DE DRENAGEM DE UMA BACIA URBANA.** Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica, v. 10, n. 1, p. 73-86, 2017. Disponível em:<<http://revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/54794/52213>> Acesso feito em: 03 de agosto de 2020.

SANTOS JUNIOR, D. et al. **Espectrometria de emissão óptica com plasma induzido por laser (LIBS)-fundamentos, aplicações e perspectivas.** Revista Analytica, 2006. Disponível em:<<http://repositorio.ipen.br/bitstream/handle/123456789/7697/11498.pdf?sequence=1>> Acesso feito em: 25 de setembro de 2021.

SAIANI, C. C. S.; TONETO JÚNIOR, R. **Evolução do acesso a serviços de saneamento básico no Brasil (1970 a 2004)**. Economia e Sociedade, v. 19, n. 1, p. 79-106, 2010. Disponível em: <[https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-06182010000100004&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-06182010000100004&script=sci_arttext)> Acesso feito em: 21 de agosto de 2020.

SILVA, B. de A.; NYLANDER, J. D. A.; PEREIRA, J. A. R. **ANÁLISE DO LANÇAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO NO CANAL DE DRENAGEM DA BACIA HIDROGRÁFICA DA TAMANDARÉ/BELÉM-PARÁ**. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, v. 9, n. 3, p. 92-109, 2020. Disponível em: <[http://www.portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/gestao\\_ambiental/article/view/7968/5375](http://www.portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/7968/5375)> Acesso feito em: 22 de agosto de 2021.

SILVA, W. R; POAGUE, K. I. H. M.; NUNES, J. C. S. **ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO APROVEITAMENTO COMERCIAL DE AREIA RETIDA NO TRATAMENTO PRELIMINAR DA ETE ONÇA-MG**. The Journal of Engineering and Exact Sciences, 2018. Disponível em: <<https://periodicos.ufv.br/jcec/article/view/2551>> Acesso feito em: 22 de abril de 2020.

STANTON, J. M. **Galton, Pearson, and the peas: A brief history of linear regression for statistics instructors**. Journal of Statistical Education, 9,3, 2001. Disponível em: <<http://www.amstat.org/publications/JSE/v9n3/stanton.html>> Acesso feito em: 12 de agosto de 2020.

SUAREZ, J., PUERTAS, J. **Determination of COD, BOD, and suspended solids loads during combined sewer overflow (CSO) events in some combined catchments in Spain**. Ecological Engineering, 24(3), 199-217, 2005. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857404001569>> Acesso feito em: 15 de julho de 2020.

SWEYA, L. N.; MGANA, S. M. **Desinfecção de Lodo Fecal Usando Aquecimento Solar Térmico: Opção de Gerenciamento de Lodo para Países em Desenvolvimento**. Revista de Engenharia Ambiental, v. 146, n. 12, pág. 04020137, 2020. Disponível em: <[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0001828](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001828)> Acesso feito em: 25 de janeiro de 2022.

SOUZA, L. M.; ASSIS, C. D.; SOUTO, S. B. G. **Agregado reciclado: um novo material da construção civil**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 18, n. 1, p. 273-278, 2014. Disponível me: <<https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/11297/pdf>> Acesso feito em: 12 de setembro de 2021.

TAVARES, M. da S. et al. **Estresse por ferro nas plantas: uma revisão de literatura**. Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 5, p. 28825-28835, 2020. Disponível em: <<https://10.34117/bjdv6n5-361>> Acesso feito em: 08 de março de 2022.

VAZ, A. P. R., DUCATTI, M. L., & PASQUALETTO, A. **Avaliação de impactos ambientais nas estações de tratamento de esgotos sanitários: ETE-Lajes, Aparecida de Goiânia-GO**. Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI),

(1), 1-17, 2003.  
Disponível em: <[https://www.academia.edu/5632556/AVALIA%C3%87%C3%83O\\_DE\\_IMPACTOS\\_AMBIENTAIS\\_NA\\_ESTA%C3%87%C3%95ES\\_DE\\_TRATAMENTO\\_DE\\_ESGOTOS\\_SANIT%C3%81RIOS\\_ETE\\_-LAJES\\_APARECIDA\\_DE\\_GOI%C3%82NIA\\_-\\_GO1](https://www.academia.edu/5632556/AVALIA%C3%87%C3%83O_DE_IMPACTOS_AMBIENTAIS_NA_ESTA%C3%87%C3%95ES_DE_TRATAMENTO_DE_ESGOTOS_SANIT%C3%81RIOS_ETE_-LAJES_APARECIDA_DE_GOI%C3%82NIA_-_GO1)> Acesso feito em: 10 de maio de 2020.

VISENTIN, Roseli et al. **Viabilidade econômica da compostagem do lodo de esgoto para uso agrícola**. Holos Environment, v. 20, n. 2, p. 152-167, 2020. Disponível em: <<https://www.cea-unesp.org.br/holos/article/view/12372/8281>> Acesso feito em: 12 de janeiro de 2022.

WANG, J. et al. **Distribuição de tamanho de partícula e características de dissolução de poluentes de sedimentos depositados em estradas em diferentes distritos de uso da terra: um estudo de caso em Pequim**. Ciência Ambiental e Pesquisa de Poluição, p. 1-9, 2021. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-021-13426-3>.

YEO, C.; KAUSHAL, S.; YEO, D. **Enteric involvement of coronaviruses: is faecal-oral transmission of SARS-CoV-2 possible?**. The Lancet Gastroenterology & Hepatology, v. 5, n. 4, p. 335-337, 2020. Disponível em: <[https://www.thelancet.com/journals/langas/article/PIIS2468-1253\(20\)30048-0/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/langas/article/PIIS2468-1253(20)30048-0/fulltext)> Acesso feito em: 04 de setembro de 2020.

YESIL, H. et al. **Removal and recovery of heavy metals from sewage sludge via three-stage integrated process**. Water Research, v. 201, p. 117303, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130650>>. Acesso feito em: 05 de abril de 2022.

YUEYI J., et al. **Water quality modeling in sewer networks: Review and future research directions**. Water Research, Volume 202, 2021, 117419, ISSN 0043-1354. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117419>>. Acesso feito em: 23 de fevereiro de 2022.



## Período: JANEIRO-DEZEMBRO/2020

## ANEXO I