



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS TERESINA CENTRAL
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM GEOPROCESSAMENTO**

THIAGO DAMASCENO FONTINELE

**AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS PELA POLUIÇÃO NO
RIO POTI, PERÍMETRO URBANO DE TERESINA – PI**

**TERESINA
2022**

THIAGO DAMASCENO FONTINELE

AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS PELA POLUIÇÃO NO
RIO POTI, PERÍMETRO URBANO DE TERESINA - PI

Trabalho de Conclusão de Curso (monografia)
apresentado como exigência parcial para
obtenção do diploma do Curso Superior de
Tecnologia em Geoprocessamento do Instituto de
Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI),
Campus Teresina Central.

Orientador: Prof. Dr. Érico Rodrigues Gomes.

TERESINA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

Fontinele, Thiago Damasceno

F684a Avaliação dos impactos ambientais causados pela poluição no rio Poti, perímetro urbano de Teresina-Pi / Thiago Damasceno Fontinele. - 2022. 65 f.: il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Geoprocessamento) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Teresina Central, 2022.

Orientador : Prof Dr. Érico Rodrigues Gomes .

1. Poluição. 2. Impactos ambientais. 3. Rio Poti. I.Título.

CDD - 621.3678

Elaborado por Tanize Maria Sales CRB 3/1024

THIAGO DAMASCENO FONTINELE

AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS PELA POLUIÇÃO NO
RIO POTI, PERÍMETRO URBANO DE TERESINA - PI

Trabalho de Conclusão de Curso (monografia)
apresentado como exigência parcial para
obtenção do diploma do Curso Superior de
Tecnologia em Geoprocessamento do Instituto de
Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI),
Campus Teresina Central.

Orientador: Prof. Dr. Érico Rodrigues Gomes.

Aprovada em: 20/05/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Érico Rodrigues Gomes (Orientador)
Instituto Federal de Educação do Piauí (IFPI)

Profa. Dra. Divamélia de Oliveira Bezerra
Instituto Federal de Educação do Piauí (IFPI)

Profa. Me. Amanda Bezerra Matias
Instituto Federal de Educação do Piauí (IFPI)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, ser supremo que habita sobre todas as coisas e sobre todos os desejos, por ter-me permitido alcançar meus objetivos.

Agradeço imensamente ao prof. Dr. Érico Rodrigues Gomes, meu orientador, pela excelente contribuição para a realização deste estudo e materialização do meu Trabalho de Conclusão de Curso.

A todos os professores e servidores do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI) pela contribuição dada, direta ou indiretamente para a conclusão deste trabalho.

Aos amigos de estudo e de trabalho, pela convivência salutar e pelas trocas de experiências que tiveram fundamental importância para que eu pudesse conduzir esta tarefa até o final.

Agradeço também à minha família, por todo o apoio necessário para que eu pudesse conduzir com coragem e confiança a tarefa a qual me propus, e por compreenderem as minhas ausências, nos momentos nos quais minha presença se fazia necessária.

Nunca nos banhamos duas vezes
mesma corrente de água.

Heráclito

RESUMO

O presente trabalho caracteriza-se como um estudo de cunho bibliográfico que discorre sobre os impactos ambientais causados pela poluição do rio Poti, bem como pelo lançamento de efluentes sem o devido tratamento. O objetivo principal foi revisitar a literatura acerca dos impactos ambientais causados pela poluição lançada sobre o rio Poti no perímetro urbano de Teresina - PI, na região Leste-Norte. Além de avaliar a consequência daqueles danos causados pelo sistema de drenagem urbano, que compreende o escoamento superficial através dos elementos sarjetas, bocas de lobo e galerias, que vão desembocar no rio comprometendo seu curso natural. A metodologia utilizada na realização do presente estudo foi a pesquisa bibliográfica, por meio da qual se fez um levantamento da literatura em livros, revistas, artigos de jornais e periódicos, bem como em trabalhos publicados em eventos. Para discussão dos dados analisou-se os estudos que focaram a análise das águas do rio Poti, em áreas de monitoramento. Os resultados encontrados evidenciam a ineficiência do sistema de escoamento de águas pluviais e de consumo humano, e suas consequências para a vida aquática do rio Poti, bem como para toda a população de Teresina. Por fim, este estudo destaca a aplicação do Geoprocessamento como uma ferramenta de controle de impactos ambientais provocados pela poluição do rio Poti e como método eficaz de monitoramento da qualidade da água.

Palavras-chave: poluição; impactos ambientais; Rio Poti; Teresina.

ABSTRACT

The present work is characterized as a bibliographic study that discusses the environmental impacts caused by the pollution of the Poti River, as well as the release of effluents without proper treatment. The main objective was to revisit the literature on the environmental impacts caused by pollution released on the Poti River in the urban perimeter of Teresina - PI, in the East-North region. In addition to evaluating the consequences of those damages caused by the urban drainage system, which comprises surface runoff through gutters, storm drains and galleries, which will flow into the river, compromising its natural course. The methodology used in carrying out the present study was bibliographic research, through which a survey of the literature in books, magazines, newspaper articles and periodicals, as well as in works published in events was carried out. To discuss the data, studies that focused on the analysis of the waters of the Poti River, in monitoring areas, were analyzed. The results found show the inefficiency of the rainwater drainage system and human consumption, and its consequences for the aquatic life of the Poti River, as well as for the entire population of Teresina. Finally, this study highlights Geoprocessing as a tool to control environmental impacts caused by the pollution of the Poti River and as an effective method of monitoring water quality.

Keywords: pollution; environmental impacts; Rio Poti; Teresina.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	- Eutrofização no rio Poti, perímetro urbano de Teresina.....	21
Figura 2	- Esgotos lançados sobre o rio Poti na Zona Leste de Teresina.....	24
Figura 3	- Posição das unidades de drenagem.....	27
Figura 4	- Sarjeta triangular.....	29
Figura 5	- Sarjeta parcialmente cheia.....	29
Figura 6	- Porção de Sarjeta.....	29
Figura 7	- Sarjeta com seção composta.....	30
Figura 8	- Desenho esquemático de Boca de lobo simples (ou lateral).....	31
Figura 9	- Modelos de Bocas de lobo adotadas no Brasil.....	32
Figura 10	- Diferentes tipos de bocas de lobo.....	33
Figura 11	- Percurso das águas urbanas.....	35
Figura 12	- Rio Poti no perímetro urbano de Teresina, zona Leste.....	37
Figura 13	- Galeria descarregando poluentes sobre o rio Poti, Teresina-PI.....	38
Figura 14	- Galeria a céu aberto em rua da zona Norte de Teresina.....	40
Figura 15	- Bocas de lobos comuns em Teresina.....	40
Gráfico 1	- Temperatura anual da água em pontos de monitoramento.....	45
Figura 16	- Ilustração dos pontos de amostragem das águas do rio Poti.....	47
Gráfico 2	- Concentração média de Nitrato em pontos de monitoramento.....	50
Figura 17	- Dejetos humanos jogados próximos às sarjetas.....	51
Figura 18	- Resíduos sólidos sobre sarjeta obstruída.....	51
Figura 19	- Cartografia do Perímetro urbano de Teresina apresentando o percurso do rio Poti em vermelho.....	53

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	- Distinção entre micro e macro drenagem.....	26
Quadro 2	- Classificação das bocas de lobo.....	31
Quadro 3	- Classificação dos agentes químicos poluidores.....	39
Quadro 4	- Pontos de amostragem da análise da água do rio Poti no perímetro urbano de Teresina.....	48
Quadro 5	- Identificação dos pontos de monitoramento e de lançamento de efluentes no rio Poti.....	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Água
CE	Condutividade Elétrica
CF/CT	Coliformes Fecais e Coliformes Totais
CFCs	Clorofluorcarbonos
COMAM	Conselho Municipal de Meio Ambiente
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CT	Coliformes Termotolêrantes
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias
FEM	Fundação Estadual do Meio Ambiente
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IQA	Índice de Qualidade das Águas
OD	Oxigênio Dissolvido
pH	Potencial Hidrogênio
STD	Sólidos Totais Dissolvidos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	POLUIÇÃO DOS RIOS E IMPACTOS AMBIENTAIS.....	14
2.1	ÁGUA DOS RIOS E POLUIÇÃO: CAUSAS E CONSEQUÊNCIAS.....	15
2.2	URBANIZAÇÃO E IMPACTOS AMBIENTAIS.....	16
2.3	AGENTES DE CONTAMINAÇÃO DOS RIOS.....	18
3	CAMINHO DAS ÁGUAS: DRENAGEM E SEUS ELEMENTOS.....	23
3.1	DRENAGEM DAS ÁGUAS.....	23
3.2	SISTEMAS DE DRENAGEM.....	25
3.3	UNIDADES E DISPOSITIVOS DE SISTEMAS DE DRENAGEM.....	27
3.3.1	Sarjetas.....	28
3.3.2	Bocas de lobo.....	30
3.3.3	Galerias.....	34
4	RIO POTI EM TERESINA PIAUÍ: O QUE DIZEM OS ESTUDOS SOBRE OS IMPACTOS AMBIENTAIS.....	36
4.1	AMBIENTE URBANO DE TERESINA: ORIGEM E EVOLUÇÃO.....	36
4.2	ASPECTOS FÍSICOS E GEOGRÁFICOS DA BACIA DO RIO POTI.....	37
4.3	IMPACTOS AMBIENTAIS DO RIO POTI NO PERÍMETRO URBANO DE TERESINA.....	38
4.4	DISCUSSÃO SOBRE O MONITORAMENTO DE ÁGUA DO RIO POTI	42
4.5	GEOPROCESSAMENTO: UMA FERRAMENTA DE CONTROLE DE IMPACTOS AMBIENTAIS.....	52
5	CONCLUSÃO.....	57
	REFERÊNCIAS.....	59

1 INTRODUÇÃO

Os rios são, historicamente, fontes de vida. Ao longo de toda a história da humanidade, o homem sempre necessitou desses recursos para manter sua sobrevivência. Entretanto, a crescente expansão urbana de modo acelerado e desorganizado começou a modificar significativamente a importância do uso dos recursos hídricos, uma vez que estes passaram a sofrer a partir das grandes degradações ambientais.

De acordo com Oliveira (2018), os rios urbanos no Brasil, em geral, são desvalorizados uma vez que prevalece o interesse econômico sobre as questões ambientais, de tal modo que muitos rios têm se transformado em córregos ou canais de esgotamento e/ou de resíduos sólidos, transformando-se em ambientes degradados. De fato, no caso do Poti não é diferente, esse rio cada vez mais tem sofrido diversos impactos ambientais.

O rio Poti, nos dias atuais sofre danos irreparáveis causados pela população ribeirinha que cresce vertiginosamente sem nenhuma prevenção ou controle. Conforme Oliveira Filho e Lima Neto (2018), o crescimento desordenado da capital provocou a ocupação habitacional às margens do rio que associado aos esgotos clandestinos jogados têm provocado o aumento da poluição das suas águas.

Nesse sentido, é urgente e necessária a realização de pesquisas e estudos que abordam aspectos relativos às formas de poluição e da degradação ambiental dos rios localizados em grandes cidades, uma vez que para o poder público tomar as decisões sobre esse problema é importante conhecê-lo. Partindo dessa premissa, a questão norteadora desta pesquisa foi: O que dizem os estudos sobre os impactos ambientais causados pela poluição no perímetro urbano do rio Poti?

O objetivo principal deste estudo é realizar um levantamento acerca dos impactos ambientais causados pela poluição lançada sobre o rio Poti no perímetro urbano de Teresina, capital do Estado do Piauí. Para tanto, abordamos aspectos relacionados ao lançamento dos dejetos resultantes das atividades humanas naturais e das indústrias e o sistema de drenagem da cidade.

Esta pesquisa é de caráter bibliográfico e descritivo, para a qual se utilizou dos métodos de fichamento e de recorte, análises e comparações das referências bibliográficas pesquisadas para a composição do texto final. Utilizamos como fonte básica de coleta de dados a pesquisa em periódicos, banco de teses e dissertação,

além de consulta a mapas e referências locais da área estudada, dados estatísticos e outras informações de órgãos especializados no estudo do tema em questão.

O presente estudo se justifica não só por tratar-se de assunto relativo à preservação do meio ambiente, que é hoje uma preocupação mundial, mas pela contribuição que poderá dar aos novos estudiosos interessados no tema e que queiram aprofundar-se na temática de poluição dos rios, sobretudo no contexto urbano das grandes cidades.

2 POLUIÇÃO DOS RIOS E IMPACTOS AMBIENTAIS

Os mananciais hídricos, ou seja, os rios sempre foram importantes para as primeiras civilizações e continuam sendo vitais para os seres humanos. De acordo com Liebman (1979) os cursos de água sempre foram necessários desde que o homem começou a se movimentar sobre o globo terrestre, visto a primordial importância que eles tinham para saciar a sede, lavar o corpo, navegar, e deles também subtraírem tantos outros elementos essenciais à sobrevivência.

As primitivas comunidades desde cedo aprenderam a gerenciar melhor seus meios de sobrevivência, com a domesticação de animais, a observação das estações propícias ao cultivo e a colheita de frutos e cereais, ou dedicando-se à pesca, todos fenômenos dependentes do elemento água. Essa, portanto, que aparece como fator economicamente predominante, foi o primeiro recurso a merecer a atenção das civilizações de todos os tempos, a despeito do mau uso que dela se fez.

Nesse contexto, as primeiras leis da humanidade, fixadas por escrito, são códigos que regulam o uso da água. Liebmann (1979) diz que nos períodos de carência de água útil, os nossos antepassados sabiam economizá-la e dela cuidar melhor do que fazemos hoje.

Na antiguidade, as pessoas encarregadas dos suprimentos de água educaram a tempo a população para que a usasse com parcimônia. Um papel decisivo no suprimento de água das cidades da antiguidade cabia, por exemplo, ao armazenamento preventivo de água em depósitos especiais, cujos canos de escoamento eram colocados, em geral, em alturas diversas (Liebmann, 1979, p. 94).

Muitas dessas antigas comunidades fizeram uso da água recolhida diretamente das chuvas, por meio de canais apropriados, como forma de economizar a água potável existente. Essa preocupação de economizar a água própria para uso já se verificava antigamente pela necessidade de sua reutilização para outros fins depois de usada uma vez. Em Roma, por exemplo, a água que corria para as privadas públicas dispostas pela cidade era a mesma que escoava dos banheiros públicos, também numerosos na cidade. No Egito antigo, já se construía poços artesianos, certamente por alguma inconveniência para com a

utilização das águas do Nilo, rio que os egípcios consideravam um presente dos deuses e, por isso, sagrado.

2.1 ÁGUA DOS RIOS E POLUIÇÃO: CAUSAS E CONSEQUÊNCIAS

Cedo aprendemos na escola qual é o conceito básico do termo água; um elemento químico composto de 2 (duas) moléculas de Hidrogênio e 1 (uma) molécula de Oxigênio. A princípio este conceito parece ser aplicado, genericamente, a toda água encontrada em estado líquido, ignorando-se outras propriedades e outros elementos que possam estar contidos nela.

Sewell (1978) lembra que água pura é H_2O , mas felizmente a água nunca é pura na natureza. Ele afirma que gases, inclusive Oxigênio, Dióxido de Carbono e Nitrogênio estão dissolvidos entre as moléculas de água, e que sais, como Nitritos, Cloretos e Carbonatos, também se tornam parte da solução líquida.

Nesse contexto, a água encontrada nos rios não é pura e sua poluição se dá pela introdução de elementos químicos, físicos e biológicos, que prejudicam sua qualidade e afetam o organismo dos seres vivos. A esta poluição de rios, tanto a Legislação quanto as organizações não governamentais de defesa e preservação das águas a conceituam como “poluição hídrica”.

Segundo Freitas e Freitas (1999), poluição é todo ato ou fato pelo qual se lance na água qualquer produto que provoque a alteração de suas características ou a torne imprópria para o uso e/ou consumo. Esses autores afirmam que:

A água é considerada poluída quando sua composição está alterada, de forma que se torna inadequada para alguma pessoa ou para todo o seu uso no estado natural. São as alterações de suas propriedades físicas, químicas ou biológicas que a tornam nocivas para a saúde e o bem estar da população, ou imprópria para uso, tanto para fins domésticos, agrícolas, industriais e recreativos, como para a flora e a fauna (Freitas; Freitas, 1999, p. 180).

Para esses autores as causas mais comuns da poluição da água são os dejetos humanos e industriais e de produtos químicos e radioativos.

Nas palavras de Péres (2005), a falta de uma visão mais ampla do conjunto do espaço urbano, tanto por parte dos planejadores, como dos representantes do Poder Público, dos proprietários de terras, da própria população, ocupantes e dos

agentes formadores e transformadores do espaço urbano, permite a percepção de que o meio ambiente existe para o homem, que não se importa com os seus limites.

O rio que não é poluído é aquele no qual peixes, plantas e outras formas de vida proliferam naturalmente, em um ambiente com águas cristalinas e limpas, e esta mesma água serve para diversos fins úteis, como regar plantações, tomar banho, beber e também para finalidades de lazer. Mas para que um rio seja assim, é preciso que nem lixo nem esgotos sejam jogados diretamente nele.

A poluição dos rios acompanha a história do homem e da evolução das civilizações desde os tempos mais antigos. Conforme Aceti Júnior e Vasconcelos (2013, p.3) “Depois da Revolução Industrial, o volume de detritos despejados nas águas aumentou bruscamente, comprometendo a capacidade de purificação dos rios, oceanos e lagos”.

Tucci (2006, p. 399), afirma que há uma “[...] tendência do desenvolvimento urbano em contaminar a rede de escoamento superficial com despejos de esgotos cloacais e pluviais, inviabilizando o manancial em trechos urbanos”. Nesse sentido, interessa neste estudo identificar se em Teresina, essa situação pode ser observada no rio Poti, tendo em vista que há sistema de esgotamento sanitário que contemple toda a cidade.

A problemática da degradação dos rios que passam pelas cidades é consequência do crescimento desordenado das populações. Na visão de Sirkis (2003), o aumento da população urbana e o crescimento das cidades exigem sustentabilidade econômica, social e humana, com desafios estruturais, dentre os quais a necessidade de resolução dos problemas relacionados com a gestão e o controle das águas pluviais.

2.2 URBANIZAÇÃO E IMPACTOS AMBIENTAIS

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2022) existe no Brasil aproximadamente 203.062.51 habitantes¹. Considerando que boa parte dessa população vive em espaço urbano, consequentemente diversos impactos aos recursos hídricos podem ser associados ao crescimento populacional, uma vez que

¹ Dados não atualizados no momento.

não existe na mesma proporção o aumento de investimentos em saneamento básico das áreas densamente povoadas. Tucci (2008) lembra que:

A extensão dos tecidos urbanos à margem da legislação de uso do solo associado à especulação imobiliária vem sendo reproduzida por diferentes classes sociais, resultando na ocupação de áreas ribeirinhas sem infraestrutura sanitária adequada e causando degradação da qualidade das águas naturais (Tucci, 2008, p. 97).

A poluição mais comum é aquela oriunda do lixo jogado nos rios. Os canais de drenagem de uma cidade, composto por sarjetas, bocas-de-lobo e galerias conduzem os dejetos e resíduos gerados pela atividade humana, e ao despejá-los no curso dos rios gera impactos capazes de comprometer as espécies neles habitantes bem como afetar a qualidade de vida das populações ribeirinhas.

O crescimento das cidades e de sua população aumenta os problemas, porque o tratamento que deveria ser dado aos esgotos e às fossas não consegue acompanhar o ritmo de crescimento urbano. Teresina não fica fora dessa demanda de crescimento. A estimativa, segundo o IBGE, a população estimada para Teresina é de 871.126 habitantes para o ano de 2021.

Conforme afirma Porto (2001, *apud* Montes; Leite, 2010), a ausência do planejamento urbano na grande maioria das cidades brasileiras traz inúmeros problemas para a população que nelas residem, em decorrência dos impactos da urbanização sobre o meio ambiente.

Segundo Moreira:

As cidades vêm desenvolvendo sem estabelecer critérios de sustentabilidade ambiental, causando um descompasso entre homem e meio ambiente; os sistemas de drenagem urbanos têm como filosofia escoar a água o mais rápido possível da área em que ela se precipitou, e as áreas de risco vêm sendo ocupados por edificações e aterros, reduzindo a capacidade de escoamento dos rios (MOREIRA, 2006, p. 38).

É possível citar outros problemas como, por exemplo, as enchentes urbanas, que podem desabrigar milhares de pessoas, gerar prejuízos econômicos e desenvolver doenças de veiculação hídrica, como a leptospirose e a malária, e aqueles relativos à produção e transporte de cargas difusas de poluição que podem prejudicar os corpos de água (Porto, 2001 *apud* Montes; Leite, 2010).

Para Silva (2013) existem várias fontes de contaminação dos rios:

[...] águas provenientes de sanitários, pias, chuveiros e cozinhas, assim como produtos de limpeza, também são fontes que contaminam os solos e corpos d'água. Por muitas vezes são registradas ligações clandestinas desse sistema com a rede de águas pluviais, o que contribui para maiores contaminações (Silva, 2013, p. 15).

Logicamente as empresas que não respeitam as leis acabam jogando seus produtos tóxicos nos rios, lagos e esgotos sem pensar em qualquer responsabilidade e consequência que aquele simples ato terá (Barbioni; Campos, 2011). Além de produtos químicos e sujeira dos esgotos serem jogados diretamente nos rios, afetam ainda os lençóis d'água que formam as nascentes.

O excesso de sujeira funciona como um escudo para a luz do sol, afetando o leito dos rios e seu ciclo biológico. Sewell (1998) esclarece que:

[...] a vida piscosa em geral morre, mas a morte é seletiva. Os peixes mais sensíveis são os primeiros a sucumbir; e os peixes do tipo carpa conseguem viver mais. Peixes maiores e mais ágeis conseguem evadir-se da condição anaeróbica se ela descer ao rio como aglomeração. Mas as larvas de insetos tipicamente não conseguem. Alguns vegetais conseguem viver por períodos curtos, sem oxigênio, mas outros não (Sewell, 1978, p.72).

O autor afirma ainda que depois desse episódio, entretanto, o equilíbrio natural entre os organismos estará perturbado, e podem passar anos até que as variedades bióticas retornem e o equilíbrio se restaure.

Levando-se em conta apenas essas breves considerações, é possível concluir que a urbanização, observando a história da humanidade, parece ser um fato irreversível na maior parte do planeta e, um dos desafios ecológicos das cidades são a gestão das bacias e o controle das águas.

2.3 AGENTES DE CONTAMINAÇÃO DOS RIOS

Sabe-se que um rio está poluído apenas observando-se seu aspecto físico, a cor de sua água, o cheiro, e mais precisamente, pela presença de resíduos sólidos vistos a olho nu, boiando sobre a superfície ou em suspensão nas águas mais ou menos profundas. Entretanto, essas características são únicas, como também não definem o índice de poluição, pois há outros agentes poluentes como produtos químicos, difíceis de serem percebidos, mas que são igualmente prejudiciais à utilização da água que os contém para qualquer finalidade útil.

Segundo Sperling (1996), apesar da grande influência da drenagem pluvial na poluição dos rios, o lançamento de esgotos domésticos e industriais ainda se configura como a principal causa da degradação da qualidade das águas dos rios que possuem parte de seu leito em áreas urbanas.

Azevedo (1999) cita algumas formas de poluição aquática, classificando-as em contaminação biológica, poluição térmica, poluição sedimentar e poluição química.

A contaminação biológica resulta da presença de micro-organismos patogênicos, especialmente na água potável. A poluição térmica ocorre frequentemente pelo descarte, nos corpos receptores, de grandes volumes de água aquecida usada no arrefecimento de uma série de processos industriais (Azevedo, 1999, p. 22).

Para Vieira *et al.* (2004), os principais parâmetros que revelam o grau de poluição das águas quando associados às atividades antrópicas, a saber: a temperatura, o potencial hidrogênio (pH), o Oxigênio dissolvido (OD), o Nitrogênio, os sólidos totais dissolvidos (STD), a condutividade elétrica (CE) e os Coliformes fecais e totais (CF/CT).

Da poluição térmica, causada pelo próprio meio, à poluição por microorganismos, há inúmeras formas de contaminação pelos dejetos, que também são diferentes, indo dos agentes quase invisíveis até os danos causados por partículas sólidas, que por si só já têm suas particularidades.

Em termos de agentes biológicos descobertos nas águas contaminadas, D'Aguila *et. al* (2000), diz que estes são as bactérias patogênicas, os vírus e os parasitas. Os vírus mais comuns em águas contaminadas são os da Poliomielite e da Hepatite infecciosa. Por sua vez, as bactérias patogênicas encontradas na água “[...] constituem uma das principais fontes de morbidade em nosso meio. São as responsáveis pelos numerosos casos de enterites, diarreias infantis e doenças epidêmicas com resultados frequentemente letais” (p. 15).

Sobre a poluição térmica, Azevedo (1999) cita três efeitos deletérios resultantes da mesma:

A solubilidade dos gases em água diminui com o aumento da temperatura. Assim há um decréscimo na quantidade de Oxigênio dissolvido na água, prejudicando a respiração dos peixes e de outros animais aquáticos. 2. Há uma diminuição do tempo de vida de algumas espécies aquáticas, afetando os ciclos de reprodução (Azevedo, 1999, p. 23).

O terceiro efeito citado pelo autor seria a potencialização dos poluentes já existentes na água pelo aumento na velocidade das reações. A temperatura da água desempenha importante papel no controle das espécies aquáticas. É considerada uma das características mais importantes no meio aquático por influir em algumas propriedades da água (densidade, viscosidade, oxigênio dissolvido). Seu valor pode variar entre 0°C e 30°C em função de fontes naturais (energia solar) e fontes antropogênicas (despejos industriais) (Brasil, 2005).

Nas palavras de Sewell (1978) a lista de contaminadores químicos possíveis na água inclui virtualmente todos os compostos tóxicos solúveis que são produzidos ou extraídos pelo homem, inclusive os metais pesados (Bário, Cádmio, Cromo, Cobalto, Chumbo, Mercúrio e Níquel), cujos traços são encontrados em estado natural. O autor lembra que os Sais, especialmente Cloretos, são dissolvidos na terra pela irrigação, descarregados no esgoto doméstico e escoados nas instalações industriais. Em alguns casos esses materiais matam a vida aquática imediatamente e, a menos que sejam removidos por tratamento, podem tornar-se perigosos nos abastecimentos de água para o homem. Outros como o Mercúrio orgânico ou Compostos pesticidas, podem acumular-se em tecidos adiposos de animais, até que alcancem uma dosagem tóxica.

Azevedo (1999) considera a poluição química a mais problemática de todas as formas de poluição, uma vez que através dela são lançados nos cursos de água produtos químicos nocivos ou indesejáveis.

A poluição química é um pouco diferente e um pouco mais sutil que as outras formas de poluição. A poluição térmica tem pouco efeito sobre a potabilidade da água. Mesmo a poluição biológica parece em alguns casos menos perigosa, já a poluição química não é tão simples. Os efeitos nocivos podem ser sutis e levar muito tempo para serem sentidas (Azevedo, 1999, p. 23).

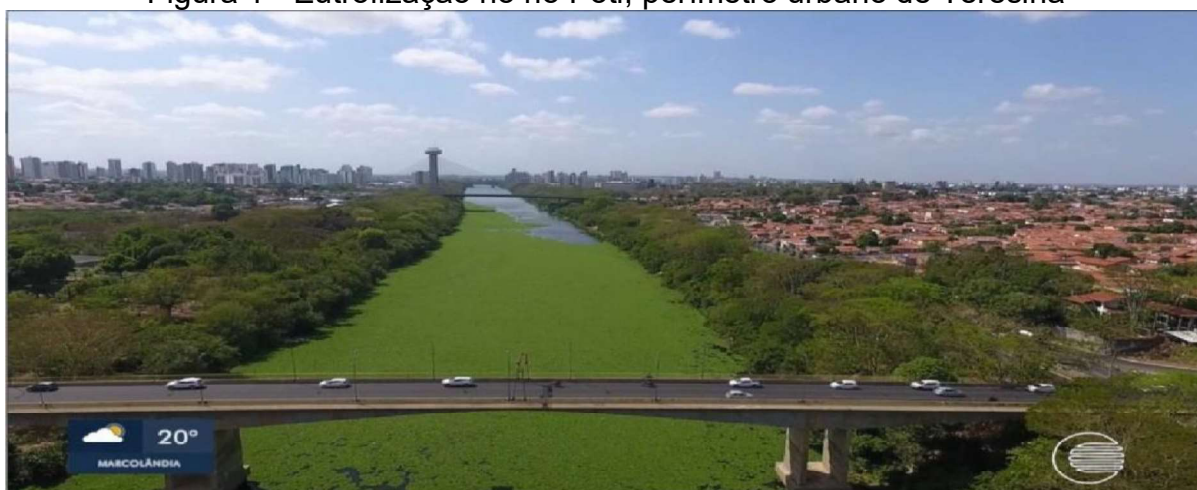
Azevedo (1999) defende que não podemos rotular um determinado produto químico (ou uma mistura deles) como poluente, a menos que especifiquemos onde ele está. O que conta em termos de poluição ambiental é a “combinação” de substâncias e localização. Ele cita como exemplos desses fatos o Ozônio e os Clorofluorcarbonos (CFCs). O Ozônio é gás irritante e tóxico. Na troposfera (camada da atmosfera que toca o solo), ele é claramente poluente. Já os CFCs, por outro lado, são gases não inflamáveis de baixa reatividade química e quase sem odor.

Os dejetos carregados para os leitos dos rios tanto podem acumular-se no fundo destes como permanecer em suspensão. Isso vai depender, obviamente, da sua constituição e do seu peso. Sólidos em suspensão são todas as impurezas. Com exceção dos gases dissolvidos, são considerados sólidos suspensos em corpos d'água. Altas concentrações de sólidos em suspensão reduzem a passagem da luz solar, afetam organismos bentônicos e desequilibram as cadeias tróficas (Tavares, 2005). A presença de sólidos em suspensão impede a turbidez, que é a medida da capacidade da água em dispersar a radiação solar. A turbidez é expressa, entre outras unidades, por NTU (Nephelometric Turbidity Units) e sofre influência direta de sólidos em suspensão, que impede que o feixe de luz penetre na água, reduzindo a fotossíntese da vegetação submersa e algas.

A turbidez ou turvamento da água devido a sólidos em suspensão é exemplo de uma condição de poluição de um fenômeno natural provocado pelo homem, conforme as circunstâncias e os sólidos. Se orgânicos, os sólidos provêm frequentemente – embora nem sempre – do esgoto doméstico, de processos industriais ou ainda da eutrofização induzida pela poluição (Sewell, 1978, p.78).

Na figura 1, tem-se um exemplo típico da eutrofização decorrente da poluição no rio Poti, localizado em Teresina-PI:

Figura 1 - Eutrofização no rio Poti, perímetro urbano de Teresina



Fonte: Bom dia Piauí. Reprodução/TV Clube (2019).

Para Pedrosa (2008, p. 33), o descarte de certas substâncias feito por indústrias, residências e outras atividades podem interferir na qualidade sanitária das águas “[...] Modificações na cor das águas podem indicar a presença de despejo

de produtos químicos provenientes, por exemplo, de tintas, de tingimento de tecidos, couros ou componentes industriais”.

Para Zahed Filho, Martins e Porto (2012, p.3), a indústria da construção civil é a maior geradora de resíduos. Esses autores unanimemente argumentam que:

No Brasil, o índice de 300Kg/m² edificado é muito mais alto do que o de países desenvolvidos de 100Kg/m² devido principalmente às tecnologias e métodos construtivos empregados. Em grandes cidades esses resíduos chegam a somar 50% do peso total gerado [...]

São muitas e variadas as consequências causadas pela poluição de um rio, chegando às vezes a atingir índices de poluição tão elevados que tornam qualquer curso de água definitivamente impróprio para qualquer utilidade. Sewell (1978) cita uma série de causas e consequências da degradação dos rios, entre essas causas fatores como a quantidade de resíduos poluentes, o tamanho e o caráter destes, e como consequência a ação de agentes patogênicos, como a proliferação de bactérias, protozoários, vermes, vírus, fungos, entre outros.

Para Sewell (1978, p.72) “Alguns moluscos morrem imediatamente, outros podem sobreviver por períodos curtos, outros frequentemente conseguem viver até vinte e quatro horas num estado imóvel”. O autor afirma também que igualmente importante é a previsão da diminuição do Oxigênio que alguns resíduos orgânicos conhecidos causam numa corrente de água. Uma simples comparação do potencial de absorver oxigênio dos resíduos que entram num rio com o Oxigênio dissolvido nele disponível permite uma estimativa grosseira dos efeitos prováveis.

3 CAMINHO DAS ÁGUAS: DRENAGEM E SEUS ELEMENTOS

Neste capítulo, serão abordadas algumas questões relativas aos sistemas de drenagem em regiões urbanizadas e a necessidade do descarte dos resíduos nas águas dos rios, sejam eles oriundos de ambientes domésticos ou provenientes das enchentes provocadas pelas chuvas. Para tanto, parte-se da premissa que é de suma importância abordar os aspectos relativos aos sistemas de drenagens para entender melhor a necessidade de seus elementos e os impactos por eles causados quando afetam os cursos naturais das águas de um rio.

3.1 DRENAGEM DAS ÁGUAS

Desde que as comunidades começaram a se aglomerar em cidades construídas houve a necessidade da estruturação de saneamentos que viabilizassem o escoamento das águas. Segundo Fernandes (2002) a arte da drenagem é tão antiga quanto à origem das civilizações. Os sistemas primitivos de drenagem consistiam exclusivamente de valas a céu aberto que atravessassem as terras, porém, aos poucos, surgiu a ideia de construir dutos cobertos para a drenagem urbana. Inicialmente empregavam-se blocos de argila cozidos e cimentados com barro e gesso.

A experiência dos antigos foi aprimorada pelos fenícios, gregos e romanos. Segundo Fernandes (2002):

Obras de drenagem de grande porte foram realizadas no tempo do Império Romano, como as obras do vale do Pó, na Itália, e as de Fens, na Inglaterra. Na Idade Moderna, nos Estados Unidos, as terras pantanosas da costa do Atlântico, as terras baixas próximas ao rio Sacramento, na Califórnia e os pântanos meridionais dos grandes lagos, são exemplos de regiões que se tornaram agriculturáveis devido a obras de macrodrenagem (Fernandes, 2002, p. 5).

Ainda segundo o professor Fernandes, no período pré-helênico, em Tróia, onde existiam sistemas de abastecimentos de água, regulamentava-se também o destino dos dejetos e existia um sistema de esgotamentos. Na América do Sul, impressionantes ruínas de sistemas de esgotos e banhos atestam as façanhas dos quéchuas em engenharia sanitária. Esse povo que habitou regiões do atual Peru e

Equador estava cômico da influência possível de outros elementos do ambiente físico sobre a saúde e reconheceram a conexão entre a aclimação e má saúde.

Em Roma, a construção da cloaca romana, um grande esgoto, é atribuída ao quinto rei romano, Tarquínio Prisco (580-514 a. C.), porém essa obra se origina, provavelmente, dos primeiros tempos republicanos e é a maior das obras de drenagem romana ainda funcionando. Para os romanos o sistema de esgotos, no qual se incluía a cloaca máxima, era tão valioso quanto o suprimento de água (Rosen, 1994, p. 43, *apud* Fernandes, 2002).

Zahed Filho, Martins e Porto (2012), dizem que o cenário brasileiro apresenta grandes problemas no descarte incorreto do lixo, principalmente de origem doméstica. Mas isso ainda não é tudo, outros problemas também são verificados pelas águas pluviais, quando torrentes originadas pela precipitação direta sobre as vias públicas desembocam nos bueiros situados nas sarjetas, comprometendo a eficiência dos processos de drenagem.

A exemplo desse tipo de descarte de lixo de forma irregular, pode-se ver na figura 2 que ilustra o lançamento de dejetos nas águas do Rio Poti, em Teresina-PI.

Figura 2 - Esgotos lançados sobre o rio Poti na Zona Leste de Teresina



Fonte: Santos (2017).

Sobre os impactos causados pelas águas utilizadas nas áreas urbanas e que são lançadas nos rios tem-se uma ampla visão de que os meios (ou canais) que carregam essas águas causam problemas de variadas dimensões. Esse não é o único problema, embora seja o maior por destruir e infectar os cursos naturais. Há

também, consequências causadas pelo lixo jogado nas ruas que também terminam provocando grandes impactos.

O lixo público contendo resíduos presentes em ambientes públicos, geralmente de origem natural, além dos resíduos descartados irregularmente por pessoas, obras indústrias, etc., que não são devidamente recolhidos pelo serviço de limpeza pública. O entulho de obras, gerado pela construção civil (e composto por materiais inertes como concreto, argamassa, madeira, plástico, papelão, vidro, cerâmica e terra). Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas-ABNT, lixo e resíduos sólidos são restos das atividades humanas, considerados indesejáveis ou descartáveis, podendo-se apresentar nos estados sólido, ou líquido, desde que não seja passível de tratamento convencional.

São muitas as fontes geradoras de resíduos sólidos, a iniciar-se pelos resíduos residenciais, descartados em forma de lixo doméstico provenientes das casas e prédios. Juntamente a esses, tem o lixo comercial, gerado pelos estabelecimentos comerciais. Estudiosos e pesquisadores de um modo geral, afirmam que a crescente produção de resíduos sólidos que por vezes afetam o sistema de drenagem urbana é um dos principais problemas enfrentados pela sociedade contemporânea. A seguir, trataremos de conceitos básicos e dos elementos do sistema de drenagem.

3.2 SISTEMAS DE DRENAGEM

A construção e operação de sistemas de drenagem têm sido historicamente orientadas pelos objetivos de manter a higiene pública e evitar inundações e alagamentos (Rauch *et al.*, 2002 *apud* Silva, 2013).

A prática da drenagem urbana nos países em desenvolvimento ainda encontra problemas mais sérios, porque o desenvolvimento urbano ocorre sob condições socioeconômicas, tecnológicas e climáticas mais difíceis (Silveira, 2001 *apud* Neves; Tucci, 2003). Na drenagem urbana, enquanto nos países desenvolvidos se pratica a fase ambientalista da drenagem, nos países em desenvolvimento ainda se pratica a fase sanitária.

Conforme Cardoso Neto (1993), o termo “drenagem” é um termo empregado na designação das instalações destinadas a escoar o excesso de água, seja em rodovias, na zona rural ou na malha urbana, sendo que a drenagem desta última é o

objetivo deste estudo. As drenagens urbanas não se restringem aos aspectos puramente técnicos impostos pelos limites restritos à engenharia, pois compreende o conjunto de todas as medidas a serem tomadas que visem à atenuação dos riscos e dos prejuízos decorrentes de inundações.

Nas palavras de Lima (2007), há tempos os sistemas de drenagem urbana tinham como objetivo maior o esgotamento rápido do excesso de águas de chuva, visando evitar ou minimizar os danos decorrentes da presença desta água nas vias urbanas. Estes sistemas geralmente contemplam um conjunto de intervenções físicas, chamadas de medidas estruturais, tidas como solução definitiva para o problema. Para o autor, o entendimento é que a drenagem urbana não é a solução absoluta para a preservação do ambiente urbano, posto que devem ser implantados diversos sistemas que precisam ser “[...] geridos de forma articulada e em harmonia com a realidade econômica e social das cidades buscando como objetivos principais a segurança do bem estar dos cidadãos (Lima, 2007, p.8).

Os sistemas de drenagem são classificados de acordo com suas dimensões, em sistemas de “microdrenagem”, também denominados sistemas iniciais de drenagem e de “macrodrenagem.” No quadro 1, são apresentados os principais pontos de diferença entre esses dois tipos de drenagens:

Quadro 1 - Distinção entre Micro e Macrodrenagem

MICRODRENAGEM	MACRODRENAGEM
- São estruturas que conduzem as águas do escoamento superficial para as galerias ou canais urbanos	- São dispositivos responsáveis pelo escoamento final das águas pluviais provenientes do sistema de microdrenagem urbana
- É constituída pelas redes coletoras de águas pluviais, poços de visita, sarjetas, bocas de lobo e meios-fios	- É constituída pelos principais talwegues, fundos de vales, cursos d'água, independente da execução de obras específicas e tampouco da localização de extensas áreas urbanizadas, por ser escoadouro natural das águas pluviais.

Fonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEM de Belo Horizonte.

A microdrenagem inclui a coleta e afastamento das águas superficiais ou subterrâneas através de pequenas e médias galerias, fazendo ainda parte do sistema todos os componentes do projeto para que tal ocorra. A macrodrenagem, por sua vez, inclui, além da microdrenagem, as galerias de grande porte ($D > 1,5$ m) e os corpos receptores, tais como: canais e rios canalizados.

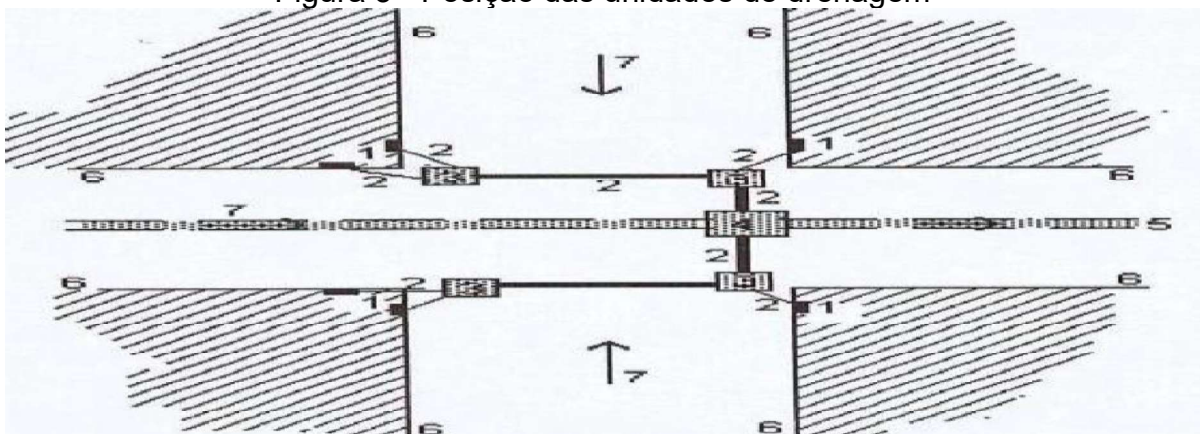
O sistema de drenagem deve ser entendido como o conjunto da infraestrutura existente em uma cidade para realizar a coleta, o transporte e o lançamento final das águas superficiais, e inclui a hidrografia e os talwegues. Em centros urbanos, os sistemas integrados de drenagem urbana têm como papel, além da cobertura urbana de proteção contra inundações, cuidar do melhoramento da qualidade de vida pela produção de feições aquáticas, criando amenidade urbana na cidade. Isto pode ser traduzido também como ação sob a perspectiva de sustentabilidade ambiental, introduzindo uma nova forma de direcionamento das ações, baseada no reconhecimento da complexidade das relações entre os ecossistemas naturais, o sistema urbano artificial e a sociedade (Maksimovic, 2001, *apud* Neves; Tucci, 2003).

3.3 UNIDADES E DISPOSITIVOS DE SISTEMAS DE DRENAGEM

Um sistema de drenagem é composto de uma série de unidades e dispositivos hidráulicos para os quais existe uma terminologia própria (FERNANDES, 2016). Os elementos mais frequentes de um sistema de drenagem são: Guia (meio fio), Sarjeta, Bocas de lobo (ou bocas coletoras), Galerias, Condutos de ligação, Poços de visita, Trecho de galeria e Caixas de ligação.

Na figura 3, tem-se uma ilustração da posição de cada unidade de drenagem:

Figura 3 - Posição das unidades de drenagem



Fonte: Fernandes (2016).

Legenda descritiva: 1- Bocas de lobo; 2-Tubos de ligação; 3-Caixas mortas; 4-Poço de visita; 5- Galeria subterrânea; 6-Guia (limite sarjeta); 7- Declividade da rua.

3.3.1 Sarjetas

Na maioria das cidades brasileiras, tanto o excesso de águas pluviais quanto as águas provenientes do uso doméstico e industrial são lançados nas sarjetas, que por sua vez são lançadas nas bocas de lobo que desembocam nas galerias que desembocam nos rios ou córregos que ladeiam as cidades. Assim, os cursos d'água próximos às atividades antrópicas se transformam em gigantescos esgotos a céu aberto, que além de provocar diversos tipos de poluição também os tornam inutilizáveis. O problema que fica insolucionável só aumenta, concomitante ao crescimento demográfico, causando impactos ambientais, econômico e tornando vulnerável a saúde da população, conforme já frisado por Zahed Filho, Martins e Porto (2012).

Sarjetas, conforme Fernandes (2016) são canais de seção transversal triangular, situada nas laterais das ruas, entre o leito viário e os passeios para pedestres, destinados a coletar as águas de escoamento superficial e transportá-las até as bocas de lobo.

Nos projetos de drenagem, é levado em conta o dimensionamento de uma sarjeta que deve ter uma certa margem de segurança na capacidade de contenção das águas correntes, tendo em vista problemas funcionais que tanto podem reduzir seu poder de escoamento como provocar canos materiais com velocidades excessivas dessas águas.

Nas declividades inferiores é frequente o fenômeno do assoreamento e obstruções parciais através de sedimentação de areia e recolhimento de pequenas pedras, reduzindo assim, a capacidade de escoamento. Nas declividades maiores, a limitação da velocidade de escoamento torna-se fator necessário para a devida proteção aos pedestres e ao próprio pavimento (Fernandes, 2016).

Para que a sarjeta seja eficiente, é necessário, na sua construção, levar em conta fatores como sua capacidade teórica, a descarga admissível (capacidade), o material utilizado na sua construção e o acabamento. Segundo Fernandes (2016), para o cálculo das sarjetas, projetistas brasileiros comumente utilizam a teoria de Manning, onde:

$$V = R^{2/3} \cdot I^{1/2} \cdot n^{-1}$$

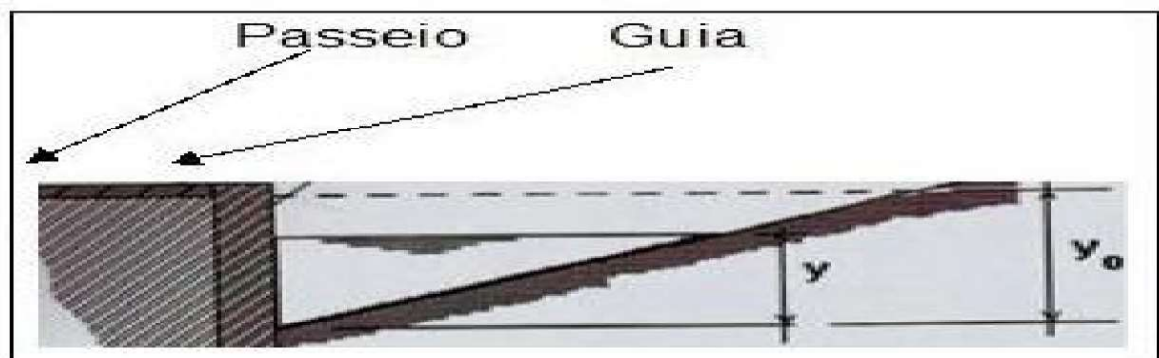
A partir da fórmula acima são definidas as equações para o cálculo da capacidade teórica de cada sarjeta, que pode ser classificada em: triangular, parcialmente cheia, porção de sarjeta e sarjeta com seção composta. A seguir tem-se as figuras 4, 5, 6 e 7 que ilustram esses tipos de sarjetas:

Figura 4 - Sarjeta Triangular



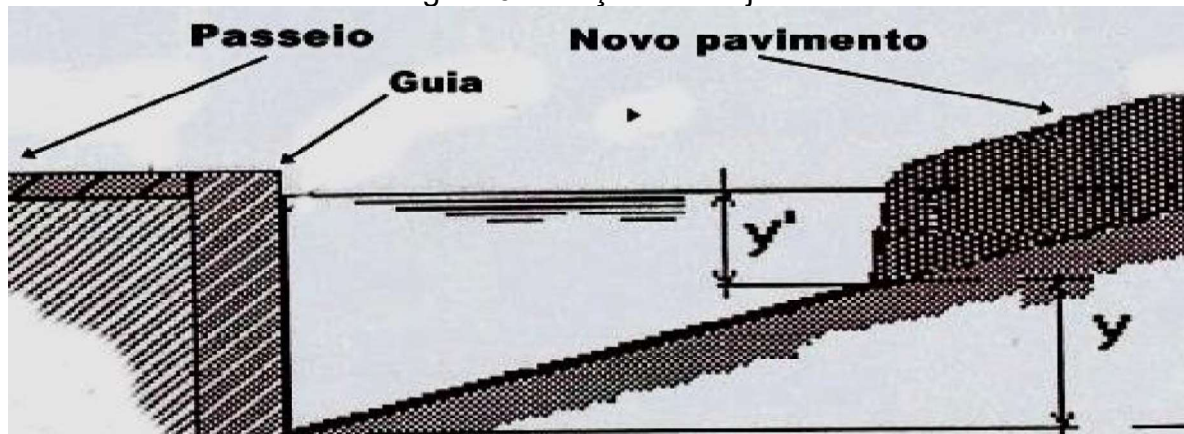
Fonte: Fernandes (2014).

Figura 5 - Sarjeta parcialmente cheia



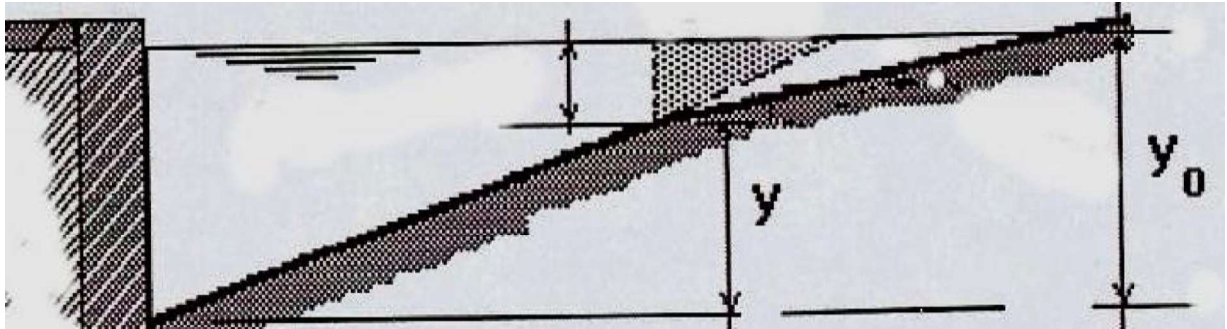
Fonte: Fernandes (2014).

Figura 6 - Porção de Sarjeta



Fonte: Fernandes (2014).

Figura 7 - Sarjeta com seção composta



Fonte: Fernandes (2014).

Fernandes (2016) afirma que no dimensionamento das sarjetas deve-se considerar certa margem de segurança na sua capacidade, tendo em vista problemas funcionais que tanto podem reduzir seu poder de escoamento como provocar danos materiais com velocidades excessivas.

Nas declividades inferiores é frequente o fenômeno de assoreamento e obstruções parciais através de sedimentação de areia e recolhimento de pequenas pedras, reduzindo assim, a capacidade de escoamento. Nas declividades maiores a limitação da velocidade de escoamento torna-se um fator necessário para a devida proteção dos pedestres e ao próprio pavimento (Fernandes, 2016, p. 24).

Cardoso Neto (2016) enfatiza que a capacidade de descarga das sarjetas depende de sua declividade, rugosidade e forma. Se não houver vazão excessiva, o abaulamento das vias públicas faz com que as águas provenientes da precipitação escoam pelas sarjetas.

3.3.2 Bocas de lobo

Bocas de lobo ou “bocas coletoras” são estruturas hidráulicas destinadas a interceptar as águas pluviais que escoam pelas sarjetas para, em seguida, encaminhá-las às canalizações subterrâneas. Com a finalidade de aumentar a capacidade de captação de água pelas bocas de lobo, junto à entrada desta é construído um rebaixamento chamado “depressão”. Essa estrutura hidráulica destina-se “[...] à interceptar as águas pluviais que escoam pela sarjeta para, em seguida, encaminhá-las às canalizações subterrâneas” (Fernandes, 2016, p. 28).

São chamadas também de “bocas contínuas de captação” (Lima, 2007, p. 6). Essas bocas contínuas coletoras são “[...] dispositivos no formato de caixas

construídas em concreto e alvenaria, cuja função é receber as águas pluviais e de utilização humana que correm pelas sarjetas e lançá-los nas galerias” (Cardoso Neto, 2016, p.12).

Dependendo da estrutura, da localização ou do funcionamento, as bocas de lobo recebem várias qualificações, que podem ser explicadas no quadro 2:

Quadro 2: Classificação das bocas de lobo

QUANTO A ESTRUTURA DA ENTRADA	QUANTO A LOCALIZAÇÃO AO LONGO DAS SARJETAS	QUANTO AO FUNCIONAMENTO
- Simples ou lateral; - Gradeadas com barras longitudinais, transversais ou mistas; - Combinadas; - Múltipla.	- Intermediárias; - De cruzamento; - De pontos baixos.	- Livre; - Afogada.

Fonte: Quadro elaborado e adaptado de Fernandes (2016).

Um aspecto importante no projeto de drenagem é o posicionamento das bocas de lobo, que devem estar nos pontos mais baixos do sistema para impedir alagamentos e águas paradas em zonas mortas. As bocas de lobo devem ser posicionadas em ambos os lados da rua quando a saturação da sarjeta exigir ou quando forem ultrapassadas suas capacidades de engolimento (Carmo; Marchi, 2013).

Segundo Lima (2007) no tipo de boca de lobo simples (o mais comum), com uma abertura vertical na guia, através da qual é captada a água da sarjeta, há pouca obstrução por detritos, mas estes atingem os talvegues ou cursos d'água. Na figura 8 tem-se um exemplo de boca de lobo simples.

Figura 8 - Desenho esquemático de Boca de lobo simples (ou lateral)



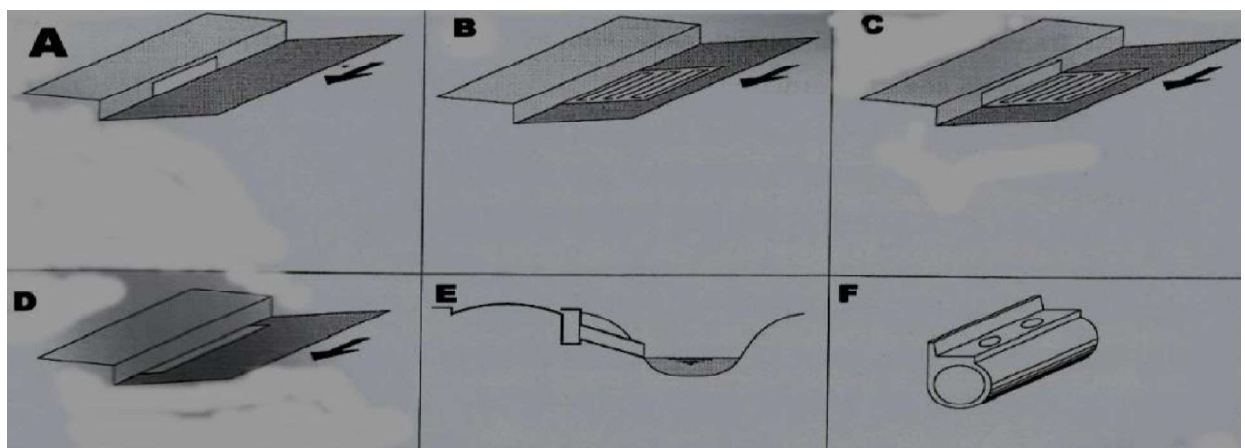
Fonte: Adaptado de Fernandes (2016).

Carmo e Marchi (2013), explicam que em geral há 4 (quatro tipologias de bocas de lobo, a saber: lateral (indicada para instalação em pontos intermediários em sarjetas com pequena declividade longitudinal - 1% a 5%); com grelha (indicada para sarjetas com limitação de depressão, quando não há materiais obstrutivos para instalação em pontos intermediários em ruas com alta declividade longitudinal - 1% a 10%); combinada (adequada para pontos baixos de ruas e pontos intermediários da sarjeta com declividade média entre 5% e 10%); e múltipla também recomendada para pontos baixos e para sarjetas com grandes vazões.

Como existem diversos tipos de boca de lobo, no Brasil não se adota um modelo único. Segundo Lima (2007) os critérios desenvolvidos para a determinação da capacidade dos diversos tipos de boca de lobo baseiam-se nos parâmetros relativos ao escoamento na sarjeta.

Na figura 9, têm-se alguns modelos de bocas de lobo usadas no Brasil:

Figura 9 - Modelos de Bocas de lobo adotadas no Brasil

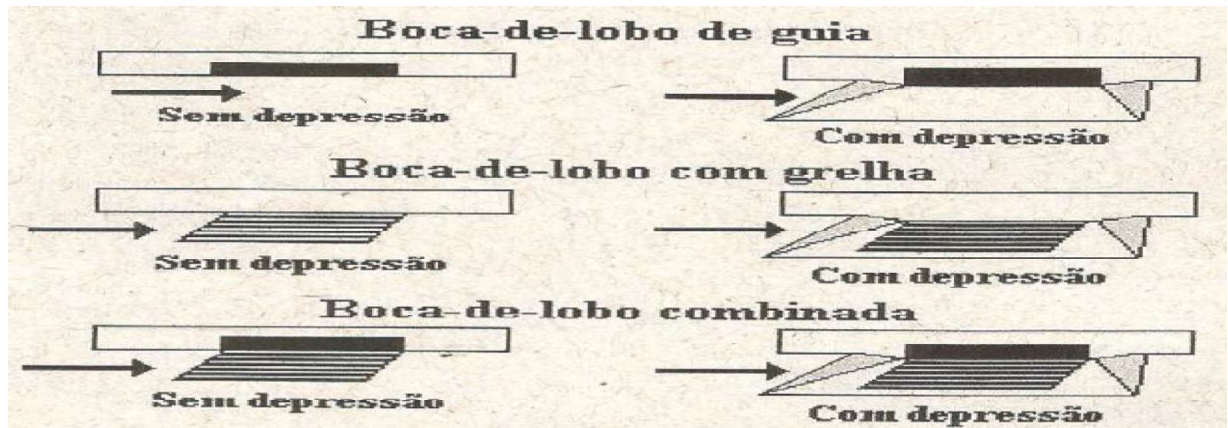


Fonte: adaptado de Fernandes (2004).

Os modelos A e B são os mais comuns em Teresina. O primeiro é conhecido como simples e o segundo é conhecido como “boca de lobo com grelha” ou “gride”. Estes modelos são comuns em Teresina-PI sendo responsáveis pela drenagem de águas pluviais e de esgotos em áreas altas e baixas da cidade. Nos casos onde se registra a presença das bocas de lobo com grelha, especialmente em áreas mais baixas, é também onde se verifica a presença de grandes alagamentos, quando as sarjetas conduzem resíduos sólidos de granulometria elevada que aí ficam retidos.

Para Cardoso Neto (2016), há três tipos de bocas de lobo, conforme demonstrado na figura 10 por Fernandes (2004):

Figura 10 - Diferentes tipos de bocas de lobo



Fonte: Fernandes (2004).

Lima (2007) define a boca de lobo sem depressão como sendo simples, na qual há pouca obstrução por detritos, mas que atingem os talwegues ou cursos d'água. O mesmo autor explica que a boca de lobo com grelha (de barra metálica ou concreto) retém a maior parte dos detritos transportados pelo fluxo, o que obstrui parcialmente sua área útil, contudo, este fato resulta em maior proteção para os talwegues e cursos d'água.

Segundo Cardoso Neto (2016), a água ao se acumular sobre a boca de lobo com entrada pela guia, gera uma lâmina d'água mais fina que a altura da abertura no meio fio, fazendo com que a abertura se comporte como um vertedouro de seção retangular. Assim, em projetos de sistemas de drenagem urbana, é de suma importância o estudo prévio das posições das bocas de lobo, para impedir os alagamentos e águas paradas em zonas mortas (Fernandes, 2016).

Cardoso Neto (2016) diz que a localização das bocas de lobo deve respeitar o critério de eficiência das vazões superficiais para as galerias. É necessário colocar bocas de lobo nos pontos mais baixos do sistema, com vistas a impedir alagamentos e águas paradas em zonas mortas. Recomenda-se que a localização das bocas de lobo obedeça aos seguintes critérios:

- 1- Em ambos os lados da via, quando for ultrapassada sua capacidade de engolimento ou houver saturação da sarjeta;
- 2- Nos pontos mais baixos de cada quadra;
- 3- Espaçamento máximo de 60 metros entre as bocas de lobo, quando não se dispõe de dados sobre a capacidade de escoamento;
- 4- Não

recomendável a colocação de boca de lobo nas esquinas, melhor será localizá-la um pouco à montante das esquinas (Cardoso Neto, 2016, p. 14).

Com relação ao critério 4, é comum o seu desrespeito na cidade de Teresina, pois verifica-se em diversos pontos da cidade, as bocas de lobo situadas no cruzamento de ruas e avenidas.

3.3.3 Galerias

Galerias são todos os condutos fechados destinados ao transporte de águas de escoamento superficial, originárias das precipitações pluviais captadas pelas bocas de lobo (Fernandes, 2014). Para esse autor:

O termo galeria por si só já é designação de todo conduto subterrâneo com diâmetro equivalente, igual ou superior a 400 mm. Tecnicamente sistema de galerias pluviais é um conjunto de bocas coletoras, condutos de ligação, galerias e seus órgãos acessórios tais como poços de visita e caixas de ligação. É a parte subterrânea de um sistema de microdrenagem (Fernandes, 2014, p.12).

Assim pode-se caracterizar um sistema de drenagem urbano funcionando de forma perfeita da seguinte forma: As águas usadas correriam pelas sarjetas, e aí não deveriam conduzir dejetos de tamanho superior ao tamanho das bocas de lobo. Estas lançariam nas galerias, com dimensões suportáveis maiores, e as galerias conduziram essas águas aos rios. Esse esquema é básico em todas as cidades de grande e médio porte.

Para Cardoso Neto (2016, p. 01):

As torrentes originadas pela precipitação direta sobre as vias públicas desembocam nos bueiros situados nas sarjetas. Estas torrentes (somadas à água da rede pública proveniente dos coletores localizados nos pátios e das calhas situadas nos topos das edificações) são escoadas pelas tubulações que alimentam os condutos secundários, a partir do qual atingem o fundo do vale, onde o escoamento é topograficamente bem definido, mesmo que não haja curso d'água perene.

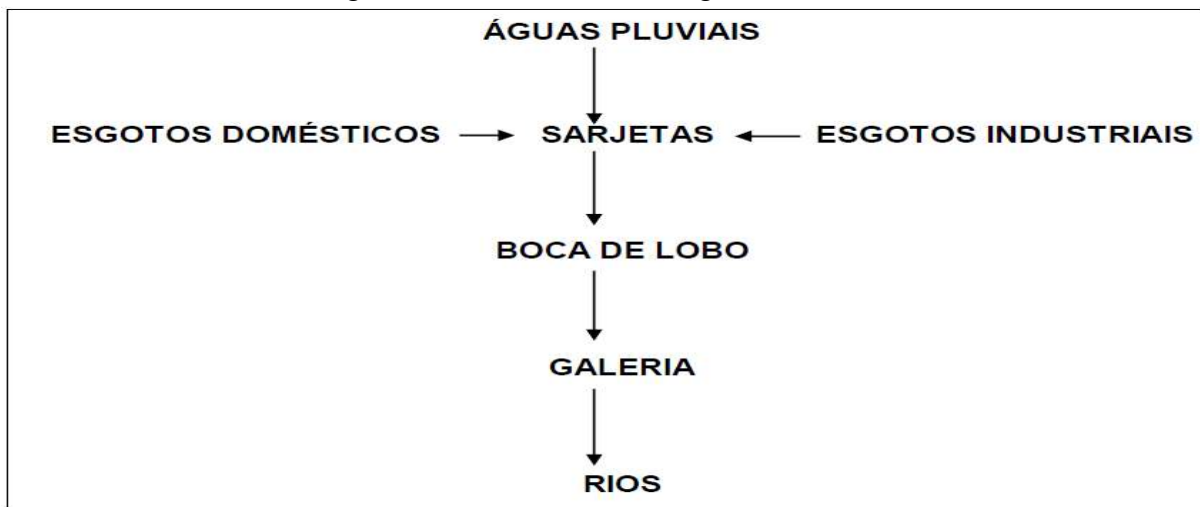
Nas palavras de Lima *et. al* (2015) a poluição ocasionada por esgotos associados aos resíduos sólidos se destinam às galerias durante as chuvas:

A essa poluição por esgotos cloacais, associa-se a poluição sólida, seja aquela que se encontra espalhada por terrenos baldios (principalmente nas encostas, vales dos riachos, entorno dos lagos e quintais), seja aquela que

é jogada diretamente pela população nos riachos, lagos e rios. Além da poluição, estes detritos vão gerar a propagação de insetos e mau-cheiro. Durante os períodos chuvosos, vão entupir os bueiros e canais pluviais, aumentando o problema das inundações e da falta de saneamento (Lima *et al.*, 2015, p. 15).

Por fim, um sistema de drenagem inclui as sarjetas, bocas de lobo e as galerias, tal como explicado acima se explica melhor pelo fluxograma presente na figura 11:

Figura 11 - Percurso das águas urbanas



Fonte: Autor (2021).

É impossível se imaginar, nos dias de hoje, a ação eficiente desses condutos sem a provocação de danos ambientais, porque esse é o sistema que se tem. Seria certo que as águas que correm por um sistema de drenagem urbana, deveriam passar por um sistema de tratamento eficiente, antes de serem lançados às bacias dos rios, porém, o que se percebe é pouco investimento em saneamento básico nas cidades que possam evitar danos ambientais, uma vez que pouca atenção é dada ao destino certo dos dejetos provenientes das ações humanas.

4 RIO POTI EM TERESINA PIAUÍ: O QUE DIZEM OS ESTUDOS SOBRE OS IMPACTOS AMBIENTAIS

4.1 AMBIENTE URBANO DE TERESINA: ORIGEM E EVOLUÇÃO

No início da década de 1850 nascia a cidade de Teresina que passou a ser a nova capital do estado do Piauí. O surgimento dessa cidade [...] foi fruto de interesses políticos e econômicos ao reivindicarem a modernidade e o desenvolvimento para o Estado do Piauí (Gandara, 2011, p. 90). Segundo Lima *et al.* (2015), seu fundador, o Conselheiro Saraiva então presidente da Província do Piauí, escolheu o local “alto e aprazível” à margem direita do rio Parnaíba, no topo mais regular do planalto que se forma entre as últimas curvas dos rios Parnaíba e Poti.

Para Lima *et al.* (2015, p. 4) “A maioria das quadras ou quarteirões mediam 40 X 40 braças e passaram a formar verdadeiros pomares urbanos”. Assim foram surgindo os primeiros problemas de ocupação em relação à drenagem, pois com a expansão dos serviços de calçamento as lagoas e os vales dos riachos (chamados de “grotas” ou “grotões”) foram sendo pavimentados formando as primeiras “baixas” do relevo no sítio urbano.

A “Agenda 2015” de Teresina revelou vários problemas ambientais ocorridos em virtude do crescimento urbano das últimas décadas. De fato, por conta da rápida expansão “[...] as encostas e os vales dos riachos, bem como das lagoas ciliares que existiam entre o centro e os novos bairros, passaram a ser indiscriminadamente ocupados, trazendo problemas de inadequação da drenagem (Sales, 2010, p. 58).

Lima *et al.* (2015, p.10), sobre a cidade de Teresina confirma que os “[...] maiores problemas decorrem, como em todas as médias e grandes cidades de países subdesenvolvidos, do acelerado crescimento urbano das últimas décadas, dificultando a gestão com crescimento econômico com elevada qualidade de vida.

Teresina caracteriza-se como uma mesopotâmia, pois se localiza entre dois rios, Poti e Parnaíba, que são de fundamental importância para o desenvolvimento socioeconômico da cidade. Contudo, apresenta vários problemas ambientais causados pelo crescimento desordenado, típico dos grandes centros urbanos como

Ponderam Barbioti e Campos (2011), sobretudo em relação à produção de dejetos e o descarte inadequado.

4.2 ASPECTOS FÍSICOS E GEOGRÁFICOS DA BACIA DO RIO POTI

O rio Poti, é um exemplo típico do que até aqui foi dito sobre poluição e agentes poluentes. O rio Poti nasce no Estado do Ceará a uma altitude de 600 m. Adentra no Estado do Piauí pelo município de Castelo do Piauí, e apresenta um curso d'água de 550 km de extensão, seguindo para Oeste até a cidade de Olho D'Água, onde muda sua direção para Norte (Bastos, 1994).

De acordo com as informações da Agência Nacional de Águas:

A disponibilidade hídrica superficial na microbacia do rio poti é de aproximadamente 3,8 bilhões de m³ com uma extensão de 52.370 km², sendo localizada no Estado do Piauí. A microbacia é formada, sobretudo, pelo rio Poti [...] sendo um dos maiores afluentes do rio Parnaíba e possui como principais afluentes pela margem esquerda, os rios Berlangas e Sambito e, pela margem direita, os rios Canudos e Capivara (ANA, 2016).

No município de Teresina, o leito do rio Poti forma vários meandros até sua foz, conhecida como bacia do Poti. Na figura 12, tem-se uma imagem de um dos trechos do Poti no perímetro urbano da zona Leste.

Figura 12 - Rio Poti no perímetro urbano de Teresina, zona Leste



Fonte: Banco de Imagens da ANA (2017).

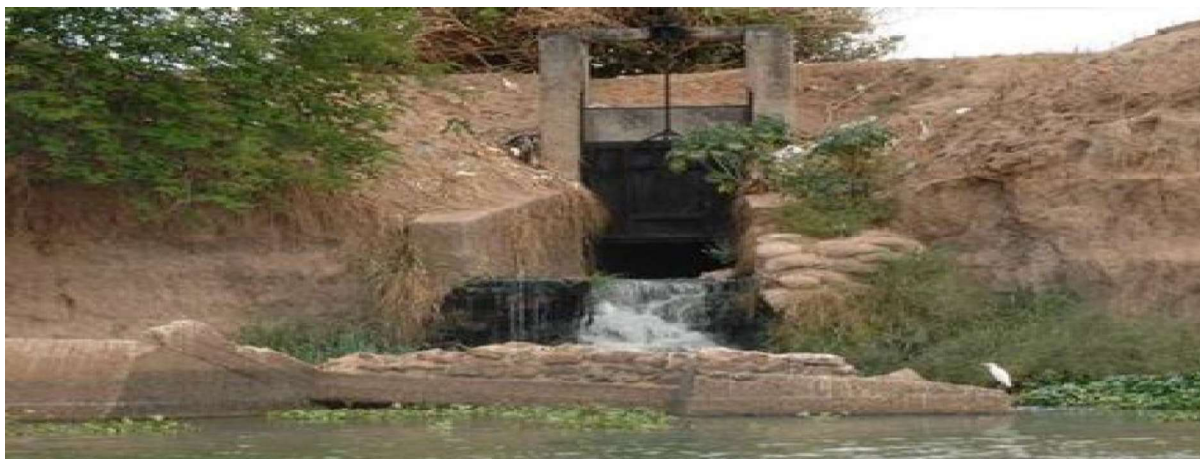
4.3 IMPACTOS AMBIENTAIS DO RIO POTI NO PERÍMETRO URBANO DE TERESINA

Nesta seção, serão apresentados dados para discussão a partir de alguns estudos sobre monitoramento e análise da qualidade da água do rio Poti, e seus impactos ambientais. Para Melo (2018) a posição geográfica de Teresina, cercada por dois rios, é propícia ao lançamento de esgoto clandestino.

Segundo Pereira e Daltro Filho (2015, p.1), existem inúmeros problemas “[...] nos serviços de saneamento, como coleta, tratamento e destinação final de resíduos, enchentes, esgotos e outros, são as principais causas de degradação ambiental ocorridas nos municípios brasileiros”. Por isso, os serviços de infraestrutura e saneamento básico carecem ser implantados em conformidade com o crescimento das cidades.

O espaço urbano sofre com diversos problemas de infraestrutura, dentre eles a questão de enchentes e alagamentos tão comuns no município. E em Teresina não é diferente, uma vez que no município apresenta sérios problemas em relação à gestão de resíduos e ao sistema de saneamento e/ou drenagem urbana. A seguir tem-se a figura 13 que ilustra o descarregamento de esgoto sem tratamento no rio Poti.

Figura 13 - Galeria descarregando poluentes sobre o rio Poti, Teresina-PI.



Fonte: Portal G1 (2013).

Em Teresina, a situação fica mais crítica quando chove bastante, uma vez que a água da chuva se associa aos resíduos sólidos jogado nas ruas, aos esgotos e bueiros que ficam próximos das casas (Feitosa; Silva Neto; Nunes, 2021). Com

isso, os rios, principalmente o rio Poti quando passa no perímetro da cidade, sofrem uma realidade preocupante e crescente.

O rio Poti, assim como o rio Parnaíba, recebe grande carga de poluentes oriundos das inúmeras bocas-de-lobo existentes no perímetro urbano de Teresina, mais especificamente nas regiões Leste-Sul e Leste-Norte da cidade, situadas à margem esquerda do rio.

Conforme Nunes e Aquino (2018), nas últimas décadas, o crescimento desordenado da cidade de Teresina tem provocado inúmeros impactos ambientais sobre o rio Poti. Os principais problemas ambientais sofridos pelo rio são: lançamento de esgoto e de resíduos sólidos de forma ilegal, ocupação das áreas ribeirinhas, dentre outros.

Em reportagem publicada no Jornal Diário do Povo do Piauí, na edição de nº 10.677, de 20 de fevereiro de 2016, Duarte (2016) discorre sobre a poluição causada por resíduos sólidos de grandes proporções lançados sobre o rio Poti, em um trecho da zona Leste Norte da capital Teresina. A autora da referida matéria mostra que o acúmulo de garrafas PET, sacolas de lixo, madeira apodrecida, até mesmo uma carroceria de caminhão quebrada e principalmente restos de vegetação apresentam um cenário desolador.

Azevedo (1999) faz uma classificação dos agentes químicos poluidores mais comuns, apresentados no quadro 3:

Quadro 3 - Classificação dos agentes químicos poluidores

AGENTES POLUIDORES	CONSEQUÊNCIAS
- Fertilizantes agrícolas	- Desenvolvimento de algas; - Desenvolvimento do processo de eutrofização; - Presença de NO_3^- e PO_4^{3-} .
- Compostos orgânicos sintéticos	- Dão cor ou sabor a água; - Alguns são tóxicos.
- Petróleo	- Morte de grande quantidade de plantas, peixes e aves.
- Compostos inorgânicos e minerais	- Variações na acidez, na alcalinidade e na toxicidade da água.

Fonte: Azevedo (1999).

Para Duarte (2016), quando Azevedo (1999) fala da poluição por aumento de temperatura da água por agentes poluentes, tem-se que se observar que cada vez mais fica difícil a vida dos peixes e outros seres que habitam o rio, sobretudo pelo descontrole quanto aos tipos de lixo despejados. O “[...] despejo de certas

substâncias pelas indústrias, residências e outras atividades, podem, pois, prejudicar a qualidade sanitária da água” (Pedrosa, 2008, p. 33).

De fato, um sério problema que tem afetado o rio Poti, é o despejo de esgoto sem tratamento, situação que se estende em quase toda a Teresina, cidade que abriga quase um milhão de habitantes.

Figura 14 - Galeria a céu aberto em rua da zona Norte de Teresina



Fonte: Ribeiro (2016). Jornal Meio Norte-Teresina - edição de 17 de fevereiro.

Conforme Cardoso Neto (2016) o caminho percorrido pela água da chuva sobre uma superfície pode ou não ser topograficamente bem definido. Após a implantação de uma cidade, o percurso caótico das enxurradas passa a ser determinado pelo traçado das ruas e acaba se comportando, tanto quantitativa como qualitativamente, de maneira bem diferente de seu comportamento original. Na Figura 15, têm-se dois registros de boca de lobos muito presente em Teresina.

Figura 15 - Bocas de lobos comuns em Teresina



Fonte: do autor – arquivo pessoal do pesquisador (2021).

Em Teresina-PI, especificamente em zonas periféricas, o que prevalece são bocas de lobo simples, com capacidade de abertura suficiente para a passagem de águas da chuva ou do uso doméstico.

De uma maneira geral, as águas decorrentes da chuva (coletadas nas vias públicas por meio de bocas de lobo e descarregadas em condutos subterrâneos) são lançadas em cursos d'água naturais, sobretudo de rios. É, portanto, recomendável que o sistema de drenagem seja tal que o percurso da água entre sua origem e seu destino seja o mínimo possível. Além disso, é conveniente que esta água seja escoada por gravidade. Porém, se não houver possibilidade, pode-se projetar estações de bombeamento para esta finalidade (Cardoso Neto, 2016, p.1).

Moreira (2006) diz que as cidades vêm se desenvolvendo sem estabelecer critérios de sustentabilidade ambiental, causando um descompasso entre homem e ambiente; os sistemas de drenagem urbanos têm como filosofia escoar a água o mais rápido possível da área em que ela se precipitou, e as áreas de riscos vêm sendo ocupadas por edificações e aterros, reduzindo a capacidade de escoamento dos rios. A autora sugere a ideia de um plano diretor que vise solucionar, senão, pelo menos minimizar as consequências causadas por sistemas de drenagem falhos.

Para que possam ser implantados padrões de controle que tenham como objetivo o desenvolvimento harmônico e sustentável da cidade, torna-se necessária a elaboração de um Plano Diretor de Drenagem Urbana que trate de temas como: caracterização do desenvolvimento de um local, planejamento em etapas, vazões e volumes máximos para várias probabilidades, localização, critérios e tamanhos de reservatório de detenção e condições de escoamento, medidas para melhorar a qualidade de escoamento, regulamentações pertinentes, desenvolvidas em consistência com os objetivos secundários, como a recreação pública, limpeza, proteção e recarga subterrânea. Este modelo é o adotado pela Sociedade Americana de Engenharia Civil (ASCE), que contempla a macro e a microdrenagem.

Há uma diferença na política de controle da poluição difusa urbana, nos países desenvolvidos e em desenvolvimento. Nos países desenvolvidos, densamente povoados, a drenagem urbana consome uma alta proporção dos investimentos em infraestrutura urbana. As razões para isto estão na necessidade de uma abordagem integrada no gerenciamento das águas urbanas, e na conscientização pública desenvolvida sobre a poluição causada por efluentes

urbanos, os quais afetam as próprias áreas urbanas e os corpos d'água que recebem estes efluentes (Maksimovic, 2001, *apud* Neves; Tucci, 2003).

Para finalizar, será necessário referenciar as pesquisas desenvolvidas por Chaves (2015) e por Costa (2015), que destacam a grave questão ambiental urbana da cidade de Teresina, especialmente à população localizada às margens do rio Poti. Os estudos registram não somente os riscos socioambientais como também a vulnerabilidade e degradação ambiental imensa.

A seguir, far-se-á uma discussão dos estudos realizados nos últimos sobre o monitoramento da qualidade da água do rio Poti.

4.4 DISCUSSÃO SOBRE O MONITORAMENTO DE ÁGUA DO RIO POTI

São vários os estudos realizados através da análise da água do rio que comprovam altos índices de poluição causada por efluentes lançados de forma direta, ou indireta sobre o mesmo, proveniente das zonas urbanas acima citadas.

Nesta seção, far-se-á análise dos resultados de alguns estudos realizados por monitoramento da qualidade da água e índices de poluição provocada por diversos fatores em pontos específicos do rio Poti, mais especificamente no perímetro urbano de Teresina nas áreas compreendidas entre as zonas Sul, Leste e Norte da cidade.

O primeiro estudo sobre a análise da água do rio Poti que se fará referência foi realizado no período compreendido entre os meses de junho a dezembro do ano de 2004, uma parceria entre a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária do Meio Norte (EMBRAPA), a Universidade Federal Rural do Semi Árido e o Departamento de Tecnologia Rural da Universidade Federal de Pernambuco, realizaram um importante estudo sobre a qualidade da água do rio Poti para o consumo humano, na região de Teresina-PI.²

Os pesquisadores percorreram um trecho de 23,7 Km, tomando como ponto inicial a região da Curva São Paulo, no Conjunto Residencial São Paulo (Zona Sudeste), indo até a foz do rio Poti no rio Parnaíba (Zona Norte). Entre o percurso (23,7 Km) foram instalados 10 (dez) pontos de monitoramento e análise da água, de onde colheram os dados adiante demonstrados e comprovados (Damasceno *et al.*,

² Quando utilizarmos o termo “água para o consumo humano” estaremos tratando da utilização da água para todo e qualquer fim de utilização, não somente para a “ingestão”. (ANA).

2008). Pela importância que tem o estudo, entendemos incluí-lo em nossa análise fazendo comparativos com outros estudos e outras pesquisas sobre o mesmo tema.

Segundo Damasceno *et al.* (2008) o objetivo do estudo foi avaliar os aspectos qualitativos da água do rio Poti para fins de consumo humano, bem como conhecer suas condições atuais e principais fontes de poluição do mesmo, visando dispor dados aos órgãos competentes, para conservação desse recurso.

Os resultados encontrados por Damasceno *et al.* (2008) mostraram a presença de altas concentrações de contaminação por *Coliformes Termotolerantes* (CT) na água do rio. A concentração de *Coliformes Termotolerantes* teve seu índice máximo nas proximidades da Ponte Primavera, na zona Norte, apresentando um pico máximo de 1.230 UFC 100 mL⁻¹. Segundo a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), nestas condições a água é recomendada para o abastecimento doméstico somente após tratamento convencional ou avançado; à irrigação de culturas arbóreas, cerealistas e forrageiras; à pesca amadora; à recreação de contato secundário e dessedentação de animais (Brasil, 2005).

No trecho citado (ponte primavera) foi constatada uma grande quantidade de efluentes lançados ao rio. Em pontos onde esses efluentes se mostravam em quantidades menores, também foi constatada uma menor variação de termotolerantes.

De acordo com o CONAMA, a água encontrada nas condições acima citadas ainda é recomendada para fins de balneário (recreação de contato primário), sendo considerada de categoria excelente até 250 UFC 100L⁻¹ (Brasil, 2005). Para Damasceno *et al.* (2008, p.12):

A presença de Coliformes na calha do rio esteve relacionada com as principais fontes de poluição identificadas e com os usos das águas no manancial, pois os efluentes deste parâmetro ocorrem, em geral, pelo lixo e esgotos domésticos lançados no rio, recreação de contato primário, durante a pesca e lazer e dessedentação de animais como vaca, cavalo, suíno e excrementos [...]. Isso contribuiu para a elevação de Coliformes Termotolerantes na água.

Nas palavras de Oliveira e Silva (2014), os Coliformes Termotolerantes são indicadores da presença de microorganismos patogênicos na água, os Coliformes Fecais (CF) existem em grande quantidade nas fezes humanas e quando encontrados na água, significa que a mesma recebeu esgotos domésticos, podendo conter microorganismos causadores de doenças.

De acordo com o CONAMA, na Resolução Nº 357 de 17 de março de 2005, a temperatura da água desempenha importante papel no controle de espécies aquáticas, e é considerada uma das características meio aquática por influir em algumas propriedades da água, como a densidade, a viscosidade e o Oxigênio Dissolvido (OD). Seu valor pode variar entre 0°C e 30°C em função de fontes naturais (energia solar) e fontes antropogênicas de dejetos industriais (Brasil, 2005).

A temperatura da água afeta, praticamente, todos os processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem na água. Mitchell e Stapp (2000) exemplificam esses processos:

A quantidade de Oxigênio que pode ser dissolvido na água; 2. A taxa de fotossíntese por algas e plantas aquáticas; 3. Taxas metabólicas de organismos aquáticos; 4. Sensibilidade de organismos a dejetos tóxicos, parasitas e doenças (Mitchell; Stapp, 2000, p.40).

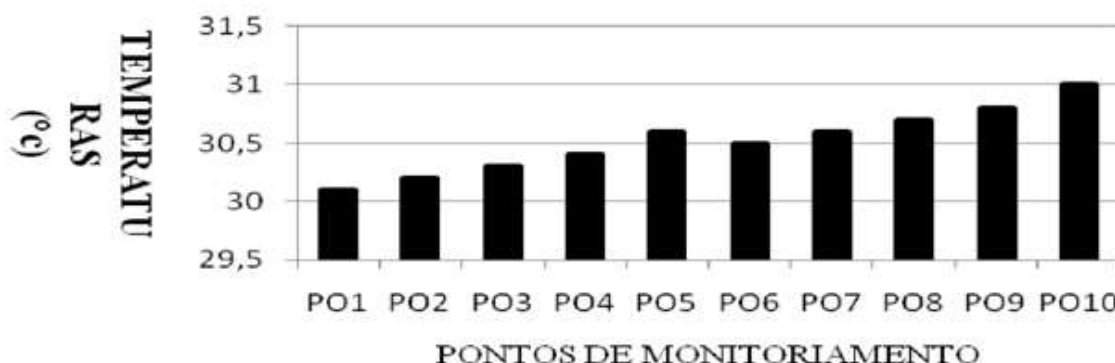
Azevedo (1999) reforça que há um decréscimo na quantidade de oxigênio dissolvido (OD) na água, prejudicando a respiração dos peixes e de outros animais aquáticos. Tucci (2008) diz que a elevação da temperatura contribui para que haja a limitação do processo de autodepuração e aumento das reações químicas do meio, pois há baixa concentração de oxigênio dissolvido.

O estudo realizado por Damasceno *et. al.* (2008) constatou essa baixa concentração de OD em grande parte dos pontos estudados ao longo do percurso analisado no rio Poti.

Vale ressaltar que a cidade de Teresina é relativamente quente, e que a média anual compensada é de 26,7°C. Os maiores valores são registrados nos meses de agosto, setembro e outubro, onde a média das máximas é de 35,9°C. O estudo demonstrou que no ano em que foram feitas as análises no trecho do rio monitorado, a temperatura média da água apresentou elevações graduais entre julho e agosto (30°C), em seguida apresentando um crescimento discreto da sua amplitude térmica (0,2°C) no mês de setembro (30,2°C).

O gráfico 1 demonstra a variação da temperatura do ar em Teresina ao longo do ano de 2015. Observamos que a maior temperatura da água foi verificada no mês de outubro (31,5°C), por se tratar de uma época mais seca, em que a temperatura do ar é mais elevada em razão da maior intensidade solar (Damasceno *et al.*, 2008, p. 6).

Gráfico 1 - Temperatura anual nos pontos de monitoramento



Fonte: Damasceno *et al.* (2008).

O gráfico mostra que no ponto de monitoramento do residencial São Paulo (PO1) a temperatura média da água (30°C) durou durante todo o período de realização do estudo. A temperatura baixa na água decorre da menor altura média da lâmina d'água do rio em virtude seu percurso “[...] ser mais definido e pela ausência de lançamentos canalizados de esgotos a montante do ponto (curva São Paulo) menos poluído (Damasceno *et al.*, 2008, p. 7).

Mitchell e Stapp (2000) lembram que um dos modos mais sérios com que os homens mudam a temperatura dos rios é por meio da poluição térmica.

Indústrias tais como as plantas de energia nuclear, podem causar poluição térmica, mediante o despejo de água utilizada para esfriar maquinários. Poluição térmica também pode originar-se de águas de chuva que correm de superfícies urbanas aquecidas, tais como ruas, calçadas e áreas de estacionamento. As pessoas também afetam a temperatura da água cortando árvores que ajudam a sombrear os rios, expondo a água diretamente à luz solar (Mitchell; Stapp, 2000, p. 40).

O calor dissipado pode parecer um exemplo insignificante de poluição da água. “À medida que cada dia – ou estação – passa, as temperaturas superficiais variam para água” (Sewell, 1978, 67). Afinal de contas, a descarga anual de calor armazenada pelo homem representa uma fração diminuta – menos de um milésimo – da energia solar que incide sobre a superfície terrestre anualmente. Contudo, pelo simples volume de calores descarregados que se concentram em pontos singulares, conseguimos produzir muitas das características comuns da poluição – mortandade de peixes, odores nocivos, águas turvas, sabores desagradáveis e outras perturbações dos ecossistemas naturais. Um fator mais crítico para os peixes é o menor teor de Oxigênio Dissolvido (OD) na água aquecida. Quando saturada, a

água a 2°C conterá aproximadamente o dobro de oxigênio livre que a mesma água aquecida a 38°C. E as quantidades de outros gases normalmente presentes em traços, como o Nitrogênio, podem se tornar instáveis em água que é aquecida rapidamente.

Em geral, a velocidade de uma reação química dobra, aproximadamente, para cada 10°C de temperatura. Assim, o OD pode ser esgotado mais rapidamente por simples reações químicas que oxidam matérias industriais comuns, como partículas de ferro. Se variarmos a temperatura, um organismo eventualmente se mostrou menos eficiente para sobreviver do que outros organismos até, finalmente, atingir uma temperatura diretamente letal³.

Segundo Azevedo (1999, p.23), “[...] a poluição biológica parece, em alguns casos, menos perigosa que a poluição causada por agentes químicos. Os efeitos da poluição química, segundo esse autor, levam muito tempo para serem sentidos”.

O estudo realizado por Damasceno *et al.* (2008) também constatou que a temperatura da água sofre influência do ar, em que as variações desta implicam nas variações da temperatura da água, com menor intensidade.

Sewell (1978) faz uma comparação entre as reações químicas e a variação de temperaturas com relação à contaminação química das águas. Segundo o autor, os sais, especialmente Cloretos, são dissolvidos na terra pela irrigação, descarregados no esgoto doméstico e escoados nas instalações industriais. Pesticidas e herbicidas são pulverizados sobre as lavouras e áreas urbanas, onde os moradores estão ansiosos para ficarem livres dos incômodos.

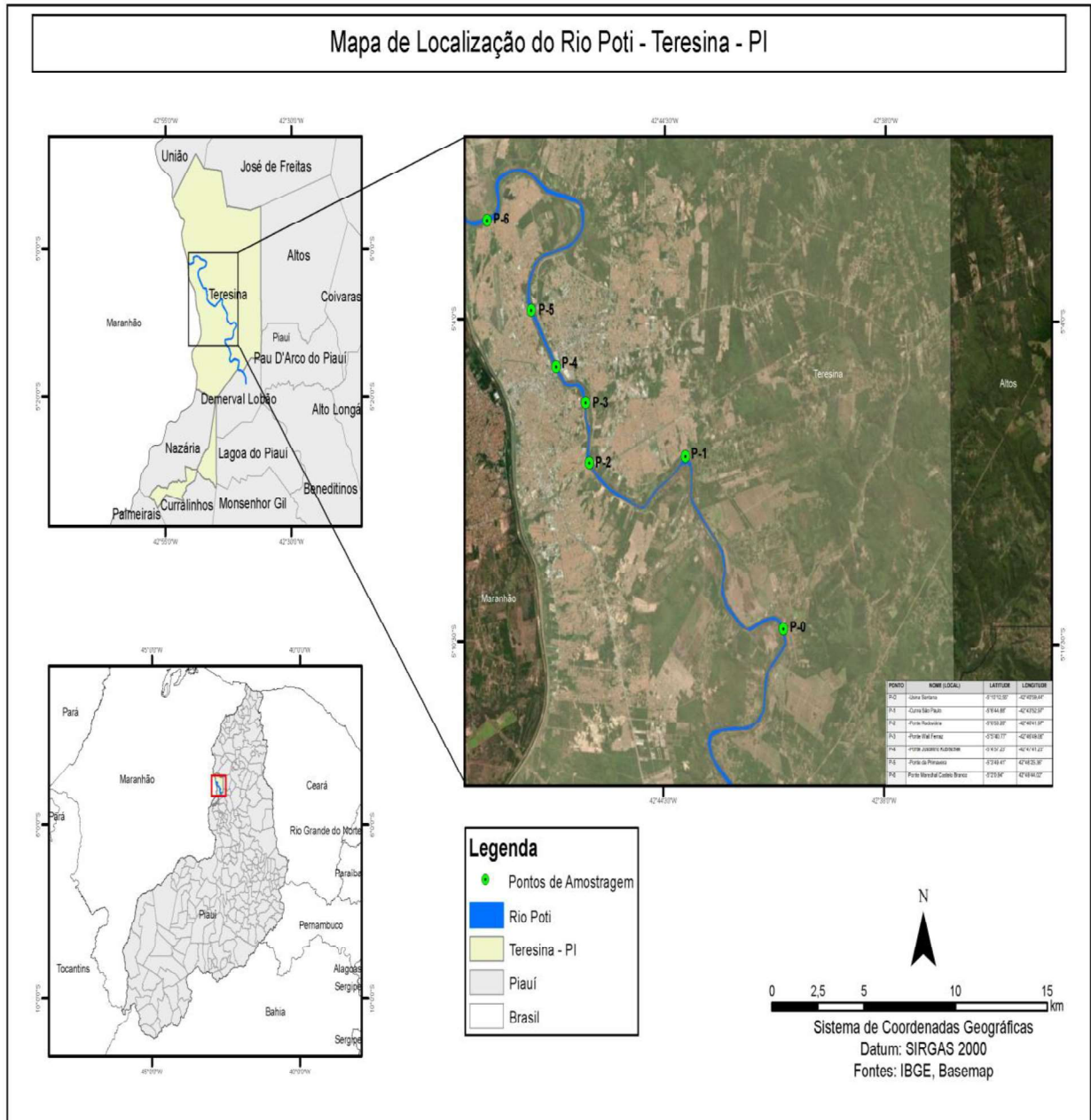
De acordo com a pesquisa de Moraes e Silva (2012) cujo objetivo foi apresentar um diagnóstico ambiental do balneário - Curva São Paulo, as águas do rio Poti coletada apresentaram na sua amostragem um valor superior a 2.500 Coliformes termotolerantes ou 2.000 *Escherichia coli* associada à presença de resíduos e/ou esgotos sanitários, são impróprias tanto para recreação quanto para consumo.

Oliveira e Silva (2014) realizaram uma pesquisa e concluíram que 03 (três) dos sete pontos monitorados apresentaram resultados inaceitáveis de acordo com o Índice de Qualidade das Águas (IQA) segundo o CONAMA (BRASIL, 2005).

³ Sewell (1978) cita como exemplo a truta dos riachos, morre a 22-25°C, mas torna-se lenta para apanhar peixes pequenos a 17°C e incapazes de capturar qualquer coisa a 21°C; por isso pode morrer de fome antes de sucumbir realmente ao calor.

Vejamos na figura 16 que ilustra os pontos de amostragem da pesquisa realizada pelos pesquisadores.

Figura 16 – Ilustração dos pontos de amostragem das águas do rio Poti



Fonte: Elaborado pelo pesquisador a partir do estudo de Oliveira e Silva (2014).

Os pontos que esses pesquisadores escolheram para o monitoramento e análises da água estão descritos no quadro abaixo, no qual além de suas localizações aparecem também as posições latitudinal e longitudinal dos referidos pontos.

Quadro 4 - Pontos de amostragem da análise da água do rio Poti no perímetro urbano de Teresina

PONTO	NOME (LOCAL)	LATITUDE	LONGITUDE
P-O	-Usina Santana	-5°10'12,55"	-42°40'59,44"
P-1	-Curva São Paulo	-5°6'44.88"	-42°43'52.97"
P-2	-Ponte Rodoviária	-5°6'53.28"	-42°46'41.97"
P-3	-Ponte Wall Ferraz	-5°5'40.77"	-42°46'49.06"
P-4	-Ponte Juscelino Kubitschek	-5°4'57.23"	-42°47'41.23"
P-5	-Ponte da Primavera	-5°3'49.41"	42°48'25.36"
P-6	Ponte Marechal Castelo Branco	-5°2'0.94"	42°49'44.02"

Fonte: Oliveira e Silva (2014).

Oliveira e Silva (2014) verificam que a concentração das impurezas no rio Poti é variável e depende da forma como o solo é utilizado, das atividades desenvolvidas na área, dos fatores hidrológicos e das características do ambiente físico. O resultado do monitoramento acima citado demonstrou resultados inaceitáveis para os parâmetros estabelecidos pelo CONAMA (BRASIL, 2005) nos pontos P-2, P-5 e P-6, respectivamente, Ponte Rodoviária, Ponte da Primavera e Ponte Marechal Castelo Branco.

Os resultados para o ponto P-1 (Curva São Paulo) são os mesmos apresentados por Damasceno *et al.* (2008), enquadrando-se na classificação “Boa” e “Regular”, dentro dos parâmetros que o CONAMA estabelece. Com relação a P-2, P-5 e P-6, apresentaram 39% e 28% respectivamente de frequência ruim devido ao impacto do trancamento de esgoto sem tratamento a montante desses pontos. Os principais causadores desse processo de degradação ambiental, conforme os autores são os esgotos domésticos lançados nos rios sem o devido tratamento.

No monitoramento feito por Damasceno *et al.* (2008), assim como nos que foram feitos por Oliveira e Silva (2014), ficou constatada alta concentração de Amônio (NH_4^+) e Amônia (NH_3) nos pontos correspondentes às pontes Rodoviária e da Primavera, constatou que, desses pontos, o menor teor de agentes químicos citados concentrou-se na Curva São Paulo, no mês de julho correspondente ao período de realização do estudo.

O maior teor de Amônio (NH_4^+) e Amônia (NH_3) foi detectado no P₀₇ indicado por Damasceno *et al.* (2008), correspondente às pontes Ferrovia e Wall Ferraz. Os autores justificam esse índice em função do ponto amostrado estar

localizado na Estação de Tratamento de Esgotos (ETE-Leste). A concentração média de NH_4^+ durante todo o monitoramento, esteve abaixo de 5 mgL^{-1} , dentro do limite de normalidade para fins de irrigação, não sendo observados limites na resolução do CONAMA para consumo humano. Observe o quadro 5:

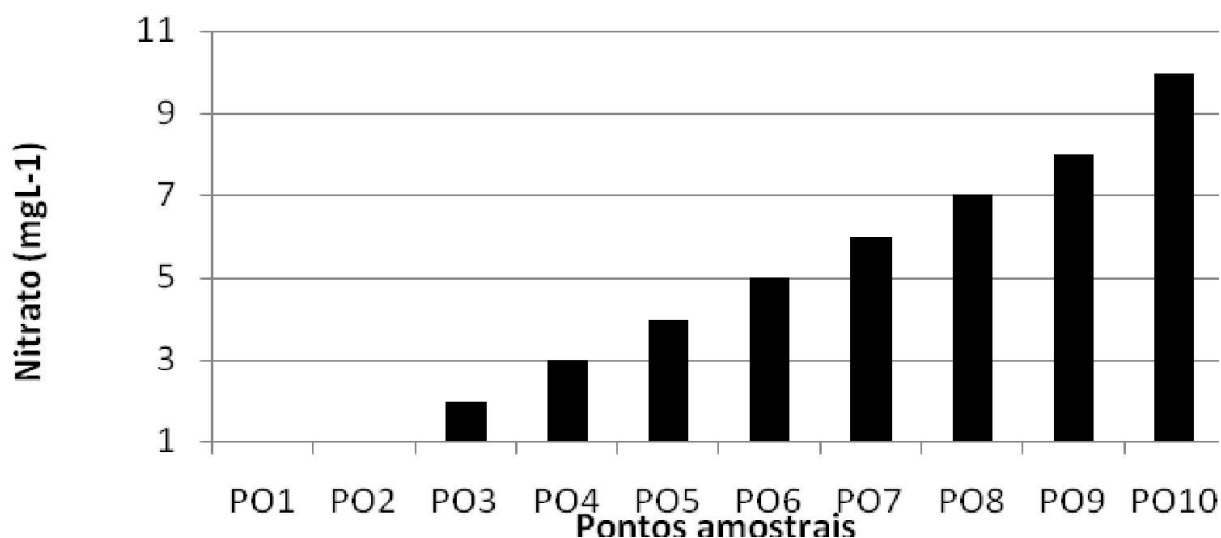
Quadro 5 - Identificação dos pontos de monitoramento e de lançamento de fluentes no rio Poti

CÓDIGO	LOCALIZAÇÃO	CÓDIGO	LOCALIZAÇÃO
PO1 L1 L2 L3	Residencial São Paulo	PO5 L16 L17 L18	A jusante do Hospital Psiquiátrico Meduna
		PO6 L19 L20	Próximo à ponte Primavera
L4	Lagoa de Estabilização ETE Alegria	L21	Lagoa de Estabilização ETE Leste
PO2	Próximo à Ponte Rodoviária	PO7	A jusante da ETE Leste
L5 L6 L7		PO8 L22 L23	Após meandro – área de pedras submersas.
PO3	Próximo às pontes Ferroviária e Wall Ferraz	PO9 L24	Próximo à área de maior operação de dragas no bairro Mocambinho
L8 L9		PO10	A montante da Foz do rio Poti
PO4 L10 L11 L12 L13 L14 L15	Próximo à ponte Frei Serafim		

Fonte: Damasceno *et al.* (2008).

Outro elemento mostrado na pesquisa de Oliveira Damasceno *et al.* (2008) foi a presença de Nitrato (NO_3^-) no ponto assinalado próximo à ponte Rodoviária, oscilando de forma crescente de 0,29 a $0,72 \text{ mL}^{-1}$. O gráfico 2 mostra a concentração média de Nitrato ao longo do rio nos 10 pontos de monitoramento.

Gráfico 2 - Concentração média de Nitrato ao longo do rio Poti



Fonte: Damasceno *et al.* (2008).

Azevedo (1999) afirma que aos químicos compete a tarefa de descobrir substâncias menos nocivas ao ambiente; aos engenheiros químicos o desenvolvimento de processos que produzam bens de consumo com o mínimo de rejeitos e o máximo de reciclagem. E ainda que sejam minimizados ao máximo os rejeitos (domésticos, da agricultura, ou indústria), algum tipo de poluente será sempre gerado. Neste contexto, pode-se traçar um caminho que passa pela geração de resíduos, descarte e destinação.

Em Teresina-PI a existência de esgoto clandestino nas tubulações de drenagem pluvial tem contribuído de modo significativo para a poluição das águas do rio Poti (Oliveira Filho; Lima Neto, 2018). A ameaça à qualidade da água dos aquíferos da área de Teresina se faz, ainda, pela contaminação que provém tanto do alto índice de fossas domésticas que estão ligadas à rede de esgotos sanitários, como pela saturação do lençol freático nas áreas de terraços fluviais.

Conforme Oliveira e Silva (2014), em Teresina-PI a cobertura de tratamento de esgoto é insuficiente, somados ao fato de haver pouca conscientização ambiental por parte da população em geral, e da falta de investimentos em ações preventivas de poluição dos seus corpos hídricos. Desse modo, é comum encontrar lixo, dejetos sólidos jogados na cidade, especialmente próximos de sarjetas, conforme pode-se ver na Figura 17.

Figura 17 - Dejetos humanos jogados próximos às sarjetas



Fonte: Sofia Nunes – Arquivo pessoal.

Segundo o IBAMA (2001), a caracterização dos resíduos de uma dada região se dá desde a determinação da composição gravimétrica até a identificação de suas características. O objetivo principal da caracterização é identificar os componentes e propriedades dos resíduos a fim de tornar possível a coleta, o transporte, o tratamento e a disposição final, evitando problemas indesejáveis à população de uma determinada cidade, o que não é o caso de Teresina. Como consequência é frequente encontramos resíduos obstruindo as sarjetas (Figura 18).

Figura 18 - Resíduos sólidos sobre sarjeta obstruída



Fonte: Sofia Nunes - Arquivo pessoal.

Oliveira (2012), Silva e Aquino (2015) realizaram estudos sobre de monitoramento da qualidade da água do rio Poti e detectaram que o rio Poti sofre com um elevado grau de contaminação e poluição, especialmente na área urbana

de maior concentração populacional, na qual predomina um ineficiente sistema de esgotamento sanitário.

Estudo realizado por Batista et al. (2016) teve por objetivo analisar os aspectos microbiológicos da água do rio Poti. A pesquisa avaliou os possíveis riscos aos trabalhadores da pesca e consumidores. Os resultados encontrados evidenciaram altos índices bacterianos nas águas do rio e suas implicações para a degradação dos recursos hídricos. Por fim, os pesquisadores destacam a urgência na implantação de um sistema de saneamento básico eficiente para a população de toda a cidade Teresina, de modo que todos possam ter acesso a uma água tratada para consumo.

Conforme Oliveira Filho e Lima Neto (2017), em estudo sobre monitoramento do rio Poti identificaram que a água do rio apresenta desconformidade com relação à Resolução CONAMA nº 357/2005, uma vez que a qualidade da água sofre variações de vazão entre os períodos secos e chuvosos.

Pesquisa realizada por Soares, Silva e Batista (2021) teve como objetivo avaliar a segurança hídrica do rio Poti considerando os aspectos biológicos. O citado estudo evidenciou a sazonalidade como um fator determinante para a qualidade da água do rio, de modo que na estação seca predominam as cianobactérias que influenciam na concentração de microcistina, gerando assim risco à saúde da população da cidade.

4.5 GEOPROCESSAMENTO: UMA FERRAMENTA DE CONTROLE DE IMPACTOS AMBIENTAIS

O termo geoprocessamento pode ser definido como o conjunto das ciências, tecnologias e técnicas empregadas na aquisição, armazenamento, gerenciamento, manipulação, cruzamento, exibição, documentação e distribuição de dados e informações geográficas. Assim, o geoprocessamento representa a junção de conceitos, técnicas e métodos que se utilizam de ferramentas de diversas áreas ligadas à Cartografia com vistas à resolução de problemas de diferentes campos (Silva; Zaidan, 2004).

Nas palavras de Silva (2009), o Geoprocessamento é um conjunto de técnicas computacionais que opera sobre bases de dados (que são registros de ocorrências) georreferenciados, para transformá-los em informação (que é um

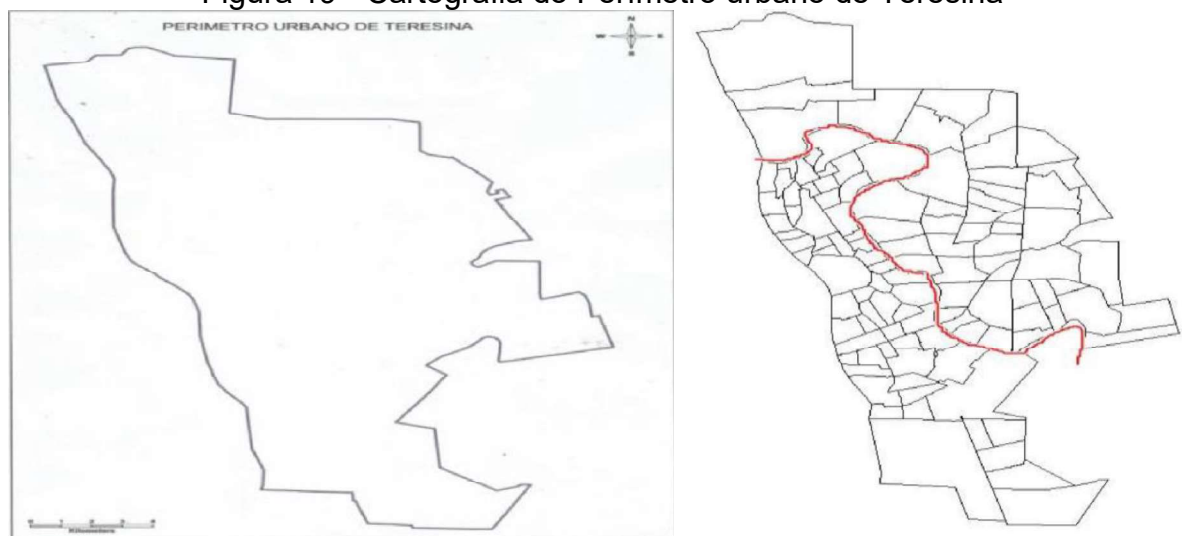
acréscimo de conhecimento) relevante. Ainda de acordo com o autor acima citado, o contexto ambiental é o referencial do Geoprocessamento e a geração da informação pela integração racional dos dados ambientais pode ser denominado “Geoinclusão”. De acordo com Moraes Neto (2018) as geotecnologias possibilitaram gerar conhecimentos mais precisos acerca dos recursos naturais, por englobar a junção de várias técnicas de processamento de dados georreferenciados, desse modo, torna-se uma ferramenta muito importante para análise geográfica dos espaços.

Para Silva (2009), criar dados não significa diretamente gerar informação. Qualquer ação repousa axiomáticamente em um referencial. Cordovez (2002) lembra que considerando os avanços das tecnologias e na busca da modernização administrativa, a utilidade das ferramentas de Geoprocessamento na gestão pública não pode mais ser contestada. A discussão centra-se em questões sobre quando começar a implantá-lo e como fazê-lo, especialmente considerando que os custos envolvidos ainda são muito altos e o retorno do investimento nem sempre aparece de forma explícita nem imediata.

Um importante elemento de eficaz utilidade ao Geoprocessamento é a Cartografia, que para Guerra e Marçal (2006), tem a finalidade de representar as formas de constituição do relevo e estabelecer de forma detalhada a gênese e as possíveis datações.

Na Figura 19, observa-se o percurso do rio Poti em vermelho na cartografia do perímetro urbano de Teresina-PI.

Figura 19 - Cartografia do Perímetro urbano de Teresina



Fonte: do autor – arquivo pessoal (2021).

Para Cordovez (2002), praticamente todas as áreas de atuação de um município podem encontrar no Geoprocessamento um importante aliado nas etapas de levantamento de dados, diagnóstico de problema, tomada de decisão, planejamento, projeto, execução de ações e medição de resultados.

Outros elementos considerados de suma importância para o geoprocessamento, a saber: o Sensoriamento remoto, os Sistemas de Posicionamento Global (GPS), equipamentos de programas computacionais, Softwares, Ferramenta GIS (Mapinfo), Sistema de Informações Urbanas Georreferenciadas (SIUG), processador, Softwares (Excel, AutoCAD e Mapinfo), dados e censitários⁴, dentre outros.

Segundo Rocha (2002), os Sistemas de Posicionamento Global (GPS) têm um papel importante no processo de aquisição de dados cartográficos que se utilizam de coordenadas (latitude e longitude), para representar as características das superfícies (geométricas ou físicas) em mapas. Desse modo, o GPS é uma ferramenta de trabalho que contribui para a identificação de impactos ambientais.

O Sistema de Informações Geo-referenciadas (SIGS), segundo Moreira (2005) possibilita a integração numa mesa de base, dados espaciais provenientes de várias fontes, tais como: cartografia, imagem de satélites, dados cadastrais (rural e urbano), ou mesmo dados relativos às redes de monitoramento.

Em relação à avaliação dos impactos da qualidade das águas ou mesmo da origem de problemas de poluição, Fonseca e Zeilhofer (2007) destacam as técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento por se constituírem ferramentas essenciais para o mapeamento do uso e ocupação do solo e a parametrização das bacias de contribuição, considerando a possibilidade de processar um quantitativo expressivo de informações.

Estudo sobre as condições de uso das águas do rio Poti para recreação, no espaço que compreende a curva São Paulo, no perímetro urbano de Teresina (Zona Leste) foi realizado por Moraes e Silva (2012). O diferencial desse estudo é que os pesquisadores fizeram uso de Geoprocessamento. Trabalhos anteriores, só apresentaram dados estatísticos e numéricos, sem a preocupação de apontar detalhes de maior relevância para o resultado de suas pesquisas⁵.

⁴ O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, dispõe, porém não disponibiliza os setores em formato CAD.

⁵ Veja pesquisa desenvolvidas por Damasceno *et. al* (2008).

O estudo de Moraes e Silva (2012) tinha o objetivo de elaborar um diagnóstico das condições ambientais do Balneário Curva São Paulo. Para tanto, foram realizadas coletas semanais de água nos três pontos de amostragem e o mapeamento da cobertura e uso do solo da região de entorno do Balneário.

O ponto inicial utilizado como ponto de partida do estudo foi georreferenciado por imagem de satélite, localizando a área do balneário “Curva São Paulo”, no baixo curso do rio Poti, na zona sudeste de Teresina, já demarcando os pontos de estudo (P-1, P-2 e P3). A demarcação dos pontos baseou-se nos critérios estabelecidos pelo CONAMA nº 274/00. Entre os pontos marcados (P1 a P3) foram coletadas 69 amostras. A determinação das condições de balneabilidade da área de estudo levou em considerações os seguintes parâmetros de qualidade da água: pH e temperatura (método eletroquímico, pHmetro marca WTW, modelo 330i), turbidez (método nefelométrico, turbidímetro portátil plus marca ALPHAKIT), coliformes termotolerantes (método cromogênico – APHA, 2005).

Esses dados obtidos após as análises dos parâmetros de qualidade foram tabulados e analisados estatisticamente utilizando o software Excel 2007 para o cálculo das medidas, desvio padrão, valores máximo e mínimo. A análise comparativa das médias foi realizada aplicando o teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade com software estatístico ASSISTART versão 7.b beta.

Para Lima, Vieira e Teixeira (2007), o sensoriamento remoto feito com base na análise de satélites é um dos meios que se dispõem hoje para otimizar os recursos dos mapeamentos, da detecção de mudanças geoambientais e agilizar a tomada de decisões das autoridades competentes. Verifica-se que nos estudos de impactos ambientais nas cidades brasileiras as ferramentas de geoprocessamento, também chamada de “geotecnia”, podem oferecer elementos de informações mais precisas, diminuindo margens de erros e apontando soluções mais viáveis para os diferentes problemas de gestão urbana especificamente no que toca à gestão municipal e à elaboração dos seus planos diretores.

Segundo Reis Filho e Moura (2016), Geotecnia Urbana (ou Geoprocessamento) é uma variável pouco presente nos mapas urbanos. Contudo, já existem esforços do Ministério das Cidades, na discussão da política nacional de ordenamento territorial⁶, que institui a política Nacional de Proteção e Defesa Civil,

⁶ Lei 12.608 de 2012.

que prevê a necessidade de elaboração de mapas de identificação de áreas de susceptibilidade à ocorrência de eventos de riscos. Assim, em médio prazo, os municípios precisarão reunir esforços no sentido de elaboração desta variável. Os sistemas de drenagem urbana e os impactos causados pelo escoamento de água e esgotos utilizados, assim como a declividade e cobertura vegetal seguem a mesma lógica das camadas elaboradas para os estudos ambientais.

5 CONCLUSÃO

À guisa de conclusão, é preciso dizer que por tratar de pesquisa bibliográfica, o presente estudo se concentrou na discussão dos resultados dos estudos realizados nos últimos anos com a finalidade de avaliar os impactos ambientais causados pela poluição no rio Poti, especificamente no perímetro urbano de Teresina.

Os resultados dos estudos analisados sobre o monitoramento da qualidade da água do rio Poti em Teresina demonstraram existir determinado grau de poluição e contaminação nos pontos localizados no núcleo urbano da cidade, devido principalmente ao constante lançamento de efluentes domésticos sem tratamento e ao ineficaz sistema de esgotamento sanitário da cidade.

O monitoramento das águas do rio Poti realizado por vários estudos revela a poluição presentes em vários trechos urbanos, tornando assim inadequada às normas ambientais e aos parâmetros adotados pelas instituições de preservação do meio ambiente e monitoramento da qualidade da água dentro do que aponta a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Agência Nacional de Água (ANA), Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e demais instituições governamentais e não governamentais que tratam dessas questões. Entretanto é necessário frisar que os presentes resultados não poderão ser considerados completos ou definitivos, uma vez que o tema estudado constantemente sugere a realização de novos estudos pelo agravante que por si só se constitui.

A não conformidade da qualidade da água do rio Poti frente aos requisitos de qualidade está relacionada a diversos fatores: dentre eles, os estudos evidenciam a existência de altos índices de coliformes devido às ligações clandestinas de esgoto água e o constante lançamento de esgoto doméstico sem tratamento. Cabe destacar, no entanto, que os problemas causados pela ineficiência dos sistemas de drenagem não são exclusivos da cidade de Teresina, como também não é a degradação dos cursos de água causados pelo carregamento de antrópicos lançados sobre esses cursos.

Os resultados obtidos com a presente pesquisa levam à reflexão de que o problema não é fácil de ser resolvido. Primeiramente pela falta de um plano básico de construção de sistemas de drenagem urbanos que leve em conta o tratamento dos esgotos antes de serem descartados nos rios. Segundo porque a construção

desses sistemas requer projetos de altos custos, o que muitos governos estaduais e municipais não podem ou não querem fazer.

A partir da análise e discussão dos estudos apresentados neste trabalho verifica-se a necessidade de ampliação do sistema de esgotamento sanitário e de tratamento de esgoto na cidade, com sistemas de drenagem adequados que visem minimizar os problemas que degradam o meio ambiente. Este estudo chama a atenção para a necessidade de maior atenção dos poderes públicos estaduais e municipais de incrementarem políticas públicas no sentido de melhorar o gerenciamento dos sistemas de drenagem urbana de Teresina, e que se voltem mais às questões relativas à degradação dos nossos rios, em especial o rio Poti, uma vez que a cada tempo ele vem se transformando em imenso esgoto a céu aberto, que recebe a carga de dejetos oriundos tanto das atividades humanas quanta das atividades industriais, condenando-o a uma morte lenta e penosa.

Destaca-se a urgente necessidade de implantação de um sistema eficiente de saneamento básico para toda a população da cidade de Teresina, de modo que todos possam ter acesso à água tratada para consumo. Para, além disso, frisa-se aqui a importância da adoção de instrumentos de controle dos impactos ambientais por parte dos órgãos competentes que gerenciam o sistema de macro e microdrenagem na cidade de Teresina, mais especificamente nas zonas, nas quais este estudo se concentrou.

Por fim, destaca-se a necessidade de utilização dos métodos de geoprocessamento para detecção dos problemas abordados neste estudo, tendo em vista que essa ferramenta tecnológica é muito eficiente para a constatação das chamadas “áreas de risco” nas quais o problema se evidencia. Acredita-se que um serviço de Geoprocessamento pode ser útil para o monitoramento da qualidade das águas do rio Poti, especialmente no perímetro urbano, oferecendo subsídios para uma possível atuação da gestão pública municipal na melhoria das condições de uso pela população na área estudada. Certamente servirá de indicativo para uma melhor atuação do poder público municipal na Cidade de Teresina.

REFERÊNCIAS

ACETI JÚNIOR, Luiz Carlos; VASCONCELOS, Eliane Cristine Avilla. Poluição. **Revista Síntese - Direito Ambiental**. v. 13, p. 118-134, 2013.

ANA - Agencia Nacional de Águas. **Regiões hidrográficas-bacia do rio Poti**. Disponível em [HTTP://www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br). Acesso em 4 de março de 2016.

AZEVEDO, Eduardo Bessa. **Poluição e tratamento de água**. Rio de Janeiro: Universidade Federal-UFRJ, 1999. Acesso: em 20 de março de 2016.

BARBIOTI, Elza Maria; CAMPOS, Rodolfo Boranga. **Poluição dos rios**. Faculdade de Ciências Sociais e Agrárias de Itapeva. 2011. Disponível em: http://fait.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/QLF007aFh29pSRz_2014-4-16-17-35-57.pdf Acesso: em 10 de março de 2016.

BASTOS, C. A. **Dicionário histórico e geográfico do estado do Piauí**. Teresina: Fundação Cultural Monsenhor Chaves – PMT, 1994.

BATISTA, Gilmara Vieira Fortes; SILVA, Gustavo Cardoso da; PESSOA, Gerson Tavares; RODRIGUES, Renan Paraguassu de Sá; BARBOSA, Maria Angélica Parentes da Silva; SANCHES, Marina Pinto; MESQUITA, Kamila Araujo de; PRIANTI, Maria das Graças. Análise microbiológica da água do rio Poti no perímetro urbano do município de Teresina, Piauí. **PUBVET**. v.10, n.6, p.470-476, Jun., 2016.

BOM DIA PIAUÍ. Aguapés cobrem Rio Poti, em Teresina, e ambientalista alerta sobre os impactos ambientais. **Portal G1**, 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/pi/piaui/noticia/2019/10/18/aguapes-cobrem-rio-poti-emteresina-e-ambientalista-alerta-sobre-os-impactos-ambientais.ghtml> . Acesso em: 02, agosto de 2021.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. **Diário Oficial da União**, Brasília, 18 de março de 2005.

BRASIL, IBGE. **Censo demográfico 2022**. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/bibliotecacatalogo?view=detalhes&id=2102011>. Acesso em 20 de Agosto de 2023.

CARDOSO NETO, Antônio. **Sistemas urbanos de drenagem**. 1993. Disponível em: http://wiki.urca.br/dcc/lib/exe/fetch.php?media=apostila_de_drenagem_urbana_do_pr_of_cardoso_netto.pdf Acesso em 7 de março de 2016.

CARMO, Wagner José Elias; MARCHI, Luciana Favalessa. **Visão holística do plano diretor de drenagem urbana**. Disponível em <https://jus.com.br/artigos/novembro> 2013.

CARVALHO, P.; GABRIELE, M. Galeria joga água nas ruas há 30 anos. **Jornal**

Meio Norte -Teresina, p.3 Bairros, Teresina, 17 de fev. 2016.

CORDOVEZ, J. C. G. Geoprocessamento como ferramenta de gestão urbana”. I **Simpósio Regional de Geoprocessamento e Saneamento Remoto**. Aracaju/SE, 2002.

DAMASCENO, *et al.* Qualidade da água do rio Poty para consumo humano, na região de Teresina, PI. **Revista Verde**. (Mossoró – RN) v.3, n.3, p.116-130 de abril/junho de 2008.

D'AGUILLA, P. S.; ROQUE. O. C. da C.; MIRANDA C. A. S; FERREIRA A. P. Avaliação da qualidade de água para abastecimento público do município de Nova Iguaçu. **Caderno de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, vol. 16, nº 03, 2000.

DUARTE, M. Ilha de sujeira pode ser vista nas margens do Rio Poti. **Jornal Diário do Povo do Piauí**, p. 11, 20 fev. 2016.

DUARTE, Romero Meyrelle. **Geoprocessamento aplicado ao planejamento urbano em municípios brasileiros**. MundoGEO. Disponível em WWW.mundogeo.com.br acessado em 28 de novembro de 2016.

FEITOSA, Maria Suzete Sousa; SILVA NETO, Jonas Alves da; NUNES, Hikaro Kayo de Brito. Notícias de jornal como procedimento metodológico para análise episódica (1985, 1995 e 2009) de enchentes do rio Poti em Teresina – Piauí. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v.14, n.02 (2021) 507-521.

FERNANDES, Carlos. **Microdrenagem**. Disponível em <<http://ceap.br>> Acessado em 10 de março 2016.

FERNANDES, Carlos. **História da drenagem**. “Disponível em <http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento> 2002. Acesso em 10 de março de 2016.

FONSECA, G. P. S.; ZEILHOFER, P. Técnicas de geoprocessamento aplicadas na análise de poluição difusa da bacia do Rio Teles Pires-MT. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 2597-2604.

FREITAS, Vladimir Passos; FREITAS, Gilberto Passos. Crimes contra a natureza. São Paulo: **Revista dos Tribunais**. 6. Ed., 1999.

GABRIELE, Márcia. **Lixo doméstico aumenta nível de poluição no rio Poti**. Disponível em: <http://jornalmeionorte.com>. Acesso em 1 de março, 2016.

GANDARA, G. S. Teresina: a capital sonhada do Brasil oitocentista. Teresina: Dreamed capital of Brazil in the nineteenth-century. **História** (São Paulo) v.30, n.1, p.90-113, jan/jun 2011.

GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. S. **Geomorfologia ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

INSTITUTO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL - IBAM. **Manual de georreferenciamento integrado de resíduos sólidos**. José Henrique Penido Monteiro [et al.]; coordenação técnica Victor ZularZveibil. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

LIEBMAN, Hans. **Terra: um planeta inabitável?** Da antiguidade até nossos dias, a trajetória poluidora da humanidade. Rio de Janeiro: Biblioteca do Exército, 1979.

LIMA, Iracilde Maria Moura Fé *et al.* Diagnósticos e cenários meio ambiente. Congresso da Cidade. **Teresina Agenda cidade**, 2015.

LIMA, José Geraldo Araújo. **Investigações experimentais da eficiência hidráulica em bocas de lobo em grade contínuo**. (Dissertação de Mestrado). Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 2007.

LIMA, M. O. L.; VIEIRA, V. C. B.; TEIXEIRA, A. C. M. **Uso de geotecnologia para análises da cobertura vegetal**. Disponível em: <<https://mundogeo.com.br/blog/2009/07/04/uso-de-geotecnologias-paraanalises-de-cobertura-vegetal-urbana/>>.

MELO, Amanda Coimbra. **Análise da qualidade ambiental urbana de Teresina – PI a partir de indicadores ambientais**. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Gestão Ambiental). Instituto Federal do Piauí – IFPI, 2018.

MITCHELL, Mark K.; STAPP William B. Field. **Cuide dos rios**, 2000. Disponível em <http://www.cuidadosrios.eco.br/qualidade-das-aguas>. Acessado em 11 de março, 2016.

MONTES, Rafael Menegazzo; LEITE, Juliana F. **A drenagem urbana de águas pluviais e seus impactos: cenário atual da bacia do córrego vaca-brava**, Goiânia-Go. Goiânia, 2010.

MORAIS, Reurysson Chagas de Sousa; SILVA, Carlos Ernando da Silva. Diagnóstico ambiental do balneário Curva São Paulo no rio Poti em Teresina, Piauí. **Eng. Sanit. Ambient.** v.17 n.1. jan/mar, 2012.

MORAES NETO, J. M. Apresentação. *In*: Francisco *et al.* **Geotecnologias aplicada à estudos ambientais**. Campina Grande: EPGRAF, 2018.

MORAIS, R. C. d. S; SILVA, C. E. Diagnóstico ambiental do balneário Curva São Paulo no rio Poti em Teresina, Piauí. **Engenharia Sanitária e Ambiente**, 17, 41-50, 2012.

MOREIRA, Mariana. **Microdrenagem urbana**. São Paulo: Fundação Prefeito Faria Lima – CEPAM, 2006.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 320p. Viçosa: UFV, 2005.

NEVES, M. G .F. P; TUCCI. C. E. M. G. Gerenciamento integrado em drenagem

urbana: quantificação e controle de resíduos sólidos. *In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos/ABRH*, Curitiba, 2003.

NUNES, HikaroKayo de Brito; AQUINO, Cláudia Maria Sabóia de Aquino. A temática ambiental em áreas urbanas: o rio Poti como objeto de estudo em Teresina/Piauí. **Geoambiente on-line**. n 31|Maio-Agosto/2018.

OLIVEIRA, Livânia Norberta. **Análise da capacidade de resiliência do ambiente na área do baixo curso da bacia hidrográfica do rio Poti (Piauí)**. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal de Pernambuco, 2018.

_____. **Estudo da variabilidade sazonal da qualidade da água do rio Poti em Teresina e suas implicações na população local**. (Dissertação). Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente - Universidade Federal do Piauí, 2012.

OLIVEIRA, Livânia Norberta; SILVA, Carlos Ernando. Qualidade da água do Rio Poti e suas implicações para atividade de lazer em Teresina-PI. **Revista Equador**. Universidade Federal do Piauí-UFPI, v. 3, n. 1, janeiro/junho, 2014.

OLIVEIRA FILHO, Antônio Alves de Oliveira; LIMA NETO, Iran Eduardo Lima Neto. Modelagem da qualidade da água do rio Poti em Teresina (PI). **EngSanitAmbient**| v.23 n.1 | jan/fev 2018 | 3-14.

PEDROSA, Paulo. Óptica hidrológica: a cor das águas naturais. **Revista Ciência Hoje**. v. 43, n. 255, dezembro, 2008.

PEREIRA, Frances Dôglas de Santana; DALTRO FILHO, José. A drenagem urbana e os resíduos sólidos: desafios de sempre na cidade de Aracaju/SE. **VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**. Porto Alegre/RS – 23 a 26/11/2015.

PÉRES, Rosa Helena Borges. **O Caminho das Águas**: impactos ambientais da drenagem de águas pluviais na bacia do Córrego Liso na Cidade de Uberlândia – MG. (Dissertação de Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia: Instituto de Geografia, 2005.

REIS FILHO, Antônio Anderson; MOURA, Ana Clara. Zonas especiais de interesse social utilizando análises de multicritérios. **Mercator**, Fortaleza, v. 15, n. 3, p.67-84, jul./sep., 2016.

Rios Parnaíba e Poti se transformam em esgoto, diz ambientalista. **Portal G1**, 2013. Disponível em: <<http://g1.globo.com/pi/piaui/noticia/2013/05/rios-parnaiba-e-poti-setransformam-em-esgoto-diz-ambientalista.html>>. Acesso em: 10 de agosto de 2021.

RIBEIRO, Éfrem. **Teresina perde 51,7% da água na distribuição**. Jornal Meio Norte-Teresina, Saneamento, p. 5. Teresina, 17 de fevereiro, 2016.

ROCHA, J. A. M. R. **Livro GPS** – uma abordagem prática. 3.ed. Recife/PE: Edições Bagaço, 2002.

SALES, M. F. G. **Área de degradação urbana**: uma questão socioeconômica e ambiental no bairro Santo Antônio, Teresina – Piauí. (Dissertação de Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Rio Claro – SP, 2010.

SANTOS, Letícia. Esgoto sem tratamento ainda é despejado diretamente no Rio Poti. **Portal O dia**, 2017. Disponível em: <https://www.portalodia.com/noticias/teresina/esgoto-sem-tratamento-ainda-edespejado-diretamente-no-rio-poti-306535.html>. Acesso em: 05 de agosto de 2021.

SANTOS, T. P., MORAES, L. M. Aplicação de ferramentas de geoprocessamento no auxílio do monitoramento da qualidade dos recursos hídricos em Silveira Martins. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental – REGETe**. V. 18 n. 1 Abr 2014, p.467-482.

SEWELL, Granville Hardwick. **Administração e controle da qualidade ambiental**. São Paulo: Editora Universidade de São Paulo, 1978.

SILVA, Elmagno Catarino Santos. **Avaliação dos resíduos sólidos produzidos em áreas urbanas**: impactos sobre as redes de águas pluviais (Tese). Doutorado em Geotecnia. UNB. Brasília, 2013.

SILVA, Flávio Rodrigues; AQUINO, Cláudia Maria Sabóia. Análise da qualidade da água do rio Poti, entre a ponte da Primavera e a ponte Leonel Brizola, Teresina, Piauí. **OKARA: Geografia em debate**. v. 9, n.1, 2015.

SILVA, Jorge Xavier. **O que é Geoprocessamento**. 2009. Disponível em: <http://www.ufrj.br/lga/tiagomarinio/artigos/oqueegeoprocessamento.pdf>

SILVA, J. X.; ZAIDAN, R. T. **Geoprocessamento & análise ambiental**: aplicações. Rio de Janeiro, RJ: Bertrand Brasil, 2004.

SIRKIS, Alfredo. **Meio ambiente no século XXI**. Rio de Janeiro: Sextante, 2003.

SOARES, Rafael Diego Barbosa; SILVA, Carlos Ernando da; BATISTA, Maria Gardênia de Sousa. Avaliação qualitativa da segurança hídrica do Rio Poti no município de Teresina – PI. **Revista Educação Ambiental em Ação**. Disponível em: <https://revistaeea.org/pf.php?idartigo=3845>, acesso em 16/10/2021.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2 ed. Belo Horizonte: UFMG, 1996.

TAVARES, A. R. **Monitoramento da qualidade das águas do rio Paraíba do Sul e diagnósticos de conservação**. (Dissertação de Mestrado). Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA. São José dos Campos, São Paulo, 2005.

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Estudos avançados**. v. 22, n.63, p. 97-112, 2008.

TUCCI, C. E. M. Água no meio urbano. In: REBOUÇAS, A. da C., et al. (org.). **Águas doces no Brasil**. 3 ed. São Paulo: Escrituras, 2006. p. 399-432.

VIEIRA, M. R.; LOPES, W. T. A.; SILVA, M. R. S.; LIMA, J. E. F. W. Critérios para alocação dos pontos de monitoramento de qualidade de água. **Anais do VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**. São Luís, 30 de novembro a 03 de dezembro, 2004.

ZAHED FILHO, Kamel; MARTINS, José Rodolfo S.; PORTO, Mônica F. A. **Gestão de resíduos sólidos e impactos sobre a drenagem urbana**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2012.