

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos

Felipe José Vorcaro de Toledo

**CAPTAÇÃO E TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS EM TEMPO SECO:
revisão integrativa de literatura e contribuições para discussões sobre aspectos
técnicos, econômicos, ambientais, sociais, legais e institucionais**

Belo Horizonte
2023

Felipe José Vorcaro de Toledo

**CAPTAÇÃO E TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS EM TEMPO SECO:
revisão integrativa de literatura e contribuições para discussões sobre aspectos
técnicos, econômicos, ambientais, sociais, legais e institucionais**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Saneamento

Linha de pesquisa: Tratamento de Águas Residuárias

Orientador: César Rossas Mota Filho

Belo Horizonte
2023

Toledo, Felipe José Vorcaro de.

T649c Captação e tratamento de águas residuárias em tempo seco
[recurso eletrônico] : revisão integrativa de literatura e contribuições para
discussões sobre aspectos técnicos, econômicos, ambientais, sociais,
legais e institucionais / Felipe José Vorcaro de Toledo. – 2023.
1 recurso online (266 f. : il., color.) : pdf.

Orientador: César Rossas Mota Filho.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas
Gerais, Escola de Engenharia.

Bibliografia: f. 248-266.

Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

1. Engenharia sanitária – Teses. 2. Saneamento – Teses.
3. Água – Captação – Teses. 4. Tratamento de águas residuárias –
Teses. 5. Esgotos – Tratamento – Teses. I. Mota Filho, César Rossas.
II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia.
III. Título.

CDU: 628(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANEAMENTO, MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

FOLHA DE APROVAÇÃO

"Captação e Tratamento de Águas Residuárias Em Tempo Seco: Revisão Integrativa de Literatura e Discussões, Para O Contexto Brasileiro, Sobre Aspectos Técnicos, Econômicos, Ambientais, Sociais, Legais e institucionais"

FELIPE JOSÉ VORCARO DE TOLEDO

Dissertação defendida e aprovada pela banca examinadora constituída pelos Senhores:

Prof. César Rossas Mota Filho

Prof. André Bezerra dos Santos

Prof. Isaac Volschan Junior

Aprovada pelo Colegiado do PG SMARH

Versão Final aprovada por

Profa. Priscilla Macedo Moura

Prof. Cesar Rossas Mota Filho

Coordenadora

Orientador

Belo Horizonte, 14 de setembro de 2023.



Documento assinado eletronicamente por André Bezerra dos Santos, Usuário Externo, em 19/09/2023, às 09:48, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por Cesar Rossas Mota Filho, Professor do Magistério Superior, em 28/11/2023, às 08:37, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por Isaac Volschan Junior, Usuário Externo, em 11/12/2023, às 14:15, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por Priscilla Macedo Moura, Coordenador(a) de curso de pós-graduação, em 29/12/2023, às 14:34, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador 2616287 e o código CRC 32248741.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, instituição pública de ensino de excelência, e ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio-ambiente e Recursos Hídricos – PPG-SMARH.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo amparo concedido para o desenvolvimento da pesquisa.

Ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Estações Sustentáveis de Tratamento de Esgoto – INCT ETEs Sustentáveis, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG.

Ao Professor Doutor César Mota, por toda a orientação, apoio nesta caminhada e compreensão nos momentos de dificuldades.

Aos professores do PPG-SMARH, por todos os ensinamentos compartilhados.

Aos servidores e funcionários do PPG-SMARH e da Escola de Engenharia da UFMG pelos esclarecimentos e apoio nesses anos.

Aos amigos e colegas do PPG-SMARH pelas trocas de experiências, em especial ao João Paulo Borges, Sirlei Azevedo, Rodrigo Perdigão, Fábio Bianchetti, Samara Avelino, Jomara Nogueira, e à Larissa Couto e ao Alan Barbosa também pelos incentivos e apoio técnico.

Aos meus irmãos Ana Laura e João Paulo; e à Ana Paula e à Joana pelo apoio e incentivos para a pesquisa.

Aos meus pais, João e Andréa, pela vida, conhecimento e por todo o amor.

À Luiza, pelo companherismo, carinho e todo o suporte neste processo, com muita escuta, paciência e bons conselhos.

“O seu uso nos permite entender, pelo menos em parte, o comum essencial do homem em sociedade, a obviedade de seu valor. Beber, coser, hidratar, alimentar, banhar, transportar, irrigar, drenar, exercitar, iluminar, mover, embelezar, artesanar, engenhar, moer, nomear, ... aguar. Quantos verbos se conjugam com água?”

(José Newton Coelho Menezes, 2019)

RESUMO

O panorama do atendimento por serviços de esgotamento sanitário no Brasil indicava em 2017 que 43% da população era atendida por sistema coletivo, compreendendo rede coletora e estação de tratamento de esgotos; 12% era atendida por solução individual, do tipo fossa séptica; 18% possuía esgotos coletados, porém não tratados; e 27% da população não recebia qualquer atendimento, ou seja, sem coleta ou tratamento de esgotos. Pouco mais da metade (55%) da população recebia serviços de esgotamento sanitário adequados, menos da metade dos municípios brasileiros (46%) possuíam redes separadoras de esgotos sanitários e uma pequena parcela (14,7%) possuía redes unitárias. Embora o sistema separador seja o mais utilizado, na prática eles não operam como projetado e são frequentes as disfuncionalidades decorrentes das interconexões entre os esgotos sanitários e pluviais, o que compromete a eficiência dos sistemas, a saúde pública e o equilíbrio ambiental. Tal panorama impulsiona a busca por abordagens alternativas de planejamento dos sistemas de esgotamento sanitário; e, nesse contexto, vêm sendo discutidos e adotados no Brasil nos últimos anos os sistemas de captação e tratamento em tempo seco (CTTS) das águas residuárias que percorrem as redes pluviais urbanas como alternativa complementar às concepções hegemônicas de engenharia baseadas, exclusivamente, nos sistemas separadores absolutos. Este sistema visa promover o controle mais efetivo da poluição em curto prazo em momentos de estiagem, conduzindo os esgotos para tratamento. Diante disso, a pesquisa analisa criticamente, a partir de uma revisão integrativa de literatura, os conceitos e práticas das CTTS relacionados a diferentes aspectos: técnicos; econômicos; ambientais; sociais; institucionais; e legais, considerando o cenário brasileiro. Na revisão integrativa foram identificadas 2391 publicações em bases indexadoras (inglês e português) para leitura dos títulos e resumos; incluídas 25 publicações relacionadas ao tema para leitura na íntegra; adicionalmente selecionadas outras 36 publicações a partir da leitura das referências dessas; totalizando 61 publicações incluídas para leitura e análise. Destas 61 publicações, 15 são focadas nos sistemas de CTTS e 17 apenas mencionam os sistemas, sem aprofundamento da discussão. A CTTS ainda carece de regulação de operação e tarifação no Brasil e foi identificada difusão da técnica nos anos recentes e que deverá ser aumentada em função da aprovação da Lei Federal n.º 14.026 de 2020. Além disso há, relativamente, poucos estudos acadêmicos sobre o tema, o que indica a necessidade de avanços técnicos para seu uso, ainda mais se considerar o entendimento atual de que os sistemas unitários são aceites em períodos de transição para o sistema ideal separador absoluto. A utilização das CTTS ocorre em outros países, com destaque para a China, onde já estão implementados há décadas e há obrigação para seu uso em algumas cidades. Os sistemas de CTTS podem trazer benefícios já identificados em locais onde são implantados e fazem-se necessários avanços do ponto de vista das normas técnicas nacionais e da avaliação dos aspectos econômicos, ambientais e sociais no contexto brasileiro para que o planejamento e operação tragam os melhores resultados.

Palavras-chave: esgotamento sanitário; sistemas alternativos de esgotamento sanitário; captação em tempo seco; interceptação em tempo seco; revisão integrativa.

ABSTRACT

The panorama of sewage services in Brazil indicated in 2017 that 43% of the population was served by the collective system, comprising the collection network and sewage treatment plant; 12% were assisted by individual solution, with septic tank; 18% had collected but untreated sewage; and 27% of the population did not receive any assistance, that is, without sewage collection or treatment. Just over half (55%) of the population received adequate sewage services, less than half of Brazilian municipalities (46%) had separate sewage systems and a small portion (14.7%) had combined systems. Although the separate system is the most used, in practice they do not operate as designed and dysfunctions resulting from misconnections between sanitary and storm sewers are frequent, which compromises the efficiency of the systems, public health and environmental balance. This panorama drives to alternative planning approaches for sanitary sewage systems; and, in this context, the dry weather sewage intake and treatment (DWSIT) of wastewater that run through urban storm water system have been discussed and adopted in Brazil in recent years as a complementary alternative to the hegemonic concepts of engineering based exclusively on separate systems. The DWSIT aims to promote more effective control of pollution in the short term during non-storm periods, directing sewage for treatment. Therefore, the research critically analyses, based on an integrative literature review, the concepts and practices of DWSIT related to different aspects: technical; economical; environmental; social; institutional; and legal, considering the Brazilian scenario. In the integrative review, 2391 publications were identified in databases (English and Portuguese) by reading the titles and abstracts; included 25 publications related to the topic to be fully read; additionally there were selected another 36 publications by reading their references; a total of 61 publications were included for reading and analysis. Of these 61 publications, 15 are focused on DWSIT systems and 17 only mention them, without detailed discussion. The DWSIT still lacks operation and tariff regulation in Brazil and the spread of the technique has been identified in recent years, which will be increased due to the approval of Federal Law No. 14.026 of 2020. In addition, there are relatively few academic studies on the subject, which indicates the need for technical advances for its use, even more considering the actual understanding that combined systems are accepted in periods of transition to the ideal separate sewer system. The use of DWSIT occurs in other countries, especially in China, where they have been implemented for decades and there is an obligation for their use in some cities. DWSIT systems can bring benefits that are already identified in places where they are implemented and further advances are needed from the point of view of national technical standards and the evaluation of economic, environmental and social aspects in the Brazilian context so that planning and operation can achieve the best results.

Keywords: sanitary sewerage; alternative sewerage; dry-weather sewage intake; end-of-storm pipe interception; integrative review.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxogramas das fases de que compõem cada etapa para a recuperações das publicações a serem lidas.	45
Figura 2 – Fluxograma de identificação, filtragem e inclusão de artigos e outras publicações obtidas utilizando <i>string</i> em inglês	52
Figura 3 – Fluxograma de identificação, filtragem e inclusão de artigos e outras publicações obtidas utilizando o <i>string</i> em português	53
Figura 4 – Tela do programa computacional <i>Mendeley</i>	54
Figura 5 – Tela do programa computacional <i>Rayyan</i>	56
Figura 6 – Frações das publicações incluídas pela busca em bases indexadoras que abordam os sistemas de CTTS (verde); que apenas mencionam os sistemas de CTTS (azul) e que não mencionam o sistema (laranja).	66
Figura 7 – Frações das publicações incluídas por outras buscas que abordam os sistemas de CTTS (verde); que apenas mencionam os sistemas de CTTS (azul) e que não mencionam o sistema (laranja).	67
Figura 8 – Frações das publicações incluídas por todas as buscas que abordam os sistemas de CTTS (verde); que apenas mencionam os sistemas de CTTS (azul) e que não mencionam o sistema (laranja).	67
Figura 9 – Mapa <i>mundi</i> com países e cidades onde se localizam as universidades e instituições responsáveis pelas publicações que abordam as CTTS ou que apenas mencionam a técnica. <i>Datum</i> WGS84.....	73
Figura 10 – Mapa Brasil com destaque para as cidades onde se localizam as universidades e instituições de pesquisa responsáveis pelas publicações que abordam as CTTS ou que apenas mencionam a técnica. <i>Datum</i> WGS84.	74
Figura 11 – Mapa China com destaque para as cidades onde se localizam as universidades e instituições de pesquisa responsáveis pelas publicações que abordam as CTTS ou que apenas mencionam a técnica. <i>Datum</i> WGS84.	75
Figura 12 – Mapa EUA com destaque para as cidades onde se localizam as universidades e instituições de pesquisa responsáveis pelas publicações que abordam as CTTS ou que apenas mencionam a técnica. <i>Datum</i> WGS84.	76
Figura 13 – Mapa Europa com destaque para as cidades onde se localizam as universidades e instituições de pesquisa responsáveis pelas publicações que abordam as CTTS ou que apenas mencionam a técnica. <i>Datum</i> WGS84.	76

Figura 14 - Autores com mais de uma publicação sobre CTTS e número de publicações.....	78
Figura 15 – Autores com mais de uma publicação que menciona CTTS e número de publicações.....	79
Figura 16 – Periódicos onde as publicações do tipo (i) artigos que abordam as CTTS foram publicadas e quantitativos de cada um.	80
Figura 17 – Eventos onde as publicações do tipo (ii) outras publicações que abordam as CTTS foram publicadas e quantitativos de cada um.....	80
Figura 18 – Periódicos onde as publicações do tipo (i) artigos que apenas menciona as CTTS foram publicadas e quantitativos de cada um.....	81
Figura 19 – Eventos e sítio eletrônico onde as publicações do tipo (ii) outras publicações que apenas mencionam as CTTS foram publicadas e quantitativos de cada um.	81
Figura 20 – Número de publicações por ano - 1992 a 2023 – que abordam as CTTS (laranja) e que apenas mencionam as CTTS (azul); somatório das publicações de abordam e mencionam as CTTS (cinza); e número acumulado no tempo (amarelo).	84
Figura 21 – Localidades onde as publicações indicam estudos de caso que abordam os sistemas de CTTS.....	87
Figura 22 – Localidades onde as publicações que apenas mencionam as CTTS indicam estudos de caso que abordam os sistemas de CTTS.	90
Figura 23 – Mapa de Portugal, número de estudos de caso por localidade. Estudos de caso de publicações que abordam as CTTS.....	92
Figura 24 – Mapas do Brasil, número de estudos de caso por localidade (a) Estudos de caso de publicações que abordam as CTTS; (b) Estudos de caso de publicações que apenas mencionam as CTTS.....	93
Figura 25 – Mapas da China e do Bangladesh, número de estudos de caso por localidade (a) Estudos de caso de publicações que abordam as CTTS; (b) Estudos de caso de publicações que apenas mencionam as CTTS.	94
Figura 26 – Ilustração dos escravizados “Tigre”. Obra em aquarela (18,7 x 12,5 cm): Máscara que se usa nos negros, de Jean-Baptiste Debret	99
Figura 27 – Sistemas de drenagem urbana. a) Sistema Combinado (SC); b) Sistema Separador Absoluto (SSA); c) Sistema de interceptação (SI).....	102

Figura 28 – Relações entre as águas pluviais, esgotos sanitários e esgotos combinados.....	105
Figura 29 – Rio Suzhou em sua foz com o rio Huangpu, em Shanghai, China (a) antes do projeto; (b) depois do projeto de reabilitação.....	114
Figura 30 – Projeto de Reabilitação do rio Suzhou em Shanghai, China	114
Figura 31 – Construção do IOZS no Rio de Janeiro. (a) Alargamento da praia de Copacabana. (b) Seção transversal em arco no trecho de Copacabana.....	129
Figura 32 – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS – ONU.	146
Figura 33 – Fluxograma de identificação da situação de esgotamento na área de estudo.....	147
Figura 34 – Sequência típica de investigação de aportes sanitários no sistema de drenagem pluvial.....	153
Figura 35 – Fontes de poluição típicas das áreas urbanas.....	154
Figura 36 – Frações percentuais de contribuições pluviais para o escoamento superficial (azul), esgotamento sanitário (cinza) e ressuspensão dos sedimentos das tubulações (marrom); para as 3 sub-bacias (a: CS1; b: CS2; e c: SW1)	156
Figura 37 – CMEs para 6 eventos de chuva em 3 sub-bacias (CS1; SW1; e CS2) para os seis indicadores: COD; NH ₃ -N; TN; TP; e TSS.	157
Figura 38 – Curvas M(v) dos 6 eventos de chuva em 3 sub-bacias (a: CS1; b: SW1; e c: CS2) para os parâmetros DQO, NH ₃ -N, NT, PT e SST	159
Figura 39 – Fluxograma das ações estruturais para intervenções físicas no SES da Bahia - PEMAPES.	163
Figura 40 – Sistema de captação em tempo seco pontual em um local dotado de SSA disfuncional.....	164
Figura 41 – Estação de tratamento do rio Carioca. Estrutura de gradeamento (esquerda) e Microaeração da massa líquida (direita).....	166
Figura 42 – Estação de Tratamento das Águas Fluviais (ETAF) na bacia hidrográfica do ribeirão Pampulha em Belo Horizonte.	167
Figura 43 – Diagrama de etapas de implantação das infraestruturas de saneamento (drenagem e águas residuárias).....	168
Figura 44 – Hidrograma unitário triangular.	175
Figura 45 – Construção de tubulação emissária de esgotos em formato ovoide do sistema unitário (<i>tout-a-l'égout</i>) em Belo Horizonte-MG, no início do século XX.....	177

Figura 46 – (a) interação sulfato de hidrogênio no interior de tubulação de esgoto em condições anaeróbicas; (b) corrosão típica e desigual em tubo de concreto armado.	179
Figura 47 – Boca-de-lobo dotada de fecho hídrico.....	181
Figura 48 – Representação esquemática de chaminé pública de ventilação na rede de drenagem pluvial. (a) planta; (b) seção transversal; e (c) seção longitudinal.....	182
Figura 49 – Representação esquemática das estruturas de desvio em tempo seco: (a) Modelo de Anteparo e Vertedor de Soleira - Caso A; (b) Modelo de Anteparo e Vertedor de Soleira - Caso B; e (c) Modelo de Descarga Livre.	186
Figura 50 – Representação esquemática interceptação de vazões em tempo seco.	187
Figura 51 – (a) VTS com tampas; (b): VTS sem tampas; (c): VTS implantadas em PV.	188
Figura 52 – Plantas esquemáticas implantação da VTS e anteparo para desvio do fluxo em tempo seco em PV de GAP para RCE. (a): fluxo em tempo seco; (b): fluxo principal em tempo úmido	188
Figura 53 – Representação esquemática de estruturas de desvio do tipo PV com rebaixo e interceptor transversal (galeria de cintura).....	189
Figura 54 – Estrutura de interceptação em tempo seco com válvula de mar.....	189
Figura 55 – Desenho esquemático sistema de interceptação e orifícios (ISOs)	190
Figura 56 – Comparação da estratégia de interceptação. Tradicional em preto e CTR em vermelho.	193
Figura 57 – Representação esquemática dos elementos associados à estrutura de captação em tempo seco (CTS) a partir de galeria de águas pluviais (GAP) com descarga de fundo e interligação por gravidade à rede coletora da CEDAE em poço de visita (PV).....	194
Figura 58 – Representação esquemática das estruturas de interceptação em tempo seco (<i>end-of-pipe interception</i>) em Shanghai, China, e estação elevatória para esgotamento em tempo úmido e de contribuições não-pluviais quando acima da capacidade de interceptação.	196
Figura 59 – Esquema dos sistemas de drenagem em Shanghai e Hefei, China. a) SC; e b) SSA disfuncional, dotado de bombeamento para extravasamento.	197

Figura 60 – Representação esquemática dos elementos associados à estrutura de captação em tempo seco (CTS) a partir de galeria de águas pluviais (GAP), registro, gradeamento, retenção de areia e bombeamento para PV do sistema sanitário....	199
Figura 61 – Representação esquemática dos elementos associados à estrutura de captação em tempo seco (CTS) a partir de calha fluvial, registro, gradeamento, retenção de areia e bombeamento para o PV do sistema sanitário.....	200
Figura 62 – Configurações possíveis de tratamento de esgotos combinados: (a) tratamento tradicional; (b) tratamento descentralizado do excedente; (c) tratamento centralizado do excedente, e (d) armazenamento para posterior tratamento centralizado do excedente.	203
Figura 63 – Representação esquemática do túnel do projeto <i>Thames Tideway Tunnel</i> em implantação em Londres	204
Figura 64 – Ilustração técnica de um separador de sólidos tipo vórtex	207
Figura 65 – Válvulas de retenção para controle de fluxo (<i>backflow control</i>). (a) válvulas metálicas do tipo <i>flap</i> . (b) válvulas de elastômero flexíveis (<i>Tideflex</i>).....	208
Figura 66 – Acúmulo de areia (a) poço de sucção (b) voluta de equipamento de bombeamento	210
Figura 67 – Balanço hídrico anual de volumes em sistema de CTTS.....	213
Figura 68 – Cargas de poluentes (DBO ₅ , DQO e SST) efluentes dos sistemas na situação atual (sem tratamento) em duas soluções estudadas: solução proposta (intermediária utilizando CTTS) e solução ideal (SSA desde o início do plano).....	214
Figura 69 – Sistema separador absoluto (SSA) disfuncional devido às diferentes interconexões nas redes pluvial e sanitária. (a) fluxos em tempo seco; (b) fluxos em tempo úmido.	219
Figura 70 – Mapa de isoietas no Brasil. Precipitação média anual. Metadados ANA.	221
Figura 71 – Esquema do SSA disfuncional dotado de CTTS em Shanghai, China. Drenagem pluvial e sanitária interligados por interceptação de final de tubo pluvial, dotado de bombeamento para extravasamento.	222
Figura 72 – Chuva crítica (mm) que provoca extravasamento dos orifícios (<i>orifices</i>) em cada subsistema (a: DSR; b: XZR; c: FTR) de montante (<i>upstream</i>) para jusante (<i>downstream</i>) e indicação da seção transversal do interceptor (D: diâmetro; BxH: base x altura).....	225

Figura 73 – Volumes (m ³) e cargas poluentes (t) anuais extravasadas pelos orifícios de ISO em cada subsistema (a: DSR; b: XZR; c: FTR) de montante (<i>upstream</i>) para jusante (<i>downstream</i>) e indicação da seção transversal do interceptor (D: diâmetro; BxH: base x altura) e perfil longitudinal dos interceptores.	225
Figura 74 – Estimativa da redução de volumes e cargas anuais de poluentes extravasados (DBO ₅ e NH ₃ -N) de esgotos combinados, a partir do cenário de referência (<i>Base case</i>) com a separação percentual progressiva (de 10% a 90%) dos esgotos sanitários (preto) e de origem pluvial (branco) em três subsistemas (a: DSR; b: XZR; c: FTR).....	227

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Etapas da construção da estratégia de busca	40
Quadro 2 – Etapas estruturação da “Estratégia PICO” para criação do <i>string</i> em inglês	42
Quadro 3 – Etapas estruturação da “Estratégia PICO” para criação do <i>string</i> em português	43
Quadro 4 – <i>String</i> de busca de dados em inglês	44
Quadro 5 – <i>String</i> simplificado de busca de dados em português	44
Quadro 6 – Informações extraídas das publicações	50
Quadro 7 – Resumo do número de publicações em cada etapa de seleção: recuperação, filtragem e inclusão	58
Quadro 8 – Publicações complementares diferentes de (i) artigos e (ii) outras publicações	59
Quadro 9 – Lista de publicações recuperadas pelas buscas em bases indexadoras	60
Quadro 10 – Lista de publicações incluídas pelas leituras das referências das publicações recuperadas	63
Quadro 11 – Lista de publicações incluídas que abordam as CTTS	69
Quadro 12 – Lista de publicações incluídas que apenas mencionam as CTTS	71
Quadro 13 – Relação de universidade e instituições de pesquisa por cidade e por país, e número de publicações de cada uma	77
Quadro 14 – Autores com apenas uma publicação que aborda CTTS	78
Quadro 15 – Autores com apenas uma publicação que aborda CTTS	79
Quadro 16 – País, Estado/ Província/ Região e Município com seus respectivos números de estudos de caso das publicações que abordam as CTTS.	86
Quadro 17 – Publicações que abordam CTTS com estudos de caso e indicação do país, estado/ província/ região e município onde se localiza o estudo.	88
Quadro 18 – País, Estado/ Província/ Região e Município com seus respectivos números de estudos de caso das publicações que mencionam as CTTS	89
Quadro 19 – Publicações que apenas mencionam as CTTS com estudos de caso e indicação do país, estado/ província/ região e município onde se localiza o estudo.	91
Quadro 20 – Lista de publicações incluídas que não abordam nem mencionam as CTTS	96

Quadro 21 – Síntese dos aspectos técnicos, econômicos, sociais, ambientais, legais, normativos e institucionais contidos nas publicações que abordam os sistemas de captação e tratamento em tempo seco.	123
Quadro 22 – Nomes da técnica e menções da ação de CTTS utilizada nas publicações e recorrência em número de publicações.....	128
Quadro 23 – Potenciais contribuições inapropriadas para os sistemas de drenagem pluvial.....	151

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Número e percentual de municípios, com serviço de esgotamento sanitário por rede coletora em funcionamento, por tipo de rede coletora e tipo de rede convencional, e as classes de tamanho da população dos municípios – 2017	27
Tabela 2 – Extensão e percentual da rede coletora de esgoto, por tipo de rede coletora e as classes de tamanho da população dos municípios – 2017	29
Tabela 3 – Municípios e percentuais com serviço de esgotamento sanitário por rede coletora em funcionamento e com disposição final do efluente tratado ou esgoto sem tratamento, por tipo de disposição, segundo as classes de tamanho da população dos municípios – 2017	32
Tabela 4 - Características quantitativas e qualitativas de águas pluviais, esgotos combinados e esgotos sanitários para uma bacia urbana com 5,0 km ²	201
Tabela 5 – Balanço anual de volumes dos sistemas GSD e NJ, em Shanghai. (x10 ³ m ³ /ano)	213
Tabela 6 – Renda por domicílio e acesso à sistema de coleta de esgotos no Brasil - ano 2000.	230
Tabela 7 – Faixas típicas de custos de implantação de redes coletoras de esgotos.	236
Tabela 8 – Faixas típicas de custos de implantação de interceptores de esgotos. .	236
Tabela 9 – Custo de implantação das duas alternativas: solução ideal e solução proposta.	237
Tabela 10 – Estimativa custo de mão de obra e materiais para implantação de uma VTS.	238
Tabela 11 – Estimativa de custo unitário para separação das interconexões ilícitas no SDP.	239

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A - Artigos

ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABR - Anti-biotic Resistance

ADASA - Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal

AML - Área Metropolitana de Lisboa

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

BVS - Biblioteca Virtual em Saúde

BVSA - Biblioteca Virtual de Saúde Ambiental

CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CAPEX - Capital Expenditure

CEDAE - Companhia Estadual de Águas e Esgotos

CME - Concentração Média do Evento, *EMC - event mean concentration* (inglês)

COPASA - Companhia de Saneamento de Minas Gerais

COPPETEC - Fundação COPPETEC

CSO - Combined System Overflow

CTR - Controle em Tempo Real, *RTC - Real Time Control* (inglês)

CTS - Captação em Tempo Seco

CTTS - Captação e Tratamento em Tempo Seco

DBO₅ - Demanda Bioquímica de Oxigênio, *BOD – Biochemical Oxygen Demand* (inglês)

DNA - Deoxyribonucleic acid

DOI - Digital Object Identifier

DQO - Demanda Química de Oxigênio, *COD – Chemical Oxygen Demand* (inglês)

DSR - Dasha River

DWF - Dry Weather Flow

DWSI - Dry-weather Sewage Intake

EEE - Estação Elevatória de Esgotos

ETAF - Estação de Tratamento das Águas Fluviais

ETAR - Estação de Tratamento de Águas Residuárias

ETE - Estação de Tratamento de Esgotos

EUA - Estados Unidos da América

FAD - Flotação a Ar Dissolvido

FCTH - Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica

FTR - Futian River

GAP - Galeria de Águas Pluviais

HSPF - Hydrological Simulation Program - FORTRAN

HUT - Hidrograma Unitário Triangular

I/I – Infiltração e Influxo - *Infiltration and Inflow* (inglês)

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDF - Intensidade-Duração-Frequência

ISO - Interception System Overflows

ISSN - International Standard Serial Number

NBR - Norma Brasileira

NH₃-N - Nitrogênio amoniacal

NT - Nitrogênio Total, *TN - Total Nitrogen* (inglês)

OD - Oxigênio Dissolvido

OP - Outras Publicações

OPEX - Operational Expenditure

PCR - Polymerase chain reaction

PEDUI-RMRJ - Plano Estratégico de Desenvolvimento Urbano Integrado da Região Metropolitana do Rio de Janeiro

PEMAPES - Plano Estadual de Manejo de Águas Pluviais e Esgotamento Sanitário

PICo - Problema, fenômeno de Interesse e Contexto

PLANSAB - Plano Nacional de Saneamento Básico

PMID - PubMed Unique Identifier

PNSB - Pesquisa Nacional de Saneamento Básico

PNAD - Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios

PNADC - Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua

PPP - Parceria Público-Privada

PT - Fósforo Total, *TP - Total Phosphorous* (inglês)

PV - Poço de Visita

RMRJ - Região Metropolitana do Rio de Janeiro

RCE - Rede Coletora de Esgoto

SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

SC - Sistema Combinado

SciELO - *Scientific Eletronic Library Online*

SCO - Sistema Condominial

SCS - *Soil Conservation Service*

SDP - Sistema de Drenagem Pluvial

SES - Sistema de Esgotamento Sanitário

SI - Sistema de Interceptação

SM - Sistema Misto

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SS - Sólidos em Suspensão

SSA - Sistema Separador Absoluto

SSA-pluvial - Sistema Separador Absoluto pluvial

SSA-sanitário - Sistema Separador Absoluto sanitário

SSO - *Sanitary System Overflow*

SSP - Sistema Separador Parcial

SST - Sólidos em Suspensão Totais, *TSS - Total Suspended Solids* (inglês)

STS - Sistema de Tempo Seco

SU - Sistema Unitário

SWMM - Storm Water Management Model

UERJ - Universidade do Estado do Rio de Janeiro

UF - Unidades da Federação

UFABC - Universidade Federal do ABC

UFBA - Universidade Federal da Bahia

UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais

UFGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro

UR - Unidades Recuperadoras da Qualidade das Águas

USEPA - United States Environmental Protection Agency

VTS - Válvulas de Tempo Seco

WWF - Wet-weather Flow

XZR - Xinzhou River

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	25
1.1	Esgotamento sanitário no Brasil e a poluição das águas	27
1.2	As captações e tratamento em tempo seco das águas residuárias	33
2	JUSTIFICATIVA.....	36
3	OBJETIVOS.....	37
3.1	Objetivo Geral	37
3.2	Objetivos Específicos	37
4	METODOLOGIA	38
4.1	Identificação do problema	38
4.2	Método de pesquisa	39
4.3	Busca de literatura	39
4.3.1	Identificação.....	45
4.3.2	Filtragem.....	47
4.3.3	Inclusão	48
4.4	Avaliação da literatura incluída.....	49
4.5	Coleta e extração de dados	50
4.6	Análise crítica dos dados e apresentação da revisão integrativa	51
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	51
5.1	BUSCA DE LITERATURA.....	51
5.1.1	Identificação.....	54
5.1.2	Filtragem.....	55
5.1.3	Inclusão	57
5.2	ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DAS PUBLICAÇÕES QUE TRATAM DO TEMA DA PESQUISA	66
5.2.1	Estratificação geral dos assuntos das publicações selecionadas.....	66
5.2.2	Universidades e instituições de pesquisa.....	73
5.2.3	Autores	78
5.2.4	Periódicos e Eventos Científicos.....	80
5.2.5	Ano de publicação	82
5.2.6	Locais dos estudos de caso.....	85
5.3	DISCUSSÕES COMPLEMENTARES	95
5.3.1	Os tipos de sistemas de esgotamento sanitários	98
5.3.2	Aspectos técnicos e normativas sobre os principais sistemas de esgotamento de águas urbanas.....	102
5.3.3	Interconexões de águas externas no sistema separador de esgotos sanitários	108

5.3.4	Interconexões de esgotos sanitários no sistema separador de drenagem pluvial	111
5.3.5	Separação dos esgotos sanitários e pluviais.....	115
5.4	ANÁLISE CRÍTICA E APRESENTAÇÃO DA REVISÃO INTEGRATIVA ...	122
5.4.1	Nomes utilizados para a técnica de CTTS	124
5.4.2	Localidades com sistemas de CTTS implementados ou planejados	129
5.4.3	Aspectos legais, normativos e institucionais	133
5.4.4	Aspectos técnicos dos CTTS	146
5.4.5	Aspectos ambientais dos CTTS	217
5.4.6	Aspectos sociais e de saúde pública dos CTTS.....	229
5.4.7	Aspectos econômicos dos CTTS	232
6	CONCLUSÕES.....	242
7	RECOMENDAÇÕES.....	247
8	REFERÊNCIAS	248

1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui significativo déficit de atendimento por serviços de esgotamento sanitário, o que acarreta a destinação inadequada de esgotos na natureza, comprometendo a qualidade das águas e provocando efeitos danosos na saúde da população e no equilíbrio do meio ambiente (BRASIL, 2017a).

Segundo informações do Atlas Esgotos Despoluição de Bacias Hidrográficas, publicado em 2017 pela Agência Nacional de Águas, o panorama do atendimento por serviços de esgotamento sanitário nacional indica que 43% da população é atendida por sistema coletivo, compreendendo rede coletora e estação de tratamento de esgotos; 12% é atendida por solução individual, do tipo fossa séptica; 18% possui esgotos coletados, porém não tratados; e 27% da população não recebe qualquer atendimento, ou seja, não possuem coleta ou tratamento de esgotos (BRASIL, 2017a).

Somando-se os dois primeiros percentuais, chega-se a 55% da população com atendimento adequado (com qualidade), segundo o conceito do Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB. Tem-se, por outro lado, que, aproximadamente, 45% da população possui atendimento precário (em déficit, em condições insatisfatórias ou provisórias, potencialmente comprometedoras da saúde humana e da qualidade do ambiente domiciliar e do seu entorno) ou não possui atendimento (BRASIL, 2019).

Segundo a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNADC) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), relativa ao ano de 2019 dentre os domicílios que tinham acesso a uma solução de esgotamento, 68,3% possuíam esgotamento sanitário do tipo rede geral ou fossa séptica ligada à rede (BRASIL, 2019). A rede geral, no entanto, não necessariamente direciona os esgotos ao tratamento e, desta forma, não é indicada o tamanho da parcela de domicílios que possuem atendimento adequado. A partir desses dados conclui-se que 31,7% dos domicílios não são atendidos por sistema de coleta por rede geral e/ou tratamento de esgotos.

Em relação à coleta de esgotos, cabe salientar a importância das redes como componente elementar dos sistemas de esgotamento sanitário (SES), cuja função é

transportar as águas residuárias, interligando as unidades geradoras à disposição final, sanitariamente adequada (VON SPERLING, 2017). Os três principais SES são concebidos em função dos principais tipos de coleta das águas urbanas, conforme aponta Tsutiya e Sobrinho (2000) e Bernardes e Soares (2004):

- a) Sistema Unitário (SU); ou Sistema Combinado (SC), em que as águas residuárias (domésticas e industriais), águas de infiltração (água de subsolo que penetra no sistema através das tubulações e órgãos acessórios) e águas pluviais veiculam por um único sistema.
- b) Sistema Separador Absoluto (SSA), em que as águas residuárias (domésticas e industriais), as águas de infiltração e as contribuições parasitárias, que constituem o esgoto sanitário, veiculam em uma rede de tubulações independente da rede que veicula as águas pluviais coletadas. Esta rede compõe o Sistema de Drenagem Pluvial (SDP).
- c) Sistema Separador Parcial (SSP); ou Sistema Misto (SM), em que uma parcela das águas de chuva, provenientes de telhados e pátios das economias são encaminhadas juntamente com as águas residuárias e as águas de infiltração do subsolo e parasitárias para um único sistema de coleta e transporte dos esgotos.

No Brasil há ainda um quarto tipo de coleta de esgotos que cabe mencionar:

- d) Sistema Condominial (SCO), uma simplificação do SSA, destinado apenas ao transporte de esgotos domésticos e das águas de infiltração. As águas pluviais, analogamente ao SSA, são veiculadas por um SDP independente.

Neste sistema a rede é construída dentro dos lotes, interligando as edificações por meio de dispositivos simplificados e tubulações rasas, e, segundo alguns autores, é indicado por possuir ampla viabilidade em locais com restrições de espaço e de recursos financeiros, pois seus custos de implantação são reduzidos se comparado aos demais sistemas (BRISCOE, 1993; MELO, 2005; GONÇALVES; KLEIDORFER; RAUCH, 2017).

1.1 Esgotamento sanitário no Brasil e a poluição das águas

A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2017 (PNSB 2017) indica que dos 5570 municípios brasileiros apenas 3206, ou 57,6%, possuem algum tipo de coleta de esgotos; e que destes, 2049 municípios, ou 63,9%, tiveram extravasamentos de esgotos e as duas principais causas foram: obstrução parcial ou completa da rede, em 81,2% dos municípios; e episódios de chuva intensa em 78,9% dos municípios (BRASIL, 2020a). Parte dos lançamentos de carga poluidora deriva dos extravasamentos de águas residuárias das redes coletoras operando inadequadamente, e que podem ocorrer tanto em tempo seco quanto úmido.

Ainda de acordo com a PNSB 2017, 2584 municípios declararam possuir rede separadora, e 820 declararam ter rede unitária, números que representam 46,4% e 14,7% do total de municípios brasileiros, respectivamente (Tabela 1). Outros 2364 municípios não possuem rede de coleta, o que equivale a 42,4% dos municípios brasileiros (BRASIL, 2020a).

A Tabela 1 apresenta a estratificação dos municípios brasileiros segundo classes populacionais, assim como o tipo de rede coletora utilizada, sendo as opções aquelas chamadas de “Convencionais”: do tipo unitária (combinada) ou separadora; ou a Condominial (BRASIL, 2020a).

Tabela 1 – Número e percentual de municípios, com serviço de esgotamento sanitário por rede coletora em funcionamento, por tipo de rede coletora e tipo de rede convencional, e as classes de tamanho da população dos municípios – 2017

Classes de tamanho da população dos municípios	Municípios						
	Total geral	Com serviço de esgotamento sanitário por rede coletora em funcionamento					
		Total	Tipo de rede coletora				Condominial
			Convencional				
			Tipo de rede				
Unitária	% sobre Total geral	Separadora absoluta	% sobre Total geral				
Brasil	5 570	3 206	820	14,7%	2 584	46,4%	373
Até 5 000	1 235	532	127	10,3%	423	34,3%	18
De 5 001 a 10 000	1 215	610	179	14,7%	460	37,9%	18
De 10 001 a 20 000	1 352	763	230	17,0%	588	43,5%	56
De 20 001 a 50 000	1 103	731	188	17,0%	594	53,9%	96
De 50 001 a 100 000	355	280	64	18,0%	243	68,5%	68
De 100 001 a 500 000	268	249	27	10,1%	237	88,4%	96
Mais de 500 000	42	41	5	11,9%	39	92,9%	21

Fonte: adaptado de BRASIL (2020a).

Ressalta-se que alguns prestadores declararam a existência de mais de um tipo de rede coletora em operação em seus municípios, o que torna o somatório do número de municípios com rede de cada tipo superior ao total de municípios com algum tipo de serviço de coleta de esgotos sanitários.

A PNSB 2017 não especifica qual o tipo de sistema separador é considerado, porém supõe-se que se trate do sistema separador absoluto, uma vez que é o sistema predominante e legalmente aceito no Brasil.

Diante dos dados da PNSB apresentados, observa-se que uma parcela significativa dos municípios brasileiros (14,7%) possui implantadas redes de coleta de águas pluviais que recebem contribuições de esgotos, apesar de na maioria dos casos não serem dimensionadas como parte integrante de um SU e conseqüentemente, não direcionam essas cargas ao tratamento (BRASIL, 2020a). Isso implica que uma parcela importante da poluição das águas superficiais e dos solos tem origem em lançamentos difusos de esgotos em tubulações pluviais, por meio de ligações inadequadas.

Destaca-se que a maior parte dessas tubulações, consideradas como redes unitárias pela PNSB, não são dimensionadas para coleta e transporte de esgotos sanitários, o que leva a uma precariedade da operação dos serviços, podendo ser frequentes problemas de deposição de material nas tubulações, entupimentos, corrosões nas tubulações e mau-cheiro (VON SPERLING, 2017; VOLSCHAN, 2020).

De toda forma, esses sistemas unitários (ou combinados) garantem, em inúmeras localidades brasileiras, o afastamento dos esgotos, entretanto promovem continuamente o aporte de poluentes para os cursos de água.

Segundo Bernardes e Soares (2004), esse uso de redes unitárias precárias é consequência da falta de capacidade financeira para ampliação da rede de esgotos sanitários de algumas prefeituras, que acabam por permitir o uso da rede pluvial para o lançamento dos esgotos e, ainda que o sistema separador absoluto de esgotos seja implementado, a tarefa de retirada das ligações existentes da rede pluvial é tarefa difícil, o que leva à persistência das interconexões entre os sistemas e, conseqüentemente, à operação com diferentes níveis de carga de poluentes.

Ainda que a preponderância do sistema separador no país se reflita em todas as classes populacionais de municípios apresentadas pela PNSB, cabe salientar que este sistema ainda está ausente em mais de 50% dos municípios, e o sistema unitário persiste em 820 municípios, sendo que 32 deles possuem mais de 100 mil habitantes e destes, 5 municípios possuem mais de 500 mil habitantes.

Estes números jogam luz à problemática do serviço de coleta de esgotos no Brasil, apontando a magnitude da população, residente em municípios de diferentes portes, que não possui atendimento por este serviço público básico, e que possui atendimento por sistemas alternativos ao ideal que é a rede coletora separadora absoluta.

Além disso, a implantação das redes coletivas separadoras e a substituição dos sistemas unitários a fim de ampliar o atendimento por coleta e tratamento tem sido lenta, e heterogênea no Brasil, apesar dos recentes avanços. Importante mencionar que existe uma parcela da população, estimada em 12% (BRASIL, 2017a) que é atendida por sistemas estáticos adequados, como por exemplo, o conjunto tanque séptico, filtro e sumidouro, ou fossa absorvente, e que não dependem de rede coletora.

A PNSB 2017 indica também as extensões, em quilômetros, das redes coletoras existentes no Brasil por classes populacionais dos municípios, como se apresenta na Tabela 2 (BRASIL, 2020a).

Tabela 2 – Extensão e percentual da rede coletora de esgoto, por tipo de rede coletora e as classes de tamanho da população dos municípios – 2017

Classes de tamanho da população dos municípios	Extensão da rede coletora de esgoto (km)								
	Tipo de rede coletora						Condominial	% sobre o Total	
	Convencional					Condominial			% sobre o Total
	Total	Tipo de rede			% sobre o Total				
Unitária		% sobre o Total	Separador a absoluta	% sobre o Total					
Brasil	300 520	20 263	7%	277 355	92%	6 252	2%		
Até 5 000	5 007	729	15%	4 278	85%	34	0,7%		
De 5 001 a 10 000	9 792	1 451	15%	8 210	84%	115	1,2%		
De 10 001 a 20 000	20 963	3 047	15%	17 693	84%	286	1,4%		
De 20 001 a 50 000	41 741	3 870	9%	37 629	90%	457	1,1%		
De 50 001 a 100 000	35 548	3 587	10%	31 817	90%	1 740	4,9%		
De 100 001 a 500 000	98 518	3 696	4%	91 940	93%	1 803	1,8%		
Mais de 500 000	88 951	3 883	4%	85 788	96%	1 817	2,0%		

Fonte: adaptado de BRASIL (2020a).

Observa-se que as redes unitárias implantadas totalizam uma extensão de 20 263 km e as redes separadoras 277 355 km, demonstrando a disparidade de abrangência de cada tipo de sistema, onde a última representa mais de 92% do total. Apesar de as redes unitárias representarem apenas 7% das redes construídas, elas estão presentes em cerca de 15% dos municípios brasileiros e as separadoras com mais de 92% das extensões atendem a 46% dos municípios.

Destaca-se que quase 76% das redes separadoras se encontram implantadas em municípios com mais de 50 mil habitantes, restando 24% das redes aos municípios com populações inferiores. Percebe-se neste grupo de municípios menos populosos (até 50 mil habitantes) uma maior relevância das redes unitárias se comparado com os grupos com mais de 50 mil habitantes, já que representam em média 13% do total de redes; e no grupo de municípios mais populosos os sistemas unitários representam, em média, apenas 6% do total de redes de coleta.

Além disso, a Pesquisa ressalta a disparidade regional de implantação das redes, onde a região Sudeste concentra 61,7% das redes e 66% das ligações ativas (BRASIL, 2020a), enquanto a população desta região equivale a 42% da população nacional (BRASIL, 2020c).

Em relação ao número de domicílios particulares permanentes no Brasil a PNSB 2017 indica um aumento de 19,4% entre 2008 e 2017:

(...) dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios – PNAD 2008 e da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua – PNAD Contínua 2017, apontam que existiam 58,2 milhões e 69,5 milhões de domicílios particulares permanentes, respectivamente, no País (BRASIL, 2020a, p. 57).

Já no que diz respeito às economias ativas esgotadas, a PNSB 2017 aponta que no mesmo período, entre 2008 e 2017, a proporção de economias residenciais ativas esgotadas em relação ao total de domicílios particulares permanentes aumentou 7,2% no Brasil (BRASIL, 2020a).

A proporção de economias residenciais esgotadas da PNSB 2017 em relação aos domicílios particulares permanentes, provindos da PNAD Contínua 2017, foi maior do que 50% apenas em seis das 27 Unidades da Federação (UF), sendo elas: São Paulo,

Distrito Federal, Minas Gerais, Paraná, Espírito Santo e Goiás. E foi maior que 75% apenas em duas UFs: Brasília e São Paulo.

A PNSB 2017, no entanto, não apresenta dados acerca do número de ligações ou domicílios atendidos por cada tipo de esgotamento (unitário ou separador), informação que não é de simples obtenção uma vez que os sistemas combinados são muito precários e existem muitas ligações clandestinas. Desta forma, a análise se limita ao nível do quantitativo de municípios com cada tipo de rede, apresentada na Tabela 1.

Dito isso, não há dados nacionais acerca da população ou dos domicílios atendidos por rede unitária sob o critério da PNSB, ou seja, domicílios que interligam seus esgotos ao sistema de drenagem pluvial, ou mesmo aos sistemas unitários formais. No entanto é estimada a população nacional que contribui diariamente para poluição dos cursos de água por não ter seus esgotos tratados.

Segundo o Despoluição de Bacias Hidrográficas de 2017, elevadas cargas de esgotos são geradas diariamente no Brasil, e em termos de carga orgânica, mensuradas pela demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅), são estimadas 9098 t DBO₅/dia. Deste total, 60,6%, ou 5516 t DBO₅/dia, correspondem à carga remanescente lançada na natureza, em cursos de água ou sobre o solo, sendo que destas, 4064 t DBO₅/dia, ou 73,7%, não passam por tratamento. Parte dessa carga que não é tratada, 1655 t DBO₅/dia, corresponde a esgotos submetidos a coleta (BRASIL, 2017a).

Com relação ao tratamento de efluentes, a Pesquisa Nacional do Saneamento Básico de 2017 contabiliza o número de municípios que dispõem os efluentes tratados ou sem tratamento, dentre aqueles dotados de serviço de coleta (Tabela 3).

A PNSB considera tratamento de efluente qualquer processo que realize ao menos o tratamento preliminar completo: “remoção de sólidos grosseiros por meio de grades, a remoção da areia contida no esgoto por desarenadores, bem como a remoção de gordura por meio de caixas de retenção de óleos e graxas” (BRASIL, 2020a).

Tabela 3 – Municípios e percentuais com serviço de esgotamento sanitário por rede coletora em funcionamento e com disposição final do efluente tratado ou esgoto sem tratamento, por tipo de disposição, segundo as classes de tamanho da população dos municípios – 2017

Classes de tamanho da população dos municípios	Municípios						
	Total geral	Com serviço de esgotamento sanitário por rede coletora em funcionamento					
		Total	Com disposição final do efluente tratado ou esgoto sem tratamento				
			Total	Tipo de disposição			
			Efluente tratado	% sobre o Total geral	Esgoto sem tratamento	% sobre o Total geral	
Brasil	5 570	3 206	3 168	2 033	36,5%	1 588	28,5%
Até 5 000	1 235	532	528	287	23,2%	279	22,6%
De 5 001 a 10 000	1 215	610	605	316	26,0%	338	27,8%
De 10 001 a 20 000	1 352	763	756	434	32,1%	424	31,4%
De 20 001 a 50 000	1 103	731	719	510	46,2%	318	28,8%
De 50 001 a 100 000	355	280	277	229	64,5%	113	31,8%
De 100 001 a 500 000	268	249	242	217	81,0%	93	34,7%
Mais de 500 000	42	41	41	40	95,2%	23	54,8%

Fonte: adaptado de BRASIL (2020a).

De acordo com a Tabela 3, dentre os 3206 municípios brasileiros com rede de coleta, 2033 municípios tinham tratamento de esgotos e 1588 dispunham os esgotos coletados sem tratamento, valores que correspondem, respectivamente, a 36,5% e 28,5% do total de municípios brasileiros (5570). Isso significa que, dos municípios com rede coletora, 63,4% dispunham efluente tratado e 49,5% dispunham esgoto sem tratamento (BRASIL, 2020a).

Verifica-se que nos grupos populacionais mais elevados, acima de 20 mil habitantes, há maior número de municípios que realizam disposição de esgotos tratados. Os dados indicam que 95,2% dos 42 municípios com população acima de 500 mil habitantes possuem tratamento de esgotos. Deste total, 23 indicam dispor esgotos sem tratamento, ou seja, mais da metade das maiores cidades brasileiras fazem lançamentos de esgotos brutos na natureza. Embora o tratamento ainda seja pouco difundido no país, a PNSB indica, entre os anos de 2008 e 2017, evolução expressiva no número de municípios que possuem coleta e ao menos uma ETE em operação, saltando de 49,3% para 63,4% (BRASIL, 2020a).

O Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional divulga anualmente, por meio do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), e baseado nas informações fornecidas pelos prestadores de cada um dos municípios brasileiros, o diagnóstico relativo aos serviços urbanos dos quatro componentes do saneamento:

Abastecimento de Água; Esgotamento Sanitário; Manejo dos Resíduos Sólidos; e Drenagem e Manejo das Águas Pluviais.

No que tange ao diagnóstico dos serviços de esgotamento sanitário, o SNIS do ano 2021, indica que 4774 (85,7%) dos 5570 municípios forneceram informações, abrangendo 96,7% da população urbana de 174,9 milhões de habitantes. Nessas localidades 117,3 milhões de habitantes são atendidos por rede de esgotos, o que corresponde a um atendimento de 64,1% da população urbana nacional. O índice de tratamento dos esgotos gerados é calculado em 51,2%, e em relação aos esgotos coletados é de 80,8% (BRASIL, 2022).

Observa-se pelos dados apresentados que é grande o desafio brasileiro em ofertar serviços adequados de esgotamento sanitário. Apesar da evolução ocorrida nos últimos anos, a coleta e tratamento de esgoto ainda não está disponível para a maior parte da população, acarretando danos ambientais, sociais e de saúde pública.

1.2 As captações e tratamento em tempo seco das águas residuárias

De acordo com informações do Atlas Esgotos Despoluição de Bacias Hidrográficas, estima-se que para a universalização dos serviços de esgotamento sanitário no Brasil são necessários investimentos da ordem de R\$ 149,5 bilhões; sendo 101,9 bilhões em coleta de esgotos (considerando SSA) e R\$ 47,6 bilhões em tratamento de esgotos. Portanto, os investimentos em coleta representam 68% do total de recursos financeiros necessários para a universalização dos serviços de esgotamento sanitário (BRASIL, 2017a).

Diante desse cenário, algumas iniciativas foram realizadas no país, de forma alternativa às práticas hegemônicas de engenharia, no intuito de contornar os problemas dos elevados custos de implantação das redes separadoras, aumentar os índices de coleta e tratamento de esgotos e reduzir a poluição das águas superficiais de forma mais célere, através dos sistemas de captação e tratamento em tempo seco (CTTS) das águas residuárias que percorrem as redes de drenagem pluvial (MACHADO; BORJA; MORAES, 2013; CEDAE, 2018; CEDAE, 2020; VERÓL *et al.*, 2020; VOLSCHAN JR., 2020).

Também conhecidos apenas como sistema de tempo seco (STS) (PEREIRA; MATOS; FERREIRA, 2020), a captação e tratamento em tempo seco pressupõe o aproveitamento da infraestrutura de drenagem pluvial subterrânea implantada para coleta e transporte das águas residuárias, e desvio das mesmas para tratamento, transformando este sistema em um sistema temporário semelhante ao unitário. Embora alguns autores indiquem que este sistema seja de fato um sistema unitário, inclusive em termos de concepção e dimensionamento (BERNARDES; SOARES, 2004; GONÇALVES; KLEIDORFER; RAUCH, 2017), há menção de que o mesmo não deva ser considerado um sistema unitário formal (VOLSCHAN JR., 2020).

Cabe uma reflexão acerca da utilização dessa ação no nome do sistema aqui estudado: a captação. O ato de captar, na área do saneamento básico é largamente utilizada pela componente do abastecimento de água, e indica a ação de buscar a água bruta em um manancial como uma etapa inicial do sistema de produção de água, este que posteriormente realiza o tratamento e distribuição dessa água para consumo.

Conforme será discutido mais detalhadamente ao longo desta dissertação, outros nomes são utilizados para os sistemas de CTTS e poderiam se adequar melhor ao contexto dos sistemas de esgotamento sanitário, pois são mais recorrentes na área, como a “coleta” ou a “interceptação”.

O primeiro, coleta, é consagrado para designar a etapa de transporte dos esgotos desde o recebimento pelo coletor público até a interceptação; este que é o segundo termo, e que representa a etapa que se inicia após a coleta, visa reunir os esgotos coletados nas diferentes sub-bacias de drenagem e transferi-los ao tratamento. Apesar disso, optou-se por utilizar o termo captação, pois é difundido no meio técnico e acadêmico no Brasil em sistemas semelhantes, não obstante, ao longo do texto, outros termos sejam utilizados para descrever as ações realizadas pelas CTTS.

Cabe salientar que o termo mais usual relacionado com este tipo de abordagem no Brasil, a captação em tempo seco (CTS), se refere a uma intervenção pontual no SDP com a implantação de uma estrutura de desvio em tempo seco das águas residuárias lançadas na rede pluvial, para a rede sanitária existente a jusante. Neste trabalho, no entanto, chama-se de sistema de CTTS toda intervenção que intercepte águas residuárias em tempo seco em uma rede do SDP não projetada para estes afluentes,

ou seja, independentemente de haver SSA sanitário já implantado a jusante, considera-se uma CTTS qualquer SDP não concebido como SU, mas que é assumido e adaptado para transportar e tratar os esgotos combinados, e que pode demandar a inclusão de outras etapas além do desvio, interceptação, bombeamento e tratamento dos esgotos.

A CTTS dos efluentes sanitários que percorrem os elementos de drenagem pluvial é realizada a partir de adaptações construtivas realizadas neste sistema, e que podem ser feitas de diferentes maneiras. Fundamentalmente, são inseridas, em locais específicos da rede, estruturas como caixas de desvio ou interceptação, dotadas de barreira ou trincheira em seu fundo, capazes de desviar o fluxo das águas residuárias para uma tubulação de esgotos, de forma análoga ao que é feito em uma estrutura de CTS. A tubulação receptora das águas de tempo seco pode ser interceptora (também chamada de “cinturão”) ou coletora, utilizando-se da gravidade ou de bombeamento em estações elevatórias de esgotos (EEE). Esta tubulação, por sua vez, direciona os esgotos para uma estação de tratamento de esgotos (ETE). Desta maneira, objetiva-se, nos momentos de estiagem, ou “tempo seco”, captar e direcionar ao tratamento as águas residuárias que percorrem as redes pluviais. Nos momentos de chuvas intensas, que superem os limites de vazões estabelecidos no projeto de CTTS, as águas combinadas (esgotos, águas pluviais e de infiltração) galgam as estruturas da caixa de transição e seguem seu curso pelas tubulações pluviais até atingirem os canais ou corpos hídricos (DIAS; ROSSO, 2011; VOLSCHAN JR., 2020; PEREIRA; MATOS; FERREIRA, 2020; MORETTI; SILVA, 2021; LOPES; KUSTERKO; VOLSCHAN JR., 2023).

Alguns autores citam tabus que refletem em resistências no meio técnico quanto à utilização dos sistemas de tempo seco no Brasil, como o regime pluviométrico desfavorável (intensidade, duração e frequência das chuvas), aspectos decorrentes das comparações com o sistema separador absoluto e questões sobre planejamento, investimentos e responsabilidades da operação e da manutenção do sistema (BERNARDES; SOARES, 2004; PEREIRA; MATOS; FERREIRA, 2020).

As CTTS têm sido adotadas em cidades de diferentes portes, seguindo o princípio do gradualismo, como uma alternativa complementar e temporária para se buscar a

universalização no atendimento adequado por serviços de esgotamento sanitário (BERNARDES; SOARES, 2004; VERÓL *et al.*, 2020).

Conforme mencionado, o reconhecimento dos operadores do saneamento sobre a existência da coleta de esgotos por sistema unitário ocorre em 14,7% dos municípios brasileiros e, sabe-se que o percentual de municípios com interconexões, que coletam as águas residuárias por meio de redes pluviais tende a ser muito maior; portanto, verifica-se que pode haver um potencial para implantação dos sistemas de CTTS em uma parcela desconhecida dos municípios.

A Lei n.º 14.026 de 2020, que atualiza o marco legal do saneamento básico brasileiro, e pode indicar uma maior aceitação para os sistemas de CTTS quando indica que o sistema unitário é aceitável durante determinado período de planejamento de um SES (art. 44, § 3º) (BRASIL, 2020b).

Assim, embora a PNSB indique a existência dos sistemas unitários implantados no Brasil, a definição e aceitação dos mesmos em lei é recente (BRASIL, 2020b) e eles ainda não estão previstos em normas técnicas nacionais, as quais indicam a concepção e o projeto dos SES apenas para os sistemas separadores absolutos: NBR 9648 e NBR 9649 (ABNT, 1986a; ABNT, 1986b).

2 JUSTIFICATIVA

A discussão sobre alternativas técnicas para a coleta e tratamento de águas residuárias se mostra relevante na medida que os déficits de atendimento da população brasileira por estes serviços de saneamento ainda são elevados, a despeito dos avanços das últimas décadas.

O contexto brasileiro, marcado por suas heterogeneidades (demográficas, culturais, geográficas, climáticas, oferta de infraestruturas e de serviços de saneamento, e disponibilidade de recursos humanos, técnicos e financeiros) pode indicar que soluções alternativas, ou não convencionais, sejam adequadas em determinados locais e situações, seguindo o princípio do “estímulo à pesquisa, ao desenvolvimento, e à utilização de tecnologias apropriadas” e a “adoção de soluções graduais e progressivas” (art. 2º, VIII, Lei n.º 14.026 de 2020).

Embora o sistema separador absoluto seja a solução de coleta e transporte de esgotos recomendada para concepção de sistemas de esgotamento sanitário, observa-se a persistência das interconexões entre os sistemas de coleta de esgotos e de drenagem pluvial, em grande parte pelas ligações clandestinas, o que compromete a eficiência e o desempenho dos sistemas de esgotamento coletivos e, conseqüentemente, impacta negativamente o meio ambiente e a saúde pública (GEHLING; BENETTI, 2005).

Nesse sentido, a pesquisa se propõe a fazer uma análise crítica dos sistemas de CTTS que, embora tenham sido mais difundidos recentemente no Brasil (GONÇALVES; KLEIDORFER; RAUCH, 2017; CEDAE, 2018; CEDAE, 2020; VOLSCHAN JR., 2020; PEREIRA; MATOS; FERREIRA, 2020), ainda carecem de normatização, consenso no meio técnico-científico e são pouco estudados no meio acadêmico.

Esta pesquisa não tem a pretensão esgotar as discussões sobre os diferentes aspectos das CTTS, contudo visa contribuir para a sistematização da tecnologia a partir de uma investigação baseada em uma revisão de literatura. Nesse sentido, esta dissertação pode cooperar para avanços dos Sistemas de Esgotamento Sanitário no Brasil e, conseqüentemente, promover melhorias na saúde pública, na qualidade de vida e nas condições ambientais.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Analisar o sistema de captação e tratamento de águas residuárias em tempo seco como alternativa complementar para o sistema de esgotamento do tipo separador absoluto.

3.2 Objetivos Específicos

- a) Analisar criticamente o estado da arte a respeito da captação e tratamento de águas residuárias em tempo seco como parte da solução para os problemas de carência de redes coletoras sanitárias e de interconexões de esgotos no sistema de drenagem pluvial.

- b) Analisar as publicações obtidas por meio de análise bibliométrica a fim de identificar a evolução das pesquisas que abordam os sistemas de captação e tratamento de águas residuárias em tempo seco, assim como a recorrência de locais, autores, periódicos, universidades e instituições de pesquisa.
- c) Identificar e discutir parâmetros, indicadores e critérios relacionados aos aspectos técnicos, econômicos, ambientais e sociais utilizados no emprego dos sistemas de captação e tratamento de águas residuárias em tempo seco.
- d) Contribuir para a discussão nacional sobre os sistemas de captação e tratamento de águas residuárias em tempo seco no contexto das recentes alterações propostas pelo novo marco legal do saneamento (Lei n.º 14.026/2020).

4 METODOLOGIA

4.1 Identificação do problema

O problema de pesquisa advém das discussões e ações recentes sobre a captação e tratamento de águas residuárias em tempo seco, que vem sendo utilizada como uma alternativa técnica, complementar e/ou temporária, à implantação exclusiva dos Sistemas Separadores Absolutos de drenagem para o planejamento de um Sistema de Esgotamento Sanitário. Como apresentado anteriormente, essa técnica foca no controle dos esgotos lançados nas redes de drenagem pluvial, seja pela inexistência da rede de coleta sanitária específica ou pelas conexões de esgotos sanitários nas tubulações de drenagem pluvial onde também há o sistema separador implantado (BAHIA, 2011a; BAHIA, 2011b; MACHADO; BORJA; MORAES, 2013; VERÓL *et al.*, 2020; VOLSHAN JR., 2020).

A fim de compreender o problema descrito acima a pesquisa foi guiada pela seguinte pergunta:

Como o sistema de captação e tratamento de águas residuárias em tempo seco tem sido empregado para controle da poluição e proteção da saúde pública, minimizando problemas decorrentes dos baixos índices de cobertura por rede de esgotamento sanitário e das conexões de esgotos sanitários em sistemas de drenagem urbana?

A pergunta de pesquisa elaborada visa buscar as publicações que abordem as CTTS em situações nas quais há interconexões de esgotos na drenagem, ilícitas ou não.

4.2 Método de pesquisa

A presente pesquisa foi desenvolvida por meio de uma revisão integrativa da literatura (WHITTEMORE; KNALF, 2005; SOUZA; SILVA; CARVALHO, 2010) como ferramenta de estudo para o tema de pesquisa. A aplicação deste método de revisão de literatura busca a compreensão sobre como as pesquisas científicas têm investigado e desenvolvido discussões acerca das captações e tratamento de águas residuárias em tempo seco considerando seu funcionamento como uma alternativa complementar ao sistema separador absoluto de esgotos.

A revisão integrativa “determina o conhecimento atual sobre uma temática específica, já que é conduzida de modo a identificar, analisar e sintetizar resultados de estudos independentes sobre o mesmo assunto” (SOUZA; SILVA; CARVALHO, 2010, p. 103). Para Whittemore e Knalf (2005, *apud* SOUZA; SILVA; CARVALHO, 2010) a revisão integrativa:

(...) é a mais ampla abordagem metodológica referente às revisões, permitindo a inclusão de estudos experimentais e não-experimentais para uma compreensão completa do fenômeno analisado. Combina também dados da literatura teórica e empírica, além de incorporar um vasto leque de propósitos: definição de conceitos, revisão de teorias e evidências, e análise de problemas metodológicos de um tópico particular. (WHITTEMORE; KNALF, 2005 *apud* SOUZA; SILVA; CARVALHO, 2010 p.103).

A metodologia da revisão integrativa de literatura pressupõe a realização das seguintes etapas: identificação do problema, que inclui a preparação da pergunta de pesquisa; busca de literatura; avaliação da literatura incluída; coleta e extração de dados; análise crítica os dados extraídos da literatura incluída e apresentação dos resultados (WHITTEMORE; KNALF, 2005; SOUZA; SILVA; CARVALHO, 2010).

4.3 Busca de literatura

A partir da formulação da pergunta de pesquisa e definida o método de pesquisa como revisão integrativa da literatura, faz-se necessária a construção de uma estratégia de busca específica que seja ao mesmo tempo precisa e robusta para que a recuperação

da literatura nas bases de dados seja adequada aos problemas e objetivos da pesquisa (ARAÚJO, 2020).

Como estratégia de busca escolheu-se a chamada estratégia “PICo”, cujo acrônimo se refere a Problema (P), fenômeno de Interesse (I) e Contexto (Co), respectivamente, e que possui sensibilidade para recuperação de pesquisas do tipo qualitativa (ARAÚJO, 2020; um, 2022).

A estratégia é composta por três blocos de palavras, sendo um para cada acrônimo da sigla PICo, e a construção se baseia-se na técnica desenvolvida por Araújo (2020) que se estrutura em cinco etapas: extração; conversão; combinação; construção; e uso, sistematizadas no Quadro 1.

O uso do esquema lógico apresentado pela técnica de Araújo (2020) aliada à estratégia PICo visa, ao final das cinco etapas, a obtenção do *string* (termo) de busca para inserção nas bases de dados.

Quadro 1 – Etapas da construção da estratégia de busca

Etapas		P (Problema)	I (Interesse)	Co (Contexto)
Etapa 1	Extração	Extração dos termos mais importantes que compõem os objetivos, problema e pergunta de pesquisa		
Etapa 2	Conversão	Conversão/ adequação e tradução dos termos extraídos utilizando vocabulário controlado, quando adequado		
Etapa 3	Combinação	Combinação dos descritores com termos em linguagem natural, sinônimos, variantes semânticas e de grafia, etc.		
Etapa 4	Construção	Montagem do <i>string</i> de busca utilizando operadores booleanos e caractere "coringa"		
Etapa 5	Uso	Escolha, testes e uso em uma base de dados		

Fonte: adaptado de Araújo (2020).

A etapa 1, “Extração”, busca converter os objetivos, problema e pergunta de pesquisa em palavras e termos que reflitam cada um dos blocos que compõem o Problema (P), o Interesse (I) e o Contexto (Co) (ARAÚJO, 2020).

A etapa 2, “Conversão”, visa a adequação dos termos da etapa anterior, traduzindo-os para o idioma de interesse, se for o caso, e convertendo-os para descritores e palavras de vocabulário controlado quando houver (ARAÚJO, 2020). Para o

vocabulário controlado utilizou-se como referência o tesouro da Biblioteca Virtual de Saúde Ambiental (BVSA) (BVSA, 2005) e os descritores da Biblioteca Virtual em Saúde (BVS) (BVS, 2022).

Na etapa 3, “Combinação”, são acrescentados termos em linguagem natural, que são as palavras usuais naquele contexto, mas que não são descritores e não compõem um tesouro, além disso são incluídos sinônimos, variações semânticas e de grafia a fim de alargar a recuperação de publicações (ARAÚJO, 2020). Nesta etapa de “Combinação”, foram simuladas buscas nas diferentes bases indexadoras com variações e sinônimos das palavras a fim de se escolher aquelas que recuperassem o maior número de publicações, portanto, que gerassem buscas robustas e ao mesmo tempo direcionadas para o tema.

Na etapa 4, “Construção”, são organizados cada um dos termos dos três blocos do *strings* de busca, utilizando-se dos operadores booleanos, no caso o “OR” (“ou”), além do acréscimo de conectores “coringas” que podem ser utilizados em algumas bases a fim de reduzir o número de palavras do *string* e ao mesmo tempo alargar a busca para palavras derivadas de uma mesma raiz, como por exemplo: esgot*, que abrange várias palavras com sufixos diferentes como esgoto, esgotos, esgotamento.

Na última etapa, de número 5, “Uso”, faz-se a montagem do *string* a partir da junção dos três blocos do PICo a partir do operador booleano “AND” (“e”). Este *string* é o que será utilizado nas bases indexadoras para a busca de literatura.

Optou-se por buscar publicações em dois idiomas, inglês e português, a fim de abarcar o tema a nível mundial, assim como captar os trabalhos desenvolvidos em âmbito nacional. Desta forma, a estratégia PICo foi desenvolvida duas vezes, uma para cada idioma, e as tabelas completas com as etapas da estruturação das mesmas são apresentadas no Quadro 2 em inglês e no Quadro 3 em português.

Quadro 2 – Etapas estruturação da “Estratégia PICO” para criação do *string* em inglês

Etapa	P (Problema)	I (fenômeno de Interesse)	Co (Contexto)
Extração	sistemas separadores ineficazes; interconexões; conexões ilícitas, conexões ilegais	sistema de esgotamento sanitário; saneamento; rede de esgoto; esgoto	captação e tratamento de águas residuárias em tempo seco; sistema unitário; sistema combinado; sistema separador; sistema de drenagem
Conversão	non-effective separate systems; misconnections; illicit connections, illegal connections	sewage system; sanitation; sewer; sewage	combined system; stormwater sewer; drainage system
Combinação	misconnection; misconnected; "cross-connection"; "cross-connected"; interconnection; interconnected; interconnect; "sewer connection"; "sewage connection"; "connected sewage"; "connected sewer"; "sewer connect"; interlinkage; interlinked; "inappropriate connection"; "inappropriate sewage"; "inappropriate sewer"; "illicit connection"; "illicit sewage"; "illicit sewer"; "illegal connection"; "illegal sewage"; "illegal sewer"	wastewater; sewage; sewer	"separate sewer"; "combined sewer"; "combined sewage"; "storm drain"; "separate storm"; "stormwater drainage"; "storm drainage"
Construção	(misconnection OR misconnected OR "cross-connection" OR "cross-connected" OR interconnection OR interconnected OR interconnect OR "sewer connection" OR "sewage connection" OR "connected sewage" OR "connected sewer" OR "sewer connect" OR interlinkage OR interlinked OR "inappropriate connection" OR "inappropriate sewage" OR "inappropriate sewer" OR "illicit connection" OR "illicit sewage" OR "illicit sewer" OR "illegal connection" OR "illegal sewage" OR "illegal sewer")	(wastewater OR sewage OR sewer)	("separate sewer" OR "combined sewer" OR "combined sewage" OR "storm drain" OR "separate storm" OR "stormwater drainage" OR "storm drainage")
Uso (<i>string</i>)	(misconnection OR misconnected OR "cross-connection" OR "cross-connected" OR interconnection OR interconnected OR interconnect OR "sewer connection" OR "sewage connection" OR "connected sewage" OR "connected sewer" OR "sewer connect" OR interlinkage OR interlinked OR "inappropriate connection" OR "inappropriate sewage" OR "inappropriate sewer" OR "illicit connection" OR "illicit sewage" OR "illicit sewer" OR "illegal connection" OR "illegal sewage" OR "illegal sewer") AND (wastewater OR sewage OR sewer) AND ("separate sewer" OR "combined sewer" OR "combined sewage" OR "storm drain" OR "separate storm" OR "stormwater drainage" OR "storm drainage")		

Fonte: autoria própria (2023).

Quadro 3 – Etapas estruturação da “Estratégia PICO” para criação do *string* em português

Etapa	P (Problema)	I (fenômeno de Interesse)	Co (Contexto)
Extração	sistemas separadores ineficazes; interconexões; conexões ilícitas, conexões ilegais	sistema de esgotamento sanitário; saneamento; rede de esgoto; esgoto	captação e tratamento de águas residuárias em tempo seco; sistema unitário; sistema combinado; sistema separador; sistema de drenagem
Conversão	sistemas separadores ineficazes; interconexões; conexões ilícitas, conexões ilegais	sistema de esgotamento sanitário; saneamento básico; redes de esgoto; esgotos; águas residuárias	captação e tratamento de águas residuárias em tempo seco; sistema unitário; sistema combinado; sistema separador; sistema de drenagem
Combinação	"conexão cruzada"; interconexão; interconectado; "conexão de tubo"; "conexão de tubulação"; "conexão de esgoto"; "esgoto conectado"; "tubo conectado"; "conexão de rede"; interligação; interligado; "conexão inapropriada"; "esgoto inapropriado"; "conexão ilícita"; "esgoto ilícito"; "tubulação ilícita"; "conexão ilegal"; "esgoto ilegal"; "rede ilegal"; "tubulação ilegal"; "ligação clandestina"; "esgoto clandestino"	esgoto; "águas residuárias"; "águas residuais"; "rede coletora"; coletor	"rede separadora"; "sistema separador"; "sistema separador absoluto"; "rede combinada"; "sistema combinado"; "rede unitária"; "sistema unitário"; "captação em tempo seco"; "sistema de tempo seco"
Construção	("conexão cruzada" OR interconexão OR interconectado OR "conexão de tubo" OR "conexão de tubulação" OR "conexão de esgoto" OR "esgoto conectado" OR "tubo conectado" OR "conexão de rede" OR interligação OR interligado OR "conexão inapropriada" OR "esgoto inapropriado" OR "conexão ilícita" OR "esgoto ilícito" OR "tubulação ilícita" OR "conexão ilegal" OR "esgoto ilegal" OR "rede ilegal" OR "tubulação ilegal" OR "ligação clandestina" OR "esgoto clandestino")	(esgoto OR "águas residuárias" OR "águas residuais" OR "rede coletora" OR coletor)	("rede separadora" OR "sistema separador" OR "sistema separador absoluto" OR "rede combinada" OR "sistema combinado" OR "rede unitária" OR "sistema unitário" OR "captação em tempo seco" OR "sistema de tempo seco")
Uso (<i>string</i>)	("conexão cruzada" OR interconexão OR interconectado OR "conexão de tubo" OR "conexão de tubulação" OR "conexão de esgoto" OR "esgoto conectado" OR "tubo conectado" OR "conexão de rede" OR interligação OR interligado OR "conexão inapropriada" OR "esgoto inapropriado" OR "conexão ilícita" OR "esgoto ilícito" OR "tubulação ilícita" OR "conexão ilegal" OR "esgoto ilegal" OR "rede ilegal" OR "tubulação ilegal" OR "ligação clandestina" OR "esgoto clandestino") AND (esgoto OR "águas residuárias" OR "águas residuais" OR "rede coletora" OR coletor) AND ("rede separadora" OR "sistema separador" OR "sistema separador absoluto" OR "rede combinada" OR "sistema combinado" OR "rede unitária" OR "sistema unitário" OR "captação em tempo seco" OR "sistema de tempo seco")		

Fonte: autoria própria (2023).

O *string* gerado na etapa 5 de “Uso”, para o idioma inglês é apresentado no Quadro 4, onde destacam-se, em itálico, os operadores booleanos “AND”, usados duas vezes para fazer a ligação entre os três blocos de palavras.

Quadro 4 – *String* de busca de dados em inglês

Etapa 5 Uso	(misconnection OR misconnected OR "cross-connection" OR "cross-connected" OR interconnection OR interconnected OR interconnect OR "sewer connection" OR "sewage connection" OR "connected sewage" OR "connected sewer" OR "sewer connect" OR interlinkage OR interlinked OR "inappropriate connection" OR "inappropriate sewage" OR "inappropriate sewer" OR "illicit connection" OR "illicit sewage" OR "illicit sewer" OR "illegal connection" OR "illegal sewage" OR "illegal sewer") <i>AND</i> (wastewater OR sewage OR sewer) <i>AND</i> ("separate sewer" OR "combined sewer" OR "combined sewage" OR "storm drain" OR "separate storm" OR "stormwater drainage" OR "storm drainage")
------------------------------	---

Fonte: autoria própria (2023).

A técnica de “captação em tempo seco” não possui uma tradução análoga que seja difundida em inglês, portanto a estratégia visou abranger os sistemas de drenagem de forma ampla, sendo incluídas palavras que abarquem os tipos de esgotamento, sanitário e pluvial. Já em português, incluiu-se o termo “captação em tempo seco” por ser o mais difundido no Brasil assim como outras variantes: “sistema de tempo seco”, “sistema unitário” e “sistema combinado”.

Para a busca realizada em português, o *string* foi simplificado, pois a adoção de três blocos de palavras restringiu em demasia a recuperação de dados em todas as bases de dados (Quadro 5). Para lidar com essa limitação, optou-se por usar apenas o terceiro bloco de palavras (Co: Contexto), mesmo que esta simplificação retorne um grande número de publicações, alargando o espectro de áreas de estudo, porém com menor assertividade para o tema, e conseqüentemente gere maior rejeição de trabalhos. Tal estratégia é indicada por Marcos-Pablos e García-Peñalvo (2018, *apud* Araújo, 2020, p.106): “Em casos mais específicos é necessário ampliar o escopo da pesquisa e, conseqüentemente, obtém-se uma infinidade de resultados irrelevantes.”.

Quadro 5 – *String* simplificado de busca de dados em português

Etapa 5 Uso (<i>string</i> simplificado)	("rede separadora" OR "sistema separador" OR "sistema separador absoluto" OR "rede combinada" OR "sistema combinado" OR "rede unitária" OR "sistema unitário" OR "captação em tempo seco" OR "sistema de tempo seco")
---	---

Fonte: autoria própria (2023).

Para a operacionalização da busca de literatura utilizou-se como referência a metodologia PRISMA (2020), cuja formulação é difundida para uso em revisões bibliográficas do tipo sistemática, e que são adaptadas para a presente metodologia de revisão integrativa.

Abaixo, na Figura 1 apresenta-se o fluxograma criado a partir das etapas que compõem a referida metodologia: *Identificação*; *Filtragem*; e *Inclusão* das publicações (PRISMA, 2020).

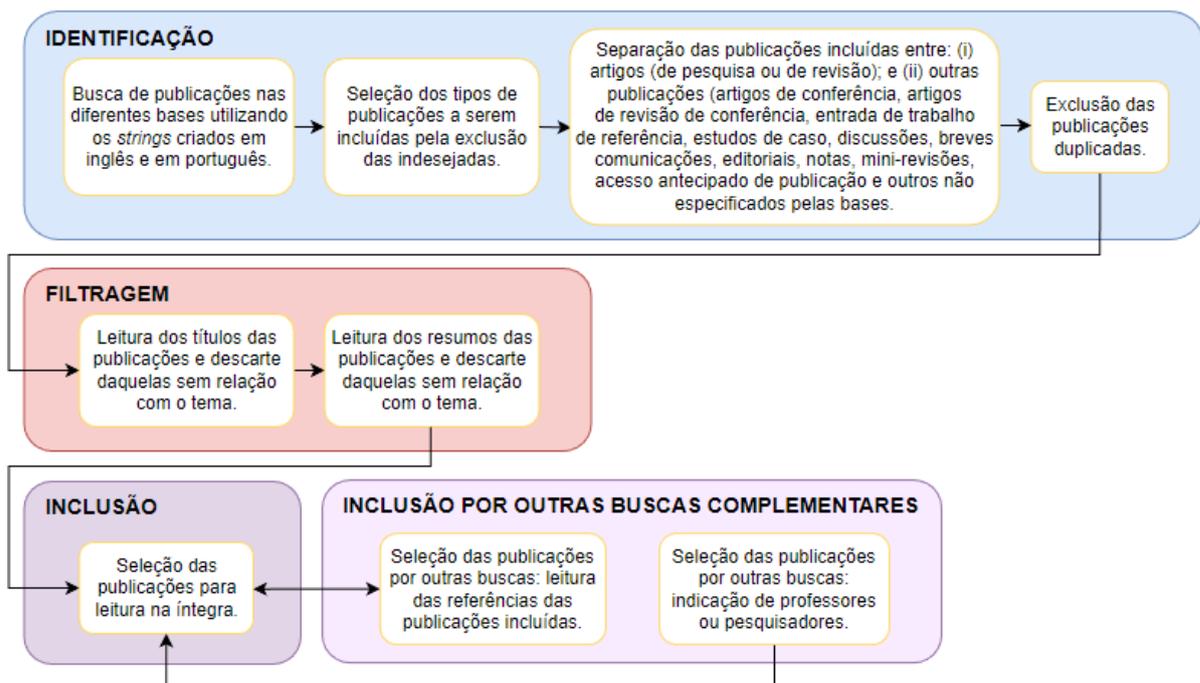


Figura 1 – Fluxogramas das fases de que compõem cada etapa para a recuperações das publicações a serem lidas.

Fonte: autoria própria (2023).

4.3.1 Identificação

No presente trabalho, considerou-se na etapa de Identificação as fases de inserção dos *strings* de busca nas bases indexadoras de literatura, extração das listas de publicações baseado nos critérios pré-estabelecidos, e organização das listas finais que reúnem as informações das publicações e que serão submetidas à leitura dos títulos, resumos e posteriormente o texto na íntegra.

A primeira fase da Identificação é a definição das bases indexadoras que serão utilizadas na busca. Para a pesquisa em inglês foram utilizadas as seguintes bases:

Science Direct, Scopus, Springer Link, Web of Science, Wiley Library, Embase, PubMed e PubMed Central. Na pesquisa em português, a fim de alargar a recuperação de publicações, além destas bases foram utilizadas também: *Scientific Eletronic Library Online (SciELO) e o portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).*

As bases indexadoras possibilitam a seleção das publicações por meio de uma filtragem inicial que agrupa os tipos de publicações, e a partir da qual optou-se por excluir, ou seja, não selecionar as publicações classificadas em tipos que não seriam avaliados, entre os quais: enciclopédias, livros, capítulos de livros, anais de conferência, trabalho de referência, notícias, revisão de produtos e erratas.

Deste modo a recuperação inicial permitiu a identificação e separação das publicações de interesse, classificadas nos seguintes tipos: (i) artigos, que incluem artigos de pesquisa e artigos de revisão; (ii) outras publicações, que incluem artigos de conferência, artigos de revisão de conferência, entrada de trabalho de referência, estudos de caso, discussões, breves comunicações, editoriais, notas, mini-revisões, acesso antecipado de publicação e outros não especificados pelas bases.

Esta distinção visa possibilitar a identificação dos artigos que, *a priori*, devem se enquadrar como publicações de maior relevância científica em termos de qualidade metodológica, uma vez que passam por revisão por pares e que são reconhecidas por organizações e pela comunidade científica como tal; e conseqüentemente, os achados que se apresentam nessas publicações poderão ter maior relevância na apresentação dos resultados encontrados. Desta forma esta categorização auxilia a avaliação da qualidade das publicações.

As informações extraídas das bases indexadoras possuem diferentes campos, cujos preenchimentos podem variar em cada base e em função dos dados individuais disponibilizados para cada publicação. Em geral, as seguintes principais informações são apresentadas: nome dos autores; nome da publicação; ano da publicação, revista/periódico; tipo de publicação; volume; número; páginas; resumo; palavras-chave; editora; *link* para a publicação; o próprio arquivo da íntegra da publicação em arquivo .PDF; data de acesso; e número do *Digital Object Identifier* (DOI). Além disso, outros campos são apresentados, porém eles não são de interesse para a pesquisa,

como: *tags*; chave de citação; número do *International Standard Serial Number* (ISSN); e o número do *PubMed Unique Identifier* (PMID).

As referidas listas de artigos de cada base indexadora, em formato de arquivo “.ris”, foram importadas e trabalhadas no programa computacional *Mendeley Desktop* (*Mendeley*) - versão 1.19.8 (2022). Este programa permitiu a manipulação inicial das informações sobre as publicações, com a conferência e a padronização das mesmas nos campos corretos, inclusão de dados faltantes, assim como análise das publicações repetidas, que foram excluídas.

O programa *Mendeley* permite a unificação das listas de publicações vindas das diferentes bases, e com isso gerou-se quatro listas finais de publicações, sendo uma para (i) artigos e outra para (ii) outras publicações, para cada um dos idiomas pesquisados, inglês e português.

4.3.2 Filtragem

A etapa de Filtragem visa a análise das quatro listas de literatura geradas na etapa de Identificação a fim de definir aquelas publicações que tem interesse para a leitura completa e posterior extração de dados para a pesquisa.

As quatro listas de artigos foram exportadas no programa *Mendeley* em formato de arquivo “.ris” e importadas no programa computacional *Rayyan* (2022). O *Rayyan* é uma plataforma livre, disponibilizada *on-line* na internet e desenvolvida para dar velocidade e acurácia na etapa de Filtragem das publicações buscadas e que foi desenvolvida para uso em revisões sistemáticas (OUZZANI *et al.*, 2016). A plataforma é destinada à leitura dos títulos e/ou resumos das publicações e seleção daquelas que ao fim serão submetidas à leitura na íntegra.

O programa apresenta a lista de publicações com as informações mais relevantes nesta etapa e permite atribuir facilmente as ações de “excluir”, “incluir” ou “talvez incluir” a cada uma das publicações à medida que as informações são lidas. Inicialmente leu-se apenas os títulos de todas as publicações, excluindo-se aquelas que nitidamente não tinham relação com o tema desta pesquisa: captação e tratamento de águas residuárias em tempo seco. As publicações não excluídas

(selecionadas com as opções como “incluir” ou “talvez incluir”) são novamente exportadas em uma nova lista que na sequência permite que seus resumos sejam lidos. Nesta fase excluiu-se as publicações que não tinham relação com o tema, nem com os três blocos de palavras advindas da pergunta de pesquisa.

4.3.3 Inclusão

Na etapa seguinte, de Inclusão (Figura 1), estão reunidas as publicações remanescentes, não excluídas, que compõem o rol de literatura incluída para leitura de seu conteúdo na íntegra, e sujeitas à análise do conteúdo e à coleta e extração de dados para posterior análise crítica.

Quando da obtenção da íntegra destas publicações, identificou-se aquelas que não poderiam ser lidas devido a diferentes motivos: a publicação não se encaixa nos grupos pré-estabelecidos de artigos e de outras publicações, o idioma da publicação não era o inglês nem o português, e a publicação não se encontrava disponível livremente na internet, necessitando a compra da publicação.

A Inclusão teve ainda a complementação de literatura selecionada a partir de outras buscas de literatura, como pela leitura das listas de referências bibliográficas de cada publicação selecionada e pela pesquisa por publicações específicas indicadas por pesquisadores e profissionais da área de saneamento e recursos hídricos, sejam elas (i) artigos, (ii) outras publicações ou ainda livros e relatórios e manuais de referência sobre os diferentes sistemas de esgotamento e que visaram adicionar entendimento aos sistemas de esgotamento sanitário e principalmente relacionados ao tema da captação e tratamento em tempo seco.

As buscas complementares visam a obtenção de publicações não alcançadas por meio da busca eletrônica nas referidas bases indexadoras e em relação à busca a partir da leitura das referências, as mesmas se baseiam no interesse pelo contexto das citações dos autores, assim como pelos títulos das publicações, contidas na lista de referências, e confirmado com a leitura dos resumos das mesmas (WHITTEMORE; KNALF, 2005).

4.4 Avaliação da literatura incluída

A avaliação da literatura é baseada em uma classificação hierárquica das publicações que leva em consideração o periódico onde foi publicado cada trabalho de acordo com a classificação atribuída a ele no Qualis Periódicos da CAPES. Assim como considera o nível de evidência utilizado no estudo.

A avaliação dada pelo Qualis Periódicos da CAPES, possui 7 classificações: A1, A2, B1, B2, B3, B4, B5, sendo a classificação A1 a mais elevada que um periódico pode receber e B5 a mais baixa; e há ainda a classificação C, destinada às publicações que não configurem periódicos científicos ou que não atendam aos critérios mínimos para ser classificado, tendo a pontuação zero. A pesquisa é realizada na Plataforma Sucupira e a Área de Avaliação de interesse é a Engenharias I, que abrange as publicações relacionadas à Engenharia Sanitária (BRASIL, 2023; BARATA, 2016).

A classificação foi obtida para os três quadriênios disponíveis: 2010 a 2012; 2013 a 2016; e 2017 a 2020. Às publicações anteriores e posteriores a estes períodos foi assumida a classificação do quadriênio mais próximo. Para as publicações em que não havia classificação alguma, atribuiu-se o valor NA e a estas, serão realizadas análises subjetivas da qualidade das publicações a partir da leitura das mesmas.

Além disso, os trabalhos que se referem a artigos de pesquisa e artigos de revisão, publicados em revistas e periódicos revisado por pares, tendem a ter maior relevância e peso no processo de avaliação da literatura e, conseqüentemente, na consideração para a análise crítica das informações extraídas se comparados com os trabalhos que são classificados com outras publicações.

Nesta etapa é realizada também a análise bibliométrica das publicações a fim de estudar os aspectos quantitativos básicos da produção acadêmica e para a qual são analisados os quantitativos sobre os periódicos e eventos onde a literatura incluída para leitura foi publicada, o número de publicações por autor, a distribuição das publicações ao longo dos anos, assim como as instituições vinculadas às publicações (RIBEIRO, 2017).

4.5 Coleta e extração de dados

Os dados e informações contidas nas publicações são extraídos para uma ferramenta do tipo tabela, construída para este fim, onde cada linha corresponde a um trabalho incluído e nas colunas são inseridas as informações relevantes sobre os CTTS.

Dentre as publicações selecionadas para a leitura, são extraídos dados daquelas que abordam os sistemas de CTTS como principal temática. As publicações que apenas mencionam os sistemas de CTTS tem extraídas as informações que se referem aos sistemas.

Um resumo com o conteúdo da extração de dados, incluindo o que diz respeito aos aspectos técnicos, econômicos, ambientais, sociais e legais/ institucionais, é apresentado no Quadro 6.

Quadro 6 – Informações extraídas das publicações

Dados														
Idioma do <i>string</i> de busca		Nome do periódico/ evento científico			Tipo da publicação		Principal temática		Conclusões					
Título		Classificação qualitativa periódico/ evento científico			Tipo de abordagem		Palavras-chave		Discussões					
Autor		Universidades/ instituições de pesquisa			Estudo de caso		Objetivos		Resultados					
Ano		Local das universidades/ instituições de pesquisa			Local do estudo de caso		Metodologia		Recomendações					
Aspectos														
Técnicos							Econômicos			Sociais		Ambientais	Legais / normativos / institucionais	
Nome da técnica CTTS	Concepção/ Dimensionamento	Sistema de coleta/ interceptação	Sistema de elevação	Sistema de tratamento	Relação com SSA e SC	Operação e Manutenção	Eficiência	Aspectos gerais	CAPEX / OPEX	Tarifa/ cobrança	Aspectos gerais	Saúde Pública	Aspectos gerais Requisitos Parâmetros	Aspectos gerais Instrumento/ número/ ano Instituição/ órgão público

Fonte: autoria própria (2023).

4.6 Análise crítica dos dados e apresentação da revisão integrativa

As informações extraídas das publicações foram submetidos à análise crítica, com o objetivo de identificar as consistências, potenciais melhorias e desdobramentos, assim como as carências, omissões, imprecisões e outras problemáticas (TORRACO, 2005; TORRACO, 2016).

Além disso, as informações qualitativas foram analisadas através da classificação do material por partes, identificando as convergências e divergências, e buscando por padrões e tendências, abordagem denominada por Lüdke e André (1986) como análise descritiva qualitativa.

A revisão integrativa deve ser apresentada de forma clara e completa, utilizando-se de meios gráficos, quadros e tabelas, a fim de permitir a análise dos resultados de forma objetiva.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Apresenta-se a seguir os resultados obtidos através do emprego da metodologia apresentada. Os resultados estão sistematizados em: resultados da busca de publicações; avaliação da literatura incluída; coleta e extração de dados; análise crítica dos dados e apresentação da revisão integrativa.

5.1 BUSCA DE LITERATURA

A busca de literatura nas bases indexadoras selecionadas é sintetizada nas figuras abaixo, as quais apresentam as três etapas: Identificação, Filtragem e Inclusão. A Figura 2 corresponde à busca utilizando-se o *string* em inglês e a Figura 3 utilizando-se o *string* em português.

Os fluxogramas apresentam os números de publicações identificadas em cada base, a separação entre os dois tipos de publicação: (i) artigos (A); e (ii) outras publicações (OP), e os quantitativos de publicações excluídas e incluídas em cada etapa.

Na última etapa, Inclusão, são apresentados ainda, na cor verde, os fluxogramas com os quantitativos de publicações adicionadas para leitura por meio de outras buscas: leitura das referências das publicações; e indicação de pesquisadores e profissionais.

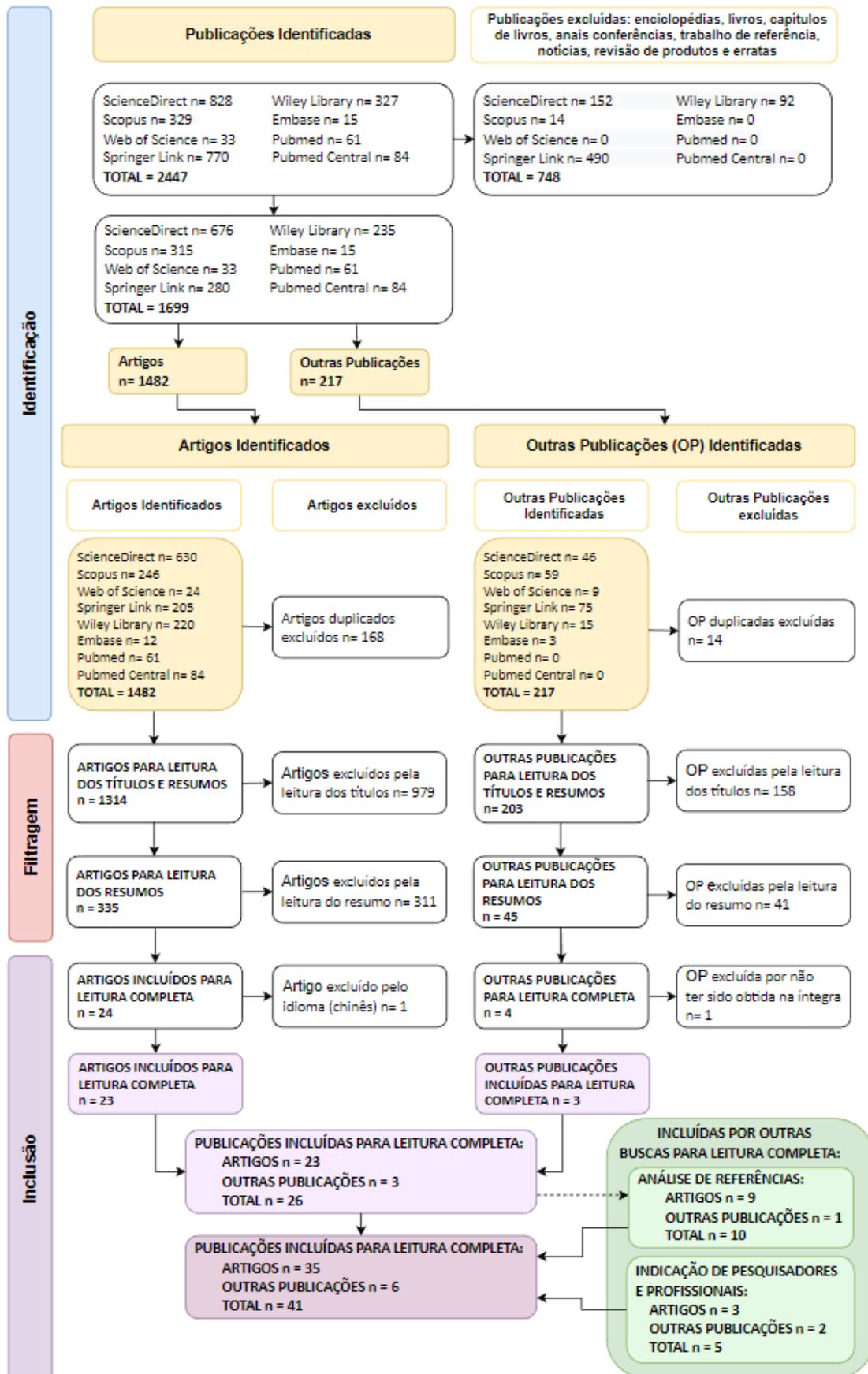


Figura 2 – Fluxograma de identificação, filtragem e inclusão de artigos e outras publicações obtidas utilizando *string* em inglês

Fonte: autoria própria (2023).

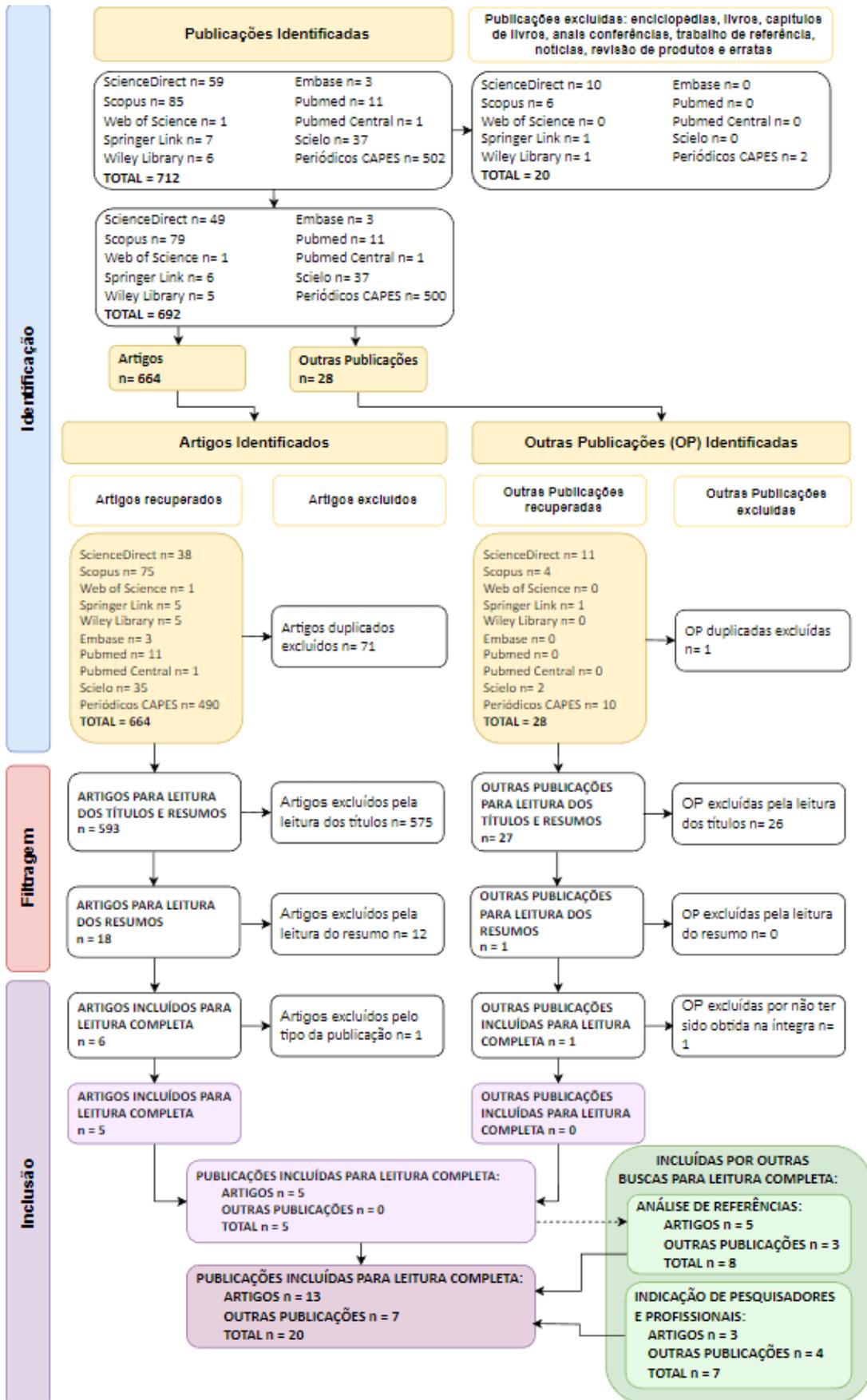


Figura 3 – Fluxograma de identificação, filtragem e inclusão de artigos e outras publicações obtidas utilizando o *string* em português

Fonte: autoria própria (2023).

5.1.1 Identificação

Na etapa de Identificação buscou-se as publicações nas bases indexadoras utilizando-se os *strings* mencionados e recuperou-se 2447 publicações pela busca em inglês (Figura 1) e 712 publicações pela busca em português (Figura 2).

Excluiu-se as publicações do tipo: enciclopédias, livros, capítulos de livros, anais conferências, trabalho de referência, notícias, revisão de produtos e erratas, que totalizaram 748 publicações na busca em inglês e 20 publicações na busca em português.

Separou-se as publicações remanescentes em dois grupos: (i) artigos (A) e (ii) outras publicações (OP) para cada idioma. Na busca em inglês foram obtidos 1481 artigos e 218 outras publicações e na busca em português foram obtidos 664 artigos e 28 outras publicações.

As listas de publicações extraídas das bases indexadoras foram importadas no programa *Mendeley*, organizadas, unificadas e eliminadas as repetidas. Uma imagem da tela do referido programa é apresentada na Figura 4.

The screenshot shows the Mendeley Desktop application window. The main area displays a list of publications under the 'Recuperados' (Recovered) tab. The table columns are: Authors, Title, Year, Published In, and Added. The selected publication is 'Urban river pollution in the densely populated city of Dhaka, Bangladesh: Big picture and rehabilitation experience from other developing countries...' by H. Yin, M. Islam, and M. Ju, published in 2021 in the 'Journal of Cleaner Production'.

Authors	Title	Year	Published In	Added
Henriques, J A; de Oliveira, R; Coura, M A; Libanio, M; Baptis...	Drainage water or sanitary sewage? An analysis of the macro-drainage system in a medium-sized city in the northeast region	2021	Engenharia Sanitaria e Ambie...	20/05/22
Goncalves, M L R; Kiedorfer, M; Rauch, W	Case study on the use of a combined system as an intermediate solution in Brazil: costi estimate	2017	Water and Environment Jour...	20/05/22
Machado, Adriana Santos; Borja, Patricia Campos; Moraes...	Desafios e oportunidades para a implantação de uma das propostas do FEMAPES: o sistema combinado	2013	Revista Eletrônica de Gestão e Tecn...	20/05/22
Freire, Josefa Rafaela Pessoa; Feitosa, Patricia Hermínio Cun...	Análise do sistema separador absoluto no âmbito da drenagem pluvial da cidade de Campina Grande - estudo de caso da cana...	2014	Monografias ambientais	20/05/22
Redo, A.L.D.L.; Mendes, M; Ferreira, P	A new responsibility for the Brazilian water industry in the era of privatization: Dynamic plant management for the treatment of...	2010	International Conference on A...	20/05/22
Oliveira, Diogo Jorge; Andrade, Wallace Carrieni de Paula	Os sistemas de saneamento enquanto tecnologias em disputas: o caso de São Paulo em Belo Horizonte (1893 – 1992)	2014	URBANA: Revista Eletrônica do Cen...	20/05/22
Toledo, Luane Marques; Wall, Fernando Carvalho Moreno; O...	Panorama do sistema lagunar de Maricá-RJ: Indicadores de saneamento vs. Qualidade de água	2021	Revista Internacional de ...	20/05/22
Xu, Zuxin; Yin, Hailong; Li, Hualizheng	Quantification of non-stormwater flow entries into storm drains using a water balance approach	2014	Science of The Total Environment	11/05/22
Xu, Z; Xu, J; Yin, H; Jin, W; Li, H; He, Z	Urban river pollution control in developing countries	2019	Nature Sustainability	28/04/22
Li, T; Ma, L; Zeng, Y	Deterioration of discharge quality of separate storm systems caused by intercepting dry weather flows	2009	International Conference on Pl...	28/04/22
de Sousa Moretti, Ricardo; da Silva, Edson Aparecido	Urban Drainage and Sewage Systems: Diffuse Pollution and System's Interconnection	2021		28/04/22
Liao, Zhenliang; Zhi, Guozheng; Zhou, Yiyen; Xu, Zuxin; Rink, ...	To analyze the urban water pollution discharge system using the tracking and tracing approach	2016	Environmental Earth Sciences	28/04/22
Torno, Harry C	A model for assessing impact of stormwater runoff and combined sewer overflows and evaluating pollution abatement...	1975	Water Research	26/04/22
Yin, Hailong; Islam, Md Sahidul; Ju, Mengdie	Urban river pollution in the densely populated city of Dhaka, Bangladesh: Big picture and rehabilitation experience from oth...	2021	Journal of Cleaner Production	26/04/22
Wang, Ling; Yu, Liling; Xiong, Yanyu; Zhuang, Genji; Jie	Study on the governance of black-odor water in Chinese cities	2021	Journal of Cleaner Production	26/04/22
Centrano, G; Quevedo, J; Salameiro, M; Puig, V; Figueras...	Optimal control of urban drainage systems. A case study	2004	Control Engineering Practice	26/04/22
Centrano, G; Figueras, J; Quevedo, J; Puig, V; Salameiro...	Global control of the Barcelona sewerage system for environment protection	2002	IFAC Proceedings Volumes	26/04/22
Li, T.; Zhang, W.; Feng, C.;	Performance assessment of separate and combined sewer systems in metropolitan areas in southern China	2014	Water Science and Technology	26/04/22
Huang, Dong; Liu, Xuhong; Jiang, Songzhu; Wang, Hongc...	Current state and future perspectives of sewer networks in urban China	2018	Frontiers of Environmental Sc...	26/04/22
Li, Tian; Tan, Qiong; Zhu,	Characteristics of combined sewer overflows in Shanghai and	2010	Water and	26/04/22

The details panel on the right shows the selected article's information: Type: Journal Article, Title: Urban river pollution in the densely populated city of Dhaka, Bangladesh: Big picture and rehabilitation experience from other developing countries..., Authors: H. Yin, M. Islam, M. Ju, Journal: Journal of Cleaner Production, Year: 2021, Volume: 321, Issue: 11, Pages: 1290-40. The abstract discusses rapid urbanization and economic development in Dhaka, Bangladesh, and the impact on water pollution and sewerage systems.

Figura 4 – Tela do programa computacional *Mendeley*.

Fonte: Mendeley (2023).

A eliminação de publicações repetidas ocorreu nas duas plataformas *Mendeley* e *Rayyan*. Na busca em inglês, dentre os artigos alcançados, foram eliminados 154 repetidos utilizando-se a plataforma *Mendeley* e 14 artigos repetidos utilizando-se a plataforma *Rayyan*. Já entre as outras publicações obtidas, foram eliminadas 14 publicações na plataforma *Mendeley*.

Relativamente à busca em português, foram eliminados 71 artigos repetidos e 1 outra publicação repetida na plataforma *Mendeley*.

Após as eliminações das publicações repetidas, os números de publicações remanescentes para leitura dos títulos e resumos foram os seguintes:

- Busca em inglês: 1313 artigos e 204 outras publicações;
- Busca em português: 593 artigos e 27 outras publicações.

Ao todo, 2137 publicações foram obtidas, sendo 1517 nas buscas em inglês e 620 publicações nas buscas com *string* em português. Estes números correspondem a 71% e 29%, do total de publicações, respectivamente.

5.1.2 Filtragem

Após a eliminação das publicações repetidas, os artigos e outras publicações identificados puderam ter lidos seus títulos, primeiramente, e na sequência os resumos na plataforma *Rayyan* nesta etapa. A imagem ilustrativa da tela do programa *Rayyan* é apresentada na Figura 5.

Figura 5 – Tela do programa computacional Rayyan.

Fonte: Rayyan (2023).

Inicialmente as publicações passaram pela leitura dos títulos, sendo excluídos os trabalhos que não tinham nenhuma relação com a temática de captação em tempo seco dos esgotos ou com lançamentos de esgotos em sistema de drenagem pluvial.

Essa primeira filtragem levou a pesquisa aos seguintes números de publicações:

- Busca em inglês: 979 artigos excluídos, 334 artigos remanescentes; 158 outras publicações excluídas, 46 remanescentes;
- Busca em português: 575 artigos excluídos, 18 artigos remanescentes; 26 outras publicações excluídas, 1 outra publicação remanescente.

Em seguida foram lidos os resumos destas publicações remanescentes, utilizando-se também da exclusão para eliminar aquelas publicações cujos resumos também não indicavam relação com a captação em tempo seco dos esgotos ou com lançamentos de esgotos em sistema de drenagem pluvial.

Os quantitativos de publicações filtradas pela leitura dos resumos são os seguintes:

- Busca em inglês: 311 artigos excluídos, 23 artigos remanescentes; 41 outras publicações excluídas, 5 remanescentes;
- Busca em português: 12 artigos excluídos, 6 artigos remanescentes; nenhuma outra publicação excluída e 1 remanescente.

5.1.3 Inclusão

Ao todo, 35 publicações foram selecionadas para leitura na íntegra, sendo 28 procedentes das buscas com *string* em inglês e 7 das buscas em português, números estes que correspondem a 80% e 20% das publicações incluídas, respectivamente.

As 35 publicações incluídas foram buscadas novamente nas bases indexadoras para obtenção do conteúdo na íntegra para a leitura. Neste processo, quatro publicações precisaram ser excluídas devido a algumas particularidades: duas publicações do tipo OP não puderam ser obtidas, pois não possuíam livre acesso por meio dos convênios existentes entre a UFMG e os periódicos e plataformas disponíveis no portal de periódicos da CAPES; um artigo procedente da busca em inglês foi excluído, pois foi escrito em chinês, diferindo dos pré-requisitos de serem publicações em inglês ou português; e uma publicação buscada como se artigo fosse, foi excluída por se tratar de uma dissertação de mestrado.

Os quantitativos mencionados na etapa de inclusão são os seguintes:

- Busca em inglês: 1 artigo excluído por ser escrito no idioma chinês, 22 artigos remanescentes; 1 outra publicação excluída por não ter sido obtida na íntegra, 4 remanescentes;
- Busca em português: 1 artigo excluído por se tratar de uma dissertação de mestrado, 5 artigos remanescentes; 1 outra publicação excluída por não ter sido obtida na íntegra e, portanto, nenhuma remanescente.

Diante disso, os quantitativos de publicações obtidas pelas buscas nas bases e que tiveram seus conteúdos lidos na íntegra, são os seguintes:

- Busca em inglês: 22 artigos; e 4 outras publicações;
- Busca em português: 5 artigos.

O quantitativo de publicações incluídas pela busca em inglês (26) é superior do que em português (5), indicando que a maior parte do conteúdo publicado tem alcance internacional, além de confirmar o esperado uso majoritário do idioma inglês para a escrita dos trabalhos.

A partir da leitura das publicações, foram adicionadas publicações a partir de outras buscas que compreenderam a escolha pela análise das citações e listas de referências, assim como pela indicação de publicações por pesquisadores e profissionais. Nesse processo foram incluídas 30 publicações que se distribuem no seguinte quantitativo:

- Inglês: 12 artigos; e 3 outras publicações;
- Português: 8 artigos; 7 outras publicações.

O resumo do quantitativo de publicações envolvidas em cada etapa do processo de busca, descritas anteriormente, é apresentado no Quadro 7.

Quadro 7 – Resumo do número de publicações em cada etapa de seleção: recuperação, filtragem e inclusão.

Etapa de busca	Artigos		Outras publicações		Total
	inglês	Português	inglês	português	
Obtidas nas bases indexadoras	1481	664	218	28	2391
Excluídas por serem repetidas	168	71	14	1	254
Selecionadas para leitura do título e resumo	1313	593	204	27	2137
Excluídas pela leitura do título	979	575	158	26	1738
Selecionadas para leitura do resumo	334	18	46	1	399
Excluídas pela leitura do resumo	311	12	41	0	364
Incluídas pela leitura do título e resumo com afinidade ao tema	23	6	5	1	35
Excluídas na obtenção do texto na íntegra: idioma, tipo da publicação ou não obtida na íntegra	1	1	1	1	4
Incluídas para leitura na íntegra	22	5	4	0	<u>31</u>
Incluídas a partir de outras buscas (referências e indicações):	12	8	3	7	<u>30</u>
Total publicações incluídas	34	13	7	7	<u>61</u>
Somatório por tipo de publicação	47		14		<u>61</u>

Fonte: autoria própria (2023).

A lista de publicações obtidas pelas buscas nas bases indexadoras e incluídas por afinidade ao tema (31 publicações) é apresentada na Quadro 9.

A lista de publicações incluídas a partir de outras buscas: análise das referências bibliográficas, e a partir de indicação ou apresentação de pesquisadores e profissionais totaliza 30 publicações, e é apresentada no Quadro 10.

As duas listas totalizam 61 publicações e contêm as seguintes informações: tipo da publicação recuperada (se artigo, ou outras publicações) o idioma da busca (se inglês, ou português); a avaliação qualitativa do periódico ou evento, baseada no Qualis Periódicos da CAPES, nome, volume, número e ano do periódico; ano da publicação, nomes dos autores, título e o idioma da publicação.

Complementarmente à obtenção das 61 publicações foi acessada e consultada literatura adicional, em sua maioria citadas pelos autores destas publicações, como livros, relatórios, manuais, leis, normas, planos, sobre esgotamento sanitário, sendo que algumas abrangem os sistemas de CTTS, e os sistemas unitários.

A Quadro 8, apresentam-se as principais publicações do tipo livro e relatórios consultados, com exceção do livro mais antigo, Metcalf e Eddy (1972), todas as demais são referências citadas pelas publicações incluídas para leitura.

Quadro 8 – Publicações complementares diferentes de (i) artigos e (ii) outras publicações

Autor	Ano	Nome da publicação
Metcalf e Eddy	1972	<i>Wastewater engineering: collection, treatment, disposal</i>
Estados Unidos	1993	<i>Investigation of Inappropriate Pollutant Entries into Storm Drainage Systems – A user's guide</i>
Tsutiya e Sobrinho	2000	Coleta e transporte de esgoto sanitário
Metcalf e Eddy	2003	<i>Wastewater engineering: treatment and reuse</i>
Bernardes e Soares	2004	Esgotos combinados e controle da poluição: estratégia para planejamento do tratamento da mistura de esgotos sanitários e águas pluviais
Guimarães e Souza	2004	Projetos de pequenos sistemas unitários de esgotamento
Von Sperling	2017	Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias
Butler <i>et al.</i>	2018	<i>Urban drainage</i>
COPPETEC	2018	Relatório técnico. Análise da viabilidade técnica e econômica da implantação de estruturas de captação de esgotos sanitários em tempo seco (CTS) e de tratamento de deflúvios poluídos (UTR) no âmbito da Área de Planejamento 4 da Cidade do Rio de Janeiro

Fonte: autoria própria (2023).

Quadro 9 – Lista de publicações recuperadas pelas buscas em bases indexadoras

Busca*	Avaliação Qualis CAPES	Periódico	Vol.	Núm.	Ano	Autores	Título	Idioma*
A_IN	A1	Journal of Environmental Management	303	-	2022	Li, Yiping; Zhou, Yuxuan; Wang, Haiying; Jiang, Haizhuan; Yue, Zhenwu; Zheng, Ke; Wu, Bin; Banahene, Patrick	Characterization and sources apportionment of overflow pollution in urban separate stormwater systems inappropriately connected with sewage	IN
A_IN	A1	Journal of Cleaner Production	308	-	2021	Wang, Ling; Yu, Liqing; Xiong, Yan; Li, Zhuoni; Geng, Jie	Study on the governance of black-odor water in Chinese cities	IN
A_IN	A1	Journal of Cleaner Production	321	-	2021	Yin, Hailong; Islam, Md Sahidul; Ju, Mengdie	Urban river pollution in the densely populated city of Dhaka, Bangladesh: Big picture and rehabilitation experience from other developing countries	IN
A_IN	A2	Environmental Science and Pollution Research	28	32	2021	Wang, Jian; Liu, Guo-hua; Wang, Junyan; Xu, Xianglong; Shao, Yuting; Zhang, Qian; Liu, Yuchen; Qi, Lu; Wang, Hongchen	Current status, existent problems, and coping strategy of urban drainage pipeline network in China	IN
A_IN	A3	Water Practice and Technology	15	1	2020	Volschan Jr., Isaac	The challenge of dry-weather sewage intakes as a sustainable strategy to develop urban sanitation in the tropics	IN
A_IN	A3	Water (Switzerland)	11	5	2019	Wei, Zhongqing; Huang, Xiangfeng; Lu, Lijun; Shangguan, Haidong; Chen, Zhong; Zhan, Jiajun; Fan, Gongduan	Strategy of rainwater discharge in combined sewage intercepting manhole based on water quality control	IN
A_IN	A1	Journal of Environmental Management	233	-	2019	Chen, Sidian; Qin, Hua-peng; Zheng, Yu; Fu, Guangtao	Spatial variations of pollutants from sewer interception system overflow	IN
A_IN	NA	Frontiers of Environmental Science and Engineering	12	3	2018	Huang, Dong; Liu, Xiuhong; Jiang, Songzhu; Wang, Hongchen; Wang, Junyan; Zhang, Yuankai	Current state and future perspectives of sewer networks in urban China	IN
A_IN	A2	Environmental Science and Pollution Research	24	-	2017	Yin, Hailong; Lu, Yi; Xu, Zuxin; Li, Huaizheng; Schwegler, Benedict R.	Characteristics of the overflow pollution of storm drains with inappropriate sewage entry	IN
A_IN	B1	Environmental Earth Sciences	75	1080	2016	Liao, Zhenliang; Zhi, Guozheng; Zhou, Yiwen; Xu, Zuxin; Rink, Karsten	To analyze the urban water pollution discharge system using the tracking and tracing approach	IN

Busca*	Avaliação Qualis CAPES	Periódico	Vol.	Núm.	Ano	Autores	Título	Idioma*
A_IN	A1	Ecological Indicators	61	-	2016	Xu, Zuxin; Wang, Lingling; Yin, Hailong; Li, Huaizheng; Schwegler, Benedict R.	Source apportionment of non-storm water entries into storm drains using marker species: Modeling approach and verification	IN
A_IN	A1	Science of the Total Environment	526	-	2015	Ellis, Jonh B.; Butler, David	Surface water sewer misconnections in England and Wales: Pollution sources and impacts	IN
A_IN	A1	Water Science and Technology	69	2	2014	Li, Tian; Zhang, Wei; Feng, Cang; Shen, Jun	Performance assessment of separate and combined sewer systems in metropolitan areas in southern China	IN
A_IN	A1	Science of the Total Environment	487	1	2014	Xu, Zuxin; Yin, Hailong; Li, Huaizheng	Quantification of non-stormwater flow entries into storm drains using a water balance approach	IN
A_IN	A2	Water Science and Technology	66	4	2012	Morihamada, Ana Carolina D.; Amaro, C.; Tominaga, Erika N. S.; Yazaki, Luiz Fernando O. L.; Pereira, Maria Cristina S.; Porto, Monica F. A.; Mukai, P.; Lucci, Rodrigo M.	Integrated solutions for urban runoff pollution control in Brazilian metropolitan regions	IN
A_IN	NA	Water and Environment Journal	24	1	2010	Li, Tian; Tan, Qiong; Zhu, Shiqing	Characteristics of combined sewer overflows in Shanghai and selection of drainage systems	IN
A_IN	A1	Journal of Environmental Engineering	134	11	2008	Li, Tian; Zhou, Yong-Chao; Li, He	Quantifying nonstorm-water discharges to storm-water systems with model analysis	IN
A_IN	A1	Water Research	42	-	2008	Soonthornnonda, Puripus; Christensen, Erik R.	Source apportionment of pollutants and flows of combined sewer wastewater	IN
A_IN	NA	Control Engineering Practice	12	1	2004	Cembrano, G.; Quevedo, J.; Salameiro, M.; Puig, V.; Figueras, J.; Martí, J.	Optimal control of urban drainage systems. A case study	IN
A_IN	A2	Water Science and Technology	35	9	1997	Butler, David; Parkinson, Jonathan	Towards sustainable urban drainage	IN
A_IN	NA	Advances in Applied Microbiology	37	-	1992	O'Shea, Marie L.; Field, Richard I.	An evaluation of bacterial standards and disinfection practices used for the assessment and treatment of stormwater	IN
A_IN	A1	Water Research	9	-	1975	Torno, Harry C.	A model for assessing impact of stormwater runoff and combined sewer overflows and evaluating pollution abatement alternatives	IN
A_PT	A4	Engenharia Sanitaria e Ambiental	26	5	2021	Henriques, Juscelino A.; Oliveira, Rui; Coura, Monica A.; Libânio, Marcelo; Baptista, Márcio B.	Água de drenagem ou esgoto sanitário? Uma análise do sistema de macrodrenagem em cidade de médio porte na Região Nordeste	PT

Busca*	Avaliação Qualis CAPES	Periódico	Vol.	Núm.	Ano	Autores	Título	Idioma*
A_PT	B3	Revista Internacional de Ciências	11	1	2021	Toledo, Luane M.; Wall, Fernanda C. M.; Obraczka, Marcelo; Salomão, André Luís S.	Panorama do sistema lagunar de Maricá-RJ: Indicadores de saneamento vs. Qualidade de água	PT
A_PT	A4	Water and Environment Journal	31	4	2017	Gonçalves, Mariana L. R.; Kleidorfer, Manfred; Rauch, Wolfgang	Case study on the use of a combined system as an intermediate solution in Brazil: cost estimate	IN
A_PT	B5	URBANA: Revista Eletrônica do Centro Interdisciplinar de Estudos sobre a Cidade	6	1	2014	Oliveira, Diogo J.; Andrade, Wallace C. P.	Os sistemas de saneamento enquanto tecnologias em disputas: o tout-à-l'égout em Belo Horizonte (1893-1902)	PT
A_PT	B5	Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais	1	2	2013	Machado, Adriana S.; Borja, Patrícia C.; Moraes, Luiz Roberto S.	Desafios e oportunidades para a implantação de uma das propostas do PEMAPES: o sistema combinado	PT
OP_IN	NA	Nature Sustainability	2	3	2019	Xu, Zuxin; Xu, Jin; Yin, Hailong; Jin, Wei; Li, Huaizheng; He, Zhen	Urban river pollution control in developing countries	IN
OP_IN	NA	9th International Conference on Hydrodynamics - Journal of Hydrodynamics	22	5	2010	Yin, Hailong; Xu, Zuxin	Transitional gravity flow of sewers inappropriate entry into storm drainage of a separate system	IN
OP_IN	NA	International Conference on Pipelines and Trenchless Technology 2009	361	-	2009	Li, Tian; Ma, Li; Zeng, Yanjun	Deterioration of discharge quality of separate storm systems caused by intercepting dry weather flows	IN
OP_IN	NA	IFAC Proceedings Volumes	35	1	2002	Cembrano, G.; Figueras, J.; Quevedo, J.; Puig, V.; Salamero, M.; Martí, J.	Global control of the Barcelona sewerage system for environment protection	IN

*Abreviações: A_IN=Artigos com *string* em inglês; A_PT=Artigos com *string* em português; OP_IN=Outras Publicações com *string* em inglês.

**Abreviações: IN=Publicação escrita em inglês; PT=Publicação estrita em português.

Fonte: autoria própria (2023).

Quadro 10 – Lista de publicações incluídas pelas leituras das referências das publicações recuperadas

Busca*	Avaliação Qualis CAPES	Periódico	Vol.	Núm.	Ano	Autores	Título	Idioma*
A_IN	A2	Sustainability	6	-	2014	Qin, Hua-peng; Su, Qiong; Khu, Soon-Thiam; Tang, Nv	Water quality changes during rapid urbanization in the Shenzhen river catchment: an integrated view of socio-economic and infrastructure development	IN
A_IN	A2	Water Science and Technology	60	3	2009	Mannina, Giorgio; Viviani, Gaspare	Separate and combined sewer systems: a long-term modelling approach	IN
A_IN	A2	Water Science and Technology	55	4	2007	De Toffol, Sara; Engelhard, Carolina; Rauch, Wolfgang	Combined sewer system versus separate system – a comparison of ecological and economical performance indicators	IN
A_IN	A2	Water Science and Technology	52	9	2005	Soares, Sérgio R. A.; Parkinson, Jonathan; Bernardes, Ricardo S.	Analysis of scenarios for wastewater and urban drainage systems in Brazil based on an integrated modeling approach	IN
A_IN	A2	Water Science and Technology	51	2	2005	Brombach, Hansjoerg; Weiss, Gebhard J.; Fuchs, Stephan L.	A new database on urban runoff pollution comparison of separate and combined	IN
A_IN	NA	Enhancing Urban Environment by Environmental Upgrading and Restoration	43	-	2004	Bornatici, Laura; Ciaponi, Carlo; Papiri, Sergio	Control of urban runoff stormwater discharge to receiving waters using off-line storage	IN
A_IN	NA	Water and Environment Journal	16	1	2002	Iwugo, Kenneth O.; Andoh, Robert Y. G.; Feest, Alan F.	Cost-effective integrated drainage and wastewater management systems	IN
A_IN	A2	Water Science and Technology	39	2	1999	Gromaire-Mertz, Marie Christin; Garnaud, Stéphane; Gonzalez, Ana; Chebbo, Ghassan	Characterisation of urban runoff pollution in Paris	IN
A_IN	A2	Water Science and Technology	40	2	1999	Chua, Hong	Overview of water environment priorities in Hong Kong (China)	IN
A_IN	A1	Journal of Environmental Engineering	120	5	1994	Field, Richard I.; Pitt, Robert; Lalor, Melinda; Brown, Michael; Vilkelis, William; Phackston, Edward	Investigation of dry-weather pollutant entries into storm-drainage systems	IN
A_IN	NA	Environment: Science and Policy for Sustainable Development	35	4	1993	Briscoe, John	When the cup is half full	IN
A_IN	A2	Water Science and Technology	22	10/11	1990	Carleton, Michael G.	Comparison of overflows from separate and combined sewers-quantity and quality	IN

Busca*	Avaliação Qualis CAPES	Periódico	Vol.	Núm.	Ano	Autores	Título	Idioma*
A_PT	B1	Revista DAE	71	239	2023	Lopes, Ana Cristina R.; Kusterko, Sheila K.; Volschan Jr., I.	Captações de esgotos sanitários em tempo seco em galerias de águas pluviais: proposta de discussão sobre critérios e parâmetros de dimensionamento	PT
A_PT	A3	Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades	8	59	2020	Veról, Aline P.; Miguez, Marcelo G.; Tardin-Coelho, Raquel H.; Battemarco, Bruna P.; Rutigliani, Victória A.; Costa, Daniel C.	Proposição do sistema de coleta em tempo seco em Arraial do Cabo (RJ) para melhoria da qualidade ambiental	PT
A_PT	C	Brazilian Journal of Development	5	10	2019	Neto, Pedro S. G.; Veról, Aline P.; Miguez, Marcelo G.; Vazquez, Elaine G.	Sistemas de drenagem urbana sustentáveis no mundo e no Brasil	PT
A_PT	B1	Revista Brasileira de Recursos Hídricos	20	4	2015	Fadel, Amanda W.; Dornelles, Fernando	Eficiência da interceptação de esgoto sanitário em rede pluvial na bacia do Arroio Capivara – Porto Alegre/RS	PT
A_PT	B5	Engevista	13	3	2011	Dias, Alexandre P.; Rosso, Thereza C. A.	Análise dos elementos atípicos do sistema de esgoto – separador absoluto – na cidade do Rio de Janeiro	PT
A_PT	B3	Recursos Hídricos (Portugal)	32	2	2011	Rosso, Thereza C. A.; Dias, Alexandre P.; Giordano, Ghandi	Vulnerabilidade dos sistemas de esgotamento sanitário da cidade do Rio de Janeiro, RJ, Brasil – relato de um caso de estudo	PT
A_PT	NA	Agua Latinoamérica	-	-	2004	Tsutiya, Milton T.; Bueno, Rui C. R.	Contribuição de águas pluviais em sistemas de esgoto sanitário no Brasil	PT
A_PT	B3	Revista DAE	120	313	1979	Azevedo Neto, José M.	Contribuições indevidas para a rede de esgotos	PT
OP_IN	NA	XIV Safety, Health and Environment World Congress	-	-	2014	Reda, André L. L.; Ferreira, Paulo; Mendes, Marcel; Bruce Beck, M.	Combined sewer overflows in Brazil: a 2014 situation report	IN
OP_IN	NA	Environmental Health Perspectives	113	7	2005	Tibbetts, John	Combined sewer systems - down, dirty and out of date	IN
OP_IN	NA	Global Solutions for Urban Drainage	-	-	2002	Field, Richard I.; O'Connor, Thomas P.	Control strategy for storm-generated sanitary-sewer overflows	IN
OP_PT	NA	Página eletrônica ONDAS - Observatório Nacional dos Direitos à Água e ao Saneamento	-	-	2021	Moretti, Ricardo S.; Silva, Edson A.	Sistemas urbanos de esgotos e drenagem das águas pluviais - poluição difusa e interconexões	PT
OP_PT	NA	XIII Encontro Nacional de Águas Urbanas	-	-	2020	Pereira, Luiz F. M.; Matos, José S.; Ferreira, Filipa S.	Inserção do sistema de drenagem na concepção dos projetos de esgotamento sanitário - sua pertinência, viabilidade e admissibilidade	PT

Busca*	Avaliação Qualis CAPES	Periódico	Vol.	Núm.	Ano	Autores	Título	Idioma*
OP_PT	NA	6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente	-	-	2018	Tronca, Isadora F.; Brum, Marília M.; Mallmann, Eduarda H.; Marin, Renata M.; Wartchow, Dieter	A importância da gestão integrada de águas residuárias. Estudo de caso: municípios de pequeno porte do Rio Grande do Sul	PT
OP_PT	NA	48º Congresso Nacional de Saneamento da ASSEMAE	-	-	2018	Brum, Marília M.; Tronca, Isadora F.; Marin, Renata M.; Wartchow, Dieter	Adoção de metodologias alternativas para o alcance da universalização dos serviços de esgotamento sanitário	PT
OP_PT	NA	29º Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente	-	-	2018	Santos, Paulo R.; Silva, Aluizio M.; Paula, Cláudio H.; Vieira, Alexandre R.	Sistema de interceptação e captação de esgoto em galeria de água pluvial utilizando a válvula de tempo seco	PT
OP_PT	B3	Revista DAE	2009	180	2009	Volschan Jr., I.; Tsutiya, Milton T.; Martins, Rosa H. O.; Yazaki, Luiz Fernando O. L.	Sistema unitário X Sistema separador absoluto: qual o mais atraente para as condições brasileiras?	PT
OP_PT	NA	XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos	-	-	2005	Gehling, Gino R.; Benetti, Antônio D.	Aceitabilidade de sistema combinado de esgotos em planos diretores de esgotamento sanitário	PT

*Abreviações: A_IN=Artigos com *string* em inglês; A_PT=Artigos com *string* em português; OP_IN=Outras Publicações com *string* em inglês; OP_PT=Outras Publicações com *string* em português.

**Abreviações: IN=Publicação escrita em inglês; PT=Publicação estrita em português.

Observações: "-" = informação não obtida.

Fonte: autoria própria (2023).

5.2 ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DAS PUBLICAÇÕES QUE TRATAM DO TEMA DA PESQUISA

5.2.1 Estratificação geral dos assuntos das publicações selecionadas

A estratificação dos assuntos gerais das publicações se deu a partir da classificação em três grupos:

- CTTS: abordam as CTTS ou avaliam sistemas de CTTS como assunto principal;
- Menciona CTTS: tratam de outros temas relacionados com SES e apenas fazem uma menção ou breve citação aos sistemas de CTTS;
- Não menciona CTTS: abordam temas diversos relacionados aos SES, mas sem mencionar os sistemas de CTTS especificamente.

Cabe ressaltar que as publicações que mencionam ou abordam questões sobre os sistemas unitários ou combinados sem que estes sejam uma adaptação do sistema de drenagem pluvial foram classificados como “não mencionam CTTS”.

Nesse sentido, dentre as 31 publicações incluídas através da busca nas bases indexadoras, verificou-se que 9 delas (29%) abordam especificamente a temática das CTTS como assunto principal e outras 11 (36%) apenas mencionam os sistemas de CTTS, porém não como a temática principal. O somatório desses dois quantitativos indica que 20 das 31 publicações tem relação direta com o tema, o que equivale à maioria das publicações incluídas para leitura (65%). As 11 publicações restantes (35%) não abordam e nem mencionam os sistemas de CTTS, apesar de apresentarem alguma relação com a temática (Figura 6).

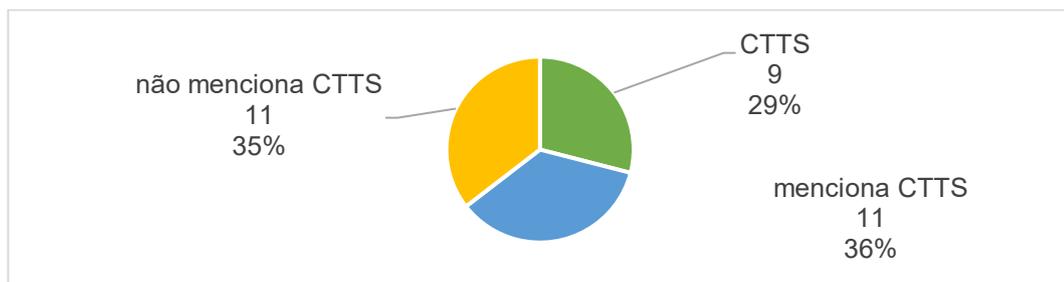


Figura 6 – Frações das publicações incluídas pela busca em bases indexadoras que abordam os sistemas de CTTS (verde); que apenas mencionam os sistemas de CTTS (azul) e que não mencionam o sistema (laranja).

Fonte: autoria própria (2023).

Já dentre as 30 publicações incluídas por outras buscas (por meio da leitura das referências, e buscas a partir de indicações de pesquisadores e profissionais) 6 (20%) tratam especificamente da temática das CTTS e outras 6 (20%) apenas mencionam o tema. A maioria, no entanto, 18 (80%) não mencionam o tema de CTTS (Figura 7).

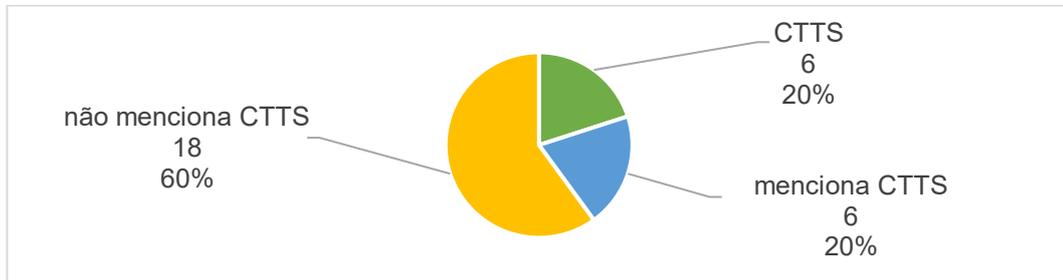


Figura 7 – Frações das publicações incluídas por outras buscas que abordam os sistemas de CTTS (verde); que apenas mencionam os sistemas de CTTS (azul) e que não mencionam o sistema (laranja).

Fonte: autoria própria (2023).

Deste modo, verifica-se que foram identificadas um total de 15 (25%) publicações, dentre todas as 61 publicações incluídas para leitura abordam especificamente as CTTS e outras 17 (28%) publicações apenas mencionam os sistemas de CTTS sem que este seja o tema principal ou sem que analise sistemas que apliquem essa técnica (Figura 8).

Sendo assim, um total de 32 (52%) publicações, dentre as 61 selecionadas, abordam as CTTS (15 publicações, ou 25%) ou mencionam o sistema brevemente (17 publicações, ou 28%) e as restantes 29 (47%) publicações não abordam e nem mencionam as CTTS em suas diferentes variações.

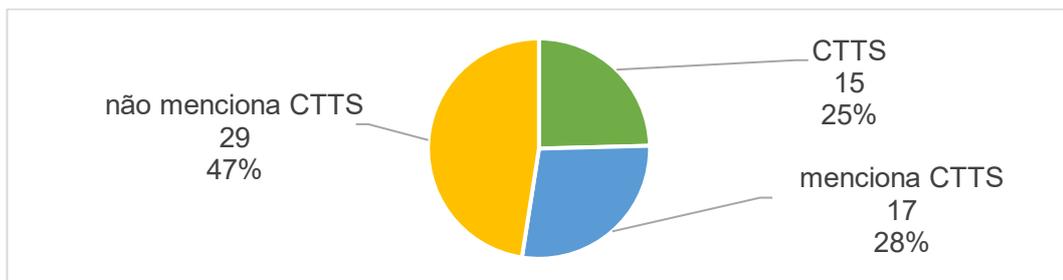


Figura 8 – Frações das publicações incluídas por todas as buscas que abordam os sistemas de CTTS (verde); que apenas mencionam os sistemas de CTTS (azul) e que não mencionam o sistema (laranja).

Fonte: autoria própria (2023).

O Quadro 11 apresenta as 15 publicações incluídas que abordam especificamente aspectos sobre os sistemas de CTTS, e o Quadro 12 apresenta as 17 publicações que apenas mencionam o tema das CTTS. Estas duas listagens refletem a literatura encontrada que aborda o tema da pesquisa e serão alvo da análise crítica de seu conteúdo.

Importante salientar que as 29 (47%) publicações que não abordam e nem mencionam a temática das CTTS trazem discussões sobre diferentes aspectos dos sistemas de esgotamento urbanos, sejam eles os SUs (SCs), SSAs ou SSPs, e são relacionadas no Quadro 20.

Algumas dessas discussões, são apresentadas no item (5.3) em razão de serem complementares para um melhor entendimento do contexto, complexidade e problemáticas concernentes aos SES, e que assim, acrescentam à discussão proposta nesta dissertação para os sistemas de CTTS.

Quadro 11 – Lista de publicações incluídas que abordam as CTTS

Ano	Periódico	Autores, citação	Autores	Título	Universidades/ Instituições	País das Universidade s/ Instituições
2023	Revista DAE	Lopes; Kusterko; Volschan Jr., 2023	Lopes, Ana Cristina R.; Kusterko, Sheila K.; Volschan Jr., I.	Captações de esgotos sanitários em tempo seco em galerias de águas pluviais: proposta de discussão sobre critérios e parâmetros de dimensionamento	Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa	Portugal
2022	Journal of Environmental Management	Li <i>et al.</i> , 2022	Li, Yiping; Zhou, Yuxuan; Wang, Haiying; Jiang, Haizhuan; Yue, Zhenwu; Zheng, Ke; Wu, Bin; Banahene, Patrick	Characterization and sources apportionment of overflow pollution in urban separate stormwater systems inappropriately connected with sewage	Hohai University	China
2020	Water Practice and Technology	Volschan Jr., 2020	Volschan Jr., Isaac	The challenge of dry-weather sewage intakes as a sustainable strategy to develop urban sanitation in the tropics	Universidade Federal do Rio de Janeiro	Brasil
2020	Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades	Veról <i>et al.</i> , 2020	Veról, Aline P.; Miguez, Marcelo G.; Tardin-Coelho, Raquel H.; Battemarco, Bruna P.; Rutigliani, Victória A.; Costa, Daniel C.	Proposição do sistema de coleta em tempo seco em Arraial do Cabo (RJ) para melhoria da qualidade ambiental	Universidade Federal do Rio Grande do Sul	Brasil
2020	XIII Encontro Nacional de Águas Urbanas	Pereira; Matos; Ferreira, 2020	Pereira, Luiz F. M.; Matos, José S.; Ferreira, Filipa S.	Inserção do sistema de drenagem na concepção dos projetos de esgotamento sanitário - sua pertinência, viabilidade e admissibilidade	Hohai University	China
2019	Journal of Environmental Management	Chen <i>et al.</i> , 2019	Chen, Sidian; Qin, Hua-peng; Zheng, Yu; Fu, Guangtao	Spatial variations of pollutants from sewer interception system overflow	Peking University Shenzhen Graduate School; University of Exeter	China; Reino Unido
2018	48º Congresso Nacional de Saneamento da ASSEMAE	Brum <i>et al.</i> , 2018	Brum, Marília M.; Tronca, Isadora F.; Marin, Renata M.; Wartchow, Dieter	Adoção de metodologias alternativas para o alcance da universalização dos serviços de esgotamento sanitário	Universidade Federal do Rio de Janeiro	Brasil
2018	29º Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente	Santos <i>et al.</i> , 2018	Santos, Paulo R.; Silva, Aluizio M.; Paula, Cláudio H.; Vieira, Alexandre R.	Sistema de interceptação e captação de esgoto em galeria de água pluvial utilizando a válvula de tempo seco	Peking University Shenzhen Graduate School; University of Exeter	China; Reino Unido
2017	Environmental Science and Pollution Research	Yin <i>et al.</i> , 2017	Yin, Hailong; Lu, Yi; Xu, Zuxin; Li, Huaizheng; Schwegler, Benedict R.	Characteristics of the overflow pollution of storm drains with inappropriate sewage entry	Tongji University; Stanford University	China; Estados Unidos

Ano	Periódico	Autores, citação	Autores	Título	Universidades/ Instituições	País das Universidade s/ Instituições
2017	Water and Environment Journal	Gonçalves; Kleidorfer; Rauch, 2017	Gonçalves, Mariana L. R.; Kleidorfer, Manfred; Rauch, Wolfgang	Case study on the use of a combined system as an intermediate solution in Brazil: cost estimate	University of Innsbruck	Austria
2015	Revista Brasileira de Recursos Hídricos	Fadel; Dornelles, 2015	Fadel, Amanda W.; Dornelles, Fernando	Eficiência da interceptação de esgoto sanitário em rede pluvial na bacia do Arroio Capivara – Porto Alegre/RS	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP	Brasil
2014	Water Science and Technology	Li <i>et al.</i> , 2014	Li, Tian; Zhang, Wei; Feng, Cang; Shen, Jun	Performance assessment of separate and combined sewer systems in metropolitan areas in southern China	Tongji University	China
2014	Science of the Total Environment	Xu; Yin; Li, 2014	Xu, Zuxin; Yin, Hailong; Li, Huaizheng	Quantification of non-stormwater flow entries into storm drains using a water balance approach	Tongji University;	China
2013	Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais	Machado; Borja; Moraes, 2013	Machado, Adriana S.; Borja, Patrícia C.; Moraes, Luiz Roberto S.	Desafios e oportunidades para a implantação de uma das propostas do PEMAPES: o sistema combinado	Universidade Federal da Bahia	Brasil
2009	International Conference on Pipelines and Trenchless Technology 2009	Li; Ma; Zeng, 2009	Li, Tian; Ma, Li; Zeng, Yanjun	Deterioration of discharge quality of separate storm systems caused by intercepting dry weather flows	Tongji University	China

Fonte: autoria própria (2023).

Quadro 12 – Lista de publicações incluídas que apenas mencionam as CTTS

Ano	Periódico	Autores, citação	Autores	Título	Universidades/ Instituições	País das Universidades / Instituições
2021	Journal of Cleaner Production	Wang <i>et al.</i> , 2021	Wang, Ling; Yu, Liqing; Xiong, Yan; Li, Zhuoni; Geng, Jie	Study on the governance of black-odor water in Chinese cities	Zhejiang University of Finance and Economics;	China; China
2021	Journal of Cleaner Production	Yin; Islam; Ju, 2021	Yin, Hailong; Islam, Md Sahidul; Ju, Mengdie	Urban river pollution in the densely populated city of Dhaka, Bangladesh: Big picture and rehabilitation experience from other developing countries	UNEP - Tongji Institute of Environment for Sustainable Development; Tongji University	China; China
2021	Revista Internacional de Ciências	Toledo <i>et al.</i> , 2021	Toledo, Luane Marques; Wall, Fernanda Carvalho Moreno; Obraczka, Marcelo; Salomão, André Luís de Sá	Panorama do sistema lagunar de Maricá-RJ: Indicadores de saneamento vs. Qualidade de água	Universidade do Estado do Rio de Janeiro	Brasil
2021	Página eletrônica Observatório Nacional dos Direitos à Água e ao Saneamento	Moretti; Silva, 2021	Moretti, Ricardo S.; Silva, Edson A.	Sistemas urbanos de esgotos e drenagem das águas pluviais - poluição difusa e interconexões	Universidade Federal do ABC; Observatório Nacional dos Direitos à Água e ao Saneamento	Brasil; Brasil
2019	Water (Switzerland)	Wei <i>et al.</i> , 2019	Wei, Zhongqing; Huang, Xiangfeng; Lu, Lijun; Shangguan, Haidong; Chen, Zhong; Zhan, Jiajun; Fan, Gongduan	Strategy of rainwater discharge in combined sewage intercepting manhole based on water quality control	Tongji University; Fuzhou City Construction Design & Research Institute Co. Ltd.; Fuzhou University	China; China; China
2018	6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente	Tronca <i>et al.</i> , 2018	Tronca, Isadora F.; Brum, Marília M.; Mallmann, Eduarda H.; Marin, Renata M.; Wartchow, Dieter	A importância da gestão integrada de águas residuárias. Estudo de caso: municípios de pequeno porte do Rio Grande do Sul	Universidade Federal do Rio Grande do Sul	Brasil
2016	Environmental Earth Sciences	Liao <i>et al.</i> , 2016	Liao, Zhenliang; Zhi, Guozheng; Zhou, Yiwen; Xu, Zuxin; Rink, Karsten	To analyze the urban water pollution discharge system using the tracking and tracing approach	Tongji University; Helmholtz-Centre for Environmental Research	China; Alemanha
2016	Ecological Indicators	Xu <i>et al.</i> , 2016	Xu, Zuxin; Wang, Lingling; Yin, Hailong; Li, Huaizheng; Schwegler, Benedict R.	Source apportionment of non-storm water entries into storm drains using marker species: Modeling approach and verification	Tongji University; Stanford University	China; EUA
2012	Water Science and Technology	Morihama <i>et al.</i> , 2012	Morihama, Ana Carolina D.; Amaro, C.; Tominaga, Erika N. S.; Yazaki, Luiz Fernando O. L.; Pereira, Maria Cristina S.; Porto,	Integrated solutions for urban runoff pollution control in Brazilian metropolitan regions	Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica - FCTH; Universidade de São Paulo	Brasil; Brasil

Ano	Periódico	Autores, citação	Autores	Título	Universidades/ Instituições	País das Universidades / Instituições
			Monica F. A.; Mukai, P.; Lucci, Rodrigo M.			
2010	Water and Environment Journal	Li; Tan; Zhu, 2010	Li, Tian; Tan, Qiong; Zhu, Shiqing	Characteristics of combined sewer overflows in Shanghai and selection of drainage systems	Tongji University; Wallingford Software China; Shanghai Water Authority	China; China; China
2008	Journal of Environmental Engineering	Li; Zhou; Li, 2008	Li, Tian; Zhou, Yong-Chao; Li, He	Quantifying nonstorm-water discharges to storm-water systems with model analysis	Tongji University;	China
1992	Advances in Applied Microbiology	O'Shea; Field, 1992	O'Shea, Marie L.; Field, Richard I.	An evaluation of bacterial standards and disinfection practices used for the assessment and treatment of stormwater	US. Environmental Protection Agency - USEPA	EUA
2010	9th International Conference on Hydrodynamics - Journal of Hydrodynamics	Yin; Xu, 2010	Yin, Hailong; Xu, Zuxin	Transitional gravity flow of sewers inappropriate entry into storm drainage of a separate system	Tongji University	China
1994	Journal of Environmental Engineering	Field <i>et al.</i> , 1994	Field, Richard I.; Pitt, Robert; Lalor, Melinda; Brown, Michael; Vilkelis, William; Phackston, Edward	Investigation of dry-weather pollutant entries into storm-drainage systems	U.S. Environmental Protection Agency - USEPA; University of Alabama at Birmingham; Vanderbilt University	EUA; EUA; EUA
2011	Engevista	Dias; Rosso, 2011	Dias, Alexandre P.; Rosso, Thereza C. A.	Análise dos elementos atípicos do sistema de esgoto – separador absoluto – na cidade do Rio de Janeiro	Fiocruz; Universidade Federal do Rio de Janeiro; Universidade do Estado do Rio de Janeiro	Brasil; Brasil; Brasil
2011	Recursos Hídricos (Portugal)	Rosso; Dias; Giordano, 2011	Rosso, Thereza C. A.; Dias, Alexandre P.; Giordano, Ghandi	Vulnerabilidade dos sistemas de esgotamento sanitário da cidade do Rio de Janeiro, RJ, Brasil – relato de um caso de estudo	Universidade do Estado do Rio de Janeiro; Fiocruz; Universidade Federal do Rio de Janeiro; Universidade do Estado do Rio de Janeiro	Brasil; Brasil; Brasil
2005	XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos	Gehling; Benetti, 2005	Gehling, Gino R.; Benetti, Antônio D.	Aceitabilidade de sistema combinado de esgotos em planos diretores de esgotamento sanitário	Universidade Federal do Rio Grande do Sul	Brasil

Fonte: autoria própria (2023).

5.2.2 Universidades e instituições de pesquisa

As universidades e instituições de pesquisa responsáveis pelas pesquisas que abordam as CTTS e que mencionam o sistema, contidas nas publicações selecionadas, estão concentradas em quatro regiões do mundo, em 6 países e no Reino Unido, conforme se vê no mapa da Figura 9:

- Brasil, com 10 universidades ou instituições de pesquisa;
- Estados Unidos da América (EUA): 4;
- Portugal: 1;
- Reino Unido: 1;
- Alemanha: 1;
- Áustria 1; e
- China: 9.

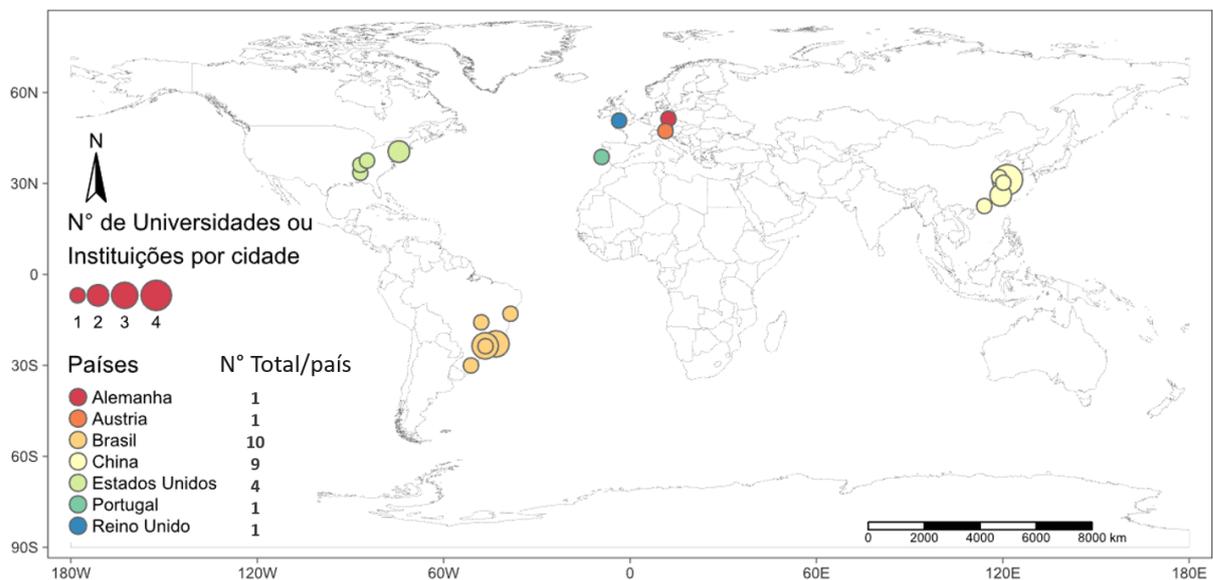


Figura 9 – Mapa *mundi* com países e cidades onde se localizam as universidades e instituições responsáveis pelas publicações que abordam as CTTS ou que apenas mencionam a técnica. Datum WGS84.

Fonte: autoria própria (2023).

Verifica-se que as 32 publicações selecionadas foram desenvolvidas por 27 universidades e instituições de pesquisa.

O Brasil é o país onde existem mais universidades e instituições envolvidas nas publicações sobre CTTS selecionadas, com 37% do total de 27, a China em segundo

lugar com 33%, em terceiro os EUA com 15% e na sequência os três países europeus, Portugal, Alemanha e Áustria e o Reino Unido com 3,7% cada.

A Figura 9 indica a distribuição locacional das instituições e universidades nos países com a escala que varia de 1 a 4 em número de instituições por localidade.

Os municípios envolvidos são indicados nos mapas individuais do Brasil, China, EUA e Europa (com destaque para Portugal, Reino Unido, Alemanha e Áustria), nas figuras Figura 10 a Figura 13, respectivamente.

Na Figura 10 são indicadas as 6 cidades onde se localizam as 10 universidades e instituições, dentre as quais destacam-se as cidades do Rio de Janeiro e São Paulo com 3 universidades/ instituições cada. Outros municípios como Salvador, Santo André e Porto Alegre, além de Brasília, possuem 1 universidade/ instituição cada.

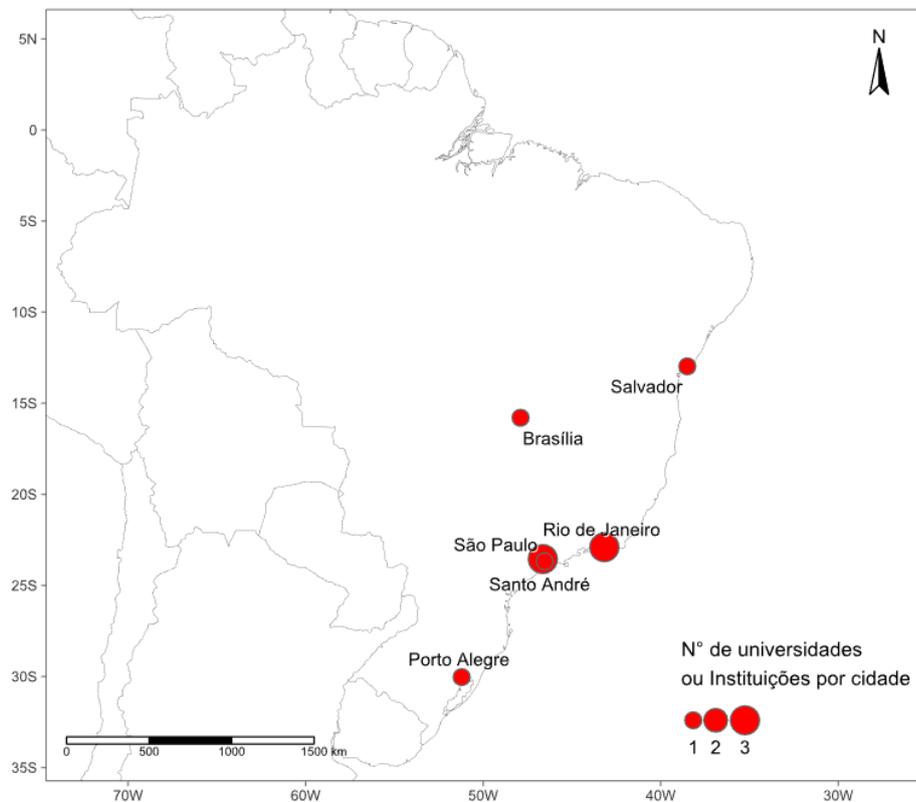


Figura 10 – Mapa Brasil com destaque para as cidades onde se localizam as universidades e instituições de pesquisa responsáveis pelas publicações que abordam as CTTS ou que apenas mencionam a técnica. Datum WGS84.

Fonte: autoria própria (2023).

Na China, ilustrada na Figura 11, as 9 universidades/ instituições se localizam nas 5 cidades apresentadas, dentre as quais destaca-se Shanghai com 4 universidades/ instituições; Fuzhou possui 2, e as demais cidades Shenzhen, Nanjing e Zhejiang possuem 1 universidade/ instituição cada.

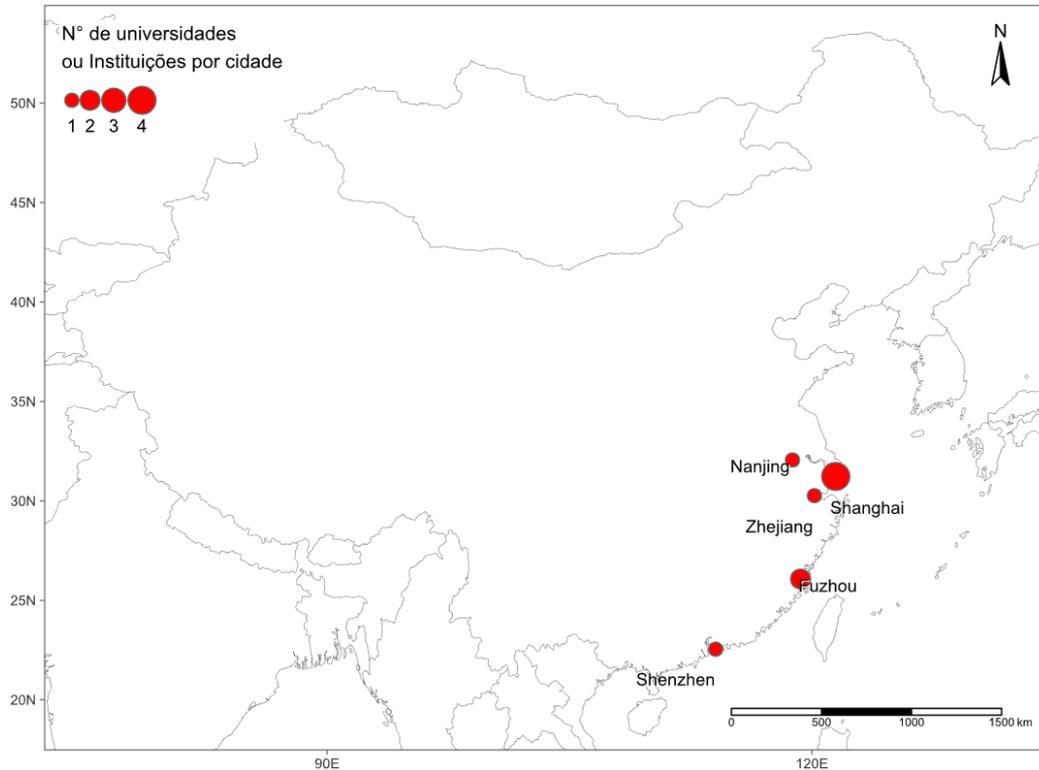


Figura 11 – Mapa China com destaque para as cidades onde se localizam as universidades e instituições de pesquisa responsáveis pelas publicações que abordam as CTTS ou que apenas mencionam a técnica. Datum WGS84.

Fonte: autoria própria (2023).

Nos EUA, Figura 12, são apresentadas 4 cidades, Edison, Stanford, Nashville e Birmingham, que reúnem 4 universidades/ instituições, sendo 1 por município.

Por fim, a Figura 13, apresenta o mapa da Europa onde destacam-se 4 cidades, Lisboa, Exeter, Leipzig e Innsbruck, localizadas em 4 países, Portugal, Reino Unido, Alemanha e Áustria, respectivamente, com 1 universidade/ instituição cada.

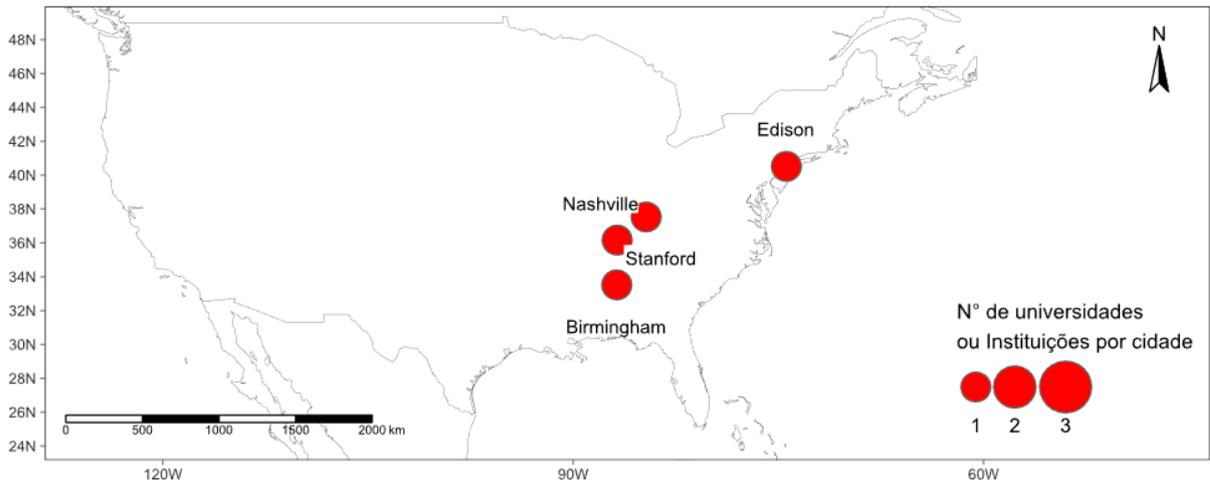


Figura 12 – Mapa EUA com destaque para as cidades onde se localizam as universidades e instituições de pesquisa responsáveis pelas publicações que abordam as CTTS ou que apenas mencionam a técnica. Datum WGS84.

Fonte: autoria própria (2023).

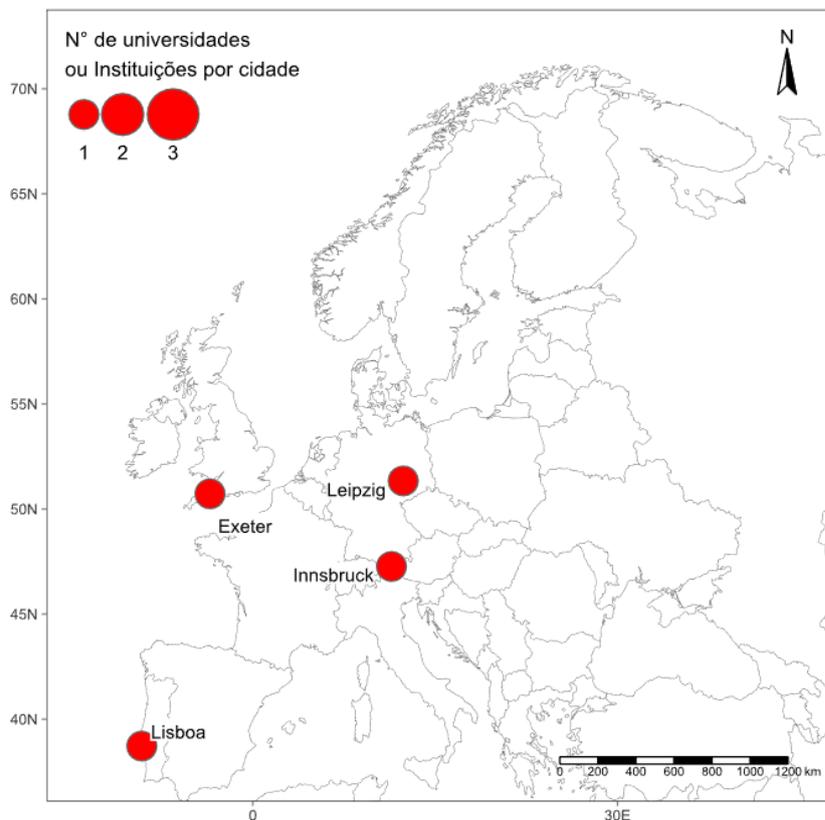


Figura 13 – Mapa Europa com destaque para as cidades onde se localizam as universidades e instituições de pesquisa responsáveis pelas publicações que abordam as CTTS ou que apenas mencionam a técnica. Datum WGS84.

Fonte: autoria própria (2023).

O Quadro 13 apresenta o resumo da relação das universidades e instituições de pesquisas por país, que apresentam estudos relacionados aos sistemas de CTTS.

Quadro 13 – Relação de universidade e instituições de pesquisa por cidade e por país, e número de publicações de cada uma.

País	Cidade da universidade/ instituição de pesquisa	n.º universidades/ instituições de pesquisa por cidade	Nome Universidade/ instituição de pesquisa	n.º publicações por universidade/ instituição de pesquisa
Brasil	Rio de Janeiro	3	Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ	6
			Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ	2
			Fundação Oswaldo Cruz - Fiocruz	2
	São Paulo	3	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - SABESP	1
			Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica - FCTH	1
			Universidade de São Paulo	1
	Brasília	1	Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFGS	4
	Porto Alegre	1	Observatório Nacional dos Direitos à Água e ao Saneamento - ONDAS	1
Salvador	1	Universidade Federal da Bahia - UFBA	1	
Santo André	1	Universidade Federal do ABC - UFABC	1	
China	Shanghai	4	Shanghai Water Authority	1
			UNEP - Tongji Institute of Environment for Sustainable Development	1
			Tongji University	11
			Wallingford Software China	1
	Fuzhou	2	Fuzhou University	1
			Fuzhou City Construction Design & Research Institute	1
	Nanjing	1	Hohai University	1
	Shenzhen	1	Peking University Shenzhen Graduate School	1
Zhejiang	1	Zhejiang University of Finance and Economics	1	
Estados Unidos	Birmingham	1	University of Alabama at Birmingham	1
	Edison	1	US. Environmental Protection Agency	2
	Nashville	1	Vanderbilt University	1
	Stanford	1	Stanford University	2
Alemanha	Leipzig	1	Helmholtz - Centre for Environmental Research	1
Áustria	Innsbruck	1	University of Innsbruck	1
Portugal	Lisboa	1	Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa	1
Reino Unido	Exeter	1	University of Exeter	1

Fonte: autoria própria (2023).

5.2.3 Autores

5.2.3.1 CTTS

Em relação aos 51 autores responsáveis pelas 15 publicações que tratam sobre CTTS, cinco deles, apresentados na Figura 14, participam de duas publicações e os demais 46 autores participam de apenas uma publicação.



Figura 14 - Autores com mais de uma publicação sobre CTTS e número de publicações.

Fonte: autoria própria (2023).

Os cinco autores com duas publicações são: *Li, Huaizheng*; *Volschan Jr., Isaac*; *Xu, Zuxin*; *Yin, Hailong*; e *Li, Tian*.

Os 46 autores com apenas uma publicação são apresentados no Quadro 14.

Quadro 14 – Autores com apenas uma publicação que aborda CTTS

Banahene, Patrick	Feng, Cang	Lopes, Ana Cristina R.	Paula, Cláudio H.	Silva, Aluízio M.	Yue, Zhenwu
Battemarco, Bruna P.	Ferreira, Filipa S.	Lu, Yi	Pereira, Luiz F. M.	Tardin-Coelho, Raquel H.	Zeng, Yanjun
Borja, Patrícia C.	Fu, Guangtao	Ma, Li	Qin, Hua-peng	Tronca, Isadora F.	Zhang, Wei
Brum, Marília M.	Gonçalves, Mariana L. R.	Machado, Adriana S.	Rauch, Wolfgang	Veról, Aline P.	Zheng, Ke
Chen, Sidian	Jiang, Haizhuan	Marin, Renata M.	Rutigliani, Victória A.	Vieira, Alexandre R.	Zheng, Yu
Costa, Daniel C.	Kleidorfer, Manfred	Matos, José S.	Santos, Paulo R.	Wang, Haiying	Zhou, Yuxuan
Dornelles, Fernando	Kusterko, Sheila K.	Miguez, Marcelo G.	Schwegler, Benedict R.	Wartchow, Dieter	
Fadel, Amanda W.	Li, Yiping	Moraes, Luiz Roberto S.	Shen, Jun	Wu, Bin	

Fonte: autoria própria (2023).

5.2.3.2 Menciona CTTS

Em relação aos 58 autores das publicações que apenas mencionam os CTTS, verifica-se que cinco autores possuem mais de uma publicação (Figura 15) e os demais 53 autores participaram de apenas uma publicação.



Figura 15 – Autores com mais de uma publicação que menciona CTTS e número de publicações.

Fonte: autoria própria (2023).

Dois autores são os que mais possuem publicações, sendo três publicações cada um, que apenas mencionam as CTTS: *Xu, Zuxin* e *Yin, Hailong*.

Três autores possuem duas publicações: *Rosso, Thereza C. A.*; *Li, Tian* e *Dias, Alexandre P.* Os demais 53 autores que possuem apenas uma publicação cada são apresentados no Quadro 15.

Quadro 15 – Autores com apenas uma publicação que aborta CTTS

Benetti, Antônio D.	Islam, Md Sahidul	Marin, Renata M.	Rink, Karsten	Vilkelis, William	Zhu, Shiqing
Brown, Michael	Ju, Mengdie	Moretti, Ricardo S.	Salomão, André Luís S.	Wall, Fernanda C. M.	Zhan, Jiajun
Brum, Marília M.	Lalor, Melinda	Morihama, Ana Carolina D.	Schwegler, Benedict R.	Wang, Ling	Huang, Xiangfeng
Chen, Zhong	Li, He	Mukai, P.	Shangguan, Haidong	Wang, Lingling	Zhi, Guozheng
Fan, Gongduan	Li, Huaizheng	Obraczka, Marcelo	Silva, Edson A.	Wartchow, Dieter	Amaro, C.
Field, Richard I.	Li, Zhuoni	Pereira, Maria Cristina S.	Tan, Qiong	Wei, Zhongqing	Zhou, Yiwen
Gehling, Gino R.	Liao, Zhenliang	Phackston, Edward	Toledo, Luane Marques	Xiong, Yan	Lu, Lijun
Geng, Jie	Lucci, Rodrigo M.	Pitt, Robert	Tominaga, Erika N. S.	Yazaki, Luiz Fernando O. L.	Zhou, Yong-Chao
Giordano, Ghandi	Mallmann, Eduarda H.	Porto, Monica F. A.	Tronca, Isadora F.	Yu, Liqing	

Fonte: autoria própria (2023).

5.2.4 Periódicos e Eventos Científicos

5.2.4.1 CTTS

Em relação aos periódicos e eventos científicos nos quais os 15 trabalhos que abordam as CTTS foram publicados, eles foram separados em (i) artigos e (ii) outras publicações, assim como apresentado anteriormente para todas as publicações incluídas.

Os 11 artigos foram publicados em 10 periódicos, o que indica que apenas um periódico foi responsável por 2 publicações: *Journal of Environmental Management*, os demais tiveram recorrência única, conforme apresentado na Figura 16.

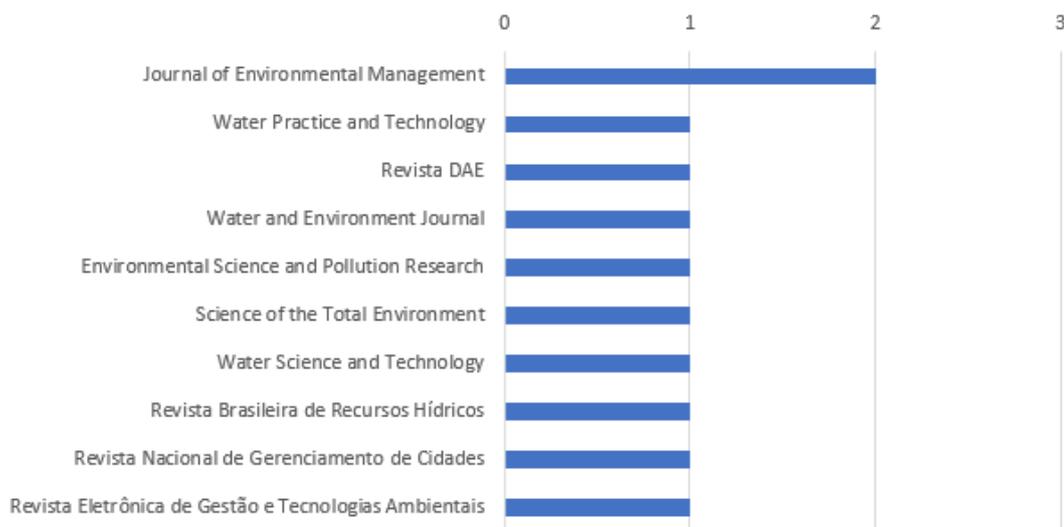


Figura 16 – Periódicos onde as publicações do tipo (i) artigos que abordam as CTTS foram publicadas e quantitativos de cada um.

Fonte: autoria própria (2023).

Os trabalhos tipificados como outras publicações são quatro, e todos com recorrência única, conforme apresenta-se na Figura 17.

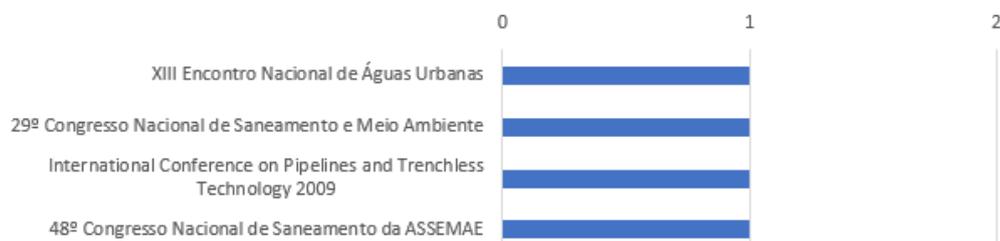


Figura 17 – Eventos onde as publicações do tipo (ii) outras publicações que abordam as CTTS foram publicadas e quantitativos de cada um.

Fonte: autoria própria (2023).

5.2.4.2 Menciona CTTS

Relativamente às 17 publicações que apenas mencionam as CTTS, também foram divididas entre (i) artigos e (ii) outras publicações.

Os 13 artigos foram publicados em 11 periódicos sendo que dois deles tiveram recorrência de duas publicações: *Journal of Environmental Engineering*; e *Journal of Cleaner Production*, e os 9 outros periódicos recorrência única, como apresentado na Figura 18.

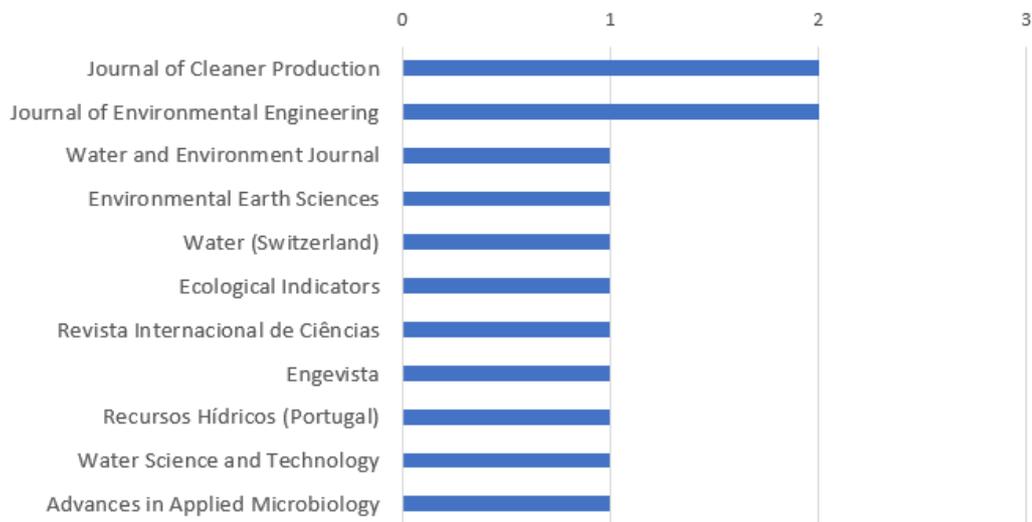


Figura 18 – Periódicos onde as publicações do tipo (i) artigos que apenas menciona as CTTS foram publicadas e quantitativos de cada um.

Fonte: autoria própria (2023).

Já as outras publicações que apenas mencionam as CTTS são quatro, com uma publicação em cada (Figura 19).

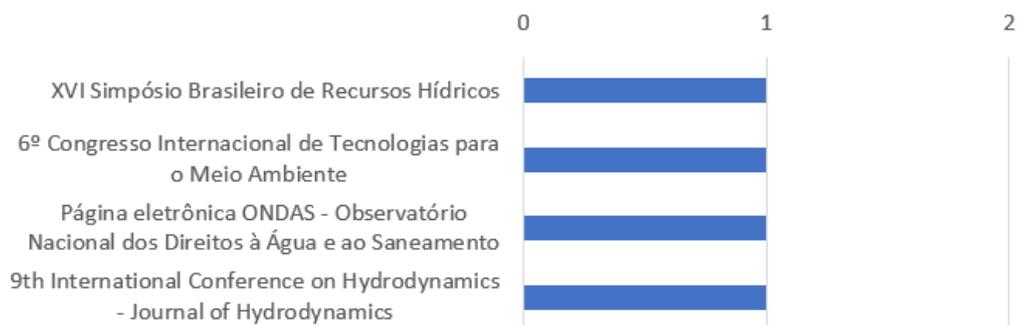


Figura 19 – Eventos e sítio eletrônico onde as publicações do tipo (ii) outras publicações que apenas mencionam as CTTS foram publicadas e quantitativos de cada um.

Fonte: autoria própria (2023).

5.2.5 Ano de publicação

Os anos de publicação da literatura selecionada que abordam as CTTS e que apenas mencionam as CTTS são apresentados na Figura 20 por meio de gráficos que indicam a evolução do número de trabalhos no tempo. O gráfico em laranja representa as publicações que abordam as CTTS e o gráfico em azul aquelas que apenas mencionam as CTTS; é indicada a curva de publicações acumuladas, ano a ano, no gráfico laranja, com eixo vertical secundário à direita.

As 15 publicações que abordam as CTTS se concentram no período de 2009 a 2023, já aquelas que apenas mencionam as CTTS estão no período de 1992 a 2021.

Dessa forma, a publicação mais antiga alcançada data do ano de 1992, há 31 anos, e ela apenas menciona as CTTS. Após esse ano houve outras publicações em 1994, 2005 e 2008 que também apenas mencionavam as CTTS e somente no ano de 2009, há 14 anos, houve a primeira publicação que abordava especificamente as CTTS. As publicações que apenas mencionavam as CTTS seguiram em maior frequência até o ano de 2013, quando houve um período de três anos (até 2015) em que foram publicados 4 trabalhos que abordavam especificamente as CTTS e nenhum que apenas mencionava as CTTS. A partir desse período, até o ano de 2023, as publicações que abordam as CTTS passaram a ser a maioria se comparado com as que apenas mencionam as CTTS.

A partir de 2013, ou seja, nos últimos 10 anos, 14 trabalhos que abordam as CTTS foram publicados e 8 trabalhos que mencionam as CTTS foram publicados.

Pode-se alargar essa análise para os últimos 14 anos, quando a primeira publicação que aborda especificamente as CTTS foi publicada. No período foram publicados os 15 trabalhos incluídos na revisão que abordam as CTTS e 13 trabalhos que apenas mencionam as CTTS.

Conforme já indicado anteriormente, é importante destacar que as publicações foram buscadas nas bases indexadoras entre os dias 27 de abril e 02 de maio de 2022, para as buscas em inglês, e no dia 11 de maio de 2022 para a busca em português. Além disso, foi incluída pelo critério de “outras buscas” uma publicação indicada por um

pesquisador datada do ano de 2023. Portanto, os quantitativos apresentado para os anos de 2022 e 2023 podem não refletir a totalidade de publicações que seriam alcançadas com a metodologia aplicada para esses os anos completos.

Verifica-se uma tendência de aumento das publicações ao longo do período avaliado de 31 anos, como indicam a linha amarela, especialmente a partir do ano de 2008, onde em todos os anos houve ao menos uma publicação, seja ela sobre as CTTS ou que apenas mencionava as CTTS.

Nesse período, de 2008 até 2023, últimos 15 anos, foram publicados 29 (91%) dos 32 trabalhos; 100% dos 15 trabalhos que abordam as CTTS; e 14 (82%) das 17 publicações que apenas mencionam as CTTS.

Nos 31 anos com dados incluídos, 13 (42%) anos não tiveram publicações e a maioria teve ao menos 1 publicação incluída, 18 (58%) anos.

O maior número de publicações (4) em um mesmo ano ocorreu em 2021, e todas elas apenas mencionavam as CTTS. O segundo maior número (3) ocorreu em 2018 e 2020. O terceiro maior número (2) teve maior recorrência, em 6 anos: 2010; 2011; 2014; 2016; 2017; e 2019. Já a publicação de apenas 1 trabalho teve recorrência em 10 anos: 1992; 1994; 2005; 2008; 2009; 2012; 2013; 2015; 2022; e 2023.

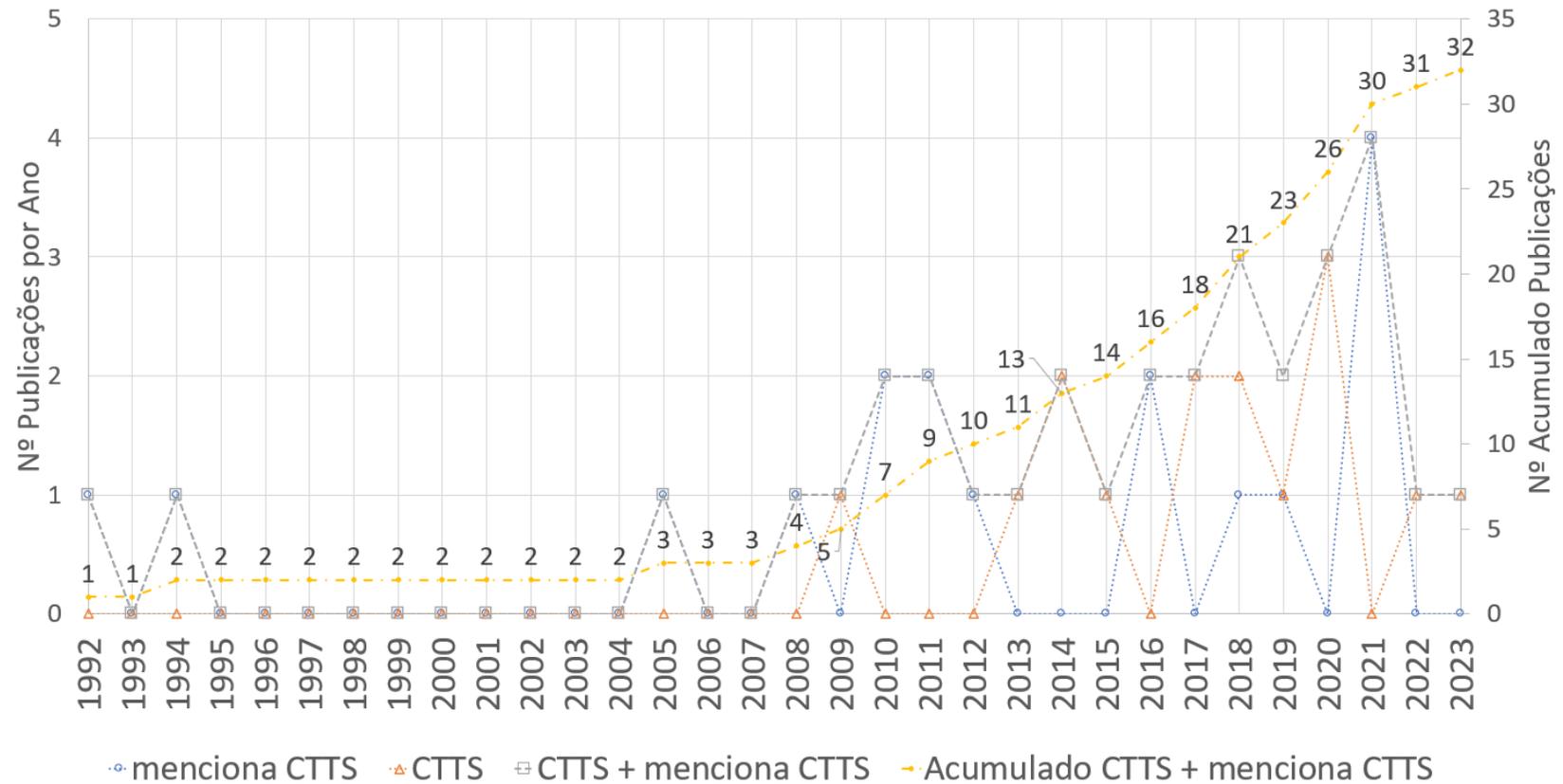


Figura 20 – Número de publicações por ano - 1992 a 2023 – que abordam as CTTS (laranja) e que apenas mencionam as CTTS (azul); somatório das publicações de abordam e mencionam as CTTS (cinza); e número acumulado no tempo (amarelo).

Fonte: autoria própria (2023).

5.2.6 Locais dos estudos de caso

Dentre as 32 publicações que abordam os CTTS como temática principal ou apenas como uma breve menção ao sistema, 27 (84%) apresentam estudos de caso e 5 (16%) não apresentam.

5.2.6.1 CTTS

Das 15 publicações que abordam as CTTS, 14 (93%) possuem estudos de caso. O Quadro 17 lista estas publicações e indica os locais dos estudos: país; estado/província/ região; e município. Verifica-se que algumas cidades são objeto de estudo em mais de uma publicação, e se repetem na lista, como por exemplo Rio de Janeiro no Brasil e Shanghai, na China. E algumas publicações se referem a mais de uma localidade, como Li *et al.* (2014) que trata das cidades de Shanghai e Hefei, e Pereira, Matos e Ferreira (2020) que abordam os casos da cidade do Rio de Janeiro e da Área Metropolitana de Lisboa.

Além disso, duas publicações se referem a estudos de caso em esferas administrativas superiores a município, como Machado, Borja e Moraes (2013) que se refere ao estado da Bahia, no Brasil e Pereira, Matos e Ferreira (2020) que em dois estudos de caso se referem a esfera metropolitana, na Área Metropolitana de Lisboa.

A Figura 21 apresenta essas localidades geograficamente no mundo e onde se vê que as publicações estudam casos que se concentram no Brasil (8 estudos), na China (7 estudos), e ainda dois estudos que se referem à Área Metropolitana de Lisboa (AML).

O Quadro 16 apresenta o número de publicações por país, estado/ província/ região e município e complementa a informação sobre a distribuição espacial das mesmas.

Quadro 16 – País, Estado/ Província/ Região e Município com seus respectivos números de estudos de caso das publicações que abordam as CTTS.

País	Nº casos por país	Estado/ província/ região	Nº casos por estado/ província/ região	Município	Nº casos por município
Brasil	8	Bahia	1	-	1
		Rio de Janeiro	3	Arraial do Cabo	1
				Rio de Janeiro	2
		Rio Grande do Sul	2	Caxias do Sul	1
				Porto Alegre	1
		Santa Catarina	1	Joinville	1
São Paulo	1	São Paulo	1		
China	7	NA	4	Shanghai	4
		Guangdong	1	Shenzhen	1
		Guangxi	1	Nanning	1
		Anhui	1	Hefei	1
Portugal	2	Área Metropolitana de Lisboa	2	-	2

OBS.: "-" (hífen)= Estudo não foca na esfera local e sim na esfera territorial intermediária (estado, província, região).

Fonte: autoria própria (2023).

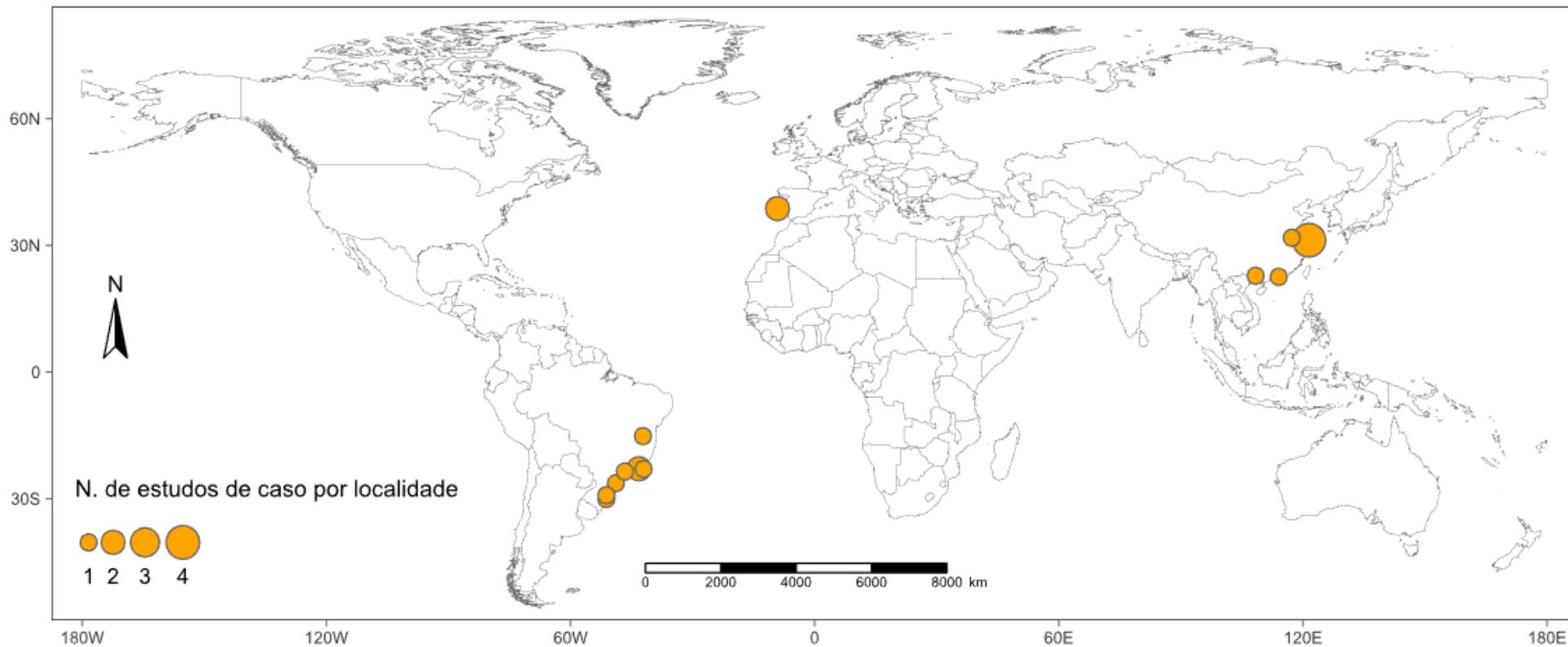


Figura 21 – Localidades onde as publicações indicam estudos de caso que abordam os sistemas de CTTS.

Fonte: autoria própria (2023).

Quadro 17 – Publicações que abordam CTTS com estudos de caso e indicação do país, estado/ província/ região e município onde se localiza o estudo.

Ano	Referência Citação	Autor	Título	País	Estado/ Província/ Região	Município
2022	Li <i>et al.</i> , 2022	Li, Y.; Zhou, Y.; Wang, H.; Jiang, H.; Yue, Z.; Zheng, K. Ke; Wu, B.; Banahene, P.	Characterization and sources apportionment of overflow pollution in urban separate stormwater systems inappropriately connected with sewage	China	Guangxi	Nanning
2020	Volschan Jr., 2020	Volschan Jr., I.	The challenge of dry-weather sewage intakes as a sustainable strategy to develop urban sanitation in the tropics.	Brasil	Rio de Janeiro	Rio de Janeiro
2020	Veról <i>et al.</i> , 2020	Veról, A. P.; Miguez, M. G.; Tardin-Coelho, R. H.; B., Bruna P.; Rutigliani, V. A.; Costa, D. C.	Proposição do sistema de coleta em tempo seco em Arraial do Cabo (RJ) para melhoria da qualidade ambiental	Brasil	Rio de Janeiro	Arraial do Cabo
2020	Pereira; Matos; Ferreira, 2020	Pereira, L. F. M.; Matos, J. S.; Ferreira, F. S.	Inserção do sistema de drenagem na concepção dos projetos de esgotamento sanitário – sua pertinência, viabilidade e admissibilidade	Brasil; Portugal	Rio de Janeiro; Área Metropolitana de Lisboa (AML)	Rio de Janeiro; -
2019	Chen <i>et al.</i> , 2019	Chen, S.; Qin, H.; Zheng, Y.; Fu, G.	Spatial variations of pollutants from sewer interception system overflow	China	Guangdong	Shenzhen
2018	Brum <i>et al.</i> , 2018	Brum, M. M.; Tronca, I. F.; Marin, R. M.; Wartchow, D.	Adoção de metodologias alternativas para o alcance da universalização dos serviços de esgotamento sanitário	Brasil	Rio Grande do Sul	Caxias do Sul
2018	Santos <i>et al.</i> , 2018	Santos, P. R.; Silva, A. M.; Paula, C. H.; Vieira, A. R.	Sistema de interceptação e captação de esgoto em galeria de água pluvial utilizando a válvula de tempo seco	Brasil	São Paulo	São Paulo
2017	Yin <i>et al.</i> , 2017	Yin, H.; Lu, Y.; Xu, Z.; Li, H.; Schwegler, B. R.	Characteristics of the overflow pollution of storm drains with inappropriate sewage entry	China	NA	Shanghai
2017	Gonçalves; Kleidorfer; Rauch, 2017	Gonçalves, M. L. R.; Kleidorfer, M.; Rauch, W.	Case study on the use of a combined system as an intermediate solution in Brazil: cost estimate	Brasil	Santa Catarina	Joinville
2015	Fadel; Dornelles, 2015	Fadel, A. W.; Dornelles, F.	Eficiência da interceptação de esgoto sanitário em rede pluvial na bacia do Arroio Capivara – Porto Alegre/RS	Brasil	Rio Grande do Sul	Porto Alegre
2014	Li <i>et al.</i> , 2014	Li, T.; Zhang, W.; Feng, C.; Shen, J.	Performance assessment of separate and combined sewer systems in metropolitan areas in southern China	China	NA; Anhui	Shanghai; Hefei
2014	Xu; Yin; Li, 2014	Xu, Z.; Yin, H.; Li, H.	Quantification of non-stormwater flow entries into storm drains using a water balance approach	China	NA	Shanghai
2013	Machado; Borja; Moraes, 2013	Machado, A. S.; Borja, P. C.; Moraes, L. R. S. M.	Desafios e oportunidades para implantação de uma das propostas do PEMPES: o sistema combinado	Brasil	Bahia	-
2009	Li; Ma; Zeng, 2009	Li, T.; Ma, L.; Zeng, Y.	Deterioration of discharge quality of separate storm systems caused by intercepting dry weather flows	China	NA	Shanghai

OBS.: NA= Não se aplica (local que não possui esfera intermediária entre o país e a municipalidade); "-" (hifen)= Estudo não foca na esfera local e sim na esfera territorial intermediária.

Fonte: autoria própria (2023).

5.2.6.2 Mencionam CTTS

Relativamente às 17 publicações que apenas mencionam as CTTS, 13 (76%) apresentam estudos de caso. O Quadro 19 lista estas publicações e indica os locais dos estudos de caso: país; estado/ província/ região; e município.

Verifica-se que, novamente, algumas cidades são objeto de estudo em mais de uma publicação, e se repetem na lista, como o Rio de Janeiro no Brasil e Shanghai, na China. E algumas publicações são referentes a mais de uma localidade, como Yin, Islam, Ju (2021) que tratam das cidades de Dhaka, no Bangladesh e Shanghai, na China.

Algumas publicações são focadas em estudos de caso para regiões em esferas regionais ou nacionais, como Wang *et al.* (2021), focado na China, Tronca *et al.* (2018), focado no estado do Rio Grande do Sul, no Brasil.

A Figura 22 apresenta essas localidades geograficamente no mundo e onde se vê que as publicações estudam casos que se concentram no Brasil (6 estudos), na China (8 estudos), e no Bangladesh (1 estudo).

O Quadro 18 apresenta o número de publicações por país, estado/ província/ região e município e complementa a informação sobre a distribuição espacial das mesmas.

Quadro 18 – País, Estado/ Província/ Região e Município com seus respectivos números de estudos de caso das publicações que mencionam as CTTS

País	Nº casos por país	Estado/ província/ região	Nº casos por estado/ província/ região	Município	Nº casos por município
Bangladesh	1	Dhaka	1	Dhaka	1
Brasil	6	Rio de Janeiro	4	Rio de Janeiro	2
				Maricá	1
				Saquarema	1
		Rio Grande do Sul	1	-	1
		São Paulo	1	São Paulo	1
China	8	-	-	-	-
		NA	NA	Shanghai	5
		Anhui	1	Chaohu	1
		Fujian	1	Fuzhou	1

OBS.: NA= Não se aplica (local que não possui esfera intermediária entre o país e municipalidade); "-" (hífen)= Estudo não foca na esfera local ou intermediária e sim na esfera territorial superior (estado, província, região ou país).

Fonte: autoria própria (2023).

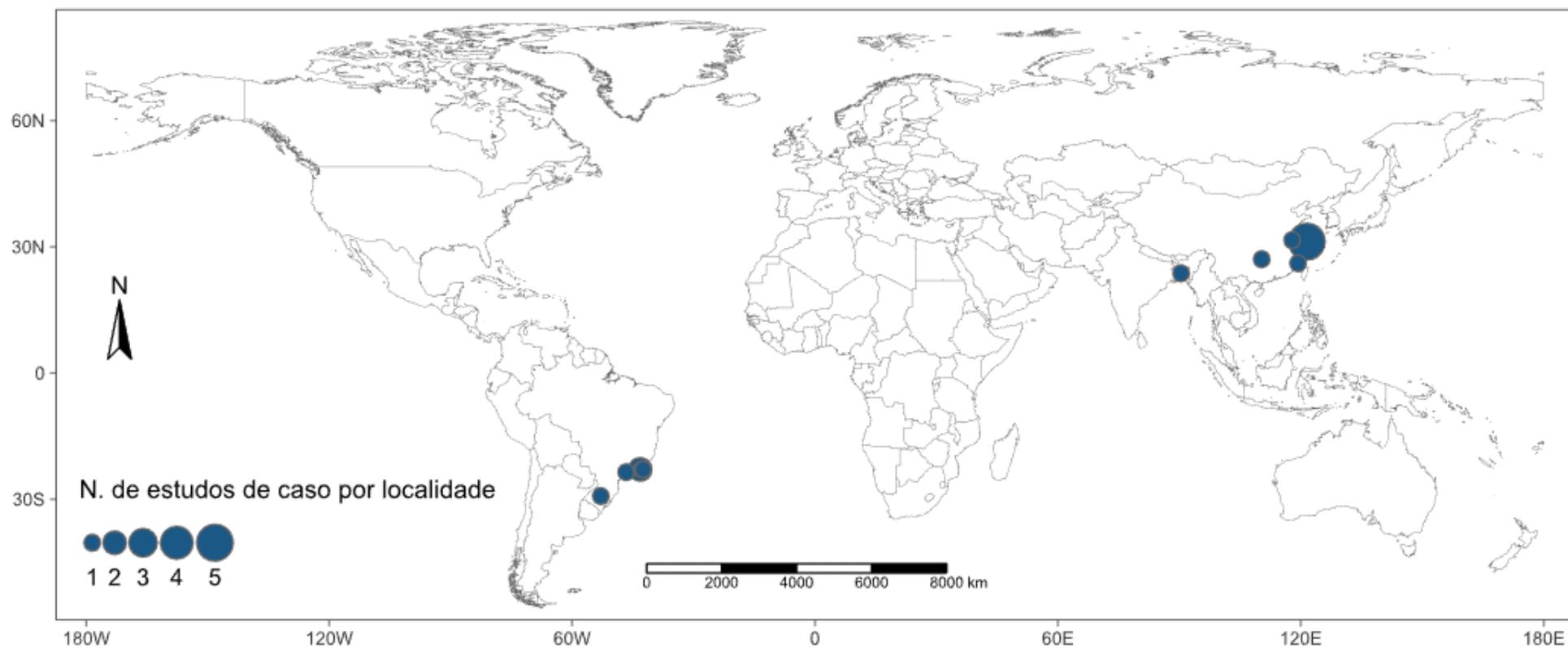


Figura 22 – Localidades onde as publicações que apenas mencionam as CTTS indicam estudos de caso que abordam os sistemas de CTTS.

Fonte: autoria própria (2023).

Quadro 19 – Publicações que apenas mencionam as CTTs com estudos de caso e indicação do país, estado/ província/ região e município onde se localiza o estudo.

Ano	Referência Citação	Autor	Título	País	Estado/ Província/ Região	Município
2021	Wang <i>et al.</i> , 2021	Wang, L.; Yu, L.; Xiong, Y.; Li, Z.; Geng, J.	Study on the governance of black-odor water in Chinese cities	China	-	-
2021	Yin; Islam; Ju, 2021	Yin, H.; Islam, M. S.; Ju, M.	Urban river pollution in the densely populated city of Dhaka, Bangladesh: Big picture and rehabilitation experience from other developing countries	Bangladesh	Dhaka; NA	Dhaka; Shanghai
2019	Wei, Z., 2019	Wei, Z.; Huang, X.; Lu, L.; Shangguan, H.; Chen, Z.; Zhan, J.; Fan, G.	Strategy of rainwater discharge in combined sewage intercepting manhole based on water quality control	China	Fujian	Fuzhou
2016	Liao <i>et al.</i> , 2016	Liao, Z.; Zhi, G.; Zhou, Y.; Xu, Z.; Rink, K.	To analyze the urban water pollution discharge system using the tracking and tracing approach	China	Anhui	Chaohu
2016	Xu <i>et al.</i> , 2016	Xu, Z.; Wang, L.; Yin, H.; Li, H.; Schwegler, B.R.	Source apportionment of non-storm water entries into storm drains using marker species: Modeling approach and verification	China	NA	Shanghai
2012	Morihama <i>et al.</i> , 2012	Morihama, A.C.D; Amaro, C.; Tominaga, E. N. S.; Yazaki, L. F. O. L.; Pereira, M. C. S.; Porto, M. F. A.; Mukai, P.; Lucci, R. M.	Integrated solutions for urban runoff pollution control in Brazilian metropolitan regions	Brasil	São Paulo	São Paulo
2010	Li; Tan; Zhu, 2010	Li, T.; Tan, Q.; Zhu, S.	Characteristics of combined sewer overflows in Shanghai and selection of drainage systems	China	NA	Shanghai
2008	Li; Zhou; Li, 2008	Li, T.; Zhou, Y.-C.; Li, H.	Quantifying nonstorm-water discharges to storm-water systems with model analysis	China	NA	Shanghai
2021	Toledo <i>et al.</i> , 2021	Toledo, L. M.; Wall, F. C. M.; Obraczka, M.; Salomão, A. L. S.	Panorama do Sistema Lagunar de Maricá – RJ: Indicadores de Saneamento vs. Qualidade de Água	Brasil	Rio de Janeiro	Maricá
2010	Yin; Xu, 2010	Yin, Hailong; Xu, Zuxin	Transitional gravity flow of sewers inappropriate entry into storm drainage of a separate system	China	NA	Shanghai
2011	Dias; Rosso, 2011	Dias, A. P.; Rosso, T. C. A.	Análise dos elementos atípicos do sistema de esgoto – separador absoluto – na cidade do Rio de Janeiro	Brasil	Rio de Janeiro	Rio de Janeiro
2011	Rosso; Dias; Giordano, 2011	Rosso, T. C. A.; Dias, A. P.; Giordano, G.	Vulnerabilidade dos sistemas de esgotamento sanitário da cidade do Rio de Janeiro, RJ, Brasil – relato de um caso de estudo	Brasil	Rio de Janeiro	Rio de Janeiro
2018	Tronca <i>et al.</i> , 2018	Tronca, I. F.; Brum, M. M.; Mallmann, E. H.; Marin, R. M.; Wartchow, D.	A importância da gestão integrada de águas residuárias. Estudo de caso: municípios de pequeno porte do Rio Grande do Sul	Brasil	Rio Grande do Sul	-

OBS.: NA= Não se aplica (local que não possui esfera intermediária entre o país e a municipalidade); "-" (hífen)= Estudo não foca na esfera local ou intermediária e sim na esfera territorial superior.

Fonte: autoria própria (2023).

5.2.6.3 Mapas dos países - CTTS e Mencionam CTTS

As figuras a seguir apresentam a localização espacial na escala de país, e no caso do Brasil, também de estado, com a escala do número de estudos de caso de publicações que abordam os sistemas de CTTS ou apenas mencionam as CTTS.

A Figura 23 apresenta a localização dos dois estudos de caso identificados em na Área Metropolitana de Lisboa, apresentado por Pereira; Matos; Ferreira, (2020).

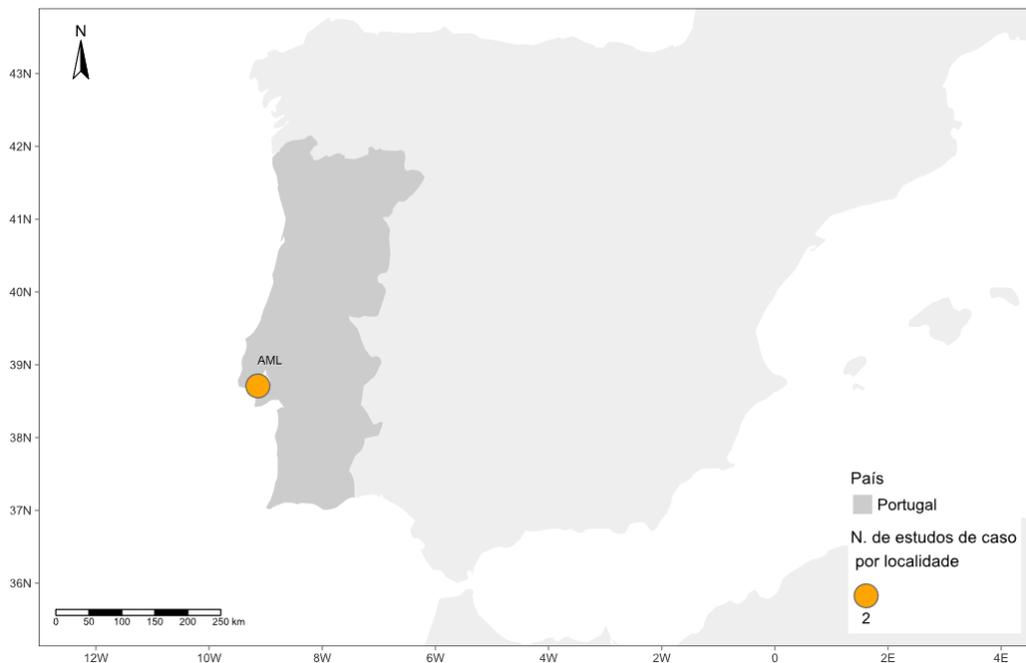


Figura 23 – Mapa de Portugal, número de estudos de caso por localidade. Estudos de caso de publicações que abordam as CTTS.

Fonte: autoria própria (2023).

A Figura 24 apresenta os mapas do Brasil onde observa-se o que os estudos se concentram em 2 estados do sul, RS e SC, em 2 estados da região sudeste, SP e RJ, além de 1 caso no estado da Bahia. A cidade do Rio de Janeiro se destaca com 4 estudos, 2 de publicações que abordam as CTTS e 2 de publicações que mencionam.

Na Ásia, parcialmente apresentada na Figura 25, o Bangladesh possui 1 estudo de caso na capital Dhaka, e a China apresenta 15 estudos de caso, concentrados nas regiões centro-sul e leste. Foi identificado um estudo que aborda a China como um todo e apenas menciona as CTTS. Shanghai se destaca com 9 estudos de caso, sendo 4 de publicações que abordam as CTTS e 5 de publicações que apenas mencionam.

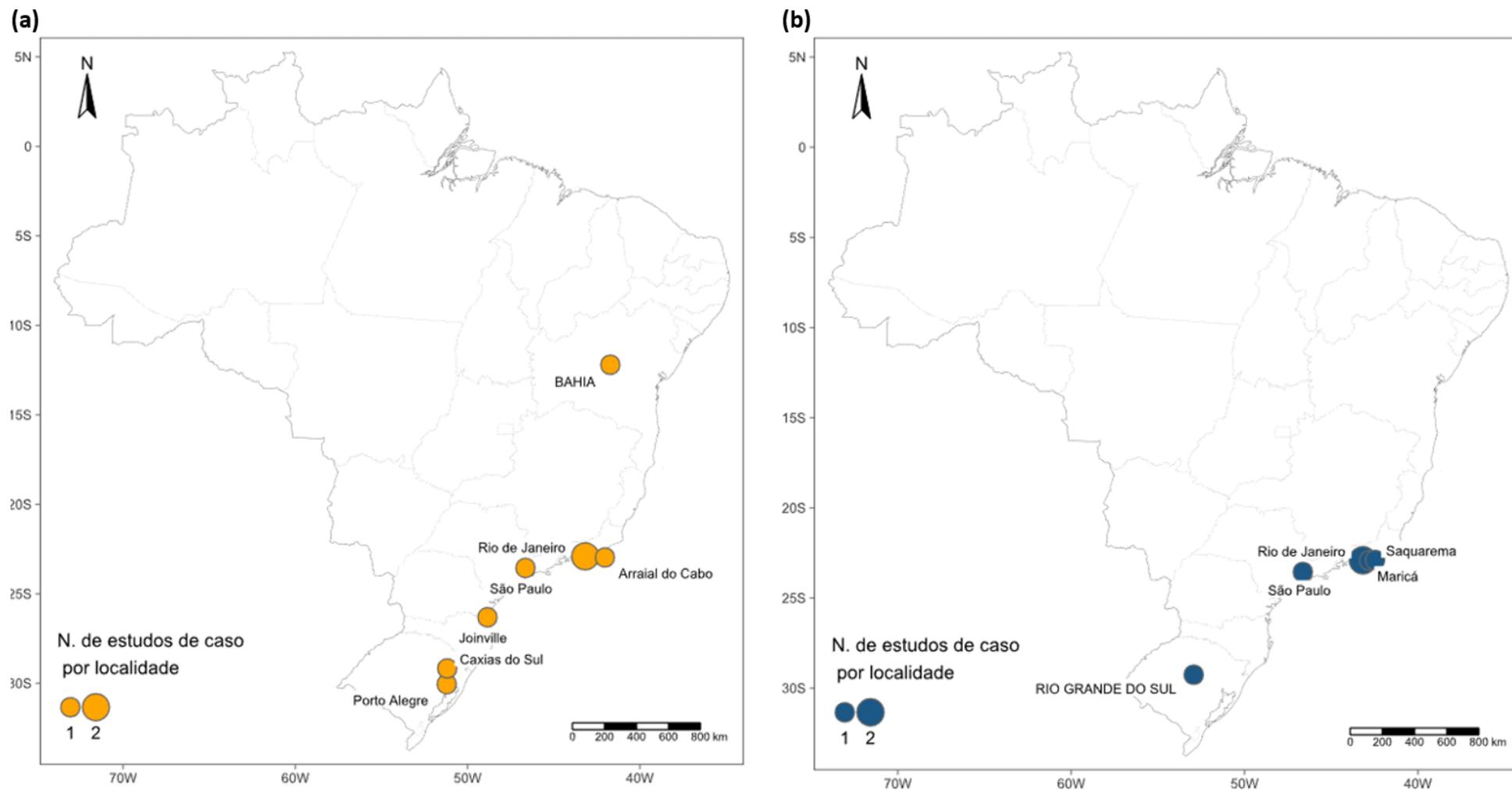


Figura 24 – Mapas do Brasil, número de estudos de caso por localidade (a) Estudos de caso de publicações que abordam as CTTS; (b) Estudos de caso de publicações que apenas mencionam as CTTS.

Fonte: autoria própria (2023).

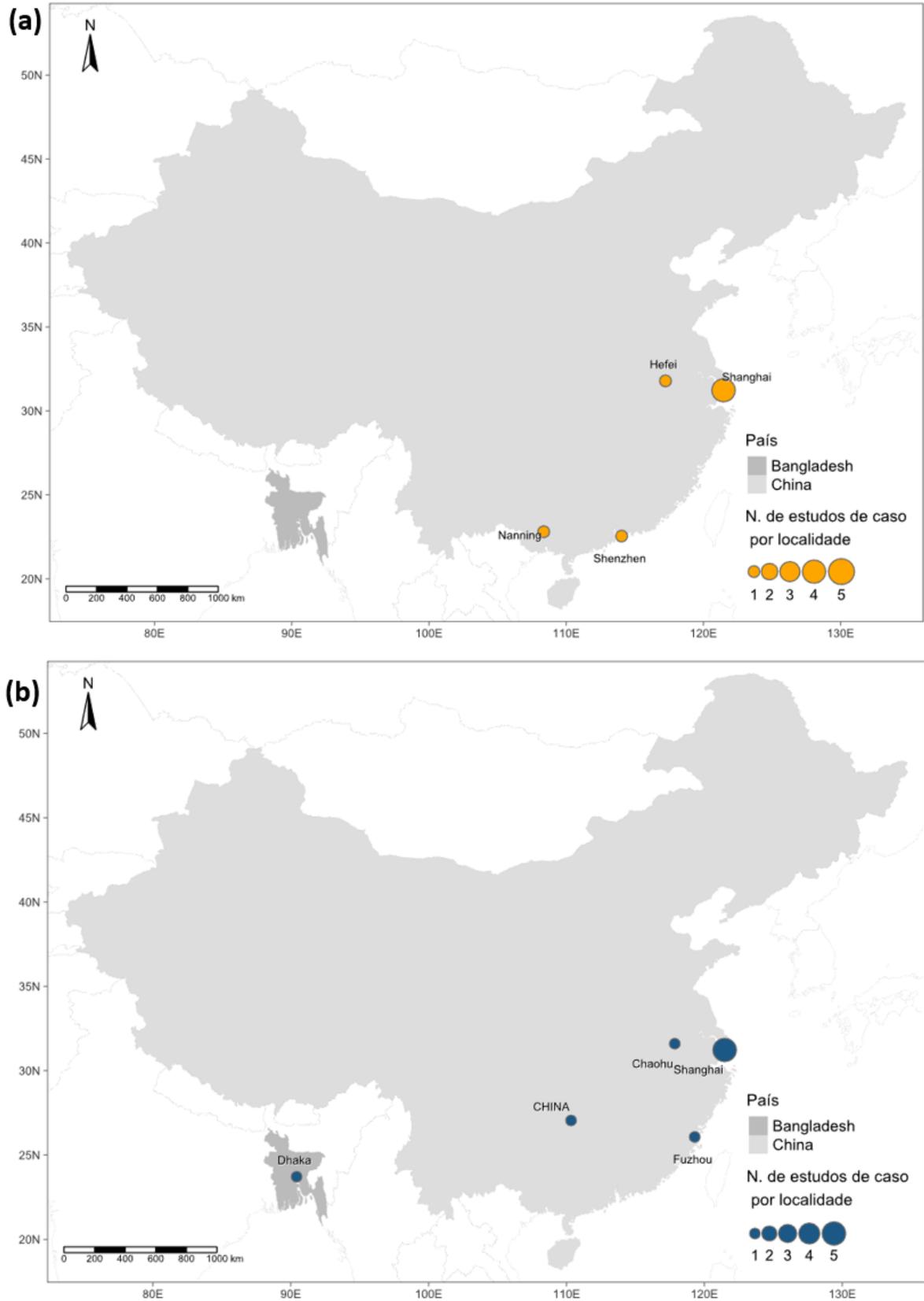


Figura 25 – Mapas da China e do Bangladesh, número de estudos de caso por localidade (a) Estudos de caso de publicações que abordam as CTTS; (b) Estudos de caso de publicações que apenas mencionam as CTTS.

Fonte: autoria própria (2023).

5.3 DISCUSSÕES COMPLEMENTARES

Conforme mencionado, dentre as 61 publicações selecionadas para a leitura, 29 (47%) não abordam especificamente, e nem mencionam, a técnica de CTTS, e 17 (28%) apenas mencionam as CTTS, porém elas trazem informações que fundamentam e complementam a compreensão do contexto, da complexidade e das problemáticas relativas aos SES e, conseqüentemente, também aos sistemas de CTTS.

Desta forma, a partir das discussões trazidas também por essas publicações, nesta sessão são realizadas discussões complementares que auxiliam no entendimento dos sistemas de CTTS a respeito dos seguintes assuntos: pontos de interesse sobre os diferentes tipos de sistemas de esgotamento sanitário; análise das interconexões entre as redes de drenagem urbanas; caracterização das águas residuárias; e os esforços de separação das águas dos sistemas, em especial dos esgotos sanitários das redes de drenagem pluvial.

A lista das publicações que não abordam e nem mencionam os sistemas de CTTS é apresentada no Quadro 20.

Quadro 20 – Lista de publicações incluídas que não abordam nem mencionam as CTTS

Ano	Autores, citação	Periódico	Autores	Título
2021	Wang <i>et al.</i> , 2021	Environmental Science and Pollution Research	Wang, Jian; Liu, Guo-hua; Wang, Junyan; Xu, Xianglong; Shao, Yuting; Zhang, Qian; Liu, Yuchen; Qi, Lu; Wang, Hongchen	Current status, existent problems, and coping strategy of urban drainage pipeline network in China
2021	Henriques <i>et al.</i> , 2021	Engenharia Sanitaria e Ambiental	Henriques, Juscelino A.; Oliveira, Rui; Coura, Monica A.; Libânio, Marcelo; Baptista, Márcio B.	Drainage water or sanitary sewage? An analysis of the macro-drainage system in a medium-sized city in the northeast region
2019	Xu <i>et al.</i> , 2019	Nature Sustainability	Xu, Zuxin; Xu, Jin; Yin, Hailong; Jin, Wei; Li, Huaizheng; He, Zhen	Urban river pollution control in developing countries
2019	Neto <i>et al.</i> , 2019	Brazilian Journal of Development	Neto, Pedro S. G.; Veról, Aline P.; Miguez, Marcelo G.; Vazquez, Elaine G.	Sistemas de drenagem urbana sustentáveis no mundo e no Brasil
2018	Huang <i>et al.</i> , 2018	Frontiers of Environmental Science and Engineering	Huang, Dong; Liu, Xiuhong; Jiang, Songzhu; Wang, Hongchen; Wang, Junyan; Zhang, Yuankai	Current state and future perspectives of sewer networks in urban China
2015	Ellis; Buttlar, 2015	Science of the Total Environment	Ellis, Jonh B.; Butler, David	Surface water sewer misconnections in England and Wales: Pollution sources and impacts
2014	Oliveira; Andrade, 2014	URBANA: Revista Eletrônica do Centro Interdisciplinar de Estudos sobre a Cidade	Oliveira, Diogo Jorge; Andrade, Wallace Carrieri de Paula	Os sistemas de saneamento enquanto tecnologias em disputas: o tout-à-l'égout em Belo Horizonte (1893-1902)
2014	Qin <i>et al.</i> , 2014	Sustainability	Qin, Hua-peng; Su, Qiong; Khu, Soon-Thiam; Tang, Nv	Water quality changes during rapid urbanization in the Shenzhen river catchment: an integrated view of socio-economic and infrastructure development
2014	Reda <i>et al.</i> , 2014	XIV Safety, Health and Environment World Congress	Reda, André L. L.; Ferreira, Paulo; Mendes, Marcel; Bruce Beck, M.	Combined sewer overflows in Brazil: a 2014 situation report
2009	Mannina; Viviani, 2009	Water Science and Technology	Mannina, Giorgio; Viviani, Gaspare	Separate and combined sewer systems: a long-term modelling approach
2009	Volschan Jr. <i>et al.</i> , 2009	Revista DAE	Volschan Jr., I.; Tsutiya, Milton T.; Martins, Rosa H. O.; Yazaki, Luiz Fernando O. L.	Sistema unitário X Sistema separador absoluto: qual o mais atraente para as condições brasileiras?
2008	Soonthornnonda; Christensen, 2008	Water Research	Soonthornnonda, Puripus; Christensen, Erik R.	Source apportionment of pollutants and flows of combined sewer wastewater
2007	De Toffol; Engelhard; Rauch, 2007	Water Science and Technology	De Toffol, Sara; Engelhard, Carolina; Rauch, Wolfgang	Combined sewer system versus separate system – a comparison of ecological and economical performance indicators
2005	Soares; Parkinson; Bernardes, 2005	Water Science and Technology	Soares, Sérgio R. A.; Parkinson, Jonathan; Bernardes, Ricardo S.	Analysis of scenarios for wastewater and urban drainage systems in Brazil based on an integrated modeling approach

Ano	Autores, citação	Periódico	Autores	Título
2005	Brombach; Weiss; Fuchs, 2005	Water Science and Technology	Brombach, Hansjoerg; Weiss, Gebhard J.; Fuchs, Stephan L.	A new database on urban runoff pollution: comparison of separate and combined sewer systems
2005	Tibbetts, 2005	Environmental Health Perspectives	Tibbetts, John	Combined sewer systems - down, dirty and out of date
2004	Cembrano <i>et al.</i> , 2004	Control Engineering Practice	Cembrano, G.; Quevedo, J.; Salamero, M.; Puig, V.; Figueras, J.; Martí, J.	Optimal control of urban drainage systems. A case study
2004	Bornatici <i>et al.</i> , 2004	Enhancing Urban Environment by Environmental Upgrading and Restoration	Bornatici, Laura; Ciaponi, Carlo; Papiri, Sergio	Control of urban runoff stormwater discharge to receiving waters using off-line storage
2004	Tsutiya; Bueno, 2004	Agua Latinoamérica	Tsutiya, Milton T.; Bueno, Rui C. R.	Contribuição de águas pluviais em sistemas de esgoto sanitário no Brasil
2002	Cembrano <i>et al.</i> , 2002	IFAC Proceedings Volumes	Cembrano, G.; Figueras, J.; Quevedo, J.; Puig, V.; Salamero, M.; Martí, J.	Global control of the Barcelona sewerage system for environment protection
2002	Iwugo; Andoh; Feest, 2002	Water and Environment Journal	Iwugo, Kenneth O.; Andoh, Robert Y. G.; Feest, Alan F.	Cost-effective integrated drainage and wastewater management systems
2002	Field; O'Connor, 2002	Global Solutions for Urban Drainage	Field, Richard I.; O'Connor, Thomas P.	Control strategy for storm-generated sanitary-sewer overflows
1999	Gromaire <i>et al.</i> , 1999	Water Science and Technology	Gromaire-Mertz, Marie Christine.; Garnaud, Stéphane; Gonzalez, Ana; Chebbo, Ghassan	Characterisation of urban runoff pollution in Paris
1999	Chua, 1999	Water Science and Technology	Chua, Hong	Overview of water environment priorities in Hong Kong (China)
1997	Butler; Parkinson, 1997	Water Science and Technology	Butler, David; Parkinson, Jonathan	Towards sustainable urban drainage
1993	Briscoe, 1993	Environment: Science and Policy for Sustainable Development	Briscoe, John	When the cup is half full
1990	Carleton, 1990	Water Science and Technology	Carleton, Michael G.	Comparison of overflows from separate and combined sewers-quantity and quality
1979	Azevedo Netto <i>et al.</i> , 1979	Revista DAE	Azevedo Netto, José M.	Contribuições indevidas para a rede de esgotos
1975	Torno, 1975	Water Research	Torno, Harry C.	A model for assessing impact of stormwater runoff and combined sewer overflows and evaluating pollution abatement alternatives

Fonte: autoria própria (2023).

5.3.1 Os tipos de sistemas de esgotamento sanitários

Sobre os tipos de SES, cabe salientar alguns pontos de interesse em relação aos três principais sistemas mencionados anteriormente: SU ou SC, SSA e SSP.

O mais conhecido canal subterrâneo para o esgotamento sanitário é a Cloaca Máxima na cidade de Roma, Itália, construída no século 6 antes de Cristo, e que possui um trecho ainda hoje ativo e operante (740 m de extensão e diâmetro de 4,30m) (OLIVEIRA; ANDRADE, 2014; ROCHA, 2016).

Na Europa medieval, drenos semelhantes aos Romanos eram utilizados, porém era terminantemente proibido o lançamento de excretas, sendo que estes deveriam ser despejados nas ruas até que a chuva ou a lavagem das ruas levassem o material para os condutos de drenagem ou para algum curso de água. Apenas em 1915, após as epidemias do século XIX, a cidade de Londres autorizou o lançamento de efluentes domésticos nas galerias de águas pluviais e em 1947 tornou-se compulsório o lançamento de todas as águas residuárias das habitações nas galerias públicas da cidade (TSUTIYA; BUENO, 2004; OLIVEIRA; ANDRADE, 2014).

Deste modo, os primeiros sistemas de condução de águas residuárias foram os sistemas unitários (ou combinados) criados pela necessidade de afastamento dos poluentes dos aglomerados urbanos, sendo criados pelo aproveitamento do sistema pluvial existente para a condução dos esgotos em conjunto com as águas pluviais (TSUTIYA; BUENO, 2004).

Segundo Wei *et al.* (2019), antigamente, nos estágios iniciais de urbanização das cidades, a maioria dos sistemas de drenagem eram sistemas unitários, que possuem as características de baixo custo, simplicidade das tubulações e conveniência de suas construções. Em alguns países da Europa do século XIX, os esgotos domésticos já eram lançados nas tubulações de drenagem pluvial.

No Brasil, até o final do século XIX pouco avanço havia ocorrido em relação ao saneamento básico público. Por outro lado, no âmbito privado, as famílias das classes mais abastadas afastavam suas excretas por meio dos chamados “tigres”, nome utilizado tanto para o objeto onde se faziam as necessidades fisiológicas quanto para

as pessoas escravizadas (Figura 26) que transportavam os tais vasilhames para o descarte nos cursos de água, praias, valas e em logradouros (ROSSO; DIAS; GIORDANO, 2011; OLIVEIRA; ANDRADE, 2014).



Figura 26 – Ilustração dos escravizados “Tigre”. Obra em aquarela (18,7 x 12,5 cm): Máscara que se usa nos negros, de Jean-Baptiste Debret

Fonte: DEBRET, 1820-30 *apud* BBC (2019).

O SC também ficou conhecido por outros nomes, como sistema de esgotos gerais e *tout-à-l'égout* (tudo ao esgoto); este último em referência ao sistema da cidade de Paris, França, e que muito influenciou o Brasil no final do século XIX (OLIVEIRA; ANDRADE, 2014).

O sistema de Paris se tornou o exemplo mais notável dentre os sistemas combinados por ter sido implementado como um programa de grande alcance e amplitude, inaugurado em 1894 (AZEVEDO NETTO, 1959; AZEVEDO NETTO *et al.*, 1983 *apud* BERNARDES; SOARES, 2004).

Os ingleses, após desenvolverem a técnica de coleta pelo sistema combinado, trataram de aplicá-la em outros países, em cidades como Rio de Janeiro e Nova Iorque, em 1857, Recife em 1873, Berlim em 1874 e São Paulo em 1883. Observou-se, no entanto, o bom desempenho do sistema nos países de clima subtropical, com baixos índices de pluviosidade, em logradouros com vias pavimentadas e com bom nível econômico. No Brasil, por outro lado, as elevadas precipitações, baixa densidade

demográfica, falta de pavimentação nas ruas e limitação de recursos financeiros, trouxeram entraves intransponíveis para o SC, o que acabou por impulsionar a idealização e implantação do SSP no Rio de Janeiro, também conhecido como sistema misto ou separador parcial inglês. Neste sistema, como já mencionado, convergem os esgotos sanitários e águas pluviais de telhados e pátios pavimentados nas edificações para uma mesma tubulação (ROSSO; DIAS; GIORDANO, 2011).

Alguns autores como Butler *et al.* (2018) classificam como SSPs aqueles sistemas onde há interconexões entre as tubulações pluviais e de esgotos sanitários, sejam elas intencionais, onde há redes de diferentes sistemas separadores que misturam águas entre si, ou devido às conexões clandestinas, falta de conhecimento técnico, mal funcionamento ou por ausência de infraestrutura de algum dos sistemas separadores.

Para Machado, Borja e Moraes (2013) os SSPs se relacionam com o conceito de captação de tempo seco, que corresponde à coleta para tratamento dos esgotos sanitários transportados nas galerias de águas pluviais.

Fadel e Dornelles (2015) denominam como “sistemas mistos” aquelas adaptações dos sistemas pluviais para que estes se comportem como sistema unitário coletando esgotos sanitários sem tratamento, ou contribuições de fossa sépticas sem manutenção, em decorrência das ligações irregulares.

Portanto, verifica-se que não há unanimidade quanto à denominação dos sistemas de esgotamento sanitário que são classificados quanto ao tipo de efluente transportado, e nos quais há mistura de esgotos sanitários e águas pluviais devido às interconexões indesejadas, se sistemas unitários (ou combinados), se sistemas separadores parciais, ou se sistemas mistos, sendo que nesta pesquisa, estes dois últimos são considerados sinônimos, conforme indicado na Introdução.

Os primeiros sistemas separadores foram projetados pelo engenheiro norte-americano George Waring, entre 1870 e 1880, para as cidades de Lenox e Memphis nos Estados Unidos. Sendo o desta cidade o de maior sucesso devido à concomitância da implantação do sistema como a redução de um surto de febre amarela na região (NETO *et al.*, 2019).

As discussões entre técnicos e cientistas acerca das comparações entre os tipos de sistemas, vantagens e desvantagens de cada um se iniciam a partir da segunda metade do século XIX (NETO *et al.*, 2019).

Nos anos 1880 um engenheiro norte americano, Rudolph Hering, foi enviado à Europa para investigar os sistemas sanitários de drenagem, em seu relatório foi proposto um critério de escolha do tipo de sistema: o uso dos sistemas combinados em grandes cidades e em locais que apresentem rápido crescimento; e os sistemas separadores em locais menores, com menores porcentagens de áreas impermeáveis e onde as águas pluviais possam se infiltrar com mais facilidade e não precisem ser canalizadas. Esta metodologia muito influenciou as escolhas dos sistemas de drenagem nos EUA até a década de 1930 (DE TOFFOL, 2006; NETO *et al.*, 2019).

No estado do Rio Grande do Sul é chamado de “sistema misto”, ou “rede mista”, aquela em que as tubulações pluviais de esgotos recebem lançamentos de esgotos tratados previamente por meio de fossa séptica e filtros devidamente instalados e operados, conforme exigência da Lei estadual n.º 11.520 de 2000 (TRONCA *et al.*, 2018).

Segundo alguns autores, não existe resposta única para a indagação sobre qual o melhor sistema a ser implantado, depende da situação específica de cada caso (DE TOFFOL, 2006), ainda que se considere o sistema separador absoluto ideal, ou seja, sem misturas de águas indesejadas entre o SSA-sanitário e o SSA-pluvial (BROMBACH; WEISS; FUCHS, 2005). As vantagens e desvantagens de cada sistema (incluindo os CTTS, SU e SSA) ainda não foram totalmente compreendidas (CHEN *et al.*, 2019).

Chen *et al.* (2019) apresenta esquematicamente o sistema de interceptação (SI) como um dos três sistemas possíveis para drenagem urbana, em comparação com os outros dois sistemas difundidos: sistema combinado (unitário); e sistema separador– como se vê na Figura 27. O SI indicado é análogo ao que chamamos de sistemas de CTTS, que operam em locais onde existam redes sanitárias e pluviais implantadas, mas que estas últimas operem de forma disfuncional, recebendo esgotos sanitários que necessitam ser coletados e tratados para promover melhoria das condições sanitárias, de saúde pública e ambientais.

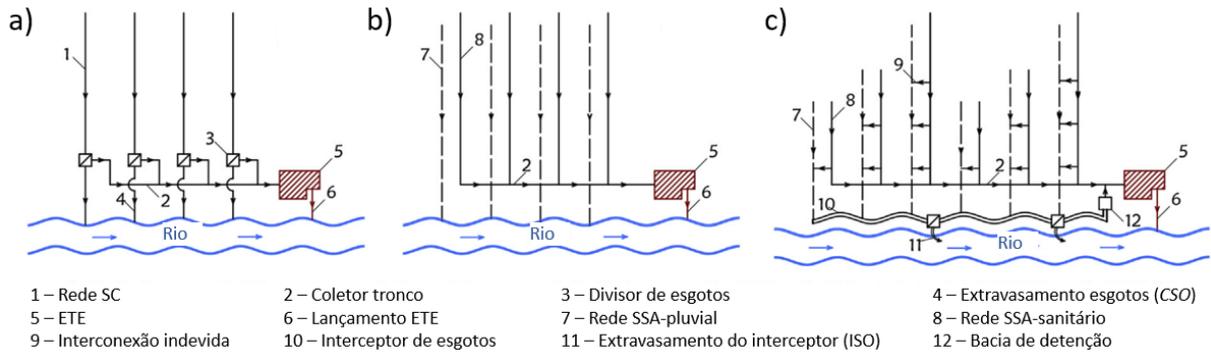


Figura 27 – Sistemas de drenagem urbana. a) Sistema Combinado (SC); b) Sistema Separador Absoluto (SSA); c) Sistema de Intercepção (SI).

Fonte: traduzido de Chen *et al.* (2019).

5.3.2 Aspectos técnicos e normativas sobre os principais sistemas de esgotamento de águas urbanas

Nesta seção são discutidos, dando destaque às questões de interesse dos sistemas de CTTs, os conceitos, premissas e critérios técnicos para os projetos de sistemas de drenagem de águas urbanas: SSA-sanitário; SSA-pluvial; e SU.

Importante salientar que alguns estudos que realizaram análises comparativas entre os sistemas de esgotos separadores absolutos e unitários não indicam que um tipo seja melhor que o outro e reforçam que a concepção deve ser estudado caso a caso (BROMBACH; WEISS; FUCHS, 2005; DE TOFFOL; ENGELHARD; RAUCH, 2007; MANNINA; VIVIANI, 2009). Estes estudos fazem uma análise comparativa global entre os sistemas e um balanço de cargas considerando todos os aportes concernentes às áreas urbanas.

Nesse sentido, não existe solução ideal, mas sim aquela mais apropriada para um determinado caso (TUCCI, 2002 *apud* GONÇALVES; KLEIDORFER; RAUCH, 2017).

5.3.2.1 Sistema separador absoluto de esgotos sanitários (SSA-sanitário)

Em relação aos conceitos, premissas e critérios técnicos e normativos brasileiros sobre as contribuições a serem consideradas nos sistemas de esgotos, e dando destaque aos pontos de interesse aos sistemas de CTTs, aponta-se o seguinte.

A norma brasileira (NBR) n.º 9648 publicada em 1986, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que estabelece as condições para *estudos de concepção de sistemas de esgoto sanitário* abarca, exclusivamente, os sistemas separadores, e

para os quais indica a função de coleta e transporte de esgotos sanitários, estes definidos como “despejo líquido constituído de esgotos domésticos, industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária.”. A água de infiltração é definida como “toda água, proveniente do subsolo, indesejável ao sistema separador e que penetra nas canalizações” e a contribuição pluvial parasitária como a “parcela de deflúvio superficial inevitavelmente absorvida pela rede coletora de esgoto sanitário” (ABNT, 1986a).

Alguns autores mencionam que a referida norma NBR n.º 9648 aponta para a exclusividade do uso do sistema separador absoluto (SSA) no Brasil (TRONCA *et al.*, 2018; PEREIRA; MATOS; FERREIRA, 2020). No entanto, pode-se também entender que a norma abrange, conceitualmente, tanto os sistemas sanitários separadores absolutos (SSAs) como os sistemas separadores parciais (SSPs), já que estes últimos permitem uma maior entrada de águas de escoamento superficial de origem pluvial, e que podem ser entendidas como a contribuição parasitária.

A NBR n.º 9649, também de 1986, que versa sobre a elaboração de *projetos de redes coletoras de esgoto sanitário*, se baseia na NBR n.º 9648, porém não retoma o conceito e nem explicita o cálculo das referidas contribuições pluviais parasitárias, e recomenda na elaboração dos projetos de rede a consideração, além dos esgotos domésticos e industriais, apenas das contribuições de infiltração (ABNT, 1986b; TSUTIYA; SOBRINHO, 2000).

A norma NBR n.º 12207, do ano de 2016, trata das condições exigíveis para um *projeto de interceptores de esgoto sanitário*, e indica no item de avaliação das vazões a necessidade de inclusão da contribuição pluvial parasitária na vazão final de projeto para análise de funcionamento e dimensionamento dos extravasores. Além disso, tal contribuição deve ser determinada a partir de medições locais, inexistindo tais medições seu valor deve ser justificado e inferior a 6 L/s.km de coletor a montante do trecho em estudo (ABNT, 2016).

A NBR n.º 12207 (ABNT, 2016), em suas definições apresenta o conceito de “contribuição de tempo seco” como sendo a “descarga de cursos d’água ou do sistema de drenagem superficial recebida no sistema de esgoto sanitário, não incluídas as águas de precipitação pluvial na bacia correspondente” e que pode ocorrer em caráter

permanente ou provisório - o que demonstra o reconhecimento de contribuições semelhantes às abrangidas pelas CTTS.

A referida norma explicita algumas recomendações para a incorporação dessa contribuição, como a previsão dela nos cálculos da vazão inicial e, quando for o caso, na vazão final. Além disso deve-se condicionar o cálculo à tensão trativa média, utilizando o valor mínimo de 1,5 Pa (superior à tensão trativa de 1,0 Pa recomenda para quando não há a contribuição de tempo seco) e coeficiente de Manning $n=0,013$ (tubos de concreto, cerâmica ou ferro fundido sem revestimento). O cálculo da tensão trativa é dado pela equação 1 e o cálculo da declividade mínima que satisfaz a condição da tensão trativa mínima de 1,5 Pa para o referido Manning é dado pela equação 2, a seguir (ABNT, 2016; TSUTIYA; SOBRINHO, 2000).

$$\sigma_t = \gamma \times R_h \times I_o \quad \text{Equação 1}$$

onde, σ_t = tensão trativa (Pa), γ = peso específico da água (10^4 N/m³); R_h = raio hidráulico; e I_o = declividade (m/m).

$$I_{o_{\min}} = 0,00035 \times Q_i^{-0,47} \quad \text{Equação 2}$$

onde, $I_{o_{\min}}$ = declividade mínima admissível (m/m), e Q_i = vazão inicial (m³/s).

Adicionalmente, indica-se a necessidade de utilização de dispositivo que evite a entrada de areia, detritos e material grosseiro no interceptor (ABNT, 2016).

Já a norma NBR n.º 12208, de 1992, que versa sobre *projetos de estações elevatórias de esgoto sanitário* indica a consideração da contribuição de tempo seco como vazões afluentes, conforme os critérios estabelecidos nas normas NBR n.º 9649 e n.º 12207 (ABNT, 1992a).

Salienta-se, portanto, que de acordo com as NBRs, as contribuições de tempo seco são passíveis de serem incorporadas em algumas estruturas do SES do tipo separador; e a contribuição pluvial parasitária é considerada apenas no dimensionamento dos interceptores, estruturas que não recebem contribuições em marcha, apenas em pontos específicos - poços de visita (PVs), ou seja, com defasagem das contribuições, o que indica que tais fluxos talvez não afetem significativamente suas vazões. Por outro lado, a contribuição parasitária nos tubos

coletores de esgoto, desconsideradas do cálculo, podem implicar em efeitos mais significativos já que seus aportes ocorrem em marcha, com menor defasagem e podem ser agravadas quando provenientes das ligações clandestinas pluviais nos esgotos.

Segundo Bernardes e Soares (2004), a contribuição pluvial parasitária não promove alterações significativas nas características dos esgotos, em termos qualitativos (concentrações de poluentes), e quantitativos (vazões). Por outro lado, caso a parcela da contribuição pluvial seja significativa, como no caso dos sistemas unitário (ou combinado), separador parcial (ou misto), e separador com grande quantidade de ligações clandestinas de águas pluviais, o esgoto pode ser considerado como esgoto combinado, ou seja, um fluido com características qualitativas e quantitativas intermediárias entre os esgotos sanitários e as águas pluviais (Figura 28).

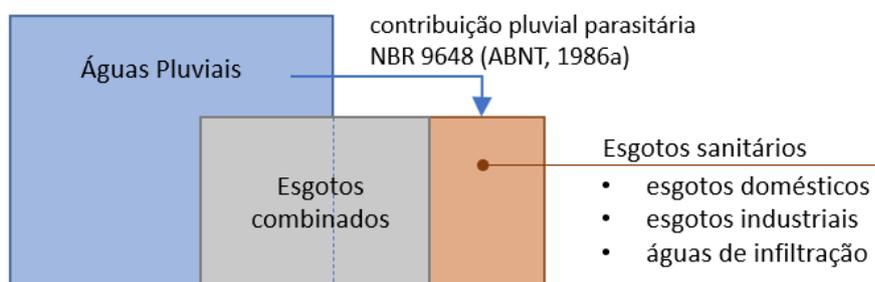


Figura 28 – Relações entre as águas pluviais, esgotos sanitários e esgotos combinados.

Fonte: adaptado de Bernardes e Soares (2004).

5.3.2.2 Sistema separador absoluto de águas pluviais (SSA-pluvial)

Os sistemas de drenagem e manejo de águas pluviais, por sua vez, não são abrangidos por normas nacionais que determinam as condições de dimensionamento e projeto de suas estruturas, ficando a definição delas a cargo, principalmente, das autarquias, das agências reguladoras, e do poder público executivo na esfera municipal. Exceção foi identificada na norma nacional da ABNT para pavimentos permeáveis (ADASA, 2018).

Esta realidade implica em falta de padronização dos sistemas e em negligência para com este importante eixo do saneamento básico, uma vez que nem todas as localidades possuem corpo técnico adequado para a condução das tratativas e

definições técnicas, como o diagnóstico, estudos, projetos, manutenções e operações dos sistemas de drenagem e manejo das águas pluviais.

Uma breve descrição das metodologias de cálculo das vazões correspondentes aos escoamentos superficiais é apresentada adiante no item 5.4.4.3.

5.3.2.3 Sistemas combinados ou unitários

Conforme mencionado, a NBR n.º 9648 não abrange os sistemas combinados, e não há outra norma brasileira específica (ABNT) que dite as especificações técnicas recomendáveis para estes sistemas (BRUM *et al.* 2018). Diante disso, deve-se recorrer às normas e literatura estrangeira produzidas em locais onde este sistema tem sido implementado com mais frequência.

Butler *et al.* (2018) apresenta uma metodologia na qual indica que as vazões de projeto são calculadas através dos cálculos de vazões de escoamento pluvial e de geração de esgotos sanitários (domésticos, industriais) além das infiltrações e contribuições parasitárias.

De acordo com Metcalf e Eddy (2003), a determinação das vazões de sistemas combinados é complicada e desafiadora, sendo necessário inicialmente quantificar as vazões de esgotos sanitários e industriais, as infiltrações e as contribuições pluviais. Em seguida, essas vazões devem ser combinadas e simuladas nos diferentes trajetos ao longo dos componentes do sistema. Por fim, são determinados os volumes direcionados aos diferentes componentes como, as estruturas de extravasão (CSO), os elementos de tratamento e a qualquer outro ponto do sistema.

Devido à complexidade dos sistemas combinados, normalmente é necessário a utilização de modelos computacionais para simular todo o sistema, incluindo as vazões de esgotos de tempo seco, a hidrodinâmica dentro das tubulações, nas descargas dos extravasores, nos interceptores e para a estação de tratamento. Alguns dos programas computacionais de domínio público que podem ser utilizados para a avaliação dos SC são: *Storm Water Management Model (SWMM)* e *Hydrological Simulation Program - FORTRAN (HSPF)* (METCALF; EDDY, 2003).

Alguns autores como Gehling e Benetti (2005) e Metcalf e Eddy (1972) afirmam que o dimensionamento das canalizações de sistemas combinados é realizado apenas para as contribuições pluviais, já que as vazões sanitárias são muito inferiores e podem ser consideradas desprezíveis.

Esta premissa leva ao método de dimensionamento dos sistemas unitários ser análogo ao dos sistemas de drenagem pluvial, com um diferencial de que as redes unitárias podem demandar maiores profundidades de implantação, já que necessitam esgotar os porões e andares subterrâneos das edificações (METCALF; EDDY, 1972).

No entanto, como as contribuições sanitárias podem não ser pequenas, não se deve desprezá-las, ainda mais pelo fato de que as mesmas carregam resíduos e materiais sólidos e que podem sedimentar e causar outros problemas, como se apresenta adiante.

Enquanto no Brasil os SSA sanitários são projetados a partir do critério de autolimpeza e de tensão trativa, mínimas de 1,0 Pa ou 1,5 Pa, para evitar a sedimentação de partículas no sistema, em sistemas combinados pode ser necessário tensões trativas de até 9,0 Pa a depender do tamanho das partículas transportadas (GUPTA, 2008 *apud* VOLSCHAN JR., 2020).

Segundo Butler *et al.* (2018) o dimensionamento dos sistemas unitários é realizado pela combinação do dimensionamento das vazões sanitárias e das vazões de escoamento superficial dos sistemas pluviais. As vazões sanitárias, chamadas de vazões de tempo seco (*dry weather flow – DWF*, em inglês), são obtidas pelos mesmos métodos utilizados para os sistemas sanitários, os separadores absolutos (SSA-sanitário). Já as vazões de origem pluvial são obtidas analogamente ao cálculo dos sistemas separador de drenagem pluvial (SSA-pluvial). Em tempo seco, fluem pelos sistemas unitários apenas as vazões de tempo seco e em momentos de chuvas, fluem as vazões de tempo úmido, que são o somatório da vazão de tempo seco e das vazões dos escoamentos superficiais, com suas respectivas espacializações e temporalizações no sistema.

5.3.3 Interconexões de águas externas no sistema separador de esgotos sanitários

De acordo com Ellis e Butler (2015) não são incomuns as conexões erradas (*misconnections*, em inglês) em áreas urbanas servidas por sistemas separadores (sanitários e pluviais), sejam elas acidentais ou deliberadas, conectando o efluente errado à tubulação errada.

No caso das contribuições indesejadas de águas pluviais nas tubulações separadoras de esgotamento sanitário, abrangidas pelo termo em inglês *infiltration and inflow - I/I*, são objeto de extensos estudos no mundo, porém não são objeto de aprofundamento nesta dissertação (AZEVEDO NETTO, 1979; TSUTIYA; BUENO, 2004; FIELD; O'CONNOR, 2002; GUO *et al.*, 2020). Ainda assim, vale realizar uma breve menção para a contextualização dessa problemática no que tange as dificuldades e a caracterização dessas interconexões que são recorrentes na operação dos sistemas de drenagem urbana. Nesta revisão integrativa foram obtidas e identificadas pela leitura dos títulos e resumos, e conseqüentemente excluídas, ao menos 15 publicações que envolviam especificamente esta temática.

Metcalf e Eddy (2003) apresentam definições mais específicas para as contribuições de infiltração e influxo (I/I), se comparado com as normas brasileiras citadas anteriormente (ABNT, 1986a):

- Infiltração: águas do subsolo que adentram o sistema de coleta por uma variedade de pontos que incluem tubos danificados, juntas de tubos, conexões entre peças e pelas paredes e poços de visita;
- Influxo constante: águas provenientes de drenos de fundações, ou construções enterradas, de sistemas de arrefecimento e drenos de nascentes ou de áreas brejosas ou pantanosas. Estas contribuições têm fluxo constante e são identificadas e medidas juntamente com a infiltração;
- Influxo direto: influxos provocados pelas conexões diretas de águas pluviais ao sistema sanitário e que causam aumento quase que imediato nas vazões de escoamento. São provenientes de calhas de telhados, ralos de quintais, tampas de poços de visita, e conexões cruzadas de tubulações pluviais e de pátios de drenagem, e de sistemas combinados;

- Influxo total: o somatório do influxo direto em qualquer ponto do sistema e da contribuição de qualquer vazão vinda de montante proveniente de extravasamentos, *by-passes* de estações de bombeamento e similares;
- Influxo defasado no tempo: águas pluviais que demorem dias para serem drenadas pelas redes coletoras. Podem ser provenientes de drenos e poços de bombeamento de andares em subsolo, e de entradas lentas de empoçamentos de água sobre tampas de poços de visita.

Alguns estudos adicionam outra componente às contribuições exógenas supramencionadas, que são as intrusões de águas superficiais que ocorrem em localidades com altimetria próxima ao nível do mar, e onde as redes de drenagem podem sofrer momentaneamente afogamento, ficando abaixo dos níveis de água do mar ou dos rios estuarinos sob influência da maré (XU *et al.*, 2014; GUO *et al.*, 2020; VOLSCHAN JR., 2020).

No Brasil, utiliza-se, predominantemente, o sistema separador absoluto de esgotos, que, embora dimensionado e construído sob aqueles conceitos, na prática recebe importantes contribuições pluviais de pátios e telhados de economias esgotadas nos momentos de chuva (TSUTIYA E SOBRINHO, 2000).

Estudos apresentados por Tsutiya e Bueno (2004) indicam que as contribuições pluviais aos coletores sanitários dos SSA variam entre 26 e 283% da vazão máxima de esgotos no período seco e as taxas de contribuição pluvial variam de 0,15 a 12 L/s.km. A pesquisa desenvolvida pelos autores indica que mesmo em bairros considerados como de ocupação recente na cidade de São Paulo, a introdução de águas de chuvas na rede coletora de esgotos sanitários é substancial, e os procedimentos de inspeção e das ligações tem-se demonstrado incapaz de evitar a ligação “clandestina” de água de chuva na rede de esgoto (TSUTIYA; BUENO, 2004).

Na região metropolitana de São Paulo, é reportado que existem significativas e crescentes contribuições pluviais nos sistemas separadores que chegam às ETEs, com potencial para prejudicar o tratamento, concebido apenas para aportes sanitários, e causar extravasamentos de poluentes nos corpos hídricos (REDA *et al.*, 2014).

Essas águas indesejadas, “estranhas” ao sistema, chamadas de contribuições parasitárias pela NBR n.º 9648 (ABNT, 1986a), se em grande monta, podem trazer dificuldades e desvantagens para a operação e manutenção dos sistemas. Podem implicar em aumento do consumo de energia e nos custos de operação das EEE (KRACHT *et al.*, 2008 *apud* GUO *et al.*, 2020; RODEL *et al.*, 2017 *apud* GUO *et al.*, 2020), gerar impacto no transporte de esgotos, com perda da capacidade de escoamento e sobrecarga hidráulica das tubulações de esgotos; podem aumentar a frequência de inundações e de extravasamentos de esgotos combinados. Além disso, impactam os processos de tratamento, reduzindo a eficiência, especialmente na remoção de nutrientes, e inibindo o desenvolvimento biológico essencial ao tratamento (ELLIS; BUTLER, 2015; ELLIS; BERTRAND-KRAJEWSKI, 2010 *apud* GUO *et al.*, 2020).

Em relação à infiltração, estas águas podem carrear o solo do entorno das tubulações e conexões para dentro do sistema de esgotos e acelerar a deterioração estrutural do mesmo, além disso, podem provocar recalques no solo, depressões e crateras na superfície (GUO *et al.*, 2013a *apud* GUO *et al.*, 2020). Cabe ressaltar, no entanto, que a estes impactos da infiltração estão sujeitos todos os sistemas de drenagem urbana.

Devido às contribuições pluviais, é comum que algumas estruturas dos SES, como EEEs e ETEs, sejam projetadas com dispositivos hidráulicos denominado *bypass*, ou extravasor, que entram em funcionamento nas ocasiões de recebimento de vazões acima das máximas para as quais os sistemas foram dimensionados, o que ocorre durante eventos chuvosos expressivos. Estes dispositivos isolam o sistema (ABNT, 1992a; ABNT, 2016), evitam funcionamentos indesejáveis, como refluxos de esgotos e perturbações no tratamento a jusante, mas, por conseguinte, descartam esgotos, mesmo que diluídos, sem tratamento nos corpos hídricos (REDA *et al.*, 2014).

As vazões excessivas nas ETEs e os extravasamentos que ocorrerem nos sistemas separadores sanitários, em inglês *sanitary system overflow* (SSO), são normalmente resultado do excesso de infiltrações e influxos acima da capacidade do sistema, aumentos populacional e do consumo de água na região contribuinte, entupimentos e bloqueios, sedimentação em interceptores e falhas em EEEs ou em ETEs (FIELD; O’CONNOR, 2002)

Importante salientar que os SSAs não estão imunes a promoverem aportes de esgotos combinados na natureza devido aos fatores mencionados, mas principalmente em razão dos impactos sazonais de aumento das vazões em tempo de chuva (*wet-weather flow* - *WWF*, em inglês) cujos efeitos são muitas vezes negligenciados e minimizados no Brasil (REDA *et al.*, 2014).

Em 2004, Tsutiya e Bueno (2004) recomendavam a modificação na legislação ambiental para permitir que esses lançamentos de cargas poluentes devido aos extravasamentos de esgotos combinados pudessem ocorrer em semelhança ao que ocorria nos países europeus. Esse tipo de restrição não tem sido capaz de eliminar o problema, já que os extravasamentos continuam ocorrendo.

Desta forma, as redes de esgoto dos SSAs de muitas cidades no Brasil não funcionam conforme previsto nas normas brasileiras, e possuem características operacionais análogas aos conceitos dos SSPs do ponto de vista da origem dos aportes das vazões e, conseqüentemente, das concentrações de poluentes no período de chuvas (TSUTIYA; BUENO, 2004; BUTLER *et al.*, 2018).

5.3.4 Interconexões de esgotos sanitários no sistema separador de drenagem pluvial

Conforme já mencionado, a problemática das conexões indevidas que introduzem cargas poluentes sanitárias nas tubulações de drenagem pluvial ocorre tanto em locais onde há ausência de infraestrutura separadora para esgotos, quanto em locais em que há SSA, porém há interconexões, conexões ilícitas ou equivocadas, ou seja, a existência da infraestrutura sanitária separada não é garantia da efetiva separação das águas urbanas (GEHLING; BENETTI, 2005; FADEL; DORNELLES, 2015; ELLIS; BUTLER, 2015; CHEN *et al.*, 2019).

Segundo Ellis e Butler (2015) as fontes poluentes urbanas que adentram as redes pluviais de forma equivocada são variadas e incluem as descargas de esgotos sanitários e de “águas cinzas”, conexões cruzadas entre tubulações sanitárias e de águas superficiais e o uso deliberado da drenagem superficial para disposição ilícita de substâncias e materiais indesejados. Outras fontes ilícitas potenciais são os lançamentos de fossas, derramamentos de produtos e materiais contaminantes,

águas de lavagem de veículos, águas subterrâneas contaminadas assim como esgotos exfiltrados das redes sanitárias.

Dias e Rosso (2011) elencam algumas causas e efeitos das interconexões que interagem de forma cumulativa e sinérgica:

- a) regiões sem sistema público de esgotamento sanitário;
- b) reminiscências de sistemas antigos: separador parcial ou unitário;
- c) defasagem na implantação e ampliação das etapas dos componentes do sistema;
- d) prorrogação da utilização de componentes obsoletos do sistema;
- e) falta de prioridade aos serviços de operação, manutenção e conservação;
- f) modelo de urbanização e falta de planejamento urbano;
- g) dificuldades na fiscalização de obras;
- h) descontrole sobre as ligações prediais irregulares;
- i) custos na implantação das ligações prediais;
- j) instalações prediais inadequadas;
- k) tratamento ineficaz;
- l) aspectos culturais e educativos;
- m) adoção de estruturas atípicas do sistema separador absoluto. (DIAS; ROSSO, 2011, p.180)

As interconexões inapropriadas em sistemas separadores ocorrem com frequência em diferentes países do mundo, como no Reino Unido (ELLIS; BUTLER, 2015), Estados Unidos da América, Países Baixos, Noruega e na maioria das cidades Chinesas, especialmente nas partes mais antigas das cidades (LI *et al.*, 2022). Mesmo em distritos recentemente urbanizados com SSA implantados, as residências e comércios continuam contribuindo ilegalmente para aportes de esgotos nas redes pluviais (CHEN *et al.*, 2019).

Li *et al.* (2014) indicam que são comuns os SSA-pluviais disfuncionais com conexões ilícitas e que não houve grande efeito na redução desse problema com a adoção dos SSA na China.

Estas situações são frequentes também em áreas de drenagem com carência de infraestrutura sanitária, como falta de coletores, interceptores ou ETE implantados. Nas grandes cidades brasileiras, sobretudo nos aglomerados subnormais que têm maior carência de infraestrutura e serviços públicos essa é uma situação frequente (SOARES; PARKINSON; BERNARDES, 2005; MORIHAMA *et al.*, 2012; VOLSCHAN JR., 2020; HENRIQUES *et al.* 2021).

Nota-se que, na prática, há uma interação direta entre os dois eixos do saneamento básico – a “drenagem e manejo de águas pluviais” e o “esgotamento sanitário”, que é minimizada tanto nas premissas de elaboração de projetos de saneamento do tipo separador absoluto, quanto na gestão da infraestrutura (HENRIQUES *et al.* 2021).

Alguns autores afirmam que as interconexões de esgotos nas tubulações de drenagem são fruto da urbanização precária e da precedência da implantação das redes pluviais nas cidades em relação à implantação das redes de esgotos sanitários, o que levou às ligações equivocadas e que passam a ser permanentes (XU *et al.*, 2014; FADEL; DORNELLES, 2015; YIN; ISLAM; JU, 2021).

As conexões ilícitas de esgotos nos sistemas separadores pluviais são um fenômeno relevante na maioria das cidades chinesas, especialmente em sistemas de drenagem pluviais antigos. Nas cidades de Shanghai e Hefei, para alguns subsistemas, apesar de já serem adotados as CTTS, as capacidades continuam insuficientes para resolver os problemas de lançamentos de esgotos nos cursos de água (LI *et al.*, 2014).

Essa era a situação em que se encontrava a bacia hidrográfica do rio Suzhou, em Shanghai, China, na década de 1990, onde 55% dos esgotos que atingiam as águas superficiais dessa bacia da cidade percorriam as tubulações de drenagem pluvial (Figura 29). Visando contornar essa realidade, a municipalidade lançou um projeto denominado “Suzhou Creek Rehabilitation Project” (Figura 30) e entre os anos de 1998 e 2000 foram investidos cerca de RMB 8,6 bilhões em vista a sanar o problema dos corpos hídricos sépticos e fétidos (*black and foul water*, em inglês), tendo como foco a interceptação das fontes de poluição em toda a bacia e o controle do fluxo das vazões do principal curso de água que sofre influência das marés (YIN; ISLAM; JU, 2021).



Figura 29 – Rio Suzhou em sua foz com o rio Huangpu, em Shanghai, China (a) antes do projeto; (b) depois do projeto de reabilitação.

Fonte: Yin, Islam e Ju (2021).



Figura 30 – Projeto de Reabilitação do rio Suzhou em Shanghai, China

Fonte: ADB (2015).

A poluição das águas superficiais, segundo Wang *et al.* (2021) representa o maior problema dos ambientes aquáticos urbanos. As chamadas *black-odor water* ou *black*

and foul waters (águas negras e fétidas, tradução nossa) presentes em muitas cidades chinesas impõem um desafio enorme ao desenvolvimento sustentável, sendo responsáveis por destruir o ecossistema urbano, impactando na aparência das cidades e causando grande ameaça para a saúde física e mental da população.

5.3.5 Separação dos esgotos sanitários e pluviais

As interconexões entre as águas pluviais e as águas residuárias podem ocorrer tanto nas instalações públicas, ou seja, nas infraestruturas implantadas nas ruas, avenidas, praças e prédios públicos, quanto nos espaços privados, constituídos pelas instalações de casas, edifícios residenciais, comerciais, financeiros, de saúde ou industriais. Do mesmo modo, a separação dos esgotos pode ser necessária em ambos os espaços, públicos e privados (FIELD; O'CONNOR, 2002).

Essa óbvia constatação indica que não apenas as empresas concessionárias dos serviços de esgotamento sanitário possuem responsabilidade pelas corretas instalações sanitárias, mas também a população em geral. Nesse sentido, é importante mencionar que no Brasil, a prática da construção civil, em especial as residenciais, é executada em alguma medida por mão-de-obra pouco qualificada ou com apenas experiência empírica e prática, e sem formação técnica acadêmica, e ainda sem supervisão de um profissional que oriente para a adequada solução para as instalações sanitárias e pluviais em sistemas separadores (REDA *et al.*, 2014).

Do lado da fiscalização das obras e do papel legal do poder público, em todos os níveis, de coibir as conexões ilícitas, pode-se dizer que há leniência governamental; e apenas a partir dos anos 1990 houve um despertar das autoridades para as consequências das conexões ilícitas que levam à extravasão dos sistemas separadores, que cada vez mais recebem contribuições pluviais (REDA *et al.*, 2014).

Tais constatações levaram algumas concessionárias de serviços de esgotamento sanitário a promover campanhas de educação ambiental para orientação dos usuários (REDA *et al.*, 2014).

Como a urbanização de um território, responsabilidade pública, normalmente acontece com pouco planejamento e poucos recursos financeiros, muitas vezes a

infraestrutura sanitária “chega atrasada”, e as redes de pluviais são implantadas antes das sanitárias, e a junção das águas acaba por acontecer. Nas grandes cidade e metrópoles com crescimento rápido e informal, a ausência do estado é ainda maior, assim como a precariedade das infraestruturas (SOARES; PARKINSON; BERNARDES, 2005; GONÇALVES, 2017; RIO DE JANEIRO, 2018a; VOLSCHAN JR., 2020).

O cenário ideal, de construção das duas redes separadoras, anteriormente ao início da ocupação do território e, conseqüentemente, antes do consumo de água e produção de esgotos domésticos e industriais, é muito raro. Mesmo em uma nova urbanização, onde se consiga implementar a infraestrutura de início, com o passar do tempo só é possível manter a separação das águas caso haja a presença constante de fiscalização das novas edificações e das ligações dos esgotos sanitários e pluvial.

Cabe ressaltar que um sistema de drenagem eficiente pressupõe a implantação de todo o sistema viário incluindo pavimentação, meio-fio, sarjeta e demais dispositivos de microdrenagem.

Diferentes esforços são empreendidos para reverter as interconexões a partir de fiscalização das ligações e inspeções nas redes, podendo ser utilizadas várias técnicas para identificar os trechos de rede onde existam aportes cruzados, assim como para estimar a contribuição indevida em cada ponto. Esses métodos demandam muitos recursos humanos e financeiros e várias pesquisas têm sido publicadas a esse respeito (FIELD; O’CONNOR, 2002; ELLIS; BUTLER, 2015).

Dentre os métodos e parâmetros para identificação da presença de esgotos nas descargas das redes pluviais incluem-se (XU; YIN; LI, 2014; ELLIS; BUTLER, 2015):

- Reclamações da população;
- Odores;
- Farejamento canino;
- Inspeções visuais;
- Reconhecimento visual por câmeras de vídeo;
- Traçadores visuais;
- Testes de fumaça;

- Parâmetros bacteriológicos: coliformes fecais; coliformes totais; *Escherichia coli*; *streptococci*; bacteriófago;
- Elementos e parâmetros químicos e biológicos: DQO; DBO₅/OD (oxigênio dissolvido); NH₃; N; PO₄; P; Cl; B; K (índices); cafeína; triclosano;
- Resistência a antibióticos;
- Condutividade e temperatura;
- Técnicas de fluorescência;
- Sequenciamento genético de ácido desoxirribonucleico (*Deoxyribonucleic acid - DNA*);
- Métodos de reação em cadeia da polimerase (*Polymerase chain reaction - PCR*);
- Resistência a antibiótico (*anti-biotic resistance - ABR*); e
- Metais pesados.

Segundo Estados Unidos (1999), as ações de separação por meio da construção de nova rede, seja ela uma rede sanitária ou pluvial, têm ocorrido em áreas em que existem as seguintes condições:

- A maior parte da rede já é do tipo separadora;
- As restrições de localização e custos proíbem o uso de outras medidas estruturais;
- Os usos e a capacidade de autodepuração dos corpos hídricos receptores proíbem o uso de controles do esgoto combinado extravasado;
- Os sistemas de controle da poluição extravasada não são aceites pela comunidade local;
- Melhorias adicionais de infraestrutura, como pavimentação de vias também são necessárias;
- O sistema combinado já se encontra subdimensionado;
- A eliminação dos extravasamentos de esgotos é um objetivo; e/ou
- Outras medidas de controle da poluição não são suficientes para alcançar os objetivos da comunidade local.

Ressalta-se que Estados Unidos (1999) considera como sistema de esgotos combinados aqueles em que há transporte de mistura de esgotos sanitários e águas

pluviais, não especificando se proveniente de sistema separador ou de sistema combinado, embora se saiba que no contexto dos Estados Unidos da América, estes últimos eram largamente difundidos e considerados como a principal causa de degradação das águas superficiais e para os quais havia um constante esforço de redução dos extravasamentos de esgotos combinados (DE TOFFOL, 2006; Estados Unidos, 1999).

Conforme mencionado, algumas publicações indicam a estratégia de construção de uma nova rede de esgotamento sanitário, mantendo-se a rede existente, pluvial, com sistema de captação em tempo seco para desviar as pequenas vazões, em especial as primeiras chuvas que possuem elevada carga de poluentes (*first-flush*) (GONÇALVES; KLEIDORFER; RAUCH, 2017; VOLSCHAN JR., 2020; PEREIRA; MATOS; FERREIRA, 2020). Essa estratégia demanda a retirada das inúmeras ligações prediais de esgotos das redes pluviais, a recomposição da parede das tubulações pluviais, ou o abandono e tamponamento dessas ligações, e a construção das novas ligações prediais conectadas à nova rede sanitária. Apesar das dificuldades essa conversão é usualmente a mais vantajosa, segundo Estados Unidos (1999).

Outra opção, se dá com a construção de uma nova rede pluvial, deixando a antiga rede pluvial, ou unitária, para lidar exclusivamente com as contribuições sanitárias e desfazendo as conexões dos ramais de ligação, ou da mesma forma, tamponando-os para se estabelecer novas ligações pluviais entre as bocas-de-lobo e a nova rede pluvial (CHEN *et al.*, 2019).

A separação por meio da eliminação das interconexões nas áreas urbanas é difícil e demorada, dado à limitação de espaço e aos custos elevados, especialmente em áreas altamente urbanizadas (CHEN *et al.*, 2019).

Segundo Yin *et al.* (2014), apesar da transformação dos sistemas unitários em sistemas separadores absolutos ser proposto pelo governo chinês, há informações inconsistentes sobre as vantagens delas, em parte pelo motivo de que os sistemas separadores não operam adequadamente. Os autores afirmam que a detecção e a reabilitação de um sistema se mostram apropriadas na maior parte dos sistemas separadores absolutos em que os lançamentos das vazões de tempo seco podem ser

integralmente eliminados pelas intercepções em tempo seco; já os sistemas com grau de interconexões muito elevados devem ser tratados como sistemas unitários.

Dentre as principais vantagens da separação dos esgotos cita-se (ESTADOS UNIDOS, 1999):

- Redução ou eliminação dos transbordamentos em ruas e porões de edificações;
- Redução ou eliminação dos lançamentos de esgotos nos corpos receptores;
- Redução dos impactos às espécies aquáticas e habitats;
- Redução do risco de contato com patógenos dos esgotos sanitários nos corpos hídricos receptores;
- Possibilidade de afrouxamento das regulações sobre extravasamentos de esgotos;
- Outras obras de infraestrutura e melhorias urbanas podem ser planejadas para serem realizadas conjuntamente com a separação dos esgotos, como repavimentação de vias, reparo ou substituições de redes de utilidades (água, gás e cabeamentos diversos), a fim de tornar as intervenções mais econômicas.

Em relação às desvantagens da separação dos esgotos cita-se (ESTADOS UNIDOS, 1999; FIELD; O'CONNOR, 2002):

- Custo relativamente elevado;
- Obras são demoradas;
- Impactos intrínsecos das obras: ruído, poeira e erosão;
- Interrupção de tráfego, de acessos a comércios e de deslocamento de moradores;
- Possível interrupção de serviços de esgotamento e abastecimento de água;
- Necessidade de controle do escoamento das águas pluviais;
- Dificuldade para lidar com as inúmeras propriedades e proprietários envolvidos.

De acordo com Field e O'Connor (2002), apenas a correção das infiltrações de águas pluviais nas tubulações de esgotos dos espaços públicos (vias e calçadas) não são

suficientes para a resolução do problema, pois as conexões nas edificações correspondem a até 60% da infiltração.

Alguns autores alegam que a separação de esgotos em áreas dotadas de sistemas combinados, ao contrário das afirmações e recomendações, não necessariamente se justifica e nem se apresenta como a melhor solução para o problema da poluição das águas devido aos extravasamentos das tubulações sanitárias, causados pelas infiltrações e aportes pluviais excessivos, e devido aos lançamentos pluviais que podem apresentar níveis de poluentes semelhantes aos dos esgotos brutos (CARLETON, 1990; MANNINA; VIVIANI, 2009).

Chen *et al.* (2019) afirmam que as correções das interconexões enganadas têm sido propostas como estratégia de longo prazo para melhoria da qualidade das águas em áreas urbanas, e é necessário examinar a função dos sistemas híbridos (drenagem dotados de CTTS) a partir da análise dos efeitos da separação dos sistemas nos extravasamentos que ocorrem no sistema de CTTS já implantados.

Li *et al.* (2017) recomendam que à medida que se deve implantar os sistemas de interceptação (CTTS), deve-se focar na separação direcionada para a eliminação dos “lançamentos-chave” identificados na rede, isto é, os aportes concentrados de grandes vazões de esgotos ao sistema de drenagem pluvial (provenientes de indústrias, ou de tubulação sanitária que coleta diversas edificações, por exemplo). Isso alivia a capacidade do sistema de drenagem, reduz os extravasamentos e permite maior controle pela interceptação em tempo seco.

Já Li *et al.* (2022) indicam que, embora a separação de esgotos seja pensada como um método absoluto e efetivo para controle dos lançamentos de esgotos combinados, os sistemas separadores também ocasionam poluição por extravasamentos devido aos defeitos funcionais, avarias e conexões inadequadas com esgotos sanitários.

Segundo Field *et al.* (1994) apenas a separação dos esgotos em um sistema separador absoluto de fato não é suficiente para a resolução dos problemas de qualidade das águas receptoras, uma vez que as contribuições de tempo seco são apenas um tipo de aporte existente, sendo necessário a implantação também de um

programa de investigação e remediação da carga de poluentes provenientes das contribuições de tempo úmido.

Adicionalmente, os autores indicam que uma investigação satisfatória para diagnosticar a situação de um sistema de drenagem pluvial dotado de interconexões é um exercício custoso financeiramente, e que pode demandar o gasto de uma parte considerável dos recursos existentes para todo o projeto de remediação dos problemas sanitários. Isso pois a remediação pode ser relativa a problemas de diferentes origens: grande quantidade de ligações ilícitas; infiltrações espalhadas em grandes extensões; ou o sistema separador sanitário local pode não suportar as reversões das ligações sanitárias por não ter capacidade, ou ainda, o sistema separador sanitário não existir no local. Nesses casos, as vantagens econômicas e práticas de se aplicar os sistemas de CTTS promovendo o armazenamento temporário ou diretamente o tratamento dos esgotos combinados pode ser o caminho mais apropriado. E a uma decisão nesse sentido em um estágio inicial do projeto pode minimizar dispêndios financeiros frustrados e irrecuperáveis, que não trarão resultados para a melhoria sanitária local, e permitir a concentração dos recursos no tratamento dos esgotos. Vale lembrar que a estratégia de CTTS pode ser projetada para tratar também todos ou uma parcela dos escoamentos superficiais que carregam poluentes (FIELD *et al.*, 1994).

A solução de interceptação dos esgotos combinados ou de CTTS não deve ser considerada uma solução de separação dos esgotos, contudo, se trata de uma medida efetiva para o controle dos lançamentos de esgotos vindos das redes de drenagem pluvial, uma vez que ocupa pequenas áreas, no caso de Shenzhen nas margens dos cursos de água, e não interferem com outros usos do solo, permitindo o total tratamento dos esgotos durante os períodos de estiagem (CHEN *et al.*, 2019).

Além disso, a separação dos esgotos inevitavelmente deverá ser uma ação a ser considerada no projeto de um SES para se atingir a meta de universalização do atendimento por serviços de esgotamento sanitário por meio do SSA, que é o objetivo final de plano estabelecido no Brasil, portanto o conhecimento da

5.4 ANÁLISE CRÍTICA E APRESENTAÇÃO DA REVISÃO INTEGRATIVA

As informações extraídas das publicações foram submetidos à análise crítica, com o objetivo de identificar as consistências, potenciais melhorias e desdobramentos, assim como as carências, omissões, imprecisões e outras problemáticas (TORRACO, 2005; TORRACO, 2016).

O Quadro 21 apresenta a síntese das informações extraídas na coleta de dados das 15 publicações que abordam os sistemas de captação e tratamento em tempo seco, onde o preenchimento com o “X” indica cada um dos aspectos identificados: técnicos; econômicos; sociais; ambientais; e legais, normativos e institucionais.

Conforme mencionado, as análises discutidas aqui são fundamentadas nas informações apresentadas por estas publicações, mas não se limitam a elas, pois para alguns aspectos foram necessários embasamentos teóricos e legais, obtidos na literatura adicional mencionada, como livros, manuais, planos, leis e normas.

Quadro 21 – Síntese dos aspectos técnicos, econômicos, sociais, ambientais, legais, normativos e institucionais contidos nas publicações que abordam os sistemas de captação e tratamento em tempo seco.

ASPECTOS		PUBLICAÇÃO														
		Li et al., 2022	Volschan Jr., 2020	Chen et al., 2019	Yin et al., 2017	Li et al., 2014	Xu, Yin; Li, 2014	Gonçalves; Kleidorfer; Rauch, 2017	Machado; Borja; Moraes, 2013	Li; Ma; Zeng, 2009	Lopes; Kusterko; Volschan Jr., 2023	Veról et al., 2020	Fadel; Dornelles, 2015	Pereira; Matos; Ferreira, 2020	Brum et al., 2018	Santos et al., 2018
TÉCNICOS	Concepção/ dimensionamento	X	X			X		X			X	X	X			
	Sistema de coleta/ interceptação		X	X	X	X		X		X	X		X			X
	Sistema de bombeamento		X			X	X	X		X	X					
	Sistema de tratamento		X		X			X					X			
	Relação com SSA e SC	X	X	X	X	X		X			X		X		X	
	Operação e manutenção		X								X		X			
	Eficiência/ desempenho		X	X	X	X		X			X	X	X			X
ECONÔMICOS	Aspectos gerais		X	X				X	X				X	X	X	
	CAPEX / OPEX		X					X	X						X	X
	Tarifa/ receita operacional		X						X						X	
SOCIAIS	Gerais		X						X		X	X			X	
	Saúde pública	X														
AMBIENTAIS	Gerais/ requisitos/ parâmetros	X		X		X		X	X				X	X	X	X
LEGAL/ INSTITUCIONAL	Gerais legais/ normativos/ institucionais	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
ESTUDO DE CASO		X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X

Fonte: autoria própria (2023).

5.4.1 Nomes utilizados para a técnica de CTTS

Os nomes utilizados para a técnica de CTTS são diversos segundo o recorte analisado para os diferentes autores que abordam o tema. Percebe-se que pode haver consensos em função de alguns elementos identificados, como: idioma, país e local de estudo/implantação, assim como o enfoque da abordagem do tema, como apresentado a seguir.

O termo “captação em tempo seco” (CTS) (DIAS; ROSSO, 2011; MACHADO; BORJA; MORAES, 2013; SANTOS *et al.*, 2018; VERÓL *et al.*, 2020; PEREIRA; MATOS; FERREIRA, 2020; TOLEDO *et al.*, 2021; LOPES; KUSTERKO; VOLSCHAN JR., 2023) é um dos mais difundidos no Brasil, sendo utilizado por pesquisadores, projetistas, legisladores e por órgãos governamentais, associações e terceiro setor no estado do Rio de Janeiro, Brasil. Este é o termo utilizado com frequência pela Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), seção estadual do Rio de Janeiro/RJ (ABES Rio), em seminários e eventos técnicos nos últimos anos (ABES, 2022a; ABES, 2022b; ABES, 2022c; ABES, 2022d; ABES, 2022e).

Semelhantemente à captação em tempo seco, têm-se a “coleta em tempo seco”, (FADEL; DORNELES, 2015), nome que tem sido empregado em contextos para além da academia, como em publicações da imprensa (FOLHA, 2022a; FOLHA, 2022b). Nestas mesmas publicações do jornal Folha de São Paulo, o sistema é referido apenas como “o tempo seco” em alguns momentos em entrevista oral.

O termo “coleta em tempo seco” apresenta uma abordagem diferente do primeiro no que concerne à ênfase da ação realizada: a “coleta” e não a “captação” dos esgotos nas tubulações de drenagem pluvial, e cabe aqui uma breve discussão. Na engenharia sanitária, coleta é, usualmente, o termo utilizado para uma etapa do sistema de esgotamento, realizada pelo coletor (tronco ou secundários), elemento que intermedia o recebimento dos esgotos provenientes das edificações, conectadas por ligações prediais, transportando-os até atingirem os interceptores. Estes, por outro lado, são tubulações que não recebem contribuições laterais por ligações prediais diretas, e recebem os esgotos pelas ligações ou interceptação dos fluxos dos coletores, normalmente em PVs (TSUTIYA; SOBRINHO, 2005). Já a captação é o termo difundido como o ato realizado por um conjunto de equipamentos e instalações para

a busca, ou tomada de água de um manancial para ser direcionada a um sistema de abastecimento de água (BRASIL, 2014).

Observa-se que a elaboração acerca da abordagem empreendida pelo sistema não é uma preocupação de alguns autores. Fadel e Dornelles (2015), por exemplo, ao mesmo tempo que sugerem a ação de interceptar – “eficiência da interceptação de esgoto em rede pluvial”, indicam também que a solução parcial para as interconexões indesejadas passa pela “captação, ou interceptação, de esgoto em tempo seco”. Outra ação indicada pelos autores é o “desvio” do efluente sanitário, ou da carga poluidora, realizado por estruturas implantadas nas redes pluviais.

Outra denominação é o “sistema de tempo seco” (STS) (PEREIRA; MATOS; FERREIRA, 2020). Nessa concepção os autores afirmam que o transporte dos esgotos é realizado pela rede de drenagem pluvial, que não é vista como rede de esgotos combinados, já que não é concebida para esse fim, mas reforçam a importância do uso do sistema de drenagem para auxílio na tarefa de coletar os esgotos nas cidades.

Pereira, Matos e Ferreira (2020) menciona ainda a “interceptação dos esgotos que já correm nos sistemas de drenagem como ‘coleta em tempo seco’”. Os autores ainda indicam explicitamente:

Sistema de captação em tempo seco – Aqui entendido como sistema de interceptação de efluentes que correm nos sistemas de drenagem de uma cidade e sua condução ao sistema de tratamento. (PEREIRA; MATOS; FERREIRA, 2020, p. 2)

Moretti e Silva (2021) denominam como “tratamento em tempo seco” a estratégia de desviar para uma estação de tratamento, pelo menos durante os períodos sem chuvas fortes, os esgotos que foram divergidos erroneamente para as redes, dutos ou canais abertos de drenagem pluvial, mesmo em locais com SSA. Segundo os autores, trata-se de uma solução paliativa que despolui rapidamente os cursos de água.

Outros autores não abordam as CTTs como uma estratégia específica, e focam no reconhecimento das redes de drenagem com aportes sanitários como um sistema unitário, ou combinado, o que pressupõe a interceptação para tratamento dos esgotos

ao menos em tempo seco (MORIHAMA *et al.*, 2012; GONÇALVES; KLEIDORFER; RAUCH, 2017; TRONCA *et al.*, 2018; BRUM *et al.*, 2018).

Alguns autores reconhecem os sistemas pluviais como um sistema combinado, mas associam essa visão à estratégia de “captação em tempo seco” (MACHADO; BORJA; MORAES, 2013).

Em inglês, autores brasileiros adotam uma tradução mais literal da “captação em tempo seco”, denominando de *dry-weather intake* (PEREIRA; MATOS; FERREIRA, 2020) e *dry-weather sewage intake - DWSI* (captação de esgotos em tempo seco) (VOLSCHEAN JR., 2020; VERÓL *et al.*, 2020).

Ressalta-se que todas as traduções de inglês para português são nossas.

Na China, o tratamento da problemática das interconexões inapropriadas de esgotos nos sistemas de drenagem pluvial são alvo de várias intervenções e existem algumas publicações incluídas, em inglês, que indicam a implantação de *interception facilities* (instalações de interceptação) (LI *et al.*, 2014), ou *sewage interception engineering* (engenharia de interceptação de esgotos) (LIAO *et al.*, 2016).

Alguns autores chineses abordam a estratégia como um sistema, já que é concebido para esse fim, e utilizam o termo *intercepting sewer system* (WANG *et al.*, 2021), *sewer interception system* (traduzidos para o português, de forma idêntica, como sistema de interceptação de condutos) ou apenas *interception system* (sistema de interceptação) (CHEN *et al.*, 2019); e os eventuais extravasamentos de esgotos desses sistemas são chamados de *interception system overflows* (ISOs) (extravasamentos dos sistemas de interceptação) (CHEN *et al.*, 2019).

Outros autores não nomeiam o sistema, especificamente, mas mencionam estratégias de *sewage interception* (interceptação de esgotos) nas tubulações de drenagem como estratégia para controle da poluição (YIN; ISLAM; JU, 2021; LI; TAN; ZHU, 2010).

Outro termo observado é *interception wier* (barramento de interceptação), estratégia aplicada como *end-of-pipe strategy* (estratégia de aplicada no final do tubo) (WEI *et al.*, 2019), ou, nessa linha, outro termo observado é *end-of-storm pipe control*

treatment (tratamento por controle no final do tubo de drenagem pluvial) (XU *et al.*, 2016), *end-of-pipe interception sewer* (YIN *et al.*, 2017), *end-of-storm pipe interception* (XU; YIN; LI, 2014; YIN *et al.*, 2017), *end-of-storm pipe interception treatment* (YIN *et al.*, 2017) ou ainda *end-of-pipe storage/treatment* (armazenamento/tratamento no final de tubo) (LI; ZHOU; LI, 2008). Em alguns casos autores atrelam a estratégia a condições locais específicas dos sistemas, como nos casos em que há bombeamento das águas residuárias: *interception pumping* (bombeamento de interceptação) em tempo seco (LI *et al.*, 2022).

O reconhecimento das redes de drenagem pluviais como parte de um sistema de coleta intermediário e temporário é indicado por alguns autores brasileiros como *combined system as and intermediate solution* (sistema combinado como solução intermediária) ou *temporary combined system* (sistema combinado temporário) (GONÇALVES; KLEIDORFER; RAUCH, 2017).

Em suma, nas publicações em português o termo mais utilizado é “captação em tempo seco”, com recorrência em 8 publicações. A referência aos “sistemas combinados/unitários” é recorrente em 5 publicações. Já o termo “interceptação em tempo seco” aparece em 2 publicações.

Em relação às publicações em inglês, as menções que envolvem o termo *interception* (interceptação) são as mais recorrentes com 10 publicações citando a ação, e os nomes dos sistemas, derivados do termo, mais utilizados são *sewer/sewage interception system/facilities/engineering/pumping*, com recorrência em 7 publicações. O termo *end-of-storm pipe* e *end-of-pipe* tem recorrência em 5 publicações, combinadas com os seguintes termos *interception/treatment/storage*. A utilização do termo da *temporary combined system* ocorre apenas em 1 publicação.

O Quadro 22 apresenta cada um dos termos e suas recorrências nas publicações mencionadas.

Quadro 22 – Nomes da técnica e menções da ação de CTTs utilizada nas publicações e recorrência em número de publicações.

Inglês	Português (tradução)	PUBLICAÇÕES (PUBs.)	N.º PUBs.
<i>Dry-weather intake</i>	tomada de tempo seco	Pereira; Matos; Ferreira, 2020	1
<i>dry-weather sewage intake</i>	captação de esgotos em tempo seco	Volschan Jr., 2020	1
<i>interception facilities</i>	instalações de interceptação	Li <i>et al.</i> , 2014	1
<i>sewage interception engineering</i>	engenharia de interceptação de esgotos	Liao <i>et al.</i> , 2016	1
<i>intercepting sewer system</i>	sistema de interceptação de tubulações	Wang <i>et al.</i> , 2021	1
<i>sewer interception system</i>	sistema de interceptação de esgotos	Chen <i>et al.</i> , 2019	1
<i>interception system</i>	sistema de interceptação	Chen <i>et al.</i> , 2019	1
<i>sewage interception</i>	interceptação de esgotos	Yin; Islam; Ju, 2021; Li; Tan; Zhu, 2010	2
<i>interception wier</i>	barramento de interceptação	Wei <i>et al.</i> , 2019	1
<i>end-of-pipe strategy</i>	estratégia de aplicada no final do tubo	Wei <i>et al.</i> , 2019	1
<i>end-of-storm pipe control treatment</i>	tratamento por controle no final do tubo de drenagem pluvial	Xu <i>et al.</i> , 2016	1
<i>end-of-storm pipe interception</i>	interceptação no final do tubo de drenagem pluvial	Xu; Yin; Li, 2014; Yin <i>et al.</i> , 2017	2
<i>end-of-storm pipe interception treatment</i>	tratamento por interceptação no final do tubo de drenagem pluvial	Yin <i>et al.</i> , 2017	1
<i>end-of-pipe storage/treatment</i>	armazenamento/tratamento no final de tubo	Li; Zhou; Li, 2008	1
<i>interception pumping</i>	bombeamento de interceptação	Li <i>et al.</i> , 2022	1
<i>combined system as and intermediate solution</i>	sistema combinado como solução intermediária	Gonçalves; Kleidorfer; Rauch, 2017	1
<i>temporary combined system</i>	sistema combinado temporário	Gonçalves; Kleidorfer; Rauch, 2017	1
Inglês (tradução)	Português	PUBLICAÇÕES (PUBs.)	N.º PUBs.
-	captação em tempo seco	Dias; Rosso, 2011; Machado; Borja; Moraes, 2013; Fadel; Dorneles, 2015; Santos <i>et al.</i> , 2018; Veról <i>et al.</i> , 2020; Pereira; Matos; Ferreira, 2020; Toledo <i>et al.</i> , 2021; Lopes; Kusterko; Volschan Jr., 2023	8
-	coleta em tempo seco	Fadel; Dorneles, 2015	1
-	interceptação em tempo seco	Fadel; Dorneles, 2015; Pereira; Matos; Ferreira, 2020	2
-	tratamento em tempo seco	Moretti; Silva, 2021	1
-	desvio em tempo seco	Fadel; Dorneles, 2015; Moretti; Silva, 2021	2
-	sistema de tempo seco	Pereira; Matos; Ferreira, 2020	1
-	sistema unitário/ combinado	Morihama <i>et al.</i> , 2012; Machado; Borja; Moraes, 2013; Gonçalves; Kleidorfer; Rauch, 2017; Tronca <i>et al.</i> , 2018; Brum <i>et al.</i> , 2018	5

Fonte: autoria própria (2023).

5.4.2 Localidades com sistemas de CTTS implementados ou planejados

Sistemas de captação em tempo seco já foram implantados no Brasil, e em maior relevância em cidades costeiras. Na cidade de Salvador, Estado da Bahia (2,9 milhões de habitantes) os sistemas de CTTS já existem há muito tempo; em Florianópolis/SC (509 mil hab.), foram implantados em anos recentes (VERÓL *et al.*, 2020; VOLSCHAN JR., 2020), após não ter havido sucesso na despoluição de duas praias com a implantação alargada do sistema separador absoluto (PEREIRA; MATOS; FERREIRA, 2020).

Ainda na região Sul o sistema existe na cidade de Porto Alegre (1,5 milhões de habitantes) (BERNARDES; SOARES, 2004; FADEL; DORNELLES, 2015; BRASIL, 2021a) e Caxias do Sul (524 mil hab.) (BERNARDES; SOARES, 2004; BRUM *et al.* 2018; BRASIL, 2021a), no Estado do Rio Grande do Sul, sendo que nesses municípios há expressiva coleta por sistemas unitário/pluvial, mas apenas pequenos percentuais recebem tratamento.

No estado do Rio de Janeiro há diversos municípios utilizando a estratégia, destacando-se a capital, Rio de Janeiro (6,7 milhões de habitantes), com diferentes subsistemas (DIAS; ROSSO, 2011; CEDAE, 2018) sendo que alguns estão em funcionamento há relativamente muito tempo (VOLSCHAN JR., 2020). O Interceptor Oceânico da Zona Sul (IOZS), construído de 1962 a 1972 (Figura 31), por exemplo, foi projetado para a condução dos esgotos sanitários e também para coleta e transporte das águas residuárias provenientes do sistema de drenagem pluvial, as chamadas contribuições de tempo seco (SILVA, 2002 *apud* DIAS; ROSSO, 2011).



Figura 31 – Construção do IOZS no Rio de Janeiro. (a) Alargamento da praia de Copacabana. (b) Seção transversal em arco no trecho de Copacabana.

Fonte: Dias e Rosso (2011).

Para esses casos não é explicitado se os subsistemas têm caráter definitivo ou temporário, e se esta for a concepção, tampouco apresentam os motivos (falta de planejamento, recursos, empenho, etc.) para a não substituição dos CTTS pelos sistemas separadores absolutos no decurso desse longo tempo.

As CTTS existem em cidades costeiras de diferentes portes populacionais da região nordeste do Rio de Janeiro como Saquarema (91 mil habitantes), São Pedro da Aldeia (103 mil hab.), Araruama (130 mil hab.), Iguaba Grande (28 mil hab.), Cabo Frio (223 mil hab.) (PREFEITURA SPDA, 2019; CEDAE, 2020; VOLSCHAN JR., 2020; TOLEDO *et al.*, 2021) e há ao menos um estudo para a cidade de Arraial do Cabo (31 mil hab.) (VERÓL *et al.*, 2020).

Ainda no estado do Rio de Janeiro, existem casos na região serrana do estado nas cidades de Petrópolis (306 mil hab.) e Nova Friburgo (190 mil hab.) e existem estudos em desenvolvimento em Teresópolis (181 mil hab.) e Maricá (156 mil hab.) (VERÓL *et al.*, 2020; VOLSCHAN JR., 2020).

Na cidade de São Paulo (11,4 milhões de hab.) foram identificadas estruturas de desvio em tempo seco implantadas em galerias de águas pluviais da bacia do córrego São José, que aflui para a represa de Guarapiranga (SANTOS *et al.*, 2018).

Salienta-se que as populações indicadas são as totais dos municípios, estimadas pelo IBGE para o ano de 2021, e que os estudos não informam qual a população atendida pelos sistemas de tempo seco.

Dentre os sistemas planejados identificados, destacam-se o estudo realizado para um bairro da cidade de Joinville (605 mil hab.), estado de Santa Catarina (GONÇALVES; KLEIDORFER; RAUCH, 2017) e o Plano Estadual de Manejo de Águas Pluviais e Esgotamento Sanitário (PEMAPES), no estado da Bahia, que propõe SES em mais de 400 municípios e considera a possibilidade de coleta em tempo seco em pelo menos 215, apresentando as diretrizes básicas e estratégia de tomada de decisão para isso.

Além do Brasil, os sistemas de CTTS foram identificados também em Portugal e na República Popular da China, em diferentes cidades que foram alvo de alguns dos estudos obtidos.

Na Europa, a adoção do sistema de drenagem para coleta e tratamento de esgotos é largamente utilizada, com experiências que existem ao menos desde o século XIX., essa estratégia é encarada como inevitável e necessária em áreas já consolidadas, principalmente em zonas mais antigas e históricas das cidades. Nas últimas décadas, sistemas desse tipo foram implantados em Portugal com destaque para a Área Metropolitana de Lisboa, onde dois sistemas, o Subsistema Alcântara (756 mil habitantes), construído entre 2009 e 2011, e o Sistema da Costa do Estoril (750 mil habitantes), construído em 2009, já trouxeram resultados significativos na melhoria da qualidade das águas do rio Tejo (BRUM *et al.*, 2018; PEREIRA; MATOS; FERREIRA 2020).

Em Shanghai, segundo maior núcleo urbano da China com população estimada em cerca de 24,1 milhões de habitantes (DEMOGRAPHIA, 2022) os sistemas de CTTS estão presentes na maioria dos sistemas separadores pluviais, uma vez que há regulação com essa exigência (LI; ZHOU; LI, 2008; LI; MA; ZENG, 2009; LI; TAN; ZHU, 2010; LI *et al.*, 2014; XU; YIN; LI, 2014; XU *et al.*, 2016).

Na cidade de Hefei, com cerca de 5,0 milhões de hab. (DEMOGRAPHIA, 2022), assim como em Shanghai, a maioria dos SSA pluviais foram equipados com sistemas de interceptação do tipo CTTS (LI *et al.*, 2014).

A cidade de Nanning, com aproximadamente 3,2 milhões de habitantes (DEMOGRAPHIA, 2022) também conta com sistemas de CTTS (LI *et al.*, 2022).

Shenzhen, cidade costeira no sudeste da China, situada no delta do Rio da Pérola com população estimada em cerca de 17,6 milhões de habitantes em 2022 (DEMOGRAPHIA, 2022) possui ao menos três sistemas de interceptação em tempo seco em diferentes sub-bacias da cidade (CHEN *et al.*, 2019).

A cidade de Fuzhou (WEI *et al.*, 2019), com cerca de 4,4 milhões de hab. (DEMOGRAPHIA, 2022) e a cidade de Chaohu (LIAO *et al.*, 2016), com cerca de 493

mil hab. Em 2020 (CITY POPULATION, 2023), são mencionadas como possuidoras de sistemas de CTTS, porém tais sistemas não são descritos com maiores detalhes.

Além dos locais citados acima, identificados nas publicações avaliadas, cabe mencionar outros sistemas identificados, mas que não foram alvo de estudos e publicações encontradas.

Na cidade de Belo Horizonte, estado de Minas Gerais, na bacia hidrográfica do ribeirão Pampulha existem poços de visita com interceptação em tempo seco nas redes de drenagem que desviam as águas residuárias para redes coletoras separadores e há planejamento para construção de novos dispositivos em áreas de interesse social na bacia hidrográfica do ribeirão da Pampulha (ABES, 2022c).

Em Belo Horizonte existe ainda a experiência da Estação de Tratamento das Águas Fluviais (ETAF) que promove o tratamento, principalmente em tempo seco, das águas fluviais contaminadas por esgotos na calha fluvial dos córregos Sarandi e Ressaca, imediatamente a montante do reservatório da Barragem da Pampulha (COUTINHO, 2007; FURTADO, 2019).

Em São Paulo, na bacia hidrográfica do Rio Pinheiros, existem cinco estações de tratamento denominadas Unidades Recuperadoras da Qualidade das Águas (URs), que também visam o tratamento das águas fluviais em tempo seco. Estas URs possuem capacidade de tratamento que variam de 180 L/s a 600 L/s e foram concebidas, pois ainda há esgotos “não coletáveis” de forma tradicional a montante das mesmas, provenientes principalmente dos aglomerados subnormais, e que acabam sendo despejados nos córregos afluentes do Rio Pinheiros (ABES, 2022c; SABESP, 2022).

Paranaguá no Estado do Paraná e Cuiabá no Estado do Mato Grosso são outras cidades brasileiras citadas como tendo sistema de captação em tempo seco (ABES, 2022c).

Na região Nordeste foi identificado um sistema implantado na cidade de Santa Cruz do Capibaribe (111,8 mil hab.) onde as redes de drenagem, utilizadas em larga escala para escoamento das águas residuárias foram assumidas com redes unitárias ou de

captação em tempo seco e foi construída uma estação de tratamento de esgotos do tipo lodos ativados com controle de odores por carvão ativado e capacidade para 360 L/s (COMPESA, 2020; ACCIONA, 2020).

5.4.3 Aspectos legais, normativos e institucionais

Neste subitem buscou-se trazer à tona as discussões identificadas nas publicações sobre os aspectos legais, normativos e institucionais que dizem respeito às captações e tratamento em tempo seco, assim como os dispositivos que possam influenciar de alguma maneira estas soluções de engenharia, seja favorável ou desfavoravelmente.

5.4.3.1 Aspectos legais e normativos

No Brasil a Constituição da República Federativa estabelece que compete à União a instituição de diretrizes para o desenvolvimento urbano, incluindo a habitação, saneamento básico e transportes urbanos, art. 21, inciso XX (BRASIL, 1988).

A Lei n.º 11.445 de 2007, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, coloca em seu artigo 8º que a titularidade dos serviços públicos de saneamento básico é exercida pelos municípios e pelo Distrito Federal, no caso de interesse local (inciso I); ou no caso de interesse comum, pelo Estado em conjunto com os municípios onde há compartilhamento de instalações operacionais integrantes de regiões metropolitanas, aglomerações urbanas e microrregiões (inciso II) (BRASIL, 2007).

Conforme mencionado, a Lei n.º 14.026 de 2020 (BRASIL, 2020b), chamada de “novo marco legal do saneamento básico”, estabeleceu uma série de alterações legais para o saneamento básico brasileiro quando indicou modificações em sete leis e, em especial, alterou a referida Lei n.º 11.445 (BRASIL, 2007). Dentre as modificações, incluiu-se algumas considerações que se julgam favoráveis aos sistemas de CTTS, como as definições sobre o que são o sistema separador absoluto e o sistema unitário; e a indicação de que o sistema unitário é aceitável durante um determinado período de planejamento dos SES, de onde se entende abranger a coleta utilizando-se as redes pluviais.

As referidas definições são (BRASIL, 2007):

XVIII – sistema separador absoluto: conjunto de condutos, instalações e equipamentos destinados a coletar, transportar, condicionar e encaminhar exclusivamente esgoto sanitário (art. 3º, da Lei n.º 11.445) (BRASIL, 2007);

XIX – sistema unitário: conjunto de condutos, instalações e equipamentos destinados a coletar, transportar, condicionar e encaminhar conjuntamente esgoto sanitário e águas pluviais (art. 3º, da Lei n.º 11.445) (BRASIL, 2007).

Com a promulgação da Lei n.º 14.026 de 2020, a Agência Nacional de Águas foi recriada com o nome de chamar Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), e passou a ser “responsável pela instituição de normas de referência para a regulação dos serviços públicos de saneamento básico” (BRASIL, 2020b).

Relativamente à questão da utilização temporária do sistema unitário, a Lei n.º 14.026, em seu art. 2º, altera o art. 4º-A, § 1º, inciso XI da Lei n.º 9.984 do ano de 2000, Lei que cria a ANA (BRASIL, 2020b):

Art. 4º-A. A ANA instituirá normas de referência para a regulação dos serviços públicos de saneamento básico por seus titulares e suas entidades reguladoras e fiscalizadoras, observadas as diretrizes para a função de regulação estabelecidas na Lei n.º 11.445, de 5 de janeiro de 2007.

§ 1º Caberá à ANA estabelecer normas de referência sobre:

...

XI – normas e metas de substituição do sistema unitário pelo sistema separador absoluto de tratamento de efluentes; (BRASIL, 2020b)

Nesse mesmo sentido, sobre as condições do período de transição, onde é aceitável a utilização dos sistemas unitários, a Lei n.º 14.026, em seu artigo 7º, altera o artigo 44 da Lei n.º 11.445 (BRASIL, 2020b) que menciona:

§ 3º A agência reguladora competente estabelecerá metas progressivas para a substituição do sistema unitário pelo sistema separador absoluto, sendo obrigatório o tratamento dos esgotos coletados em períodos de estiagem, enquanto durar a transição. (BRASIL, 2020b).

Dessa forma, entende-se que a partir da promulgação da Lei n.º 14.026 em 2020, o marco legal do saneamento passou a permitir o uso das CTTS quando autorizou o uso dos sistemas unitários, uma vez que conceito geral baseado no tipo de águas no

qual eles transportam é análogo: águas pluviais e esgotos sanitários. Dessa forma, as redes pluviais podem ser utilizadas desde que as águas residuárias sejam integralmente tratadas em períodos de tempo seco, enquanto durar o processo de separação total das águas urbanas, ou seja, até que os SSAs sejam de fato implantados.

Ressalta-se que a ANA ainda precisa regulamentar os usos dos sistemas unitários e estabelecer as diretrizes nacional sobre o período de transição entre os sistemas (PEREIRA; MATOS; FERREIRA, 2020).

A Lei n.º 11.445 de 2007, alterada pelo novo marco do saneamento (Lei n.º 14.026), estabelece que os contratos de prestação de serviços devem definir as metas de universalização que garantam o atendimento de 90% da população com coleta e tratamento de esgotos até a data de 31 de dezembro de 2033 (BRASIL, 2020b).

Segundo Tucci *et al.* (2002) *apud* Gonçalves, Kleidorfer e Rauch (2017), a legislação brasileira estabelece os SSAs como a melhor solução dentre os tipos de sistemas, o que pode também ser entendido quando a Lei 11.445 impõe o sistema separador absoluto como o objetivo final do sistema após a transição, o que corrobora as premissas de alguns trabalhos publicados anterior ou contemporaneamente à sanção da Lei 14.026/2020 (MACHADO; BORJA; MORAES, 2013; FADEL; DORNELLES, 2015; GONÇALVES; KLEIDORFER; RAUCH, 2017; BRUM *et al.*, 2018; VERÓL *et al.*, 2020; VOLSCHAN JR., 2020).

A atualização da Lei n.º 11.445/2007 trouxe como princípio fundamental no artigo 2º, inciso XVI, a prestação concomitante dos serviços de abastecimento de água e de esgotamento sanitário (BRASIL, 2007), no entanto nada diz em relação à integração necessária com a drenagem e manejo das águas urbanas para o funcionamento adequado do sistema unitário, mesmo que temporariamente.

Machado, Borja e Moraes (2013) dizem que o aproveitamento das redes pluviais nos sistemas de esgotos considera a utilização da tecnologia existente de coleta para melhor aplicação de recursos financeiros e universalização dos serviços baseado em dois princípios fundamentais da Lei n.º 11.445 (art. 2º); a universalização e a utilização de tecnologias apropriadas:

I – universalização do acesso e efetiva prestação do serviço;

...

VIII – estímulo à pesquisa, ao desenvolvimento e à utilização de tecnologias apropriadas, consideradas a capacidade de pagamento dos usuários, a adoção de soluções graduais e progressivas e a melhoria da qualidade com ganhos de eficiência e redução dos custos para os usuários; (BRASIL, 2020b).

Sobre o inciso VIII cabe destacar que a revisão da legislação incluiu as palavras “estímulo” na redação, o que foi objeto de críticas durante as discussões prévias à aprovação da Lei 14.026 em 2020, pois o princípio fundamental passou a ser o estímulo e não a adoção de fato às tecnologias apropriadas. Além disso, a consideração de adoção de soluções graduais e progressivas abarca as soluções de CTTS que são concebidas como uma primeira etapa para tratamento de efluentes sanitários.

Ainda reforçando a questão do planejamento do sistema em etapas, o Capítulo IV (do planejamento), no seu artigo 19 diz que:

Art. 19. A prestação de serviços públicos de saneamento básico observará plano, que poderá ser específico para cada serviço, o qual abrangerá, no mínimo:

...

II – objetivos e metas de curto, médio e longo prazos para a universalização, admitidas soluções graduais e progressivas, observando a compatibilidade com os demais planos setoriais; (BRASIL, 2007).

Dentre os princípios fundamentais da Lei n.º 11.445, pode-se incluir o seguinte também como estímulo e fundamentação à tecnologia de CTTS:

V – adoção de métodos, técnicas e processos que considerem as peculiaridades locais e regionais; (BRASIL, 2020b).

Isso pois, uma vez que em determinados locais do Brasil os regimes pluviométricos e o grau de ligações ilícitas podem favorecer a implantação dos sistemas de CTTS.

Cabe mencionar que as alterações da Lei n.º 14.026/2020 dão também visibilidade aos territórios informais dado que o artigo 53 estabelece que os mesmos devem ser englobados pela política federal de saneamento básico. No mesmo artigo, no parágrafo único, há o reconhecimento e admissibilidade do uso dos sistemas

condominiais, que englobam o abastecimento de água e o esgotamento sanitário, seguindo as premissas descritas para o sistema condominial (SCO) de esgotos (BRISCOE, 1993; MELO, 2005; GONÇALVES; KLEIDORFER; RAUCH, 2017).

Parágrafo único. Admite-se, prioritariamente, a implantação e a execução das obras de infraestrutura básica de abastecimento de água e esgotamento sanitário mediante sistema condominial, entendido como a participação comunitária com tecnologias apropriadas para produzir soluções que conjuguem redução de custos de operação e aumento da eficiência, a fim de criar condições para a universalização. (BRASIL, 2020b).

Ainda sobre a Lei n.º 11.445/2007, Machado, Borja e Moraes (2013) afirmam que em seu artigo 44 ela abranda o licenciamento ambiental de unidades de tratamento de esgoto sanitários na medida em que permite que sejam considerados “os requisitos de eficácia e eficiência, a fim de alcançar progressivamente os padrões estabelecidos pela legislação ambiental” (BRASIL, 2007).

Outros esforços legislativos já foram realizados no âmbito estadual, no estado do Rio de Janeiro, inclusive antes das alterações mencionadas no âmbito Federal, para a utilização dos sistemas unitários existentes e neste caso com foco específico de dar reconhecimento e importância aos sistemas de CTTS para o tratamento de esgotos, como a Lei complementar n.º 184 de 2018, art. 3º, inciso II, alínea c (RIO DE JANEIRO, 2018c; PEREIRA; MATOS; FERREIRA, 2020):

Art. 3º - Consideram-se de interesse metropolitano ou comum as funções públicas e os serviços que atendam a mais de um município, assim como aqueles que, embora restritos ao território de um deles, sejam, de algum modo, dependentes, concorrentes, confluentes ou integrados entre si, notadamente:

...

II – o saneamento básico, assim definido pela legislação federal, incluindo a captação, o tratamento e a distribuição de água potável, a coleta, o tratamento e a destinação do esgotamento sanitário, gerenciamento de resíduos sólidos e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, sendo que:

...

- e) quanto ao reconhecimento do sistema de tempo seco como medida estratégica ao sistema de tratamento de esgotos. (RIO DE JANEIRO, 2018c).

Esta Lei de 2018, no entanto contrapõe em alguma medida o que é estabelecido pela Constituição Estadual do Rio de Janeiro de 1989, em seu artigo 277, § 1º, estabelece

que “fica vedada a implantação de sistemas de coleta conjunta de águas pluviais e esgotos domésticos ou industriais.” (RIO DE JANEIRO, 1989; PEREIRA; MATOS; FERREIRA, 2020).

O estado da Bahia publicou o Decreto n.º 14.024 em 2012, no qual seus artigos 63 e 64 dispõem que efluentes sanitários devem ser “coletados, tratados e ter disposição final adequada, de forma a evitar que causem danos à saúde pública, às atividades econômicas e sociais e ao equilíbrio ecológico”, e respeitando a capacidade de autodepuração do corpo receptor (BAHIA, 2012). Machado, Borja e Moraes (2013) ponderam que devido ao fato de que muitos cursos de água na região do semiárido baiano são intermitentes, a capacidade de autodepuração é pequena, dificultando a solução de CTTS, já que estes extravasam esgotos nos períodos chuvosos para estes cursos de água com pouca ou nenhuma vazão (BAHIA, 2012).

Esta situação pode ser uma realidade em ao menos 9 estados brasileiros que compõem o semiárido: Bahia, Ceará, Alagoas, Piauí, Paraíba, Pernambuco, Sergipe, Rio Grande do Norte e uma parcela da região norte de Minas Gerais (BRASIL, 2017c).

Por outro lado, há de se ponderar que as CTTS são aplicadas em locais com sistemas separadores ineficientes (com algum grau de interconexão de esgotos na drenagem pluvial), ou onde eles são ausentes, e todo o esgoto bruto lançado nas redes pluviais acabam na natureza, e os CTTS passam proporcionar algum nível de tratamento, antes inexistente, ao menos em tempo seco.

O estado do Rio Grande do Sul publicou a Lei 11.520 do ano 2000, que estabelece as condições para lançamentos de esgotos no meio ambiente, assim como para o uso das redes de drenagem, destacando-se no artigo 138 a utilização da rede pluvial para esgotamento sanitário apenas mediante licenciamento ambiental, tratamento prévio, sendo que o tratamento deve atender as normas técnicas específicas, com segue (RIO GRANDE DO SUL, 2000; BRUM *et al.*, 2018):

Art. 137 – Todos os esgotos deverão ser tratados previamente quando lançados no meio ambiente.

Parágrafo único – Todos os prédios situados em logradouros que disponham de redes coletoras de esgotos sanitários deverão ser obrigatoriamente ligados a elas, às expensas dos

proprietários, excetuando-se da obrigatoriedade prevista no “caput” apenas as situações de impossibilidade técnica, que deverão ser justificadas perante os órgãos competentes.

Art. 138 – A utilização da rede de esgotos pluviais para o transporte e afastamento de esgotos sanitários somente será permitida mediante licenciamento pelo órgão ambiental e cumpridas as seguintes exigências:

I – será obrigatório o tratamento prévio ao lançamento dos esgotos na rede;

II – o processo de tratamento deverá ser dimensionado, implantado, operado e conservado conforme critérios e normas estabelecidas pelos órgãos municipais e estaduais competentes ou, na inexistência destes, conforme as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT);

III – qualquer que seja o processo de tratamento adotado, deverão ser previamente definidos todos os critérios e procedimentos necessários ao seu correto funcionamento, em especial: localização, responsabilidade pelo projeto, operação, controle e definição do destino final dos resíduos sólidos gerados no processo;

IV – as bocas de lobo e outras singularidades da rede condutora da mistura de esgotos deverão possuir dispositivos que minimizem o contato direto da população com o líquido transportado. (RIO GRANDE DO SUL, 2000).

No cenário internacional, algumas publicações trazem à tona discussões sobre as legislações. Pereira, Matos e Ferreira (2020) estudam e apresentam o caso de Lisboa, em Portugal, país onde o sistema unitário é aceito e mencionam o Decreto Regulamentar n.º 23 de 1995, de Portugal, que aborda aspectos dos sistemas públicos e prediais de drenagem de águas residuais e que não inviabiliza o uso do sistema unitário para estes sistemas. Segundo os autores, este decreto foi embasado na Diretiva Europeia n.º 91/271/CEE, *relativa ao tratamento de águas residuais urbanas* (FERREIRA, 2006 *apud* PEREIRA; MATOS; FERREIRA, 2020).

A referida norma não especifica a separação das águas para a condução pública, uma vez que define que as “águas residuais urbanas” como: “águas residuais domésticas ou a mistura de águas residuais domésticas com águas residuais industriais e/ou águas de escoamento pluvial”. Ou seja, indica a mistura de esgotos sanitários e águas de chuva e para a coleta indica apenas que: “Os sistemas colectores devem ter em conta os requisitos de tratamento das águas residuais urbanas”, de onde se percebe que o foco da legislação está no tratamento das águas urbanas e não tanto no tipo de sistema a ser utilizado, desde que se garanta as eficiências (UE, 1991).

Na China, Li *et al.* (2014) indicam que a legislação exige que todas as novas urbanizações no país devem utilizar sistemas separadores absolutos, no entanto afirma que em vários locais que já implantaram esses sistemas não houve significativa melhora nas condições ambientais aquáticas devido à impossibilidade de eliminação total das interconexões de esgotos nas redes de drenagem separadoras.

Em Shanghai, uma das maiores metrópoles Chinesas, existe regulação que exige que todos os sistemas de drenagem sejam equipados com dispositivos de interceptação de esgotos e estes precisam ter capacidade absorver ao menos 40% da vazão total de esgotos da área por ele servida, a fim de manejar as conexões ilícitas existentes (LI *et al.*, 2014).

O *Manual de Drenagem Pluvial: planejamento, projeto e gestão*, da região administrativa especial de Hong Kong, publicado pelo Departamento de Serviços de Drenagem – (*Drainage Services Department - DSD*) indica ao abordar as vazões de tempo seco em canais que caso essas vazões estejam poluídas, devem ser consideradas a possibilidade de desvio das mesmas para as redes de esgotos sanitários mais próximas, sendo que a capacidade deste sistema de suportar essa vazão adicional interceptada deve ser verificada (DSD, 2018).

Os lançamentos ilícitos de esgotos sanitários provenientes dos sistemas separadores de drenagem pluvial são reconhecidos nos Estados Unidos da América (EUA) e no Reino Unido como de elevado potencial de impacto para as águas superficiais, causando falhas nos atendimentos aos padrões de qualidade das águas, prejudicando o equilíbrio ecológico e causando impactos estéticos. Nos EUA a regulação denominada *Illicit discharge detection and elimination* – IDDE (Detecção e eliminação de lançamentos ilícitos), que faz parte do *National Pollutant Discharge Elimination System* – NPDES (Sistema Nacional de Eliminação de Lançamentos de Poluentes), se destaca neste tema (ELLIS; BUTER, 2015).

No Brasil, o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água, é um dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, definida pela Lei n.º 9.433 de 1997 (BRASIL, 1997). As classificações dos corpos hídricos, bem como as diretrizes ambientais para o seu enquadramento, são estipuladas pela Resolução n.º 357 de 2005 do Conselho Nacional de Meio Ambiente

(CONAMA) (BRASIL, 2005); já as condições e padrões de lançamento de efluentes são definidos pela Resolução n.º 430 de 2011 do mesmo CONAMA (BRASIL, 2011; FADEL; DORNELLES, 2015).

Os sistemas que utilizam os padrões de lançamento são instrumentos básicos de gestão ambiental internacionalmente aceitos para o controle de emissão de poluentes e também implementado na China (WANG *et al.*, 2021).

Em relação ao licenciamento ambiental dos SES, a Resolução CONAMA n.º 377 de 2006, em seu artigo 1º, estabelece que ficam sujeitos a procedimentos simplificados de licenciamento ambiental as unidades de transporte e de tratamento de esgoto sanitário, separada ou conjuntamente, de pequeno e médio porte (BRASIL, 2006).

No âmbito normativo nacional, em relação aos estudos de concepção de SES e projeto de redes coletoras de esgotos sanitários, a ABNT não possui norma de engenharia sanitária que aborde os sistemas de CTTS, e tampouco os sistemas unitários, como possíveis soluções de esgotamento sanitário (ABNT, 1986a; ABNT, 1986b). No entanto, por meio da NBR N.º 12207, que aborda as exigências para elaboração de *projeto de interceptores de esgoto sanitário*, reconhece o conceito das “contribuições de tempo seco” e indica os critérios de projetos e recomendação de projeto para os casos em que estas águas residuais sejam incorporadas ao interceptor de esgoto sanitário (ABNT, 2016).

Segundo Pereira, Matos e Ferreira (2020) a admissibilidade da inserção das redes de drenagem pluvial no sistema de esgotamento sanitário requer alterações em normas e regulamentações “a fim de se criar segurança para a proposição dos projetos e para operação de sistemas que dela se utilizem”.

Algumas sugestões colocadas por Reda *et al.* (2014) e que se aplicam para os casos de CTTS, passam pela necessidade de as autoridades devem reforçarem o comprometimento com as leis, criando mecanismos para endurecer a fiscalização e as penalidades para garantir o cumprimento das exigências por parte dos usuários. Além disso, importantes práticas dizem respeito à necessidade setores da administração pública (municípios, estados, concessionárias dos serviços de água e esgoto, agências reguladoras; e conselhos técnicos profissionais) se comunicarem e

trabalharem harmoniosamente para que os serviços ocorram da melhor maneira possível.

5.4.3.2 Aspectos institucionais

Os aspectos institucionais dão foco a particularidades que envolvem instituições, órgãos públicos e organizações da sociedade civil que tangenciam as questões trazidas pelas leis e normas que regem os sistemas de esgotamento sanitário e que podem afetar os sistemas de CTTS, sendo que algumas delas são também apresentadas nas publicações obtidas.

Em relação à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, dentre as atuações estabelecidas pela Lei n.º 14.026/2020 relativamente aos serviços de saneamento básico, destacam-se:

uniformização regulatória do setor de saneamento básico e segurança jurídica na prestação e regulação dos serviços, estabelecendo, em nível nacional, padrões, parâmetros, metodologias, condições e incentivos necessários à consecução dos objetivos da Política Federal de Saneamento Básico e à implementação das diretrizes nacionais para o setor. (BRASIL, 2021b, p. 5).

Além disso, a ANA também atua para o alcance dos objetivos da regulação infranacional e no estabelecimento das normas de referência para a regulação dos serviços públicos de saneamento básico para os titulares, entidades reguladoras e fiscalizadoras (BRASIL, 2021b).

Ainda não está claro como se dará a regulação, gestão, operação e manutenção dos sistemas unitários - o que inclui a utilização das CTTS - nesse novo contexto legal, já que, frequentemente, os diferentes sistemas de drenagem urbana são geridos, operados e mantidos por diferentes órgãos ou departamentos (MACHADO; BORJA; MORAES, 2013; BURGARA MONTERO *et al.*, 2012 *apud* LIAO *et al.*, 2016; MCMINN *et al.*, 2010 *apud* LIAO *et al.*, 2016; VOLSCHAN JR., 2020).

No Brasil, os sistemas de drenagem pluvial são usualmente operados por agência do poder executivo municipal de forma independente dos sistemas de esgotamento sanitário. Já estes, normalmente são de responsabilidade das companhias ou empresas que atuam concomitantemente nos serviços de abastecimento de água das

localidades. Desta forma, faz-se necessário o desenho de mecanismos regulatórios e institucionais a fim de definir e melhorar o diálogo entre as diferentes instituições e agências públicas para que os sistemas de CTTS possam ser operados e mantidos adequadamente (MACHADO; BORJA; MORAES, 2013; VOLSCHAN JR., 2020).

A existência de diferentes atores também é a realidade em outros países. Na China, por exemplo, os departamentos de proteção ambiental são responsáveis pela investigação e gerenciamento das fontes de poluição e os departamentos de obras ou de drenagem são responsáveis pela construção e operação das estruturas de drenagem como tubulações, estações elevatórias, estações de tratamento ZHONG; MOL, 2008 *apud* LIAO *et al.*, 2016).

Liao *et al.* (2016) também cita as dificuldades impostas pela existência de diferentes atores encarregados pela gestão dos sistemas Chineses, como a dificuldade de comunicação, a complexidade dos diferentes sistemas, grande quantidade de estruturas enterradas, assim como a limitação dos métodos de análise, que acabam por restringir o conhecimento amplo das informações sobre os diferentes componentes da drenagem urbana e as responsabilidades de cada ente envolvido na poluição das águas.

A carência de informações sistemáticas sobre as fontes poluidoras, percursos dos lançamentos, vazões e destinação final dificultam a detecção de problemas como as conexões ilícitas e lançamentos ilegais de esgotos nas redes de drenagem. Além disso, pode implicar na falta de dados para a implementação de novos projetos, como dos sistemas de interceptação (CTTS), ou para otimização e reconstrução de redes e outras estruturas (LIAO *et al.*, 2016).

Em relação aos mecanismos de governança adotados pelos governos locais na China para pode-se destacar três principais iniciativas de prevenção e o controle futuro da poluição dos corpos hídricos: políticas de controle por meio de padrões de lançamentos de poluentes; uso de parceria público-privada (PPP) para as intervenções, modelo largamente promovido pelo governo central do país desde 2013; e construção de estações de tratamento e redes de drenagem baseadas no princípio de separação dos esgotos e águas pluviais. Além disso, outras quatro iniciativas de controle e fiscalização sobre o que já está estabelecido e implantado: supervisão a

nível provincial dos controles e políticas locais, com visitas, investigações nas localidades, incluindo monitoramento e coleta de opinião de moradores; estabelecimento de uma pessoa responsável pela qualidade das águas de um curso de água, o “chefe do rio”; e a criação de um fundo de manutenção para garantia do tratamento das “águas negras e fétidas” (WANG *et al.*, 2021).

Apesar das limitadas discussões técnicas sobre as CTTS, do ponto de vista do planejamento regional, a região metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ), por meio do Plano Estratégico de Desenvolvimento Urbano Integrado da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (PEDUI-RMRJ), assume que as soluções de captação em tempo seco compõem a estratégia ideal para a implantação gradual das redes coletoras separadoras nos municípios situados no entorno da baía de Guanabara (VOLSCHAN JR., 2020).

O PEDUI-RMRJ, aponta os sistemas de tempo seco como um dos “pontos-chave” da “visão de futuro” para a gestão do saneamento ambiental, devendo ser incentivado como solução de transição para o SSA no contexto da região metropolitana do Rio de Janeiro (RIO DE JANEIRO, 2018a; RIO DE JANEIRO, 2018b).

No Estado da Bahia, foi lançado o Plano Estadual de Manejo de Águas Pluviais e Esgotamento Sanitário (PEMAPES), em 2011, pela Secretaria de Desenvolvimento Urbano, que apresenta a possibilidade de abordagem da problemática das interconexões em determinadas situações por meio da “rede mista informal” e da captação em tempo seco dos esgotos que percorrem as tubulações de drenagem, e que são chamados de sistemas de transição. O PEMAPES propõe a utilização de diferentes soluções sanitárias de forma combinada, a fim de postergar a utilização exclusiva de sistemas separadores absolutos de esgotamento sanitários, com a expectativa de se realizar uma maior quantidade de intervenções com menor valor de investimento financeiro (BAHIA, 2011a; MACHADO; BORJA; MORAES, 2013).

A Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (ADASA) publicou em 2018 o Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas do Distrito Federal que apresenta critérios para estudos de concepção e projetos de sistemas de drenagem e considera a CTTS uma estratégia possível, eficiente e viável economicamente para controle da poluição (ADASA, 2018).

No cenário nacional, o Atlas Esgotos Despoluição de Bacias Hidrográficas, elaborado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento, órgão do governo federal, aponta que as CTTS são possíveis soluções intermediárias a serem utilizadas até que se construam sistemas separadores absolutos, sendo admitidas, portanto, a utilização de sistemas combinados de forma temporária. Contudo, o Atlas deixa claro que as adequações necessárias às infraestruturas para adoção destas soluções não foram consideradas nas propostas e, desta forma, não integram os custos estimados, apresentados anteriormente (BRASIL, 2017a).

Além disso, a ABES, representante da sociedade civil organizada, por sua vez, tem se dedicado a promover as discussões a respeito das CTTS em diferentes espaços e eventos, o que contribui para avanços sobre o tema (ABES, 2012a; ABES, 2022b; ABES, 2022c; ABES, 2022d; ABES, 2022e).

A partir da promulgação do novo marco legal do saneamento (Lei n.º 14.026/2020) inúmeros planos e projetos de saneamento serão elaborados no Brasil e os mesmos devem prever metas e ações para universalização do atendimento aos serviços de esgotamento sanitário não apenas considerando os SSAs, mas também considerando os sistemas de drenagem pluvial com as CTTS “sob pena de perderemos a oportunidade de ter propostas para efetivos resultados na qualidade da água” dos corpos hídricos (PEREIRA; MATOS; FERREIRA, 2020).

Percebe-se que foram identificados avanços legais e institucionais no reconhecimento dos sistemas unitários ou de CTTS nas esferas nacional, estadual, metropolitana, distrital, no caso do Brasil, Bahia, Rio de Janeiro e do Distrito Federal, respectivamente.

Em relação à esfera internacional destacam-se os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) desenvolvidos pela Organização das Nações Unidas (ONU), Figura 32 para estruturar, fomentar e apoiar globalmente diversas ações que promovam a diminuição da pobreza, a proteção ao meio ambiente e o clima, a paz e a prosperidade até o ano de 2030 (ONU, 2015).

Dentre os 17 ODS, alguns se relacionam ao tema do saneamento básico ou são consequência das ações relacionadas a ele, como: objetivo 1 – Erradicação da

Pobreza; 3 – Saúde e Bem-estar; 6 – Água Potável e Saneamento; 11 – Cidades e Comunidades Sustentáveis; 14 – Vida na Água; e 15 – Vida Terrestre (ONU, 2015).

O objetivo que é diretamente abrangido por esta pesquisa é o de número 6 – Água Potável e Saneamento.



Figura 32 – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS – ONU.

Fonte: ONU (2015).

Veról *et al.* (2020) indicam que os sistemas de CTTS contribuem para a adequação das cidades ao objetivo número 6, pois garantem ao município uma gestão integrada e mais sustentável das águas urbanas sob o ponto de vista da capacidade de investimento e qualidade ambiental, promovendo a redução da carga poluidora e melhoria na qualidade das águas superficiais.

5.4.4 Aspectos técnicos dos CTTS

Diversos são os aspectos técnicos que influenciam no planejamento, concepção, implantação, operação e manutenção dos sistemas de CTTS e merecem destaque, sendo que alguns, identificados nas publicações, são trazidos na sequência.

Embora resultados positivos possam ser alcançados pelo uso das CTTS, segundo Volschan Jr. (2020) são necessários “cuidados, entendimentos e acordos técnicos entre as partes interessadas” para se obter os melhores benefícios e se evitar as adversidades.

5.4.4.1 Diagnóstico da área de estudo

O diagnóstico da área de estudo deve identificar e buscar compreender uma série de aspectos e características locais, como aquelas relacionadas à bacia hidrográfica, ao uso e ocupação do solo, às fontes de poluição e, conseqüentemente, às cargas de poluentes e vazões envolvidas, a identificação dos sistemas existentes, com análise dos projetos e dos cadastros “como construído” (*as built*), e a avaliação das instalações e equipamentos existentes, rotinas de operação e manutenção das estruturas e do desempenho dos sistemas.

A identificação dos tipos de sistemas existentes na área de estudo é determinante para o planejamento do esgotamento local, sanitário e pluvial. Uma ferramenta de apoio nesse sentido é proposta por Bernardes e Soares (2004) em forma de fluxograma e é apresentada na Figura 33.

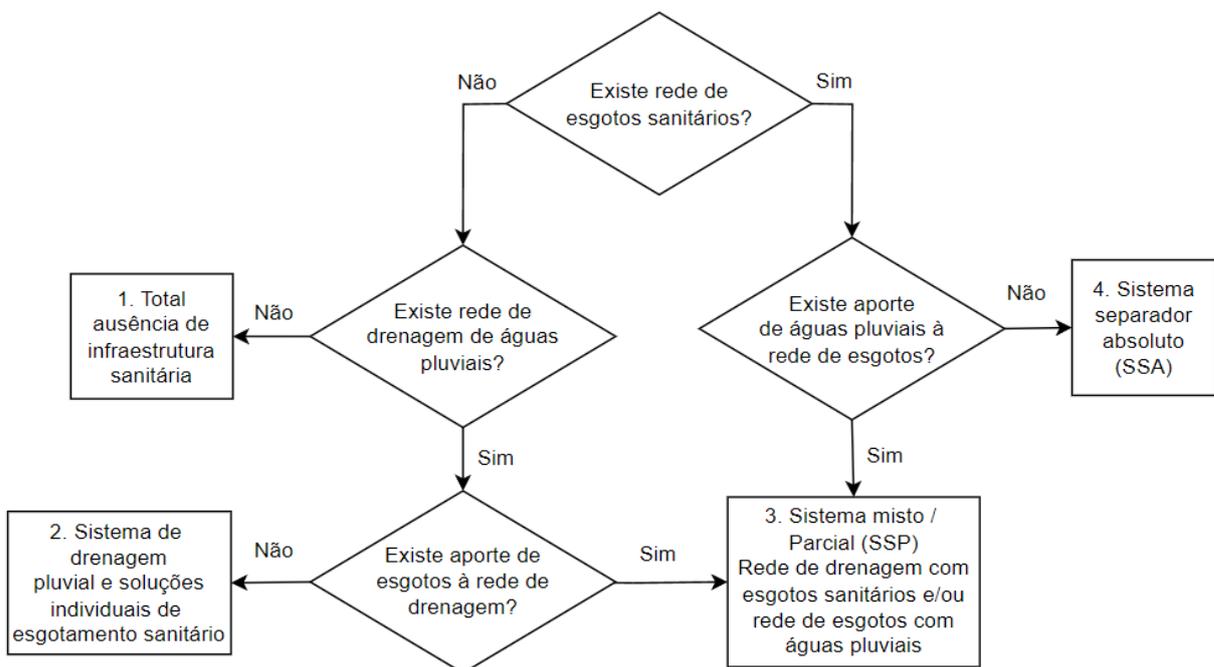


Figura 33 – Fluxograma de identificação da situação de esgotamento na área de estudo

Fonte: adaptado de Bernardes e Soares (2004).

Segundo os autores o fluxograma leva à identificação de 4 situações possíveis da infraestrutura local de drenagem, conforme apresenta-se a seguir (BERNARDES; SOARES, 2004):

1. Total ausência de infraestrutura sanitária:

2. Sistema de drenagem pluvial e soluções individuais de esgotamento sanitário;
3. Sistema misto/ separador parcial (SSP). Rede de drenagem com esgotos sanitários e/ou rede de esgotos com águas pluviais; e
4. Sistema separador absoluto (SSA).

Para que o sistema de CTTS seja concebido e seu projeto desenvolvido a contento, além do conhecimento sobre os sistemas existentes na área de estudo, é necessária a identificação e quantificação das vazões sanitárias produzidas na área de estudo que percorrem cada uma das sub-bacias e adentram as redes, tanto do sistema de drenagem pluvial, quanto do sistema separador de esgotos sanitários, se existente no local (ELLIS; BUTTLER, 2015; LOPES; KUSTERKO; VOLSCHAN JR., 2023).

5.4.4.1.1 Identificação e quantificação dos esgotos no sistema separador pluvial

Para a identificação e quantificação dos esgotos, é recomendada a realização de medições em campo, coletas de amostras e análises de campo e laboratoriais para o adequado conhecimento das variáveis e dos parâmetros para caracterização quantitativa e qualitativa das águas urbanas e esgotos sanitários.

Vários estudos têm se dedicado, desde a década de 1970, ao tema da caracterização dos efluentes dos sistemas unitários (SUs) de drenagem urbana assim como nos impactos adversos dos volumes extravasados em tempo chuvoso (CSO) nos corpos hídricos, e alguns foram obtidos nesta pesquisa a partir das buscas nas bases indexadoras, sendo eles: BORNATICI; CIAPONI; PAPIRI, 2004; BROMBACH; WEISS; FUCHS, 2005; SOONTHORNNONDA; CHRISTENSEN, 2008.

Outras publicações desenvolveram pesquisas no sentido de investigar as cargas poluentes que são lançadas pelos sistemas unitários, realizando o fracionamento dos aportes e identificando as suas diferentes origens, a fim de guiar as autoridades locais sobre as estratégias mais adequadas de mitigação dos problemas (YIN *et al.*, 2017; LI *et al.*, 2022).

Já em relação aos sistemas separadores pluviais, onde se implantam os sistemas de CTTS, alguns estudos abordam os métodos de identificação e quantificação dos poluentes e suas fontes, sendo que dois foram incluídos nesta revisão integrativa e

têm como foco principal as redes pluviais que recebem aportes clandestinos de esgotos sanitários: Field *et al.* (1994); Ellis e Butler (2015).

Outras publicações avaliam os lançamentos de sistemas de drenagem pluvial que recebem esgotos sanitários e são dotados de CTTS e que em tempo úmido provocam extravasamentos de esgotos combinados para os cursos de água: Yin *et al.* (2017); Chen *et al.* (2019); e Li *et al.* (2022).

Alguns estudos identificam inclusive as componentes provenientes das águas potáveis, subterrâneas e de nascentes capturadas, em termos de discriminação de volumes transportados. Estas águas podem ou não estar contaminadas por fontes de poluição, as quais são apresentadas por Field *et al.* (1994):

- Sistemas individuais de tratamento (tanques sépticos, filtros, sumidouros, valas de infiltração ou de filtração, etc.);
- Exfiltração de tubulações de esgotos sanitários;
- Vazamentos na superfície ou subterrâneos de tanques de armazenamento e tubulações;
- Infiltração de aterro de resíduos sem controle adequado;
- Locais de descarte de resíduos perigosos;
- Poluentes e tóxicos de ocorrência natural na bacia hidrográfica.

Há de se considerar ainda que a vazões de tempo seco, de origem não-pluvial (*non-storm*, em inglês) pode ocorrer em caráter contínuo ou intermitente, o que neste caso pode dificultar sua identificação (FIELD *et al.*, 1994).

As principais fontes de poluição são indicadas na Tabela 26 com suas características mais recorrentes em termos de *entrada na tubulação de drenagem pluvial*: direta ou indireta; *tipo de vazão*: contínua ou intermitente; e *categoria do contaminante*: patogênico/tóxico, perturbadora (*nuisance*, em inglês) ou limpa. Sobre as características de *entrada na tubulação de drenagem* cabe esclarecer (ESTADOS UNIDOS, 1993 *apud* FIELD *et al.*, 1994):

- entrada direta: diz respeito às conexões físicas de tubulações sanitárias, comerciais ou industriais que carregam águas residuárias sem tratamento ou

parcialmente tratadas para o sistema de drenagem pluvial separador absoluto. Estas conexões não autorizadas podem ser intencionais ou por engano;

- entrada indireta: se refere às infiltrações no sistema de drenagem pluvial separador absoluto e àqueles aportes não-pluviais na bacia de drenagem e em seus dispositivos de entrada de forma difusa.

Em relação à categoria do contaminante, cabe explicar que a mesma visa categorizar os aportes de águas residuárias a fim de priorizar aqueles mais impactantes e que devem ser primeiramente eliminados, especialmente devido à escassez de recursos financeiros para as intervenções. Dentre as categorizações, em ordem de ameaça à saúde e ao meio ambiente, as três são (FIELD *et al.*, 1994):

- Patogênico/tóxico: Poluição patogênica ou tóxica, causadora de doenças mediante contato ou consumo. Causa significativo problema para o tratamento de águas a jusante. Tem origem nas entradas de águas residuárias sanitária, comercial e/ou industrial e adicionalmente em descartes tóxicos domiciliares, de óleos e graxas de motores e automóveis e no uso excessivo de fertilizantes químicos e pesticidas;
- Perturbadora: Poluição perturbadora da população e ameaçadora à vida aquática. Incluem águas residuárias de lavanderias, escoamento superficial de água da irrigação de gramados, lavagem de veículos, rebaixamento de lençol freático em construções e lavagem de betoneiras.
- Limpa: não-poluída. Pode ser proveniente de nascentes canalizadas, águas subterrâneas e de vazamentos de água potável de redes de abastecimento.

Quadro 23 – Potenciais contribuições inapropriadas para os sistemas de drenagem pluvial

Fonte potencial	Entrada de Drenagem Pluvial		Características do Fluxo		Categoria da Contaminação		
	Direta	Indireta	Perene	Intermitente	Patogênica/tóxica	Perturbada	Limpa
Áreas Residenciais							
Águas residuais sanitárias	X	x	X	x	X	x	--
Tanque séptico de efluente	--	X	X	x	X	x	--
Doméstica / substância automática	X	X	--	X	X	x	--
Águas residuais de lavanderia	X	--	--	X	--	X	--
Irrigação excessiva de terra	--	X	--	X	x	x	X
Vazamento em redes de água potável	--	X	X	--	--	--	X
Áreas Comerciais							
Posto de gasolina	X	x	--	X	X	--	--
Manutenção e reparo de veículo	X	x	--	X	X	--	--
Águas residuais de lavanderia	X	--	X	x	x	X	--
Rebaixamento de lençol freático em canteiro de obras	--	X	X	x	--	X	--
Águas residuais sanitárias	X	x	X	x	X	x	--
Áreas Industriais							
Vazamento de tanques e tubulações	x	X	X	x	X	--	--
Águas residuais sanitárias	X	x	X	x	X	x	--
Água de processo diverso	X	x	X	x	X	x	x

Nota: X = condição mais provável; x = pode ocorrer; -- = não muito provável (Pitt et al., 1993a).

Fonte: adaptado de Estados Unidos (1993) *apud* Field et al. (1994).

A identificação e a quantificação das fontes poluentes que contribuem para as redes pluviais é um problema desafiador devido às múltiplas fontes possíveis envolvidas em um ambiente urbano (ELLIS; BUTLER, 2015).

Field et al. (1994) discutem um método criado pela Agência de Proteção do Meio-ambiente dos Estados Unidos da América (United States Environmental Protection Agency – USEPA), e publicado no documento intitulado: *Investigation of Inappropriate Pollutant Entries into Storm Drainage Systems – A user's guide* (tradução nossa:

Investigação de Entradas Inapropriadas de Poluentes em Sistemas de Drenagem Pluvial - Guia do Usuário) (Estados Unidos, 1993) no intuito de orientar os esforços de investigação e identificação das interconexões não-pluviais (*non-storm entries*, em inglês) ao sistema separador absoluto pluvial operando inadequadamente. A seguir, na Figura 34, apresenta-se o fluxograma com a sequência típica aplicável para a detecção de fluxos de tempo seco.

O fluxograma indica a necessidade de mapeamento da área de drenagem, que faz parte do diagnóstico mencionado anteriormente, e de atuação seguindo uma ordem de prioridade em função da gravidade dos problemas identificados preliminarmente.

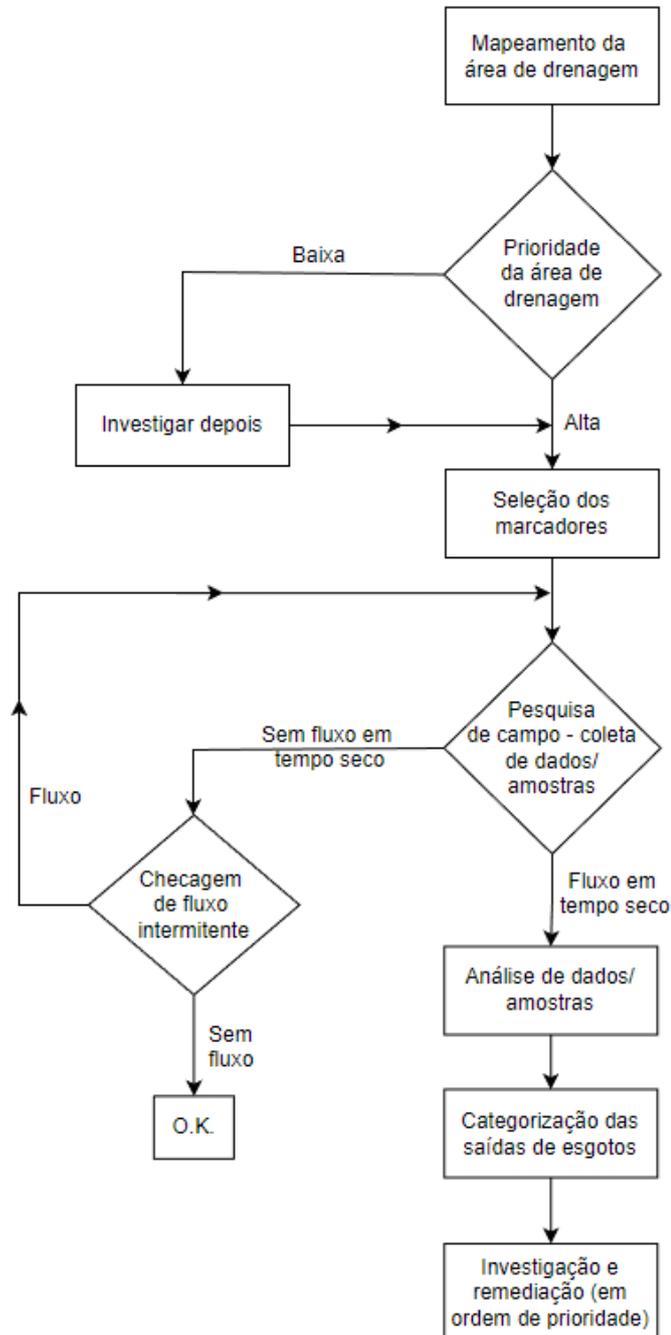


Figura 34 – Sequência típica de investigação de aportes sanitários no sistema de drenagem pluvial

Fonte: traduzido de Estados Unidos (1993).

5.4.4.1.2 Poluição difusa

As diferentes fontes de poluição das águas provenientes do ambiente urbano podem ser classificadas ainda de acordo com sua distribuição no espaço: pontual ou não-pontual. Assim como podem ser classificadas em função do tipo de vazão que promove o transporte até os corpos hídricos: vazão de tempo seco ou vazão de tempo úmido, conforme indicado na Figura 35 (ADASA, 2018).

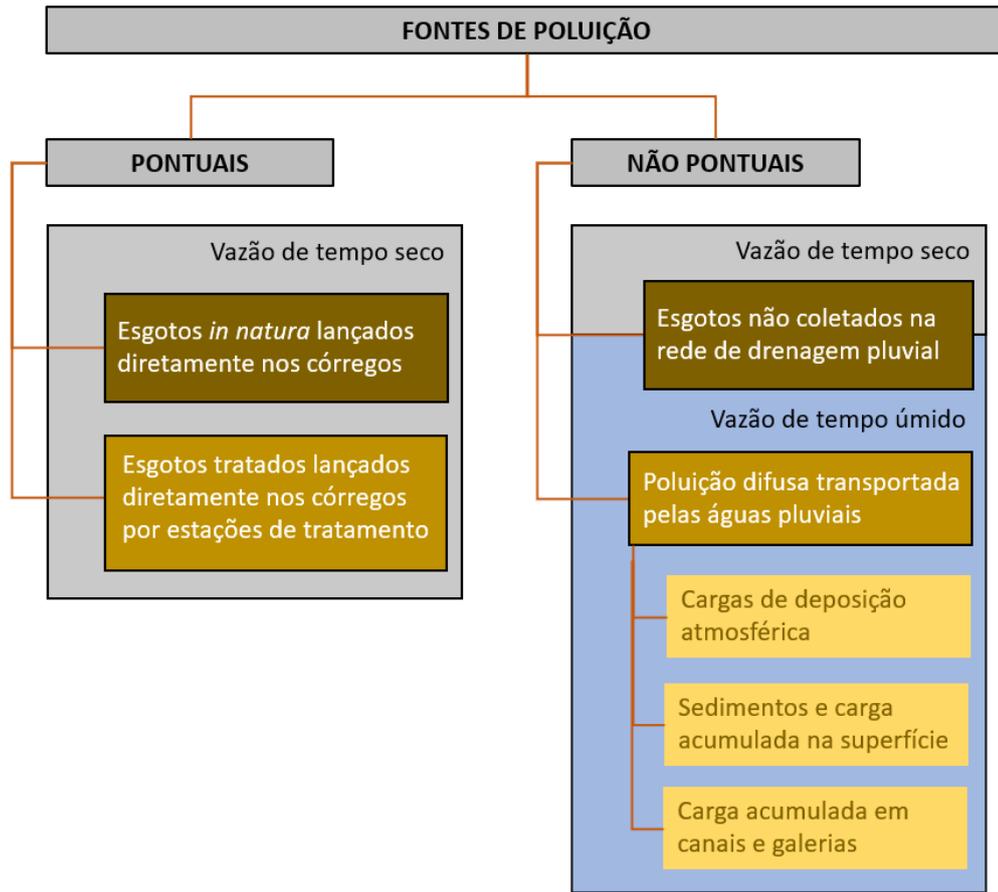


Figura 35 – Fontes de poluição típicas das áreas urbanas.

Fonte: adaptado de ADASA (2018).

Cabe destacar que os “esgotos não coletados na rede pluvial”, correspondentes às “entradas diretas” descritas acima por Estados Unidos (1993) *apud* Field *et al.* (1994), provenientes de fontes não pontuais, estão presentes tanto na vazão de tempo úmido quanto nas vazões de tempo seco, como representado pela Figura 35.

O conhecimento sobre a poluição difusa na área de estudo permite a planejamento do sistema para controle de poluentes de origem pluvial.

A qualidade das águas pluviais drenadas tem sido objeto de estudos em todo o mundo desde os anos 1970, a partir de onde entendeu-se que as características e concentrações de poluentes das mesmas são responsáveis por diferentes impactos no meio ambiente. A qualidade dessas águas em um ambiente urbano depende de uma série de fatores como o clima, o uso do solo, a densidade populacional e do tipo de sistema de drenagem, se combinado ou separador absoluto (BORNATICI; CIAPONI; PAPIRI, 2004).

Para o monitoramento e controle de qualidade das águas pluviais é necessário obter informações acerca dos eventos de precipitações, já que as características dos eventos implicam em diferentes resultados. Dentre os parâmetros relacionados à pluviometria destaca-se a data do evento, dias antecedentes sem chuva, altura precipitada, duração do evento, intensidade de chuva, vazões no ponto estudado (média e máxima) e volume correspondente ao evento (BORNATICI; CIAPONI; PAPIRI, 2004; LI *et al.*, 2022).

Foi incluído um estudo que caracteriza a poluição difusa de origem pluvial em uma área central da cidade de Paris que se detêm a quantificar as cargas poluentes provenientes de diferentes estruturas, como telhados, pátios gramados e ruas. O estudo avaliou vários parâmetros e indica que o escoamento superficial sobre as ruas contribui de forma significativa para o aumento de sólidos em suspensão (SS), demanda química de oxigênio (DQO, COD em inglês) e hidrocarbonetos; já o escoamento sobre telhados contribuem em grande medida para elevadas concentrações de metais pesados, impactando nos padrões de qualidade das águas superficiais (GROMAIRE-MERTZ *et al.*, 1999).

A identificação das fontes poluentes pode permitir o entendimento das frações correspondentes ao escoamento superficial (*runoff*, em inglês), aos esgotos sanitários (*sewage*), e à ressuspensão de sedimentos das tubulações (*sewer sediments*) como demonstra a pesquisa realizada por Li *et al.* (2022) que realiza um estudo para três sub-bacias da cidade de Nanning, China, sob efeito de chuvas de intensidades variadas. As três sub-bacias são dotadas de sistema separador absoluto de drenagem pluvial, sendo que duas delas (CS1 e CS2) possuem diferentes graus de interconexões ilícitas de esgotos, e são dotadas de CTTS a fim de transferir as vazões de esgotos em tempo seco para a ETE por meio EEE. A terceira sub-bacia transporta apenas águas pluviais (SW1) (LI *et al.*, 2022).

A Figura 36 demonstra, para os seis parâmetros analisados: DQO; nitrogênio amoniacal (NH₃-N); nitrogênio total (NT); fósforo total (PT); e sólidos em suspensão totais (SST) (em inglês, respectivamente: COD; NH₃-N; TN; TP; e TSS), a identificação das frações percentuais das três fontes de poluição: escoamento superficial (azul); esgotamento sanitário (cinza); e sedimentos ressuspensos das tubulações

(marrom), para três sub-bacias (a: CS1; b: CS2; c: SW1) e para três eventos chuvosos com intensidades crescentes (1; 2 e 3) (LI *et al.*, 2022).

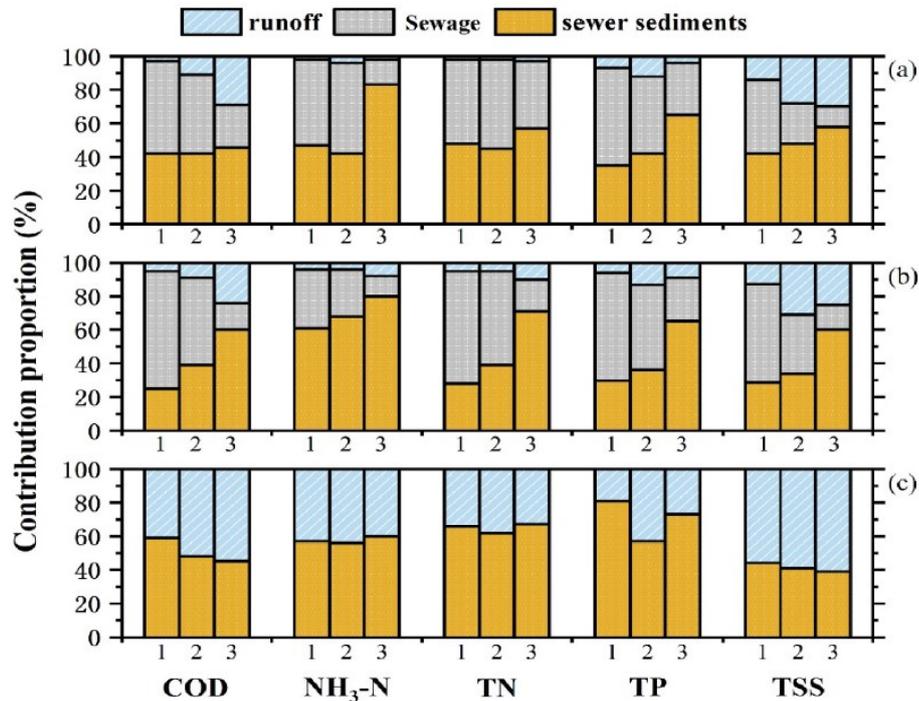


Figura 36 – Frações percentuais de contribuições pluviais para o escoamento superficial (azul), esgotamento sanitário (cinza) e ressuspensão dos sedimentos das tubulações (marrom); para as 3 sub-bacias (a: CS1; b: CS2; e c: SW1)

Fonte: LI *et al.* (2022).

Nas sub-bacias conectadas por esgotos sanitários (CS1 e CS2), tanto estas fontes com os sedimentos das tubulações foram os principais responsáveis pelos lançamentos de todos os parâmetros analisados e apenas uma pequena fração da poluição foi proveniente dos escoamentos superficiais pluviais. Na sub-bacia SW1 as principais fontes de poluentes foram os escoamentos superficiais pluviais e os sedimentos das tubulações (LI *et al.*, 2022).

Em relação aos parâmetros analisados destacam-se alguns, para os quais avaliam-se usualmente a concentração média do evento (CME) (*event mean concentration – EMC*), a concentração do início do evento (primeiros 5mm de chuva, por exemplo) e a concentração máxima: sólidos em suspensão totais (SST, TSS em inglês); demanda química de oxigênio (DQO, COD, em inglês); demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅); sólidos sedimentáveis (S Sed.); nitrogênio total (TN); nitrogênio amoniacal (NH₃-N); fósforo total (TP), hidrocarbonetos (HC) e metais (Zn, Cd, Cu, e Pb)

(GROMAIRE-MERTZ *et al.* 1999; BORNATICI; CIAPONI; PAPIRI, 2004; YIN *et al.*, 2017; LI *et al.*, 2022).

As CMEs dos seis indicadores: COD; NH₃-N; TN; TP; e TSS, dos 6 eventos chuvosos para três sub-bacias (CS1, SW1 e CS2) da cidade de Nanning, China, é apresentada na Figura 37, a fim de ilustrar este tipo de análise de concentrações de poluentes (LI *et al.*, 2022).

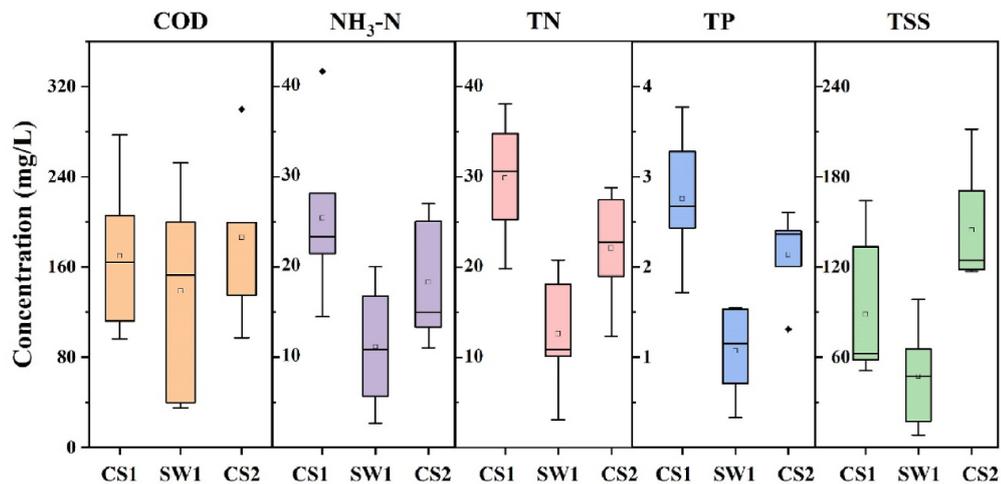


Figura 37 – CMEs para 6 eventos de chuva em 3 sub-bacias (CS1; SW1; e CS2) para os seis indicadores: COD; NH₃-N; TN; TP; e TSS.

Fonte: Li *et al.* (2022).

A comparação entre os valores de CME e da concentração nos primeiros milímetros de chuva permite avaliar se ocorre nesse evento de chuva o fenômeno chamado *first-flush*, que corresponde à carga de lavagem de poluentes com concentrações elevadas nas primeiras chuvas, promovida pelo escoamento superficial nas áreas urbanas (BORNATICI; CIAPONI; PAPIRI, 2004)

Uma metodologia utilizada para a avaliação da ocorrência do fenômeno de *first-flush* é por meio da análise gráfica proporcionada pelas curvas M(v), que são gráficos normalizados entre a fração acumulativa da massa total do poluente estudado *versus* fração acumulativa do volume total escoado. Nessa análise, avalia-se a posição das curvas plotadas em relação ao bissetor e se as curvas se confundem com o bissetor, indica-se que a concentração de poluentes é distribuída uniformemente durante o evento e não há evidência de ocorrência de *first-flush*, se a curva se distancia acima do bissetor, há a ocorrência de carga de lavagem, e ao contrário, se as curvas se

destacam para abaixo do bissetor, há diluição dos poluentes e não há carga de lavagem (MORIHAMA *et al.*, 2012; BERTRAND-KRAJEWSKI *et al.*, 1998 *apud* YIN *et al.*, 2017; YIN *et al.*, 2017; LI *et al.*, 2022).

Para que ocorra o efeito da carga de lavagem - *first-flush* (FF) os primeiros 30% do escoamento deve carrear ao menos 80% da carga de poluente de um evento (FF 30/80), sendo que outro parâmetro de referência utilizado é a relação FF 25/50 para o efeito (BERTRAND-KRAJEWSKI *et al.*, 1998 *apud* LI *et al.*, 2022).

Exemplo de curvas M(v) elaboradas por Li *et al.* (2022) são apresentadas na Figura 38 para verificar o efeito de FF em três sub-bacias diferentes (CS1; SW1; e CS2), para seis eventos chuvosos distintos e para os cinco indicadores (DQO; NH₃-N; NT; PT; e SST), na cidade de Nanning, China.

Segundo os autores, vários fatores influenciam as CMEs e as cargas de lavagem (*first-flush*) decorrentes dos extravasamentos dos sistemas de drenagem, os quais podem ser classificados em três categorias: características do sistema de drenagem; condições climáticas; e influências antropogênicas (LI *et al.*, 2022).

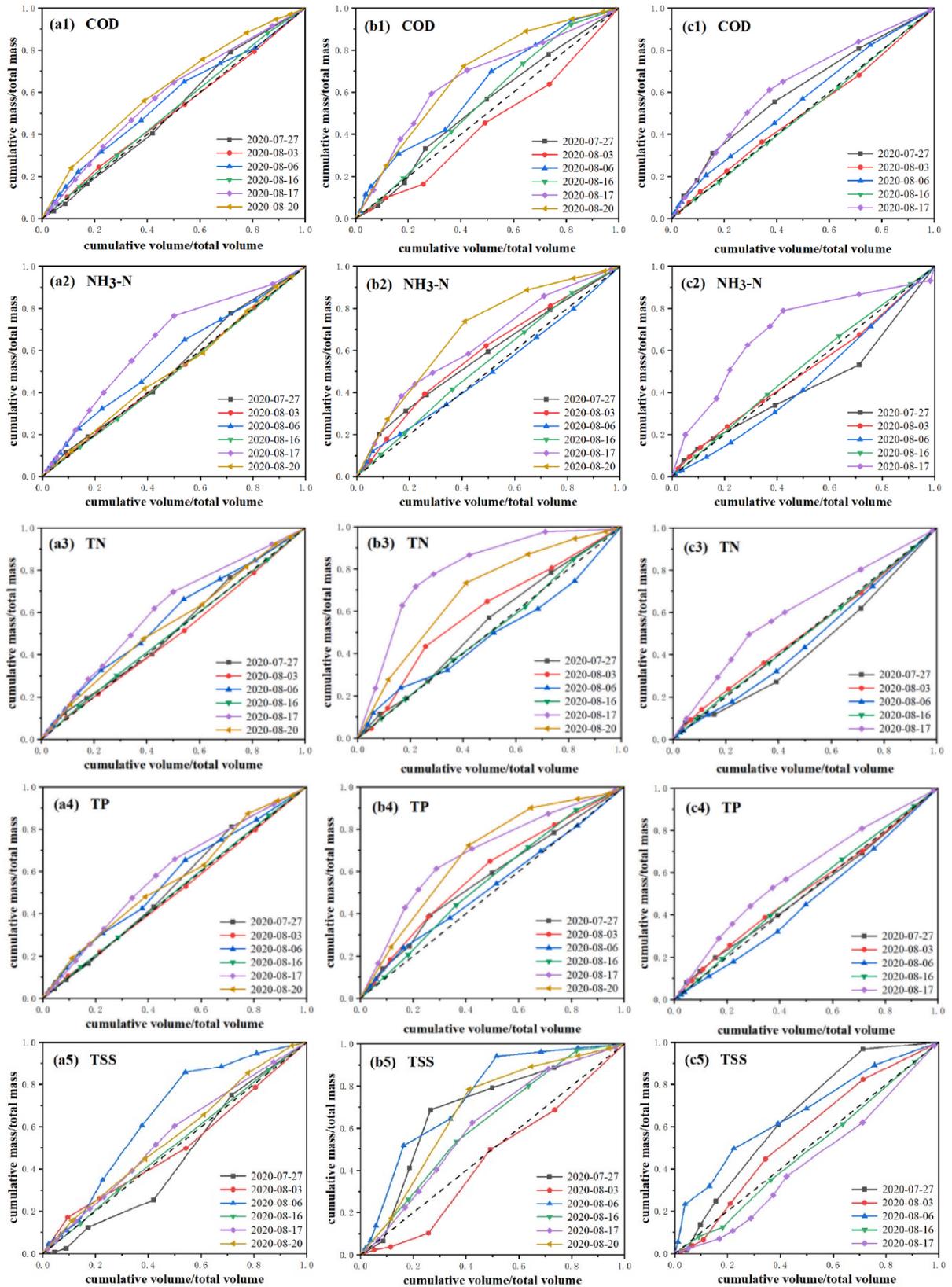


Figura 38 – Curvas $M(v)$ dos 6 eventos de chuva em 3 sub-bacias (a: CS1; b: SW1; e c: CS2) para os parâmetros DQO, NH₃-N, NT, PT e SST

Fonte: LI *et al.* (2022).

Li *et al.* (2022) afirmam que o tratamento das vazões iniciais dos escoamentos superficiais, que podem ser abrangidas pelo efeito de *first-flush*, são cruciais para a prevenção e controle da poluição e influenciam diretamente na qualidade ambiental dos corpos de água receptores.

Segundo Bornatici, Ciaponi e Papiri (2004) uma estratégia para o controle de poluição difusa, que é potencializada quando da ocorrência de *first-flush*, é o uso de bacias de armazenamento das águas de chuva que permite reduções das cargas de poluentes, das concentrações lançadas, assim como, em menor medida, do número de lançamentos nos corpos hídricos.

5.4.4.2 Concepção dos sistemas de CTTS

A concepção dos sistemas de CTTS parte do diagnóstico do sistema existente e deve levar em consideração os objetivos do projeto e as expectativas a serem alcançadas para cumprimento dos requisitos legais, ambientais e sanitários (BERNARDES; SOARES, 2004).

O planejamento do sistema deve avaliar a implantação das obras em etapas, levando em consideração a expansão da infraestrutura, caso haja previsão futura nesse sentido, assim como o cumprimento das exigências legais dentre as quais destaca-se a de substituição do sistema unitário pelo sistema separador, e de atingimento das metas para a universalização com 90% da população atendida com serviços adequados de esgotamento sanitário (MACHADO; BORJA; MORAES, 2013; VERÓL *et al.*, 2020; BRASIL, 2020b).

Para lidar com a complexidade dos sistemas de CTTS, assim como nos sistemas unitários, mencionado no item 5.3.2.3, é recomendada a modelagem hidrológica e hidráulica da bacia hidrográfica de estudo, considerando as cargas de poluentes transportadas, para fundamentar a tomada de decisão na escolha dos sistemas e das tecnologias a serem utilizadas nas concepções de engenharia (SOONTHORNNONDA; CHRISTENSEN, 2008 *apud* VOLSCHAN JR., 2020).

A metodologia de cálculo das vazões, os critérios e os parâmetros de dimensionamento identificados nas publicações são descritos adiante, nos itens específicos que abordam as características e especificações das principais estruturas

dos sistemas de CTTS, e são determinantes para o dimensionamento das novas estruturas e para verificação das estruturas existentes.

Nos casos em que há SSA-sanitário na localidade e para os quais se propõe utilizar parte dessa infraestrutura sanitária como destino dos esgotos desviados, Lopes, Kusterko e Volschan Jr. (2023) estabelecem como fator determinante à concepção de um sistema de CTTS o conhecimento da vazão admissível ao sistema separador absoluto sanitário existente a jusante que receberá os aportes em tempo seco, e também de uma parcela ainda maior em tempo úmido, sob pressão.

Existem outras concepções em que a partir das caixas de desvio que interceptam os esgotos na rede de drenagem pluvial, novas instalações são construídas incluindo os interceptores, elevatórias e unidades de tratamento, e que assim, há maior flexibilidade para o dimensionamento das novas estruturas e para o estabelecimento de qual será a vazão admissível. Segundo alguns autores esta configuração se apresenta não como um sistema de captação e tratamento em tempo seco, mas como de fato um sistema combinado, ou unitário, mesmo que proposto para operar de forma temporária e como etapa intermediária do planejamento de um SES (MACHADO; BORJA; MORAES, 2013; GONÇALVES; KLEIDORFER; RAUCH, 2017).

O limite para definir se uma determinada intervenção em um sistema de drenagem pluvial deve ser considerada apenas uma “captação em tempo seco” ou um “sistema unitário” pode não ser óbvia.

Outro aspecto crucial a ser analisado é a definição dos locais de implantação das estruturas de interceptação em tempo seco, se em maior número a montante ou em menor número e maior capacidade a jusante e será discutida adiante (COPPETEC, 2018; VOLSCHAN JR., 2020).

Além disso, deve-se definir se o sistema será responsável por receber e enviar a tratamento uma parcela adicional das vazões de tempo úmido, contendo as cargas de poluição difusa de origem pluvial contendo, as cargas de lavagem, ou *first-flush* e se este sistema será continuado após a separação dos sistemas (MACHADO; BORJA; MORAES, 2013; VERÓL *et al.*, 2020; PEREIRA; MATOS; FERREIRA, 2020; VOLSCHAN JR., 2020).

Segundo o autor, a estratégia de captação em tempo seco deve ser planejada, projetada e construída segundo as normas e padrões das melhores práticas de engenharia de forma semelhante ao que é assumido para os sistemas de drenagem convencionais e que as CTTS não devem ser apenas uma solução emergencial para controle de poluição por esgotos sanitários (VOLSHAN JR., 2020).

Um exemplo prático de planejamento que considera a utilização das redes de drenagem como parte do sistema de esgotamento sanitário e as captações em tempo seco são as intervenções físicas propostas pelo PEMAPES, que partem de um diagnóstico local que considera como pressuposto o reconhecimento da rede de drenagem com interconexões de esgotos sanitários como “rede mista informal” e atribui algumas condicionantes para definir se ela será aproveitada para o sistema de transição (Figura 39). Dentre os critérios avaliados, primeiramente verifica-se as condições de conservação das estruturas do sistema misto informal, se minimamente adequadas para este aproveitamento. Em segundo lugar, avalia-se o percentual de abrangência desse sistema misto na área urbana. Nesse sentido são exigidos índices mínimos de 10% da área urbana em cidades com mais de 30 mil habitantes e 20% nas cidades abaixo desta população, para que o sistema combinado seja viável do ponto de vista econômico. Caso não se cumpram esses critérios, o sistema de transição não é implantado e a rede mista informal deverá ser substituída por nova rede separadora (BAHIA, 2011a).

O sistema de transição pode desviar em tempo seco as vazões para tratamento no sistema separador existente na localidade, ou pode conduzir toda a vazão coletada pelo sistema misto informal a uma unidade de tratamento específica, desvinculada do sistema separador absoluto, conforme indica a Figura 39 (BAHIA, 2011a).

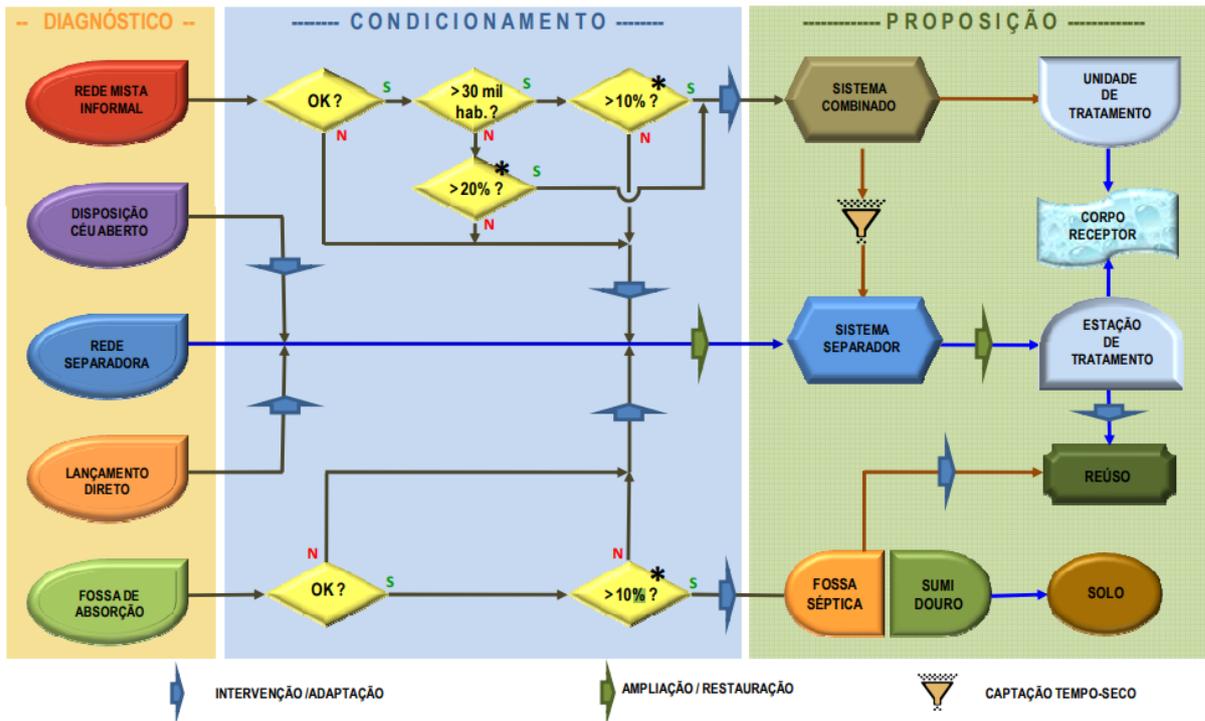


Figura 39 – Fluxograma das ações estruturais para intervenções físicas no SES da Bahia - PEMAPES.

Fonte: Bahia (2011b).

O diagnóstico realizado pelo PEMAPES indicou que em 90% das 404 cidades avaliadas, as estruturas de micro e macrodrenagem pluvial, sejam naturais ou construídas, recebem e conduzem esgotos sanitários, direcionando as cargas poluentes para o meio ambiente sem tratamento; e em apenas 17% das cidades existem redes de sistemas separadores que encaminham os esgotos para unidades de tratamento (BAHIA, 2011a).

5.4.4.2.1 Local de implantação das estruturas no sistema de CTTS

As estruturas de desvio de vazões em tempo seco podem ser implantadas em diferentes localizações no sistema de drenagem urbana que variam em função das condições locais, das infraestruturas existentes e dos objetivos do projeto.

Em locais onde há SSA implantado, as intervenções podem ser propostas pontualmente em tubulações disfuncionais que recebem esgotos e simplesmente transferi-las para um coletor de esgotos situado a poucos metros de distância, usando a estrutura de desvio e uma tubulação que opere sob gravidade interligando os dois sistemas no sentido adequado (FADEL; DORNELLES, 2015; SANTOS *et al.*, 2018).

Uma concepção semelhante se dá quando não é possível transferir os esgotos interceptados por escoamento livre, por gravidade, e se faz necessária a implantação de uma estação elevatória entre os dois sistemas, como demonstra a Figura 40, onde as variáveis são: Q_a : vazão afluyente; Q_{eCTS} : vazão de extravasamento da estrutura de CTS; Q_i : vazão interceptada; Q_b : vazão bombeada; Q_{ad} : vazão admissível no SSA; Q_{eB} : vazão de extravasamento da EEE (LOPES; KUSTERKO; VOLSCHAN JR., 2023).

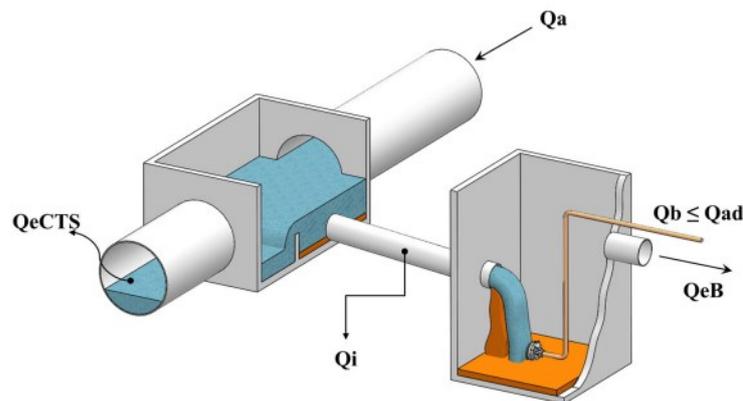


Figura 40 – Sistema de captação em tempo seco pontual em um local dotado de SSA disfuncional.

Fonte: Lopes; Kusterko; Volschan Jr. (2023).

A posição onde se decide implantar as estruturas, se a montante, ou mais a jusante em uma bacia de drenagem, determina o grau de proteção que se pretende dar às águas a jusante delas. Obviamente, elas precisam estar situadas entre a fonte de poluição existente mais a montante e o limite de jusante da área de drenagem (VOLSCHAN JR., 2020).

Se as estruturas de captação forem implantadas mais a montante na bacia de drenagem, poderão proteger uma extensão maior a jusante, porém deixarão um curso maior do sistema a jusante desprotegido de outros lançamentos de esgotos que venham a existir ao longo do tempo (VOLSCHAN JR., 2020). Essa estratégia locacional pode também demandar um maior número de estruturas para contemplar lançamentos existentes em diferentes sub-bacias, porém com menores dimensionamentos, se comparados com a estratégia locacional concentrada mais a jusante.

No limite de jusante de uma sub-bacia de drenagem, pode-se implantar as estruturas de interceptação antes das saídas das tubulações pluviais de microdrenagem, ou seja, imediatamente a montante do lançamento destas em canais de macrodrenagem ou em corpos hídricos. Implantadas nestes locais, as estruturas podem garantir que todas as contribuições em tempo seco passem por elas e sejam desviadas para o tratamento, se dimensionadas adequadamente para isso. Por outro lado, apenas os cursos de água a jusante delas ficarão protegidos das cargas poluentes em tempo seco (VOLSCHAN JR. 2020). Esta concepção implica também em maiores custos individuais de implantação e operação, haja vista a necessidade de maiores estruturas e tubulações para as vazões, e potencialmente maior quantidade de resíduos e sedimentos a serem manejados, se comparados com as estruturas de desvio implantadas mais a montante (COPPETEC, 2018).

Este tipo de estratégia foi identificado em várias cidades descritas nas publicações, como por exemplo no Rio de Janeiro (DIAS; ROSSO, 2011), no entorno da Lagoa Rodrigo de Freitas, e em Shenzhen, na China (CHEN *et al.*, 2019), nas margens de três cursos de águas. Assim como em estudos realizados para a cidade de Arraial do Cabo (VERÓL *et al.*, 2020).

Outro tipo de estratégia locacional para tratamento em tempo seco é feito com a interceptação ou tratamento das águas fluviais, realizado na calha fluvial ou nas margens de um canal ou galerias de macrodrenagem nas cidades. Quando estas intervenções forem adotadas, deve-se manter a vazão ecológica nos cursos de água para garantia do balanço hidrológico da bacia hidrográfica (BUNN; ARTHINGTON, 2002 *apud* VOLSCHAN JR., 2020; ROLLS; BOND 2017 *apud* VOLSCHAN JR., 2020).

Alguns casos foram identificados em diferentes cidades do Brasil e são apresentadas a seguir.

Na cidade de São Paulo, a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), instalou 6 unidades “Unidades Recuperadoras” de cursos de água m diferentes sub-bacias. (SABESP, 2022; ABES, 2022c).

Na cidade do Rio de Janeiro existem ao menos duas estações de despoluição, uma no rio Carioca, (Figura 41) e outra no canal da Rocinha (DIAS; ROSSO, 2011).



Figura 41 – Estação de tratamento do rio Carioca. Estrutura de gradeamento (esquerda) e Microaeração da massa líquida (direita).

Fonte: Dias e Rosso (2011).

Adicionalmente apresenta-se uma solução que não foi identificada em publicações incluídas para leitura pela busca, mas que foram mencionadas em seminários sobre a temática da captação em tempo seco (ABES, 2022c).

Refere-se à Estação de Tratamento das Águas Fluviais (ETAF) implantada pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA) na bacia hidrográfica do ribeirão Pampulha, em Belo Horizonte no ano de 2003 (Figura 42). A ETAF promove o tratamento, principalmente em tempo seco, das águas fluviais dos córregos Ressaca e Sarandi que afluem à represa da Pampulha e que carregam expressiva carga de poluentes, nutrientes de origem sanitária, e sedimentos. O tratamento é realizado a partir de processos físico-químicos como desarenação e Flotação a Ar Dissolvido (FAD), técnica patenteada com nome de *FLOTFLUX*. A estação possui capacidade nominal de 720 L/s e se localiza em ponto estratégico já que promove o tratamento das duas principais sub-bacias que afluem para a represa da Pampulha, em termos de vazões e carga de poluentes (COUTINHO, 2007; FURTADO, 2019).



Figura 42 – Estação de Tratamento das Águas Fluviais (ETAF) na bacia hidrográfica do ribeirão Pampulha em Belo Horizonte.

Fonte: Prefeitura de Belo Horizonte *apud* Coutinho (2007).

5.4.4.2.2 Implantação em etapas

Os sistemas de CTTS têm sido estudados e implementados no Brasil sob a ótica de que não são a solução almejada, ou objetivo final de infraestrutura sanitária, e sim uma etapa intermediária, de transição, a ser operada até que as redes coletoras separadoras sejam implantadas e assumam, progressivamente, o protagonismo do transporte dos esgotos. Com as redes separadoras implantadas, em médio e longo prazos, os sistemas de tempo seco passam a se dedicar à função de controle das cargas poluentes provenientes de outras fontes, como das lavagens de calçadas, ruas e de bombeamentos de lençol freático (PEREIRA; MATOS; FERREIRA, 2020), além da poluição difusa de origem pluvial (VERÓL *et al.*, 2020; VOLSCHAN JR., 2020), principalmente da carga de lavagem (*first-flush*) proveniente do escoamento superficial, criando, segundo alguns autores, uma infraestrutura mais robusta e eficiente no fim de plano (GONÇALVES; KLEIDORFER; RAUCH, 2017; VOLSCHAN JR., 2020; PEREIRA; MATOS; FERREIRA, 2020).

Volschan Jr. (2020) indica que os sistemas de tempo seco, conceitualmente, possuem a função inicial de interceptar e transferir as vazões de tempo seco para as ETEs, e posteriormente, após a construção das redes separadoras, assumem a função original de proteção dos cursos de água do recebimento de esgotos.

Nesse sentido, as intervenções são concebidas para serem implementadas em diferentes fases, ou etapas, e podem se utilizar das tubulações de drenagem existentes ou implantar novas.

Uma proposta de implantação das infraestruturas de drenagem em etapas, baseada na estratégia do gradualismo, é apresentada em um diagrama pelo PEDUI-RMRJ, e que se observa na Figura 43 (RIO DE JANEIRO, 2018b; VERÓL *et al.*, 2020).

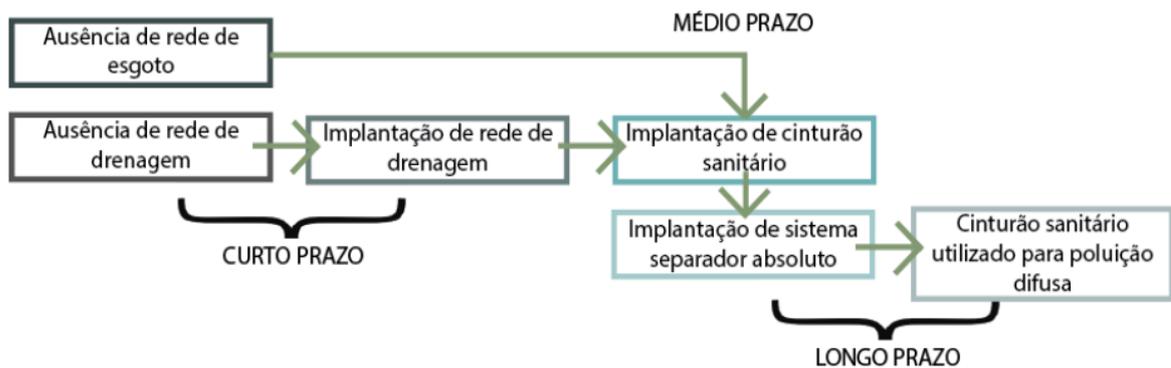


Figura 43 – Diagrama de etapas de implantação das infraestruturas de saneamento (drenagem e águas residuárias).

Fonte: adaptado de RIO DE JANEIRO (2018b) *apud* VERÓL *et al.* (2020).

O diagrama de execução das infraestruturas indica ações de curto, médio e longo prazos, realizadas em três etapas para locais totalmente desprovidos de infraestruturas de saneamento (drenagem pluvial e águas residuárias): a primeira etapa consiste na implantação de infraestrutura de drenagem, com redes pluviais subterrâneas, que receberiam inicialmente também as águas residuárias, afastando-as das unidades geradoras; a segunda etapa consiste na implantação dos interceptores (“cinturões”) que captariam os esgotos em tempo seco, destinando-os ao tratamento em ETE, enquanto se implantam, gradativamente, as redes coletoras separadoras; e por fim, quando da conclusão da rede separadora, as ligações prediais de esgotos ocorrem exclusivamente na rede sanitária e as captações em tempo seco, juntamente com o “cinturão” permanecem úteis para realizar o controle da poluição difusa de origem pluvial, promovendo também o tratamento dessa parcela poluente (RIO DE JANEIRO, 2018a; RIO DE JANEIRO, 2018b; VERÓL *et al.*, 2020).

Em locais providos de redes de drenagem pluviais, em que estas já recebem águas residuárias, a primeira etapa pode não ser totalmente necessária, ou até

desconsiderada, e inicia-se o projeto com a construção dos interceptores (com suas captações), o que indica que os resultados podem ser atingidos com mais rapidez e com menores investimentos iniciais de implantação. Este é o conceito sugerido por Gonçalves, Kleidorfer e Rauch (2017) para a cidade de Joinville.

Importante lembrar que no Brasil este é o panorama de ao menos 820 cidades brasileiras, conforme demonstrado na PNSB 2017.

Observa-se que os estágios ilustrados pelo fluxograma (RIO DE JANEIRO, 2018a; VERÓL *et al.*, 2020) não considera a etapa de tratamento das águas residuárias apesar desta estar implícita no sistema. De todo modo cabe salientar que a interceptação dos esgotos pode demandar adaptações, ampliações das instalações existentes a fim de incorporar novas vazões em termos quantitativos e qualitativos, ao sistema de saneamento existente, ou até mesmo pode demandar a construção de novas instalações sanitárias de tratamento.

A implantação dos sistemas de CTTS propõem a retirada de expressivas cargas de poluentes dos corpos hídricos superficiais em médio prazo, com a implantação das duas primeiras etapas dos sistemas (MORIHAMA *et al.*, 2012; GONÇALVES; KLEIDORFER; RAUCH, 2017; VERÓL *et al.*, 2020).

Devido aos aspectos relacionados à hidrologia o sistema separador absoluto será sempre o objetivo final de infraestrutura em locais com clima tropical e o uso dos CTTS deve ser apenas uma proposta temporária e intermediária no sistema de coleta e tratamento de esgotos (VOLSCHAN JR., 2020).

A estratégia de implantação das referidas CTTS, no estado do Rio de Janeiro, foi realizada por meio de um planejamento em duas etapas, as quais consistem: (i) interceptação e transferência dos esgotos da rede de drenagem para tubulações de esgoto e em seguida para unidades de tratamento; e (ii) construção das redes coletoras separadoras e uso do sistema de captação em tempo seco para proteção dos cursos de água (VOLSCHAN JR., 2020).

Independentemente da forma como as etapas do planejamento são concebidas para os sistemas de CTTS - se em duas, três, ou mais etapas - o sistema deve funcionar

de maneira análoga e com o propósito holístico de planejamento dos sistemas de drenagem das águas urbanas e buscando os objetivos de controle da poluição e melhoria no atendimento por serviços de saneamento em curto prazo.

O PEMAPES apresenta as proposições técnicas de intervenções físicas a partir de um sistema de transição que leva em consideração o reconhecimento da rede mista informal adaptada para CTTS juntamente com o sistema separador existente e/ou tratamento em unidade específica para os esgotos combinados. Posteriormente, as redes mistas devem ser substituídas por rede separadora absoluta (BAHIA, 2011a; BAHIA, 2011b; MACHADO; BORJA; MORAES, 2013).

Na cidade de Joinville, onde há apenas rede pluvial instalada, foi estudada a proposta de adaptação desta rede para transformá-la em um sistema combinado como fase intermediária do planejamento do SES e na sequência a adaptação desta para a implantação do sistema separador absoluto como fase final, com a construção da nova rede sanitária que aproveita os interceptores e ETE construídas na fase intermediária. Esta fase deve ser implementada no final da segunda metade do horizonte de planejamento (GONÇALVES; KLEIDORFER; RAUCH, 2017).

Na cidade de Shenzhen, na China, o governo local propôs como estratégia de controle da poluição hídrica a interceptação dos esgotos sanitários conectados equivocadamente ao sistema pluvial de drenagem e também o planejamento gradual da separação dos esgotos sanitário e pluvial a partir da construção de novas redes pluviais (CHEN *et al.*, 2019). Desta forma, percebe-se que nesta localidade a estratégia de CTTS é também parte de um planejamento que visa a separação das águas urbanas em etapas progressivas.

5.4.4.3 Vazões de dimensionamento

As vazões de dimensionamento de um sistema de CTTS segue os conceitos análogos aos dos sistemas unitários, indicados anteriormente. Em tempo seco as redes de drenagem disfuncionais transportam apenas os esgotos sanitários e em tempo úmido transportam a vazão total de esgotos combinados, correspondente ao somatório entre as vazões sanitárias, de tempo seco, e as vazões escoadas de origem pluvial, conforme apresentado na equação 3 (BERNARDES; SOARES, 2004; BUTLER *et al.*, 2018).

$$Q_T = Q_e + Q_p$$

Equação 3

onde, Q_T = vazão total de esgotos combinados; Q_e = vazão de esgotos sanitários; e Q_p = vazão de águas pluviais.

Os caudais de esgotos sanitários conduzidos pelas redes coletoras devem ser calculados por meio de medições locais para se obter os dados reais. Quando isso não for possível, o cálculo deve ser realizado de forma análoga ao cálculo das vazões para os sistemas separadores absolutos sanitários, especificado pela norma NBR n.º 9649:1986, que leva em conta a população da área de estudo (em valores absolutos ou em densidade), o consumo de água e o coeficiente de retorno de esgotos, usualmente adotado como 80% do consumo de água *per capita* (ABNT, 1986a; ABNT, 1986b; TSUTIYA; SOBRINHO, 2000; BERNARDES; SOARES, 2004; GONÇALVES; KLEIDORFER; RAUCH, 2017; BUTLER *et al.*, 2018; VERÓL *et al.*, 2020).

A norma indica ainda a necessidade de previsão da expansão do sistema para um horizonte de projeto, sendo, portanto, estimada a vazões iniciais, para o ano de início de operação e as vazões finais para fim de plano, para cada trecho da rede coletora e dos demais elementos do sistema (ABNT, 1986b; TSUTIYA; SOBRINHO, 2000; GONÇALVES; KLEIDORFER; RAUCH, 2017).

O equacionamento proposto na norma NBR n.º 9649:1986 é apresentado nas equações 4 a 9 abaixo. Salienta-se que a formulação não incorpora a contribuição pluvial parasitária, mencionada na NBR n.º 9648:1986 como componente do esgoto sanitário, portanto, essa contribuição pluvial é desconsiderada do cálculo da rede coletora, sendo incorporada apenas no dimensionamento de interceptores, dado pela norma NBR n.º 12207:2016, incluída nas vazões finais para verificação do dimensionamento dos extravasores (ABNT, 1986a; ABNT, 1986b; ABNT, 2016).

- Vazões médias de esgoto doméstico de início e final de plano:

$$Q_{méd.i} = (P_i \times q_i \times C) / 86400$$

Equação 4

$$Q_{méd.f} = (P_f \times q_f \times C) / 86400$$

Equação 5

onde, $Q_{\text{méd.i}}$ e $Q_{\text{méd.f}}$ = vazão média inicial e final de esgoto doméstico (L/s); P_i e P_f = população inicial e final (hab.); q_i e q_f = consumo *per capita* de água inicial e final (L/hab.dia); e C = coeficiente de retorno de esgoto.

- Vazões máximas de início e final de plano:

$$Q_i = (K_2 \times Q_{\text{méd.i}}) + Q_{\text{inf.i}} + \sum Q_{\text{ci}} \quad \text{Equação 6}$$

$$Q_f = (K_1 \times K_2 \times Q_{\text{méd.f}}) + Q_{\text{inf.f}} + \sum Q_{\text{cf}} \quad \text{Equação 7}$$

onde, Q_i e Q_f = vazão máxima inicial e final (L/s); K_1 = coeficiente de máxima diária no ano; K_2 = coeficiente de máxima vazão horária no dia; $Q_{\text{méd.i}}$ e $Q_{\text{méd.f}}$ = vazão média inicial e final (L/s); $Q_{\text{inf.i}}$ e $Q_{\text{inf.f}}$ = vazão de infiltração inicial e final (L/s); e Q_{ci} e Q_{cf} = vazão concentrada ou singular inicial e final (L/s).

- Vazão de infiltração

$$Q_{\text{inf.i}} = T_{\text{inf.i}} \times L \quad \text{Equação 8}$$

$$Q_{\text{inf.f}} = T_{\text{inf.f}} \times L \quad \text{Equação 9}$$

onde, $Q_{\text{inf.i}}$ e $Q_{\text{inf.f}}$ = vazão de Infiltração inicial e final (L/s); $T_{\text{inf.i}}$ e $T_{\text{inf.f}}$ = taxa de infiltração (L/s.km); e L = extensão do trecho da rede (km). Em locais sem medição da taxa de infiltração, deve ser utilizado valor entre 0,05 e 1,00 L/s.km (ABNT, 1986b).

A norma NBR n.º 9649:1986 exige ainda que a declividade da rede coletora não seja inferior à mínima admissível para que se garanta o valor mínimo da tensão trativa média igual a 1,0 Pa, calculado para a vazão inicial (Q_i). Ao se utilizar o coeficiente de Manning $n = 0,013$, a equação 10 calcula a declividade mínima que satisfaz essa condição (ABNT, 1986b).

$$I_{o\text{mín}} = 0,0055 \times Q_i^{-0,47} \quad \text{Equação 10}$$

onde, $I_{o\text{mín}}$ = declividade mínima admissível (m/m), e Q_i = vazão inicial (L/s).

As lâminas de água devem ser calculadas para cada trecho, admitindo-se escoamento em regime uniforme e permanente, e não superando o valor máximo de 75% do diâmetro interno (ABNT, 1986b).

Já a máxima declividade admissível pela norma NBR n.º 9649:1986 é limitada pela velocidade máxima correspondente a $v_f = 5$ m/s, calculada para a vazão final (Q_f). Se a velocidade final v_f for superior à velocidade crítica v_c , a maior lâmina admissível no coletor deve ser 50% do diâmetro interno, assegurando a ventilação no trecho e espaço para eventuais incorporações de ar na massa líquida. O cálculo da velocidade crítica é dado pela equação 11 (ABNT, 1986b).

$$v_c = 6 \times (g \times R_h^{1/2})$$

Equação 11

onde, v_c = velocidade crítica (m/s), g = aceleração da gravidade (m/s^2), e R_h = raio hidráulico.

Os cálculos das vazões apresentadas pelas equações acima se aplicam tanto para as estruturas da rede coletora que recebem esgotos sanitários, como coletores, coletores-tronco e poços de visita (NBR n.º 9649:1986), assim como para os outros elementos a jusante, regidos complementarmente por normas específicas, como as estações elevatórias (NBR n.º 12208:1992), interceptores (NBR n.º 12207:2016) e estações de tratamento (NBR n.º 12209:1992). Estas normas, impõem exigências específicas para as análises das vazões, incorporando ou não as varrições relacionadas às vazões máximas diária e horária, além da incorporação de outras vazões como a contribuição pluvial parasitária e contribuições de tempo seco, como mencionado anteriormente no item 5.3.2.1. (ABNT, 1986b; ABNT, 1992a; ABNT, 1992b; ABNT, 2016).

A vazão a ser desviada na estrutura de interceptação, quando não medida em campo, serão estimadas de acordo com as formulações apresentadas acima pela normatização brasileira para as redes coletoras, deve considerar as infiltrações e poderão ou não incorporar os coeficientes de variação de máxima vazão diária (K1) de máxima vazão horária (K2) (LOPES; KUSTERKO; VOLSCHAN JR., 2023).

De forma semelhante ao apresentado pela norma brasileira (NBR n.º 9649) Butler *et al.* (2018) apresenta a formulação para a vazão média de esgotos sanitários na equação 12 (*DWF*, em inglês). Porém esta não incorpora os coeficientes de máxima variação diária e horária, nem o coeficiente de retorno de esgotos:

$$DWF = (P \times q) + Q_{inf} + Q_c \quad \text{Equação 12}$$

onde, *DWF* = *dry weather flow* = vazão média de esgotos sanitários (L/d); *P* = população (hab.); *q* = consumo *per capita* de água (L/hab.dia); *Q_{inf}* = vazão de infiltração (L/d); e *Q_c* = vazão de descarga industrial média diária (L/d).

Em relação às vazões de tempo úmido os sistemas de CTTs estão sujeitos às variações de caudais e de concentrações de poluentes em resposta aos eventos chuvosos. Desse modo, seu dimensionamento hidráulico, e em especial dos trechos do sistema a jusante das estruturas de interceptação, devem ser realizados a partir de modelagem chuva-vazão que represente adequadamente os fluxos hidráulicos e hidrodinâmicos. Dentre os modelos mais usuais para áreas urbanas cita-se o método racional, utilizado para bacias hidrográficas pequenas e os métodos baseados na formulação do hidrograma unitário, recomendados para bacias de maior porte (BERNARDES; SOARES, 2004; VERÓL *et al.*, 2020; FADEL; DORNELLES, 2015).

No método racional, a vazão de pico de chuva é definida pela seguinte expressão (BERNARDES; SOARES, 2004; VERÓL *et al.*, 2020):

$$Q_p = 0,278 \times C \times i \times A \quad \text{Equação 13}$$

onde, *Q_p* = vazão máxima (de pico) (m³/s); *C* = coeficiente de escoamento superficial (adimensional); *i* = intensidade da precipitação (mm/h); e *A* = área da bacia de drenagem (km²).

A intensidade da precipitação (*i*) é estimada de acordo com a duração, ou tempo de concentração da bacia e do tempo de retorno. O tempo de concentração varia em função das características fisiográficas da bacia, como declividade, comprimento do trecho principal e obstruções no escoamento (BERNARDES; SOARES, 2004).

Um dos métodos do hidrograma unitário mais utilizados é o HUT-SCS, hidrograma unitário triangular (HUT) adimensional proposto pelo *Soil Conservation Service* (SCS), ilustrado na Figura 44 e cujas variáveis são calculadas pelas equações 14 a 17 e indicadas abaixo (BERNARDES; SOARES, 2004; FADEL; DORNELLES, 2015).

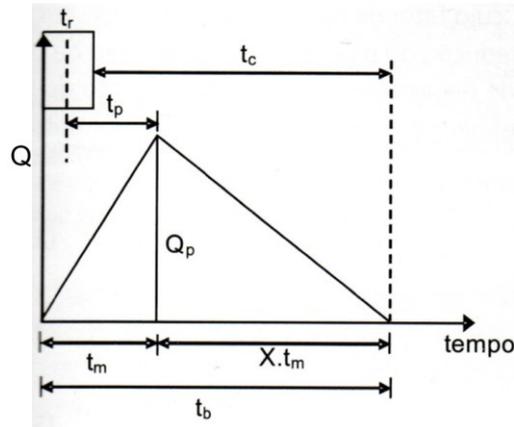


Figura 44 – Hidrograma unitário triangular.

Fonte: Bernardes e Soares (2004).

$$t_p = 0,6 \times t_c \quad \text{Equação 14}$$

$$t_m = t_r/2 + t_p = t_r/2 + 0,6 \times t_c \quad \text{Equação 15}$$

$$t_b = 2,67 \times t_m \quad \text{Equação 16}$$

$$Q_p = 2,08 \times A/t_m \quad \text{Equação 17}$$

onde, t_p = duração do escoamento (h); t_c = tempo de concentração (h); t_r = duração da chuva efetiva (h); t_m = tempo de ascensão (h); Q_p = vazão de pico (m^3/s); e A = área de drenagem (km^2).

As precipitações locais são normalmente obtidas a partir das curvas IDF (intensidade-duração-frequência) geradas para a área de estudo, baseadas em series temporais de precipitações obtidas em estações pluviométricas da região (BERNARDES; SOARES, 2004; FADEL; DORNELLES, 2015; CHEN *et al.*, 2019).

5.4.4.4 Estruturas dos sistemas de CTTS

5.4.4.4.1 Tubulações de drenagem pluvial como rede de esgotos sanitários

Os sistemas de CTTS preveem que a montante da interceptação para desvio dos esgotos, a rede de drenagem pluvial seja utilizada e reconhecida como estrutura de transporte de esgotos sanitários, em tempo seco, e de esgotos combinados, em tempo úmido, podendo, portanto, serem reconhecidas como rede unitária, conforme estabelece a Lei 14.026/2020.

A ação de desvio em tempo seco pode retirar total ou parcialmente os esgotos sanitários da tubulação a jusante, eliminando, ao menos em tempo seco, o contato desse trecho com os esgotos sanitários brutos.

Há de se levar em consideração que em um sistema de drenagem pluvial a implantação das tubulações de drenagem pluvial para a condução subterrânea do escoamento das chuvas pode não ser necessária em trechos de vias cujas topografia e declividade favoreçam a drenagem superficial das águas pluviais, entretanto, nesses locais os lotes precisam ser servidos pela coleta de esgotos, o que indica a incompatibilidade entre as extensões necessárias para as redes pluviais e para as redes de coleta sanitária (TSUTIYA; SOBRINHO, 2000; GEHLING; BENETTI, 2005; VOLSCHAN JR., 2020). Segundo Tsutiya e Sobrinho (2000) as galerias de drenagem pluvial são executadas em 50% ou menos das vias públicas no Brasil.

A fim de contornar esse problema nos sistemas de CTTS, uma solução pode ser a implantação de trechos de redes separadoras, exclusivas para os esgotos sanitários, atendendo adequadamente aos lotes e já dimensionadas para o fim de plano. Estas tubulações se ligariam ao sistema pluvial em seus PVs mais próximos a jusante. Deste modo, não é imperativa a construção das redes unitárias onde estas não são necessárias, diferentemente do que é colocado como uma desvantagem do sistema unitário, por alguns autores (TSUTIYA; SOBRINHO, 2000; TSUTIYA; BUENO, 2004).

Uma vez que as redes de drenagem pluvial são dimensionadas para transporte de vazões elevadas, se comparadas com as vazões de esgotos sanitários, as seções das tubulações e canais são superdimensionadas para o transporte das contribuições sanitárias lançadas nas estruturas, muitas vezes com baixas alturas de escoamento

e elevados perímetros molhados, o que pode favorecer em tempo seco o escoamento com baixas velocidades que podem permitir a sedimentação de partículas transportadas (YIN *et al.*, 2017; BUTLER *et al.*, 2018).

A adoção de velocidades superiores à velocidade crítica nas tubulações dos sistemas de tempo seco pode ser utilizada como critério de projeto para prevenir a sedimentação (CHEN *et al.*, 2019).

As seções transversais das tubulações que conduzem esgotos combinados podem ter formatos distintos do circular com o objetivo de aumentar as velocidades e minimizar a deposição de sedimentos, por meio de menores diâmetros na parte inferior das tubulações. No passado seções ovoides era muito comuns, tendo sido largamente utilizadas em sistemas unitários (BUTLER *et al.*, 2018).

Na cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais, por exemplo, foram construídos trechos de tubulações para o sistema unitário nesse formato há aproximadamente 100 anos, Figura 45 (MINAS GERAIS, 1997; OLIVEIRA; ANDRADE, 2014). E há relatos que indicam que alguns trechos ainda estejam em uso no SES.



Figura 45 – Construção de tubulação emissária de esgotos em formato ovoide do sistema unitário (*tout-a-l'égout*) em Belo Horizonte-MG, no início do século XX.

Fonte: acervo do Museu Abílio Barreto *apud* MINAS GERAIS (1997).

Além da deposição de sedimentos devido às reduzidas lâminas de esgotos em tempos seco, as baixas declividades das tubulações também contribuem para a sedimentação.

Esta situação tende a ser mais recorrente em locais situados em baixas altitudes e onde a topografia é significativamente plana e pode haver um desfavorecimento para que as redes de drenagem atinjam as declividades mínimas recomendadas, sendo necessário o uso mais frequente de estações elevatórias. Este é o caso da área central de Shanghai, China, estudada em diversas publicações aqui analisadas, que possui rede coletora de esgotos combinados com declividade média de 0,005m/m, e coletores tronco com declividade média de 0,001m/m, o que resulta em deposições de sedimentos da ordem de 50 a 200mm de altura dentro das tubulações (LI; TAN; ZHU, 2010).

Nessas situações o escoamento pode não atingir as tensões trativas mínimas que impedem a sedimentação de sólidos e a criação de limo na parede interna dos tubos. Esse biofilme gerado cria um ambiente propício à anaerobiose, pois consome o oxigênio da mistura líquida, e contribui para a produção de gases nocivos no interior das tubulações. Dentre esses gases produzidos destaca-se o gás sulfídrico (sulfeto de hidrogênio: H_2S), que é tóxico e provoca mau cheiro e corrosão (TSUTIYA; SOBRINHO, 2000; VOLCHAN JR., 2020).

Importante destacar que a produção de sulfeto de hidrogênio (H_2S) no interior das tubulações coletoras pode propiciar a corrosão de uma série de metais, como ferro, zinco, cobre, chumbo e cádmio, afetando as partes metálicas do sistema e a própria ferrugem das armaduras dos tubos de drenagem pluvial. Além disso, esse gás pode ser convertido em ácido sulfúrico (H_2SO_4) por bactérias anaeróbias do gênero *Thiobacillus*, que por sua vez pode provocar a corrosão do concreto. A FIG ilustra em (a) a dinâmica de produção de sulfeto de hidrogênio, sob condições anaeróbias dos esgotos, e de ácido sulfúrico, na presença de oxigênio em solução, e em (b) o padrão de corrosão do concreto, exposição das armaduras de aço, que ocorrem com mais relevância na geratriz superior e nas laterais, próximo do contato com as linhas d'água (TSUTIYA; SOBRINHO, 2000; VOLCHAN JR., 2020).

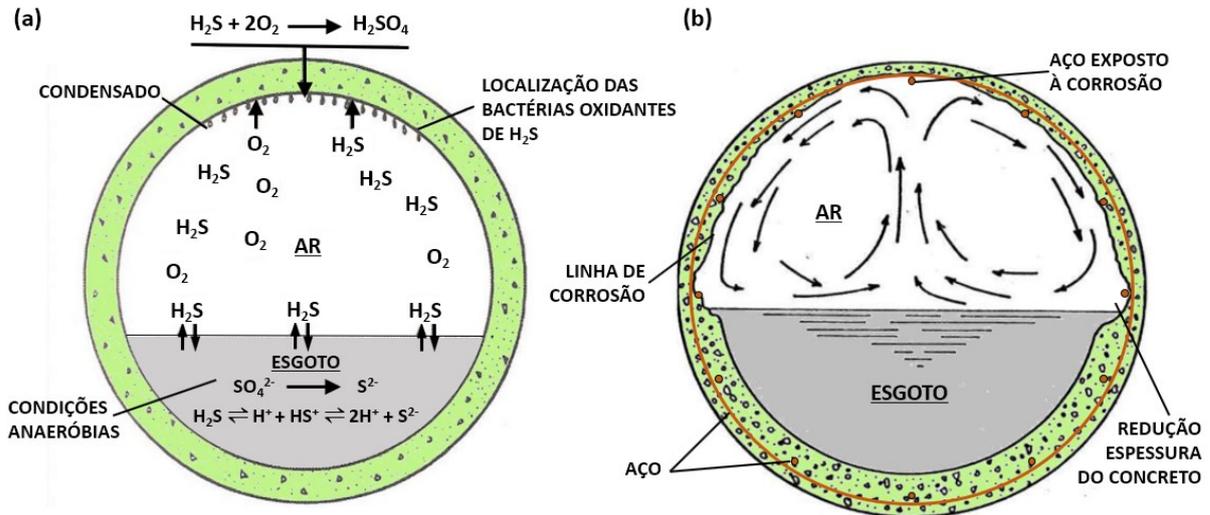


Figura 46 – (a) interação sulfato de hidrogênio no interior de tubulação de esgoto em condições anaeróbias; (b) corrosão típica e desigual em tubo de concreto armado.

Fonte: adaptado de Tsutiya e Sobrinho (2000).

Em sistemas separadores absolutos, os problemas decorrentes da geração de sulfetos são observados principalmente em coletores tronco, interceptores e emissários, que costumam ser implantados em concreto devido à necessidade e disponibilidade de maiores diâmetros (acima de 400mm), e em poços de sucção de elevatórias de esgotos (TSUTIYA; SOBRINHO, 2000). Uma vez que o concreto armado é bastante utilizado na confecção de tubulações empregadas nas redes de drenagem pluvial, infere-se que estas estão sujeitas às adversidades da geração de gases quando submetidas à solução de coleta de esgotos nos sistemas de CTTS.

A corrosão dos materiais pode ser evitada quando *a priori* se concebe o sistema para o contato com os esgotos, empregando materiais mais resistentes e adequados para a agressividade do meio. Nesse sentido, no Brasil, a norma para a confecção de tubos de concreto estabelece as condições para o uso destes elementos na condução de esgotos: NBR n.º 8890, de 2020, *Tubo de concreto de seção circular para água pluvial e esgoto sanitário — Requisitos e métodos de ensaios*. A norma indica para esses tubos a necessidade de maior rigor em relação à permeabilidade e à absorção de água, assim como especifica dosagens e materiais mais resistentes e a serem utilizados para inibir o ataque de sulfatos (ABNT, 2020).

No caso das tubulações de concreto destinadas ao transporte das águas pluviais, não é prática usual prever a incorporação dos esgotos nem a utilização desses tubos,

portanto, quando a coleta em tempo seco é estimulada nos sistemas de CTTs, mesmo que temporariamente, a corrosão pode ser um relevante problema.

Para reduzir anaerobiose em trechos críticos do sistema, pode-se inibir a formação de sulfetos mediante a aeração ou aplicação de oxigênio puro, pela aplicação de produtos químicos oxidantes como cloro, peróxido de hidrogênio, ou ainda fornecendo uma fonte combinada de oxigênio para as bactérias, com a adição de nitrato de sódio ou nitrato de amônio (TSUTIYA; SOBRINHO, 2000).

Nas tubulações e elementos onde ocorre a deposição de sedimentos e formação de biofilme, pode-se realizar limpezas e dragagens periódicas desse material levando-o para disposição adequada em aterro (TSUTIYA; SOBRINHO, 2000; YIN *et al.*, 2017). Essa prática pode ser muito relevante também para o controle da poluição extravasada em tempo de chuvas, pois as águas pluviais, quando adentram as tubulações, promovem o arraste do material anteriormente depositado e o desprendimento do limo, contendo elevadas cargas orgânicas e inorgânicas que são direcionadas aos corpos hídricos (YIN *et al.*, 2017).

Uma maneira de minimizar a geração de gases e de desviar os mesmos quando são produzidos é por intermédio de dispositivos de ventilação e de bloqueio da circulação dos gases. As soluções de ventilação são implantadas nas edificações através de tubos horizontais e verticais que ultrapassam a altura das construções e se abrem para a atmosfera e que, conceitualmente, devem permitir a ventilação do sistema interno predial e do sistema público. As soluções de bloqueio de gases são normalmente utilizadas dentro das edificações, por meio de dispositivos dotados de sifões nos pontos de uso que, se projetados e mantidos adequadamente, proporcionam o fecho hídrico necessário para que não haja retorno dos gases para o interior (BUTLER *et al.*, 2018).

Teoricamente, as ligações (clandestinas ou não) prediais de esgotos dotadas de ventilação pelo sistema predial, nas redes de drenagem pluvial, poderiam ser suficientes para promover a mesma ventilação propiciada nos SSAs, no entanto, diferentemente destes, o número de conexões tende a ser menor, principalmente se as mesmas são provenientes de ligações clandestinas, esparsadas umas das outras, e talvez até sem a adequada ventilação interna nas edificações.

As redes de drenagem coletando esgotos, por outro lado, possuem pontos de conexão com a atmosfera, não planejados para esta função, que são as bocas-de-lobo. Esses dispositivos admitem a entrada de ar, assim como também permitem o retorno dos gases e, conseqüentemente, provocam incômodos pelo mau cheiro propagado em seu entorno.

Para contornar esse problema existem bocas-de-lobo especialmente projetadas para os sistemas combinados que podem ser adotadas nos sistemas de CTTS. Estes elementos possuem fecho hídrico que visa selar o retorno dos gases (Figura 47) (BUTLER *et al.*, 2018).

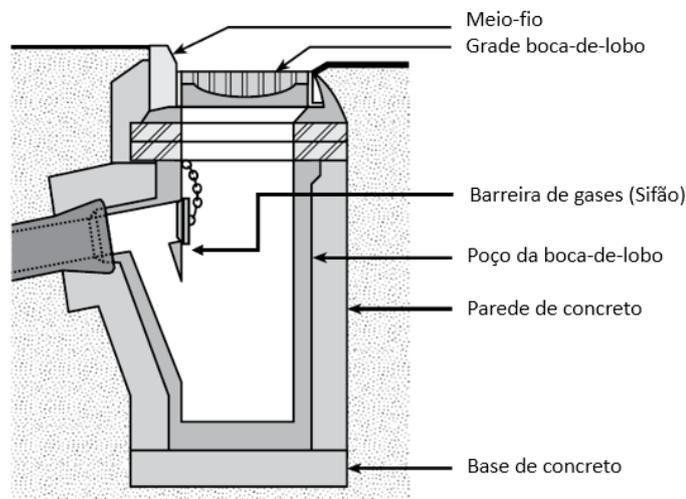


Figura 47 – Boca-de-lobo dotada de fecho hídrico.

Fonte: adaptado de Butler *et al.* (2018).

Há de se avaliar, no entanto, se estas estruturas de boca-de-lobo não contribuiriam para o aumento de outros problemas de saúde pública, já que a água parada promove a propagação de vetores de mosquitos transmissores de doenças, como a dengue, chikungunya e zika, principalmente em países de clima tropical, como é o caso do Brasil (BRASIL, 2001; BRASIL, 2017b).

Outra solução indicada é a implantação da ventilação pública, de baixo custo, com tubulações verticais de PVC, tipo chaminé, e trecho horizontal interligando o trecho vertical aos ramais de ligação das bocas-de-lobo da rede de drenagem pluvial, e que utilizem como suporte os postes de iluminação pública. Esta ventilação visa promover a troca de gases com a atmosfera com menor impacto para os transeuntes devido ao

mau cheiro e as representações esquemáticas da mesma são apresentadas na Figura 48, (a) planta; (b) corte transversal na rua; e (c) corte longitudinal (GUIMARÃES; SOUZA, 2004).

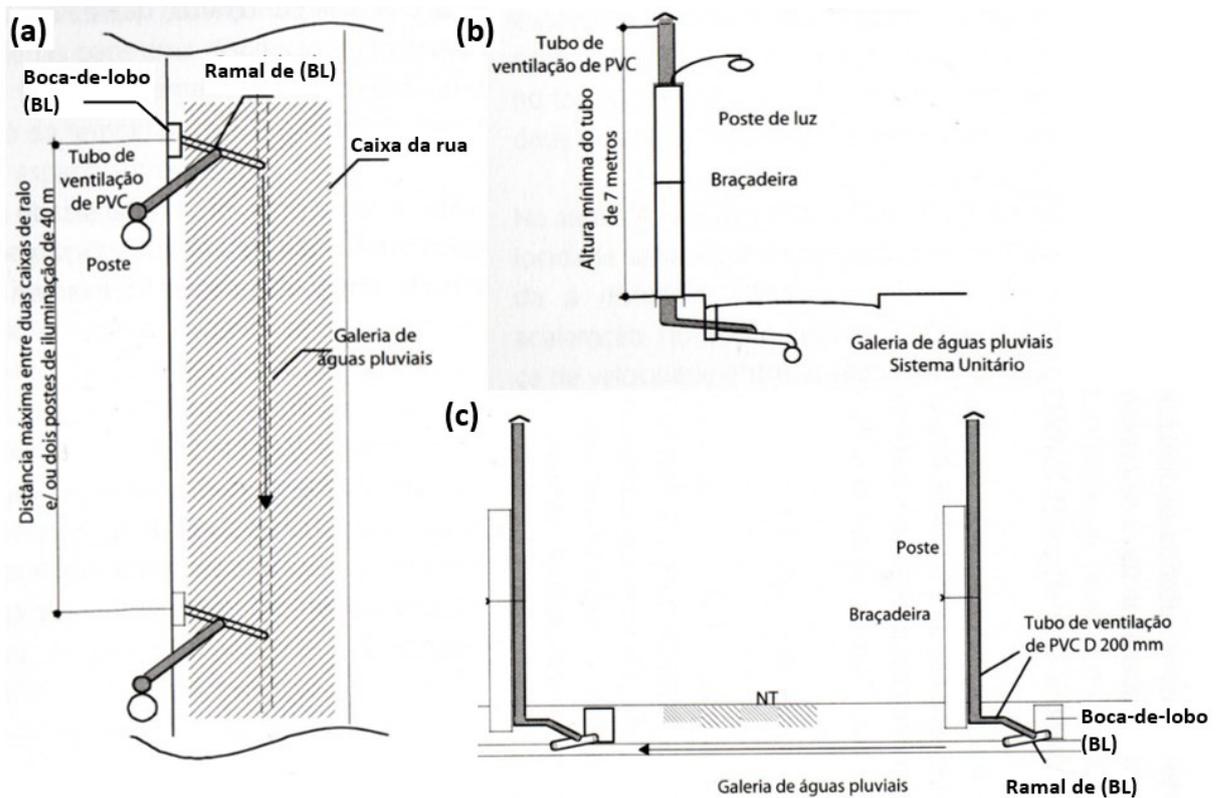


Figura 48 – Representação esquemática de chaminé pública de ventilação na rede de drenagem pluvial. (a) planta; (b) seção transversal; e (c) seção longitudinal.

Fonte: adaptado de Guimarães e Souza (2004).

5.4.4.4.2 Estruturas de interceptação e desvio

As estruturas de interceptação e desvio são estruturas hidráulicas concebidas para promover o encaminhamento das vazões de tempo seco, constituídas principalmente pelos esgotos sanitários, para o tratamento; e as vazões mais elevadas, de tempo úmido, compostas por esgotos combinados, são divididas em função do dimensionamento para duas destinações: uma fração continua fluindo para o tratamento e outra, normalmente maior, é direcionada para os corpos hídricos mais próximos, desviada para detenção temporária ou ainda para tratamento em separado.

Estas estruturas podem ter diferentes configurações físicas e hidráulicas e seus princípios gerais podem ser considerados semelhantes àqueles utilizados nos

sistemas unitários, ou combinados, que são denominados de “estruturas de extravasão de esgotos combinados” (em inglês, *combined sewer overflow (CSO) structures*) (GONÇALVES; KLEIDORFER; RAUCH, 2017), ou apenas “extravasores” (*sewer overflow – SO* em inglês) (BORNATICI; CIAPONI; PAPIRI, 2004).

Os tipos de estruturas de interceptação e desvio são classificados de acordo com sua característica física e hidráulica de funcionamento, dentre os quais cita-se (GEHLING; BENETTI, 2005):

- Vertedor lateral;
- Vertedor transversal;
- Vertedor ajustável;
- Regulador de saída elevado e sifão de alívio.

Volschan Jr. (2020) indica que o dimensionamento da estrutura/ caixa de interceptação e desvio de uma captação em tempo seco, é semelhante ao de uma estrutura de extravasão de sistemas combinados (CSO), porém ressalta que a estratégia não representa a configuração de um sistema combinado formal, que deve ser planejado e dimensionado com base em critérios específicos e parâmetros que são diferentes daqueles utilizados para os sistemas separadores absolutos. No Brasil os sistemas de esgotos devem ser projetados baseados em critérios de autolimpeza e os sistemas separadores de drenagem pluvial em critérios de velocidade mínima (VOLSHAN JR., 2020).

Nesse sentido, apesar das ponderações entre os aspectos técnicos citados de diferenciação entre os sistemas de captação em tempo seco e os sistemas combinados, Volschan Jr. (2020) cita publicações que abordam especificamente os sistemas convencionais: SSA, SSP ou SC; e assume que os sistemas de CTS possuem características, condicionantes e respostas análogas aos outros.

Um conceito e parâmetro para cálculo da capacidade de interceptação de esgotos combinados em um sistema unitário é a chamada “taxa de interceptação” (*interception ratio*, em inglês), que é um fator que multiplicado pela vazão média de esgotos sanitários, ou *dry weather flow (DWF)* em inglês, determina a capacidade dos sistemas de desviar as vazões para tratamento. Em Shanghai os sistemas unitários existentes

no antigo centro da cidade foram projetados com a taxa de interceptação de 3 vezes a vazão média de esgotos sanitários ($3 \times DWF$), portanto esta é a capacidade dos sistemas de desvio e é o limite sobre o qual se iniciam os extravasamentos de esgotos para os cursos de água (YIN *et al.*, 2017).

Nesse sentido o conceito de “limite de extravasamento” foca na parcela que extravasa e que não é incorporada ao sistema de tratamento. Este é o critério o dimensionamento dos sistemas unitários na Itália, onde para sistemas combinados, é adotado o limite de extravasamento da ordem de 2 a 5 vezes a vazão média de tempo seco ($2 \times DWF$ a $5 \times DWF$). Em sistemas separadores pluviais, em que se faça o tratamento de parte das vazões, os extravasores são dimensionados para atuar a partir de uma vazão que esteja na faixa limite entre 0,5 e 1,5 L/s.ha, neste caso, a vazão correspondente ao limite de extravasamento é também função da área de drenagem, em hectare (BORNATICI; CIAPONI; PAPIRI, 2004).

No Brasil, como não há regulação sobre a concepção dos sistemas unitários, conforme já mencionado, Gonçalves, Kleidorfer e Rauch (2017) adota em seu estudo para o dimensionamento do sistema de extravasão (CSO) de Joinville, Santa Catarina, o critério de 6 vezes a vazão média de tempo seco ($6 \times DWF$).

O valor de interceptação de 6 vezes a vazão média de esgotos em tempo seco ($6 \times DWF$) já foi bastante utilizado no Reino Unido porém é apresentado com ressalvas por Butler e Davies (2004) de onde os autores Gonçalves, Kleidorfer e Rauch (2017) buscaram a referência, já que esta publicação afirma ser ilógico dimensionar o sistema por um valor múltiplo da vazão média de tempo seco, pois a vazão a ser mantida no sistema para tratamento não deve ser função do consumo de água em determinado local, o que leva a distorções no sentido de uma maior proteção aos cursos de água em locais com maior consumo de água (BUTLER; DAVIES, 2004; BUTLER *et al.*, 2018).

Em Shanghai, na China, exige-se que os sistemas de drenagem pluvial sejam equipados com dispositivos de interceptação de esgotos com capacidade para desviar pelo menos 40% da vazão total de esgotos produzidos na área por ele servida. Esse percentual já foi menor, de 20 a 40%, porém a fim de melhorar as condições ambientais e contornar o grave problema das conexões ilícitas existentes o percentual

mínimo foi elevado e ainda remanescem sistemas implantados com menor capacidade de desvio de vazões (LI *et al.*, 2014). Cabe ressaltar que estes valores, aparentemente são inferiores à taxa de interceptação mencionados anteriormente para os sistemas combinados existentes na cidade, ainda que nesses locais haja rede sanitária paralelamente implantada e parte das vazões de esgoto afluente para ela.

Lopes, Kusterko e Volschan Jr. (2023) apresentam dois modelos de estruturas de captação com diferentes concepções hidráulicas: tipo anteparo e vertedor de soleira; e vertedor de descarga livre. O primeiro modelo, anteparo e vertedor de soleira, pode se desdobrar em dois casos, denominados de Caso A e Caso B. Para a aplicação do primeiro caso, a vazão afluente em tempo seco deve ser menor ou igual à vazão admissível do SSA a jusante e toda a vazão em tempo seco pode ser tratada; o segundo se aplica quando a relação é inversa, a vazão afluente em tempo seco ao sistema é superior à vazão admissível pelo SSA, e parte da mesma deverá ser extravasada em tempo seco para o corpo hídrico receptor, ou para outra estrutura de controle, armazenamento e tratamento.

Para a escolha do modelo mais adequado em determinada situação, os autores sugerem um diagrama de apoio à decisão, onde se destaca a análise da vazão admissível (Q_{ad}) pelo sistema separador a jusante, que pode ser restritiva e não permitir os desvios dos esgotos afluentes (Q_a) em sua totalidade (LOPES; KUSTERKO; VOLSCHAN JR., 2023).

A Figura 49 apresenta os três tipos de estruturas e indica as seguintes variáveis: Q_a : vazão afluente; Q_{eCTS} : vazão de extravasamento da estrutura de CTS; D : diâmetro da tubulação de derivação; y : tirante hidráulico na tubulação de derivação, para escoamento livre; y_{CTS} : altura da lâmina d'água na estrutura de interceptação da CTS; y'_{CTS} : altura da lâmina d'água na estrutura de interceptação da CTS em tempo úmido; h : função de y'_{CTS} , equivale a carga hidráulica aplicada à tubulação de derivação em regime de conduto forçado (igual à diferença entre cotas do nível d'água e do centro da tubulação de derivação: $h=y'_{CTS} - D/2$); y_{AP} : tirante hidráulico na galeria de águas pluviais em períodos secos ou chuvosos (LOPES; KUSTERKO; VOLSCHAN JR., 2023).

Para o modelo de anteparo e vertedor de soleira, Caso A, a altura do anteparo (B) deve ser maior do que o diâmetro (D) da tubulação de derivação; no Caso B, a altura do anteparo deve ser igual à 75% do diâmetro (D). Já no modelo de descarrega livre, a altura da geratriz dos tubos afluentes e defluentes na estrutura deve ser igual a 75% do diâmetro (D) (LOPES; KUSTERKO; VOLSCHAN JR., 2023).

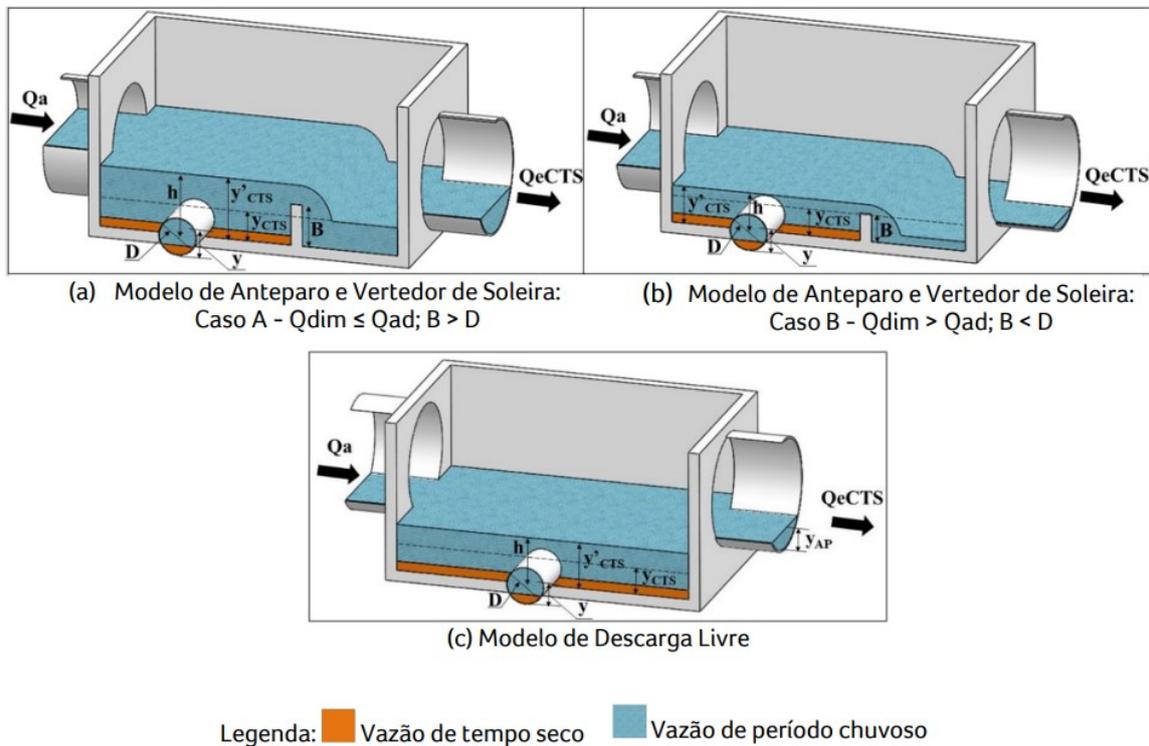


Figura 49 – Representação esquemática das estruturas de desvio em tempo seco: (a) Modelo de Anteparo e Vertedor de Soleira - Caso A; (b) Modelo de Anteparo e Vertedor de Soleira - Caso B; e (c) Modelo de Descarga Livre.

Fonte: Lopes, Kusterko e Volschan Jr. (2023).

Apesar dessas estruturas de captação e desvio serem dimensionadas e escolhidas levando em consideração a vazão admissível do sistema a jusante, elas não conseguem restringir que a vazão desviada não exceda a capacidade do SSA-sanitário a jusante, sendo necessária o controle da vazão por meio de uma estação elevatória de esgotos (Figura 40) em que a vazão de bombeamento faça esse controle e o extravasor desvie para o curso de água a vazão excedente desviada anteriormente (LOPES; KUSTERKO; VOLSCHAN JR., 2023).

No município de Porto Alegre as caixas coletoras de tempo seco são chamadas localmente de PV de tempo seco e a sua utilização é uma prática relativamente

comum, segundo Departamento de Água e Esgoto. Estas estruturas funcionam tanto como PV quanto como caixa de desvio do esgoto cloacal em tempo seco para as canalizações sanitárias a jusante até aceder à ETE (Figura 50); e são indicados como alternativas em dois casos específicos (FADEL; DORNELLES, 2015):

Em regiões onde é possível encontrar imóveis os quais estão localizados em cotas altimétricas inferiores às das canalizações de esgoto instaladas. Neste caso, fica impossibilitada a ligação à rede cloacal; logo, essa ligação é feita na rede pluvial;

Em ocasiões nas quais não existem áreas disponíveis para o estabelecimento do sistema cloacal; tais circunstâncias ocorrem em regiões bastante urbanizadas, onde o traçado ideal para a rede usualmente situa-se em lotes completamente construídos. (FADEL; DORNELLES, 2015, p. 974)

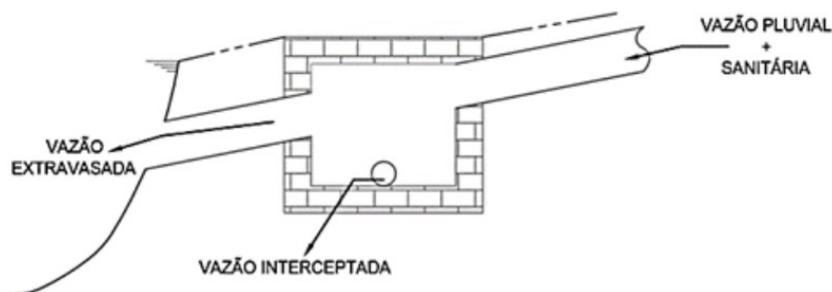


Figura 50 – Representação esquemática interceptação de vazões em tempo seco.

Fonte: Fadel e Dornelles (2015).

Na cidade de São Paulo, a concessionária local (SABESP) implantou os desvios em tempo seco em alguns poços de visita (PVs) em galerias de águas pluviais (GAPs), a partir das válvulas de tempo seco (VTS), desviando os esgotos para rede coletora de esgoto (RCE), ilustradas na Figura 51 (SANTOS *et al.*, 2018).

Em seu corpo, esta válvula é dotada de grade e tampas para limpeza e inspeção (SANTOS *et al.*, 2018). O esquema de implantação da VTS em PV é acompanhado pela instalação de um anteparo que permita o desvio do fluxo em tempo seco (SANTOS *et al.*, 2019).



Figura 51 – (a) VTS com tampas; (b): VTS sem tampas; (c): VTS implantadas em PV.

Fonte: Santos *et al.* (2018).

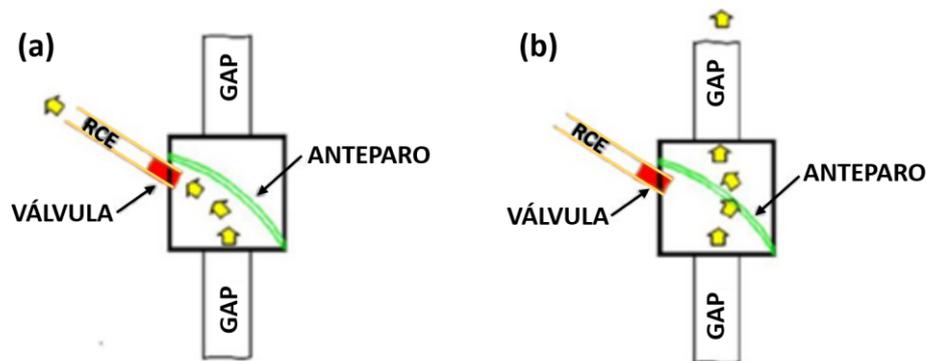


Figura 52 – Plantas esquemáticas implantação da VTS e anteparo para desvio do fluxo em tempo seco em PV de GAP para RCE. (a): fluxo em tempo seco; (b): fluxo principal em tempo úmido

Fonte: Santos *et al.* (2019).

As estruturas de interceptação são interligadas a tubulações de desvio que direcionam as águas residuárias até a rede coletora de esgotos existente do SSA mais próximo, ou são desviadas diretamente através de tubulações interceptoras que levam os esgotos para uma estação de tratamento, podendo ou não passar, anteriormente, por outras estruturas, como as de tratamento preliminar descentralizado (gradeamentos e desarenadores), estruturas de detenção ou por estações elevatórias de esgotos e linhas de recalque.

A Figura 53 a seguir ilustra a concepção de desvio diretamente para os interceptores (galeria de cintura) que interligam os PVs onde se instalam os anteparos e rebaixos.

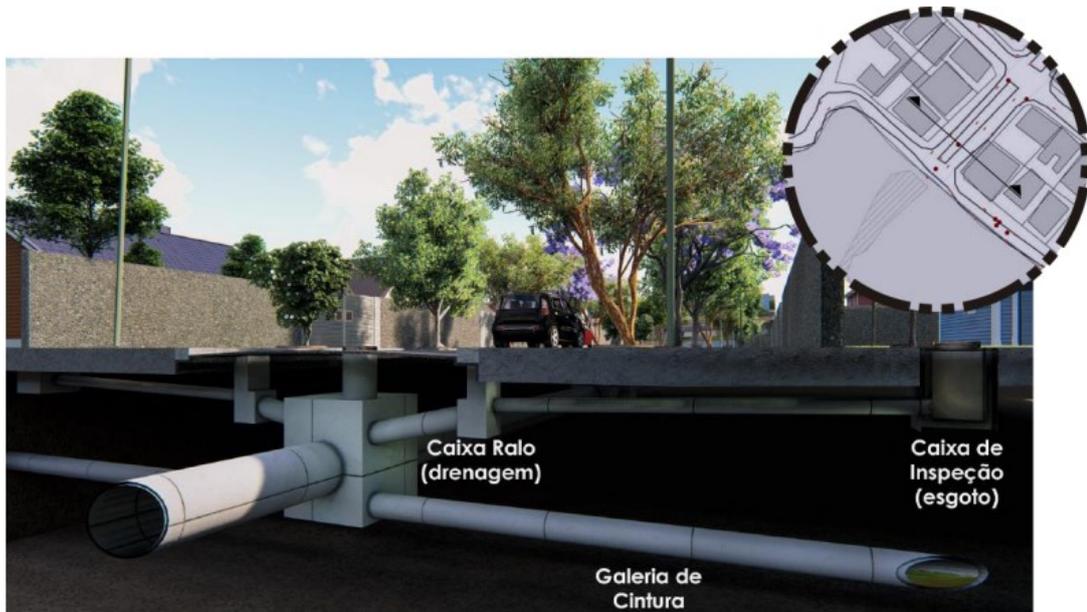


Figura 53 – Representação esquemática de estruturas de desvio do tipo PV com rebaixo e interceptor transversal (galeria de cintura).

Fonte: Veról *et al.* (2020).

Na Área Metropolitana de Lisboa, em Portugal, o Subsistema Alcântara, construído entre 2009 e 2011 e o Sistema da Costa do Estoril, construído em 2009, utilizam o desvio em tempo seco a partir do sistema de drenagem urbana existente. No Subsistema Alcântara que atende uma área de 37 km² e 756 mil habitantes, concebido para uma vazão de tempo seco de 3,3 m³/s e de tempo úmido de 6,6 m³/s, foi adaptado o antigo sistema de drenagem da área central de Lisboa por meio de um robusto sistema de interceptação em tempo seco (Figura 54) e direcionamento para a Estação de Tratamento de Águas Residuárias (ETAR) Alcântara.

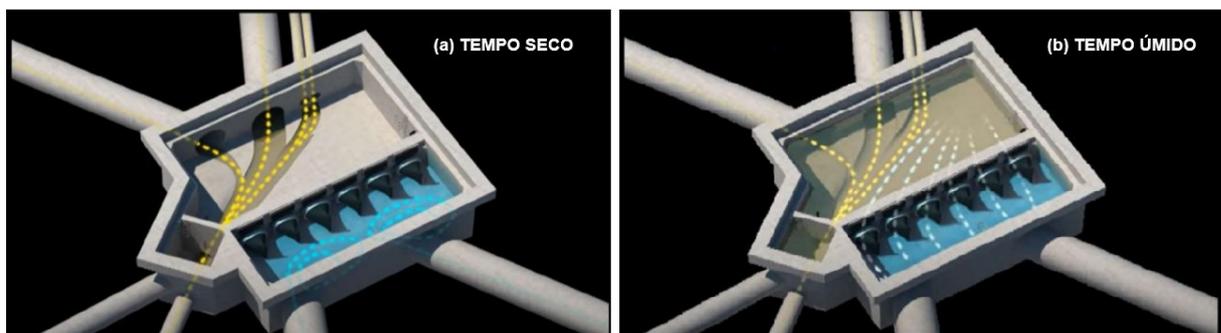


Figura 54 – Estrutura de interceptação em tempo seco com válvula de mar

Fonte: SimTejo *apud* Pereira; Matos; Ferreira, (2020).

Na cidade de Shenzhen, na China, as redes de drenagem pluvial que lançam suas contribuições, tanto em tempo seco quanto em tempo úmido na lateral do sistema de interceptação, ou seja, a estrutura de interceptação e desvio é a própria galeria que recebe os tubos de drenagem em suas laterais e intercepta integralmente o fluxo desviando-o para as estações de tratamento. Apenas as vazões excedentes à capacidade, em tempo úmido, são lançadas lateralmente no curso de água adjacente através de orifícios. Estas estruturas (galerias) de interceptação existem tanto em seção circular quanto em seção retangular, e em um mesmo sistema pode haver a transição entre o primeiro e o segundo tipo de seção. Os interceptores nessa cidade são implantados nas margens dos cursos de água e podem existir em ambas as margens. A Figura 55 ilustra o referido sistema com indicação da posição do interceptor, tubulações, orifícios, curso de água e suas margens e os esgotos combinados (CHEN *et al.*, 2019).

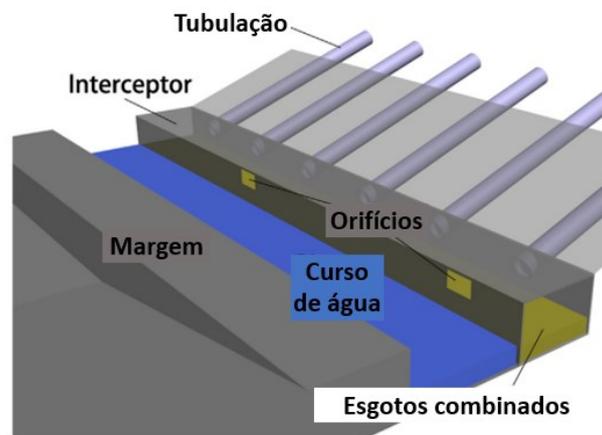


Figura 55 – Desenho esquemático sistema de interceptação e orifícios (ISOs)

Fonte: adaptado de Chen *et al.* (2019).

De acordo com os autores, esta solução tem sido considerada uma medida efetiva para controle dos lançamentos de esgotos na medida que ocupam pouco espaço nas margens dos cursos de água e não interferem com outros usos urbanos (CHEN *et al.*, 2019).

O desvio em tempo seco pode demandar, logo a montante do poço da estação de bombeamento, a implantação de estruturas de tratamento, como gradeamento e caixas de desarenação, para separar os resíduos sólidos e retirar areia, a fim

preservar as estruturas, equipamentos e condições operacionais adequadas do sistema a jusante, como a EEE e a ETE (VOLSCHAN JR., 2020).

A seguir, cabe complementar esta seção, e as seguintes no subitem 5.4.4.4, com as informações trazidas pelo relatório técnico denominado: *Análise da viabilidade técnica e econômica da implantação de estruturas de captação de esgotos sanitários em tempo seco (CTS) e de tratamento de deflúvios poluídos (UTR) no âmbito da Área de Planejamento 4 da Cidade do Rio de Janeiro*, elaborado pela Fundação COPPETEC em 2018 (COPPETEC, 2018), para a empresa estadual concessionária dos serviços de esgotamento sanitário, a Companhia Estadual de Águas e Esgotos (CEDAE).

A partir do documento, apresenta-se a Figura 57 que indica, por meio de seção transversal esquemática, os elementos constituintes da captação em tempo seco (CTS). A concepção apresenta a operação por gravidade, onde na sequência do desvio em tempo seco, feita na galeria de águas pluviais (GAP) por uma tubulação de 200mm, há um registro para permitir manutenções no sistema a jusante, após esse trecho existe uma caixa com grade de barras e limpeza mecanizada (apesar de não indicar o equipamento para isso) e em seguida a caixa com dispositivo de deposição e retenção de areia, de onde sai um tubo que interliga o sistema de desvio à rede sanitária existente (COPPETEC, 2018).

Percebe-se que os principais critérios de interceptação das vazões em tempo seco apresentados são de ordem quantitativa, baseados nas vazões. A modelagem hidráulica e hidrológica sugerida na concepção dos sistemas, pode, por outro lado indicar critérios de ordem qualitativa que podem evitar, além dos choques de cargas hidráulicas, também os choques de cargas orgânicas ou de outros poluentes que venham a afetar o funcionamento dos sistemas a jusante, promovendo maior eficiência e proteção dos corpos hídricos (LOPES; KUSTERKO; VOLSCHAN JR., 2023).

Uma evolução no critério utilizado para o desvio em tempo seco se dá em sistemas de drenagem urbanas dotados de monitoramento e controle em tempo real (CTR) (*real time control – RTC*, em inglês) de vazões e cargas de poluentes, baseado nas concentrações de parâmetros escolhidos, o que contribui para a otimização e

eficiência do sistema de drenagem (CEMBRANO *et al.*, 2002; CEMBRANO *et al.*, 2004; LIAO *et al.*, 2016; WEI *et al.*, 2019).

O CTR para desvio das águas residuárias para tratamento é baseado em medições em tempo real das vazões e de concentrações de poluentes no sistema para permitir a abertura e fechamento de comportas e permitir a interceptação dos poluentes no momento ideal para otimizar o sistema. Uma estratégia de CTR baseada no controle de concentração de DQO e $\text{NH}_4\text{-H}$ foi proposto por Wei *et al.* (2019) para melhoria da eficiência de interceptação no sistema da cidade de Fuzhou, na China. Estes parâmetros foram escolhidos por apresentarem boa correlação com outros parâmetros avaliados: SS; PT; NT; e segundo os autores, a estratégia permitiu a uma taxa média de interceptação dos poluentes de 60,6% a 84,1% para todos os poluentes, isso representa um aumento de 10,9% a 56,1% em relação à estratégia tradicional de interceptação baseada em valor fixo quantitativo: taxa de interceptação de 5 x *DWF*. Adicionalmente, a estratégia permitiu uma redução do volume interceptado da ordem de 7,8%, diminuindo custos. A Figura 56 ilustra os resultados comparando a estratégia de CTR (DQO + $\text{NH}_4\text{-H}$) com a estratégia tradicional (5 x *DWF*), onde destacam-se os aumentos significativos da interceptação de SS (45,7%), DQO (49,7%) e PT (49,2%), indicando a vantagem inequívoca da estratégia de CTR.

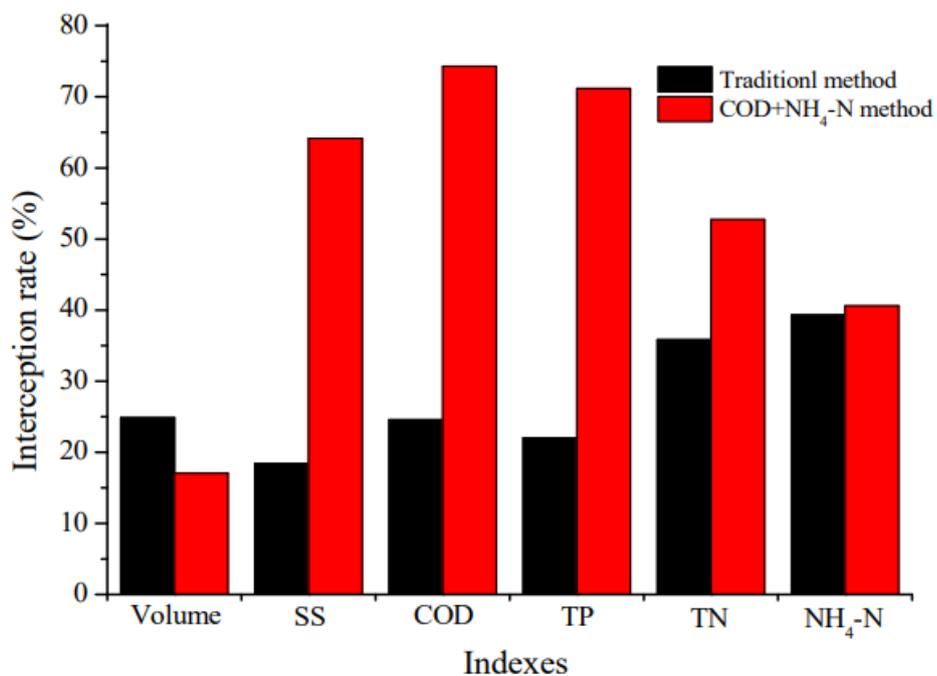


Figura 56 – Comparação da estratégia de interceptação. Tradicional em preto e CTR em vermelho.

Fonte: Wei *et al.* (2019).

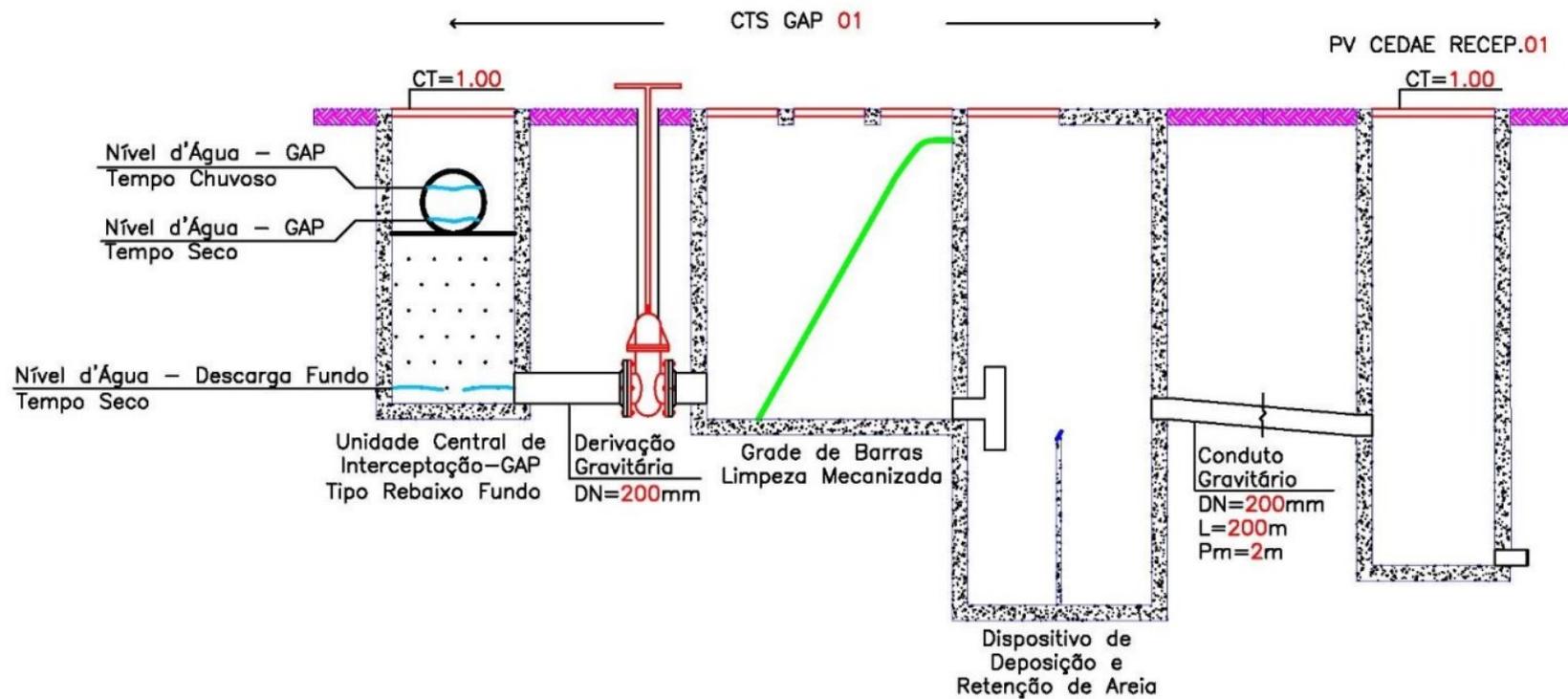


Figura 57 – Representação esquemática dos elementos associados à estrutura de captação em tempo seco (CTS) a partir de galeria de águas pluviais (GAP) com descarga de fundo e interligação por gravidade à rede coletora da CEDAE em poço de visita (PV).

Fonte: COPPETEC (2018).

5.4.4.4.3 Estações elevatórias de esgotos combinados

Em quaisquer situações nas quais não seja possível, sob a ótica técnica e econômica, o transporte dos esgotos por gravidade, é necessário a utilização de estações elevatórias de esgotos (TSUTIYA; SOBRINHO, 2000).

Algumas localidades que apresentam condições geográficas e altimétricas, planas ou próximas ao nível da água de rios ou mar, as estações de bombeamento de águas residuárias (sanitárias e/ou pluviais) podem ser necessárias para garantir o escoamento e segurança adequados nos sistemas de drenagem urbana, como é o caso de muitas cidades do sudeste da China (LI *et al.*, 2014, XU; YIN; LI, 2014).

A Figura 58 ilustra o sistema de interceptação em tempo seco (*end-of-pipe interception*) na rede de drenagem pluvial do centro de Shanghai, com capacidade de 21 600 m³/dia, e estação elevatória equipada com conjunto de 6 bombas em paralelo, concebida para extravasamento das águas pluviais, mas que também opera em tempo seco quando as contribuições não-pluviais (esgotos sanitários e infiltração) se elevam a ponto de acionar o sistema de bombeamento. Nesse sistema, as baixas altimetrias e a variação de nível da maré que afeta o estuário da cidade impõe variações de nível da água nos exutórios e reforçam a necessidade de bombeamento para esgotamento dos sistemas (XU; YIN; LI, 2014; YIN *et al.*, 2017).

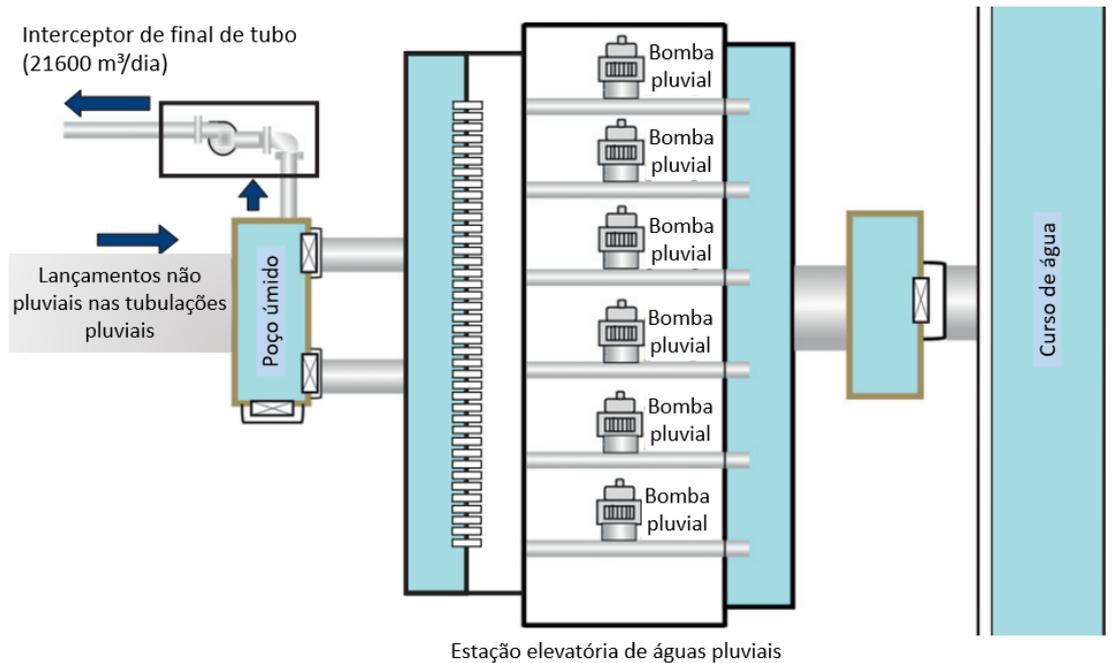


Figura 58 – Representação esquemática das estruturas de interceptação em tempo seco (*end-of-pipe interception*) em Shanghai, China, e estação elevatória para esgotamento em tempo úmido e de contribuições não-pluviais quando acima da capacidade de interceptação.

Fonte: traduzido de Xu *et al.* (2014).

Além de Shanghai, a cidade de Hefei, também na China, apresentam sistemas de drenagem com características semelhantes de baixas declividades e bombeamentos, tanto para os sistemas combinados (SCs) quanto para os separadores (SSAs). Estes possuem sistema de interceptação para desvio das águas do SSA-pluvial para o SSA-sanitário, conforme se apresenta nos fluxogramas da Figura 59 (LI *et al.*, 2014).

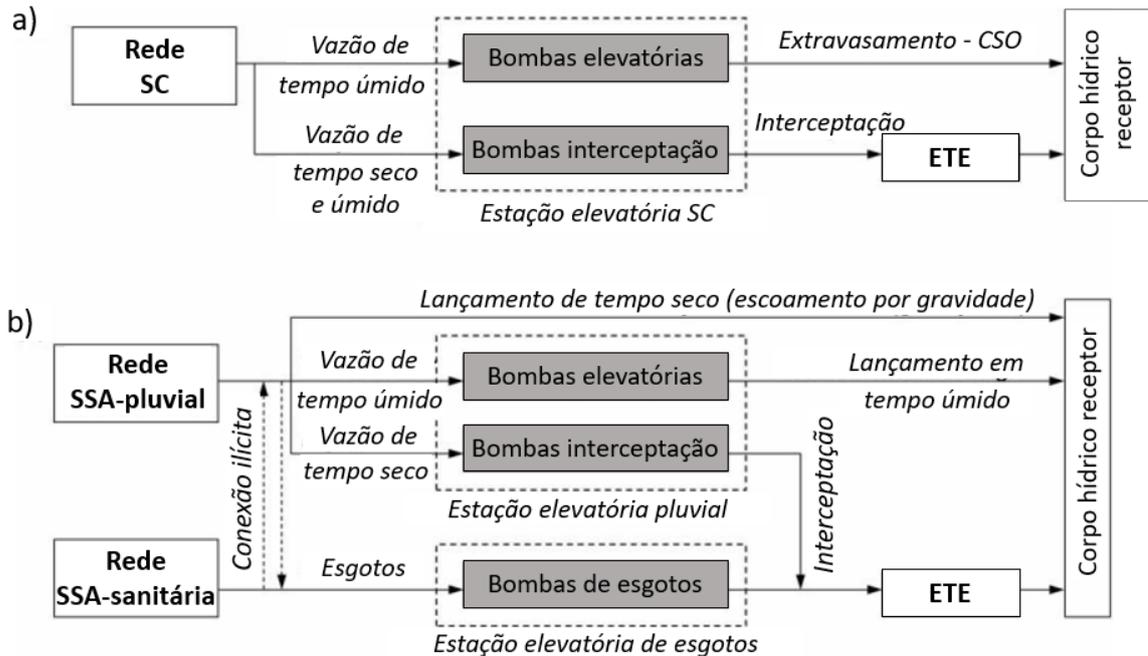


Figura 59 – Esquema dos sistemas de drenagem em Shanghai e Hefei, China. a) SC; e b) SSA disfuncional, dotado de bombeamento para extravasamento.

Fonte: traduzido de Li *et al.* (2014).

No sistema de CTTS concebido por Gonçalves, Kleidorfer e Rauch (2017) para a cidade de Joinville, as estações elevatórias são necessárias devido às baixas ou nulas declividades das vias. O dimensionamento das elevatórias foi feito com capacidade de 6 vezes a vazão média de tempo seco para a etapa intermediária de projeto (com aproveitamento das redes pluviais para coleta e interceptação em tempo seco).

Existem outras condicionantes que demandam o uso das estações elevatórias, especialmente para os SSA-sanitários, dentre as quais cita-se: necessidade de transposição de esgotos para outras bacias; esgotamento de novas áreas situadas em cotas inferiores ao sistema já existente; e descargas em coletores, interceptores, PVs, ETEs, ou corpos receptores quando não for possível o escoamento por gravidade (TSUTIYA; SOBRINHO, 2000).

Uma vez que as redes sanitária e pluvial dos SSA convencionais são concebidos de forma independente, os locais de implantação das caixas de CTTS na rede pluvial podem se situar em cotas mais baixas em relação os elementos da rede sanitária de destino e necessitar de uma estação elevatória de esgotos. Essa é a situação descrita por Lopes, Kusterko e Volschan Jr. (2023) e apresentada na Figura 40.

Novamente, as figuras a seguir, Figura 60 e Figura 61, retiradas do relatório técnico supramencionado complementam a discussão e indicam, analogamente ao que foi apresentado na Figura 57, as estruturas constituintes das CTS concebidas para a cidade do Rio de Janeiro, incluindo o tratamento preliminar. Estas, no entanto são aplicáveis em locais onde é necessário o bombeamento das vazões em tempo seco para interligação ao SSA existente (COPPETEC, 2018).

A diferença entre as duas figuras se dá no trecho inicial do esquema, onde a Figura 60 representa o desvio realizado em GAP e a Figura 61 representa o desvio a partir de interceptação de calha fluvial. Na sequência dos esquemas, a representação é semelhante, com uma tubulação de 200mm que opera por gravidade em tempo seco, um registro para permitir manutenções no sistema a jusante, e na sequência as estruturas do tratamento preliminar: uma caixa com grade de barras e limpeza mecanizada, seguida de uma caixa com dispositivo de deposição e retenção de areia, de onde sai um tubo que lança as águas residuárias para o poço úmido da estação elevatória que as transfere para a rede sanitária existente, no referido PV da CEDAE (COPPETEC, 2018).

As estações elevatórias dos sistemas de tempo seco possuem tubulações extravasoras que direcionam o excedente de tempo seco não admissível pelo sistema sanitário de jusante, e em tempo úmido o excesso de águas, para o sistema de drenagem pluvial ou corpos hídricos receptores mais próximos. Embora estes dispositivos evitem o colapso e impactos no sistema a jusante, a operação sob pressão, as inundações e extravasamentos dos sistemas para as instalações e vias públicas, a operação deles impactam o meio ambiente, mesmo que temporariamente e seu uso deve ser minimizado (DIAS; ROSSO, 2011; LOPES; KUSTERKO; VOLSCHAN JR., 2023).

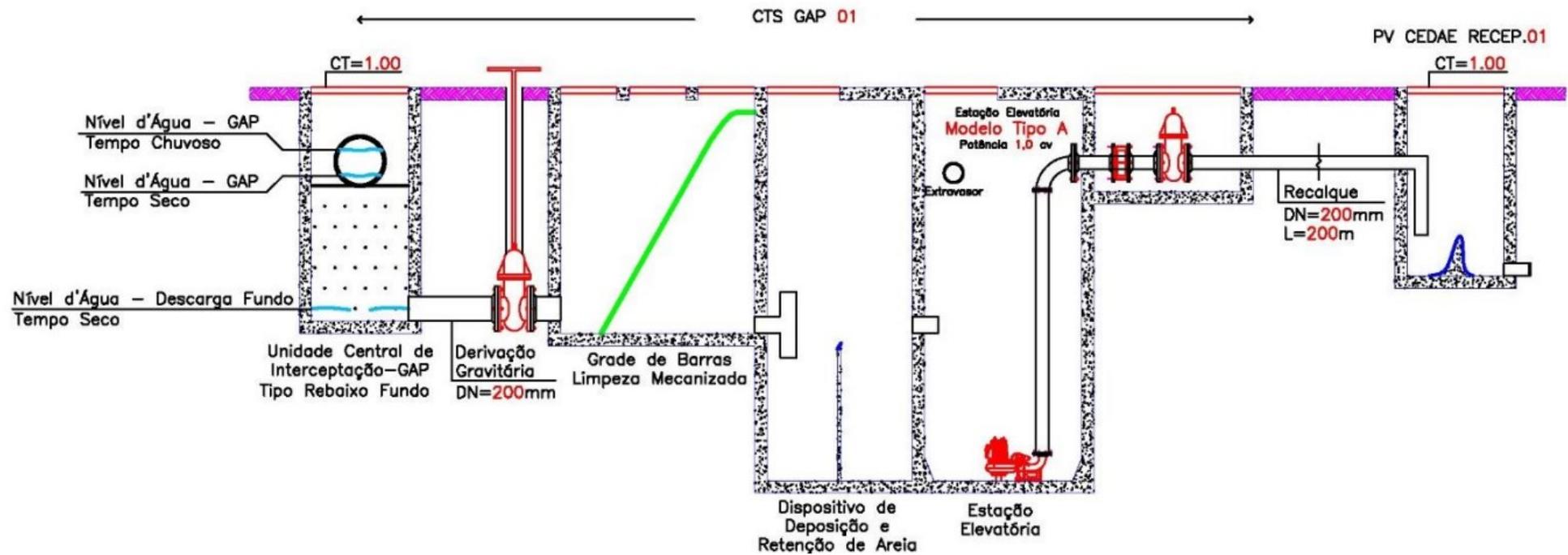


Figura 60 – Representação esquemática dos elementos associados à estrutura de captação em tempo seco (CTS) a partir de galeria de águas pluviais (GAP), registro, gradeamento, retenção de areia e bombeamento para PV do sistema sanitário.

Fonte: COPPETEC (2018).

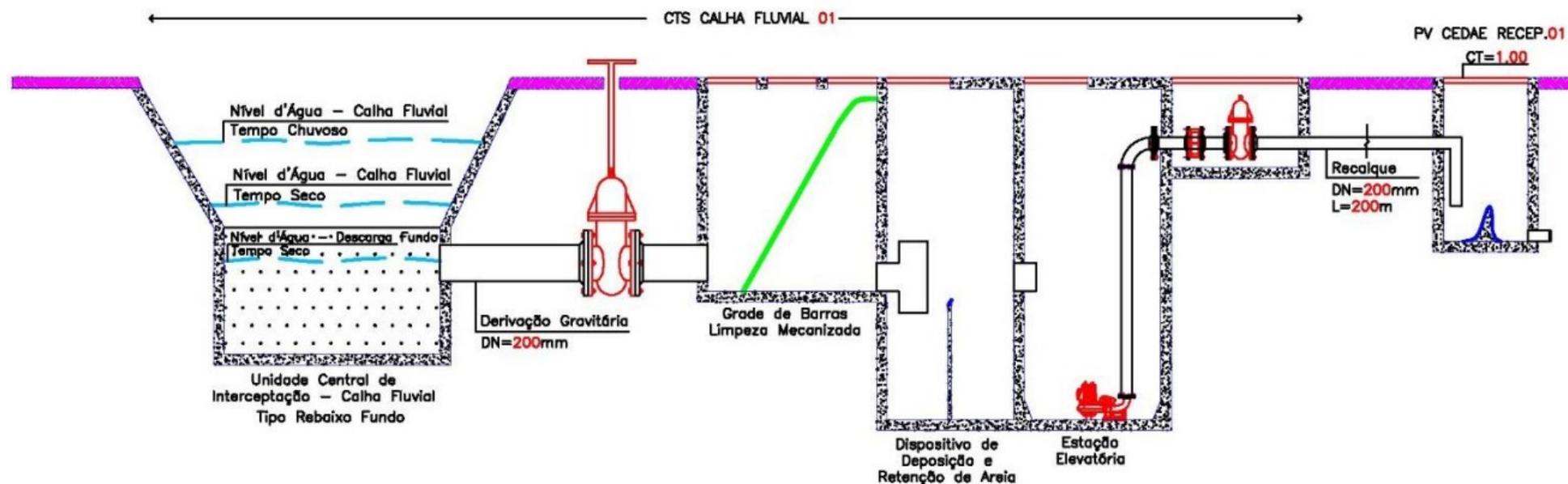


Figura 61 – Representação esquemática dos elementos associados à estrutura de captação em tempo seco (CTS) a partir de calha fluvial, registro, gradeamento, retenção de areia e bombeamento para o PV do sistema sanitário.

Fonte: COPPETEC (2018).

5.4.4.4.4 Tratamento de esgotos

As discussões sobre o tratamento das águas residuárias provenientes dos sistemas de captação em tempo seco não são discutidas em profundidade nas publicações encontradas que abordam os sistemas, sendo identificadas menções em 4 publicações dentre as 15 obtidas. No entanto, são incluídas também discussões procedentes de outras publicações encontradas que fazem menção à essa importante etapa dos SES.

As águas residuárias urbanas possuem características que podem variar em relação aos aspectos qualitativos (concentração de poluentes) e quantitativos (vazões) ao longo do tempo e, em função do tipo de sistema sanitário utilizado. Quando se tem a completa separação dos esgotos em um SSA sanitário e pluvial, esses aspectos tentem a ter menor variação. Uma vez que os sistemas separadores disfuncionais permitem uma maior condição de mistura das águas, as vazões transportadas podem variar expressivamente, desde muito concentradas em termos de poluentes e baixas vazões (em tempo seco e horários de pouco uso de água) nos esgotos sanitários com pouca infiltração e influxos, até nas baixas concentrações e elevadas vazões devido às águas pluviais (em tempo úmido) (BERNARDES; SOARES, 2004).

Desse modo, segundo Bernardes e Soares (2004), os tipos de efluente podem ser classificados como: esgotos sanitários; esgotos combinados; e águas pluviais; em função das características quantitativas e qualitativas encontradas em determinado momento. Para uma bacia urbana de 5,0 km² de área, as características de vazões (quantitativas) e das relações DBO₅/DQO (qualitativas) dos esgotos sanitários, esgotos combinados e das águas pluviais são, em geral, as contidas na Tabela 4 (BERNARDES; SOARES, 2004).

Tabela 4 - Características quantitativas e qualitativas de águas pluviais, esgotos combinados e esgotos sanitários para uma bacia urbana com 5,0 km².

Tipo de efluente	Características quantitativas: vazões (m³/h)	Características qualitativas: DBO₅/DQO (mg/L)
Águas pluviais	10 ³ – 10 ⁵	10 ⁰ – 10 ¹
Esgotos combinados	10 ² – 10 ⁴	10 ¹ – 10 ²
Esgotos sanitários	10 ¹ – 10 ²	10 ² – 10 ³

Fonte: Bernardes e Soares (2004).

O tratamento de sistemas separadores absolutos, que abrange os esgotos sanitários, ou *dry weather flow (DWF)*, já é objeto de inúmeros trabalhos no Brasil e no mundo como Von Sperling (2017) e Metcalf e Eddy (2003), respectivamente, e não será objeto de aprofundamento nesta pesquisa, embora seus princípios sejam usuais aos sistemas de tempo seco e mencionados adiante.

Para o sistema de captação e tratamento em tempo seco, entendido como sistema unitário temporário, apesar de seu principal funcionamento se dar em tempo seco, sem chuvas, é importante o entendimento da influência do tempo úmido nas variações mencionadas e, conseqüentemente, na incorporação das vazões de esgotos combinados aos sistemas.

O tratamento dos esgotos combinados pode se dar integralmente em estação de tratamento de esgotos, de forma centralizada, descentralizada, ou ainda no curso do sistema (*in-line*, em inglês).

No que tange o tratamento através de ETE, Bernardes e Soares (2004) apresentam, por meio de fluxogramas de vazões de esgotos combinados (adaptados de GEIGER, (1998 *apud* BERNARDES; SOARES, 2004), três configurações possíveis para o tratamento de esgotos combinados: (a) tratamento tradicional; (b) tratamento descentralizado do excedente; e (c) tratamento centralizado do excedente. Adicionalmente, incluiu-se o fluxograma correspondente à solução de: (d) armazenamento para posterior tratamento centralizado do excedente (BORNATICI; CIAPONI; PAPIRI, 2004; ROSSO; DIAS; GIORDANO, 2011; REDA *et al.*, 2014). Os quatro fluxogramas são apresentados na Figura 62.

As configurações apresentadas na Figura 62 são baseadas na adaptação do sistema de drenagem pluvial transformando-o em um sistema unitário e desconsidera a rede sanitária (do tipo separadora) caso exista na localidade.

As severas restrições impostas pelas regulações ambientais internacionais relativas aos sistemas unitários, que podem ser entendidas como aplicáveis aos sistemas de tempo seco, estabelecem a necessidade de implantação de dispositivos de retenção ou detenção dos extravasamentos e de tratamento dos esgotos combinados, a

depender da magnitude e frequência dos mesmos (DE TOFFOL, 2006 *apud* VOLSCHAN JR., 2020).

A configuração (a) tratamento tradicional em sistemas unitários é usual em países da Europa e na América do Norte, e nela a ETE é dimensionada para tratar a vazão de esgotos e uma parcela pequena das águas pluviais e o excedente é lançado nos corpos receptores através dos dispositivos de extravasão (CSOs), portanto não há tratamento do excedente nesta solução (BERNARDES; SOARES, 2004).

Do ponto de vista da capacidade, essas ETEs são usualmente dimensionadas para vazões de 2 (duas) a 4 (quatro) vezes a vazão máxima diária de esgotos sanitários (BERNARDES; SOARES, 2004). Em cidades europeias, operando SUs, as vazões máximas afluentes às ETEs durante os períodos chuvosos variam de 2 (duas) a 10 (dez) vezes as vazões máximas de período seco (LENS *et al.*, 2001 *apud* TSUTIYA; BUENO, 2004).

As configurações (b) *tratamento descentralizado do excedente* e (c) *tratamento centralizado do excedente* implicam em algum tipo de tratamento do excedente, sendo que o sistema (c) propicia uma redução de 20 a 30% no custo total do tratamento em relação ao sistema (b) (GEIGER, 1998 *apud* BERNARDES; SOARES, 2004).

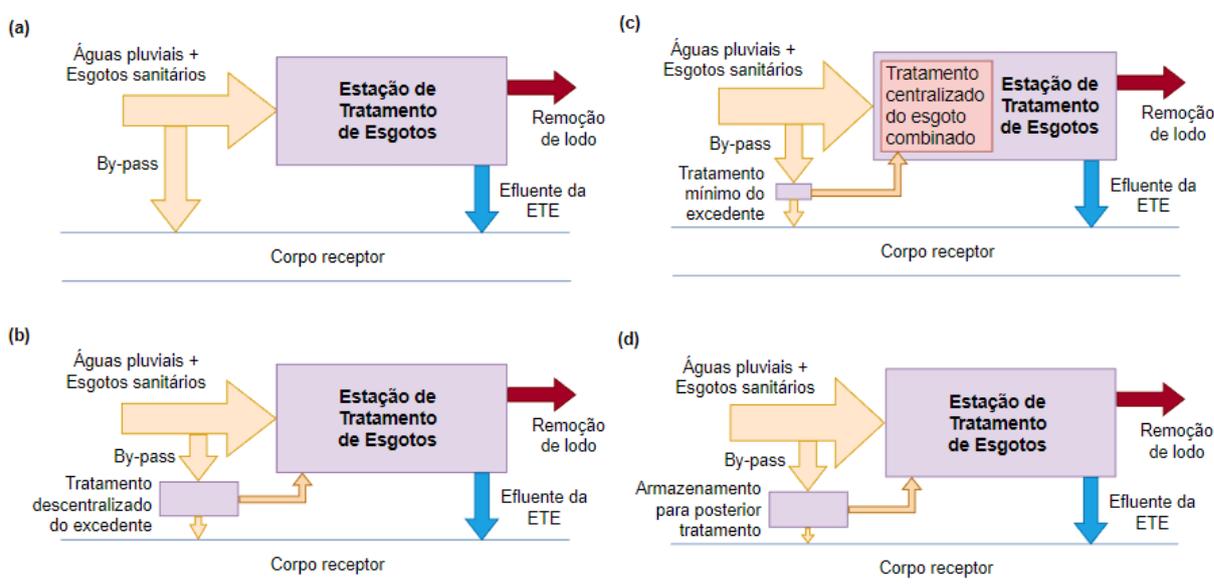


Figura 62 – Configurações possíveis de tratamento de esgotos combinados: (a) tratamento tradicional; (b) tratamento descentralizado do excedente; (c) tratamento centralizado do excedente, e (d) armazenamento para posterior tratamento centralizado do excedente.

Fonte: adaptado de Geiger (1998) *apud* Bernardes e Soares (2004).

Os sistemas de tratamento do tipo (d) *armazenamento para posterior tratamento centralizado do excedente*, cumprem importante papel para redução dos extravasamentos dos esgotos combinados, podendo ser implantados logo a montante da ETE (BORNATICI; CIAPONI; PAPIRI, 2004; REDA *et al.* 2014), ao logo do sistema em tubulação independente (SOONTHORNNONDA; CHRISTENSEN, 2008; TIDEWAY, 2022), no chamado armazenamento *off-line* (em paralelo); ou até mesmo ocorrer na própria tubulação de esgotamento, armazenamento *in-line* (em linha, no próprio fluxo), se houver capacidade excedente e condições apropriadas para o armazenamento temporário dos esgotos (LI; TAN; ZHU, 2010; YIN *et al.*, 2017).

Na linha deste tipo de solução (d) destaca-se o sistema em implantação na cidade de Londres, Inglaterra, denominado *Thames Tideway Tunnel Project* (Figura 63) que conta com a construção de um grande túnel com 25 km de extensão e 7,2 metros de diâmetro, localizado próximo, e sob, o rio Tâmisa a profundidades entre 25 e 65 metros que pretende coletar e armazenar, pelos próximos 100 anos, as águas residuárias que transbordariam os sistemas combinados para posterior tratamento, em condições adequadas à capacidade da ETE (TIDEWAY, 2022).

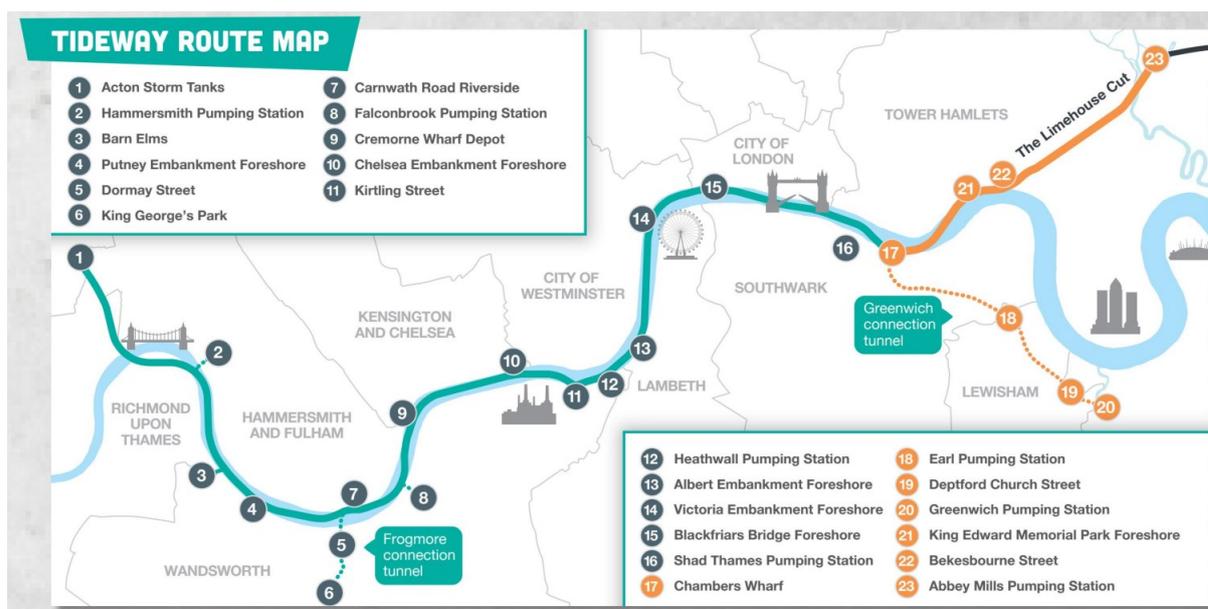


Figura 63 – Representação esquemática do túnel do projeto *Thames Tideway Tunnel* em implantação em Londres

Fonte: Tideway (2022).

Algumas cidades pelo mundo têm adotado sistemas robustos para a interceptação dos esgotos combinados em tempo úmido, provenientes dos extravasamentos dos SCs (CSOs), como sistema de controle da poluição no intuito de conduzir as águas residuárias vertidas para tratamento, podendo passar anteriormente por armazenamento temporário em tubulações ou em tanques especialmente criados para esse fim, e que direcionam, quando do estio, as vazões para uma estação de tratamento (BORNATICI; CIAPONI; PAPIRI, 2004; YIN et al., 2017; WANG et al., 2021; TIDEWAY, 2022). Uma série de publicações abordam os controles de “CSOs” como principal medida de redução da poluição ambiental urbana de origem que possuem a água como meio.

Uma estação para tratamento de esgotos combinados provenientes dos sistemas de CTTS segue as mesmas operações (físicas, químicas e biológicas) e processos (tratamento preliminar, primário, secundário - convencional e terciário - avançado), de uma ETE para um sistema de esgotos do tipo separador absoluto, no entanto, a concepção, o dimensionamento, e a operação da ETE possui algumas particularidades em função da maior variação das vazões e cargas afluentes (BERNARDES; SOARES, 2004).

A sobrecarga hidráulica pode ocorrer em consequência dos eventos de chuva e causar impactos operacionais negativos como as falhas nos processos de tratamento dos esgotos e redução da eficiência de tratamento (BERNARDES; SOARES, 2004; VOLSCHAN JR., 2020).

Os processos de tratamento preliminar e primário, como a sedimentação, flotação por ar dissolvido, gradeamento e filtração, são, normalmente, menos suscetíveis às variações dos esgotos combinados, pois operam em uma ampla faixa de vazões e podem permanecer ociosas por longos períodos de tempo sem perder eficiência, por outro lado, os decantadores primários podem ser afetados pelas baixas vazões já que os esgotos podem se tornar sépticos em função do elevado tempo de detenção e sob vazões altas pode perder eficiência de remoção de sólidos (METCALF; EDDY, 1991 *apud* BERNARDES; SOARES, 2004).

As operações biológicas que ocorrem em reatores aeróbios e anaeróbios podem ser impactadas pelo aumento da carga hidráulica ou pela redução do tempo de detenção,

provocando: perda de biomassa por arraste com o efluente, redução do tempo de residência celular e diminuição do grau de estabilização da matéria orgânica; e falha do sistema, pois o tempo de permanência da biomassa pode ser inferior ao seu tempo de crescimento (BERNARDES; SOARES, 2004).

Para se evitar as variações acentuadas de cargas hidráulicas e os consequentes impactos na performance operacional das ETEs, uma solução é a implantação de uma unidade à montante, um tanque de equalização do esgoto afluente à ETE, que amortece as vazões e também as variações de concentrações de poluentes, de forma semelhante aos usados nos sistemas combinados (BERNARDES; SOARES, 2004; VOLCHAN JR., 2020).

Adicionalmente, pode-se implantar medidas de controle e detenção das águas pluviais a montante e/ou fora das ETEs, por meio das técnicas compensatórias, que também podem reduzir as cargas de poluentes, especialmente as cargas de lavagem (*first-flush*) e melhorar a eficiência global do sistema de drenagem urbana (BORNATICI; CIAPONI; PAPIRI, 2004; BERNARDES; SOARES, 2004).

Conforme já mencionado nos itens anteriores, 5.4.4.4.2 e 5.4.4.4.3, as estruturas de desvio em tempo seco podem ser dimensionadas para controle da poluição por material grosseiro, resíduos sólidos e partículas minerais que normalmente são carregados pelas redes pluviais, a partir da implantação de unidades de tratamento preliminar em linha. Este tratamento se faz necessário sobretudo naqueles trechos onde se utiliza bombeamento para levar as vazões à estação de tratamento, a fim de preservar os equipamentos e tubulações, principalmente porque que a areia é abrasiva e provoca desgaste das superfícies do material. Mesmo não havendo o bombeamento, a remoção de partículas e resíduos favorece o escoamento adequado e minimiza as deposições prejudiciais que já foram indicadas no item 5.4.4.2.1, e que podem ocasionar em perdas de cargas hidráulicas e entupimentos (COPPETEC, 2018; VOLSCHAN JR., 2020).

Outra maneira de minimizar a abrasão por areia, principalmente das bombas, se dá com a cobertura das partes internas por camada cerâmica ou o uso de metais com maior teor de cromo (VOLSCHAN JR., 2020)

O tratamento preliminar, em linha pode ocorrer por meio da implantação de peneiras ou gradeamentos, seguidos por caixas de sedimentação de areia, ou desarenadores (COPPETEC, 2018; VOLSCHAN JR., 2020).

Outro equipamento indicado para instalação “em linha” no fluxo do sistema (*in-line*) e que visa a remoção de partículas minerais, sólidos em suspensão e matéria orgânica é o separador de sólidos tipo vórtex, apresentado na Figura 64, onde o fluxo descendente circular promove a separação dos materiais por meio da força centrípeta (GEHLING; BENETTI, 2005; COPPETEC, 2018).

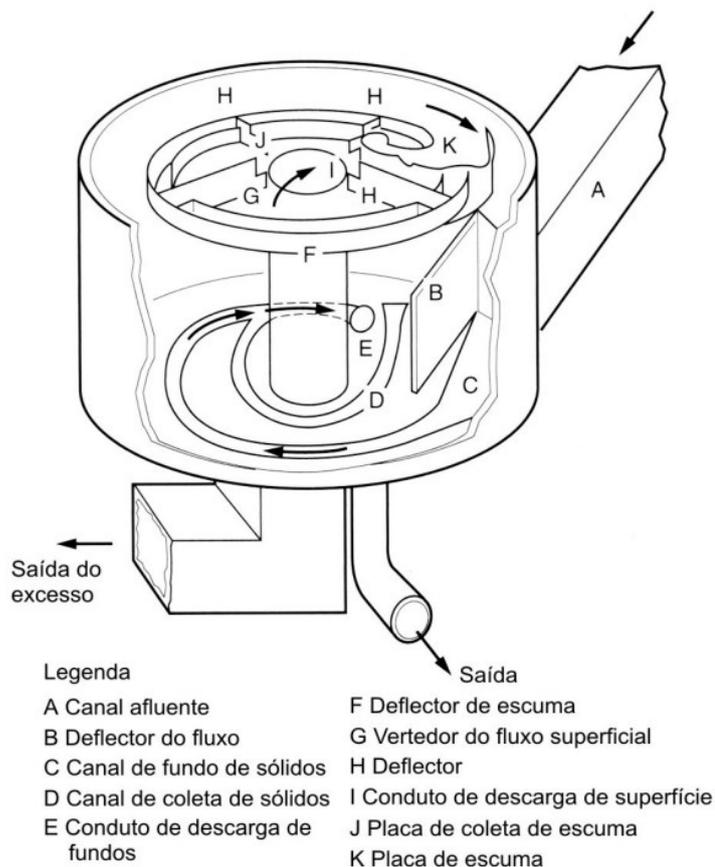


Figura 64 – Ilustração técnica de um separador de sólidos tipo vórtex

Fonte: Metcalf e Eddy (2003) *apud* Gehling e Benetti (2005).

A depender do uso que será dado às águas superficiais, como o uso recreacional, pode ser necessário a desinfecção para redução dos micro-organismos patogênicos (CHHETRI *et al.*, 2016 *apud* VOLSCHAN JR., 2020).

Em regiões costeiras, outro ponto de atenção para os sistemas de drenagem dotados de CTTS diz respeito a maior susceptibilidade de intrusão salina, principalmente durante as preamares, onde o nível do mar pode afogar as saídas das tubulações e fluir no sentido oposto ao fluxo normal e adentrar os dispositivos de captação e desvio dos esgotos, levando águas salinas ao tratamento de esgotos, onde podem afetar o tratamento biológico (KINCANNON; GAUDY, 1968 *apud* VOLSCHAN JR., 2020; WANG *et al.*, 2005 *apud* VOLSCHAN JR., 2020).

Situação semelhante se dá em cidades onde o fluxo dos rios, a depender da variação de nível, pode adentrar as tubulações, mesmo se não houver águas salinas, e impactar a operação e o tratamento por incorporar grandes vazões externas ao sistema (XU; YIN; LI, 2014; GUO *et al.*, 2020; YIN; ISLAM; JU, 2021).

Para solucionar esse problema, pequenos barramentos e anteparos podem ser instalados no sistema, a jusante dos desvios, para bloquear o fluxo das águas salinas ou ainda a instalação de válvulas de retenção que permitem o fluxo em apenas um sentido (XU *et al.* 2014; VOLSCHAN JR., 2020). Alguns exemplos de válvulas de retenção são apresentados na Figura 65.



Figura 65 – Válvulas de retenção para controle de fluxo (*backflow control*). (a) válvulas metálicas do tipo *flap*. (b) válvulas de elastômero flexíveis (*Tideflex*).

Fonte: (a) ECS Engineering Services (2016); (b) Red Valve (2023).

5.4.4.5 Operação e manutenção

No Brasil os sistemas de drenagem pluvial são operados por órgãos municipais de forma independente dos sistemas de esgotamento sanitário, estes em grande parte operados por companhias estaduais de saneamento. Os sistemas de CTTS por sua

vez envolvem as duas infraestruturas e necessitam de esforços constantes de operação e manutenção para garantir sua efetividade. Essa complexidade de agentes e sistemas exige a criação de mecanismos, modelos institucional e regulatório que consiga abarcar todas as necessidades (VOLSCHAN JR., 2020).

Cidades com carência de infraestruturas urbanas de pavimentação de vias, que possuem áreas em expansão com grande número de obras, e áreas sem serviços de coleta e manejo de resíduos sólidos, podem ter um desafio a mais para os sistemas de saneamento e em especial para as redes coletoras de sistemas combinados e redes de drenagem pluvial, o que inclui as que possuem sistema de coleta em tempo seco. Isso pois as águas de chuva tendem a carrear maior quantidade de solo expostos nas vias, passeios e lotes, assim como resíduos sólidos, para o sistema.

Esta realidade exige uma maior atenção tanto na concepção quanto na operação e conseqüentemente, na manutenção dos sistemas de drenagem e esgotamento de águas residuárias. Estas condições de urbanização podem demandar a realização de manutenções preventivas e corretivas específicas, assim como maior atenção e controle sobre os dispositivos de captação, válvulas, retentores de sólidos, etc. (VOLSCHAN JR., 2020; ABES, 2022c).

O aumento da capacidade de interceptação de um sistema de CTTS, ou por exemplo a incorporação do tratamento das cargas de lavagem (*first-flush*) reflete em maior eficiência no controle de poluição, mas, por outro lado, impacta na operação e no aumento das manutenções, podendo gerar condições operacionais adversas e comprometer a vida útil dos equipamentos e estruturas (VOLSCHAN JR., 2020; LOPES; KUSTERKO; VOLSCHAN JR., 2023).

Sobre o quesito de transporte de material grosseiro e resíduos, o sistema de CTTS contribui para o desvio desse material para o SES, o que desencadeia em uma série de necessidades de controle de materiais como areia, que pode se acumular em grande quantidade ao longo do sistema, incluindo os equipamentos, em especial os das estações elevatórias de esgotos. A Figura 66 ilustra grandes quantidades de areia acumuladas no sistema de bombeamento de esgotos (COPPETEC, 2018; VOLSCHAN JR., 2020).



Figura 66 – Acúmulo de areia (a) poço de sucção (b) voluta de equipamento de bombeamento

Fonte: COPPETEC (2018).

Resíduos sólidos também são transportados em grande quantidade e os sistemas de CTTS podem cumprir um importante papel no controle da poluição das águas doces e salgadas a partir das peneiras e gradeamentos instalados nos sistemas. Estas estruturas podem ter limpeza realizada manualmente ou de forma mecanizada em frequência adequada para não impactar no funcionamento dos sistemas e ao mesmo tempo não se torne onerosa excessivamente se a frequência for desnecessariamente elevada (COPPETEC, 2018).

A incorporação de excessiva água pluvial nos SSA-sanitários que recebam os desvios do sistema de CTTS em momentos de chuva pode sobrecarregar as redes e demais estruturas, causando pressões excessivas que podem danificar o sistema sanitário a jusante e impondo a necessidade de maior nível de manutenção do que o tradicional (FADEL; DORNELLES, 2015; VOLCHAN JR., 2020).

Segundo Santos *et al.* (2018) a manutenção da válvula de tempo seco, utilizada para interceptação na cidade de São Paulo, é determinante para eficácia do sistema e deve ocorrer semanalmente, e diariamente em períodos chuvosos, a fim de evitar travamentos do mecanismo de abertura e fechamento da mesma.

5.4.4.6 Eficiência

O desempenho do sistema de CTTS, que pode ser traduzido em eficiência, depende de sua concepção, o que inclui o dimensionamento e localização das estruturas de

interceptação, já que definem qual percentual da vazão que será desviada para tratamento, assim como se haverá controle da poluição difusa de origem pluvial (LI *et al.*, 2014; FADEL; DORNELLES, 2015; SANTOS *et al.*, 2018).

Adicionalmente, toda essa concepção influencia proporcionalmente a necessidade de maior ou menor esforços operacionais e de manutenções, preventivas e corretivas, para garantia da eficiência adequada e requerida para o sistema ao longo do tempo (SANTOS *et al.*, 2018; VOLSCHAN JR., 2020).

Segundo Fadel e Dornelles (2015) outra forma de avaliação da eficiência do desvio em tempo seco se dá utilizando um fator de vazão não interceptada, a qual pode ser utilizada para se estimar a carga de determinado poluente que é extravasada pelo sistema para os cursos de água (em DBO₅, por exemplo). Esse cálculo pode ser feito de forma comparativa entre a carga lançada no local antes e depois da implantação do sistema de CTTS. Para os autores este sistema só poderá ter sua eficiência comparada com o SSA-sanitário em períodos sem chuvas consideráveis.

Nesse mesmo sentido a eficiência de controle da poluição por meio da estratégia de CTTS deve ser baseado na magnitude e frequência dos extravasamentos e respectivas cargas de poluentes, que pode ser determinada por simulações e modelagens hidrológica e hidráulica (LAU *et al.*, 2002 *apud* VOLSCHAN Jr., 2020; MAILHOT *et al.*, 2015 *apud* VOLSCHAN Jr., 2020).

Quanto maior o grau de interconexões de esgotos nos sistemas pluviais, menor a eficiência do sistema separador absoluto pluvial, já que, mesmo havendo CTTS, uma parcela da carga de poluentes será descarregada nos corpos hídricos ao menos em tempo úmido. No caso do funcionamento em tempo seco, quando a capacidade de admissão do SSA não suportar toda a vazão de esgotos desviada, parte seguirá o curso natural da drenagem pluvial até atingir as águas superficiais a jusante (LI *et al.*, 2014; LOPES; KUSTERKO; VOLSCHAN JR., 2023).

Nesses sistemas que possuem elevado grau de interconexões indevidas, o aumento da capacidade de interceptação nos sistemas separadores pluviais pode ser uma abordagem efetiva para reduzir as cargas de poluentes lançadas no meio ambiente (LI *et al.*, 2014; FADEL; DORNELLES, 2015).

Nos casos avaliados pelos autores Li *et al.*, (2014) o desempenho dos SSA-pluviais dotados de CTTS não foram tão bons quanto se esperava devido ao nível elevado de interconexões e é sugerido que seja mais bem entendida a situação local ainda durante o planejamento dos sistemas de saneamento.

Outros fatores que influenciam a eficiência dos sistemas de CTTS, de forma análoga ao que se aplica aos sistemas unitários, são os relativos às condições ambientais pluviométricas: intensidade, duração e frequência das chuvas, assim como de aspectos físicos e antrópicos da bacia de drenagem, como o tamanho, a declividade, o coeficiente de *runoff* e da densidade populacional e tipo de ocupação (VOLSCHAN JR., 2020; LOPES; KUSTERKO; VOLSCHAN JR., 2023).

Chuvas de elevadas intensidades, durações e energia de propagação do escoamento na bacia fazem com que a estratégia de CTTS seja menos efetiva (ZAWILSKI; BRZEZINSKA, 2014 *apud* VOLSCHAN JR., 2020).

A eficiência de remoção de poluentes pode ser calculada tanto para uma determinada unidade de tratamento com base na equação 18 (VON SPERLING, 2017), a qual pode ser alargada para a análise da eficiência de um sistema.

$$E = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100 \quad , \quad \text{Equação 18}$$

onde: E = eficiência de remoção (%); C_o = concentração afluente do poluente (mg/L); C_e = concentração efluente do poluente (mg/L).

Para a análise da eficiência de um sistema, onde há variadas afluições e efluências com diferentes concentrações de poluentes, são realizados balanços de volumes que levam à avaliação das cargas de poluentes em determinado período (dia, mês, ano), dentre os quais destaca-se o ciclo anual que considera todo o ano hidrológico, como apresentado por Brombach; Weiss; Fuchs (2005), Li *et al.* (2014), e por Gonçalves; Kleidorfer; Rauch, (2017), por exemplo.

O cálculo do balanço hídrico de volumes realizado por Li *et al.* (2014) em sistemas de drenagem pluviais dotados de interceptação em tempo seco, representado pela Figura 70, possui 5 componentes e é expresso pela equação 19.

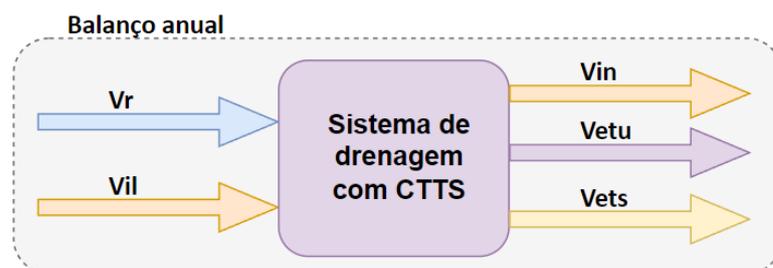


Figura 67 – Balanço hídrico anual de volumes em sistema de CTTS.

Fonte: adaptado de Li *et al.* (2014).

$$Vr + Vil = Vin + Vetu + Vets \quad \text{Equação 19}$$

onde: Vr = volume *runoff* (escoado); Vil = volume conexões ilícitas; Vin = volume interceptado; $Vetu$ = volume extravasamento de tempo úmido; $Vets$ = volume extravasamento em tempo seco.

Nos exemplos trazidos pelos autores, e apresentados na Tabela 5, para dois sistemas separadores pluviais de Shanghai, China (GSD e NJ), que possuem expressivos aportes de volumes ilícitos de esgotos sanitários, cabem algumas observações que não devem ser negligenciadas ao se avaliar a eficiência dos sistemas de CTTS em tempo seco. Embora o sistema GSD possua capacidade de interceptação superior ao volume aportado de conexões ilícitas, estas contribuições não são uniformemente distribuídas no tempo e existe ainda a interceptação de volumes em tempo seco que não correspondem a aportes sanitários, portanto, ocorre extravasamento em tempo seco ($395 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$), parcela que é aproximadamente metade do volume extravasado em tempo úmido ($839 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$) para o corpo receptor (LI *et al.*, 2014).

Tabela 5 – Balanço anual de volumes dos sistemas GSD e NJ, em Shanghai. ($\times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$)

Sistema SSA-pluvial	Volume <i>runoff</i> (escoado) (Vr)	Volume conexões ilícitas (Vil)	Volume interceptado (Vin)	Volume extravasamento de tempo úmido ($Vetu$)	Volume extravasamento em tempo seco ($Vets$)
GSD	1255	1291	1312	839	395
NJ	2844	6208	5535	1489	2028

Fonte: LI *et al.* (2014).

A avaliação da implantação de sistema de captação e tratamento em tempo seco em Joinville, estudada por Gonçalves, Kleidorfer e Rauch (2017), estima reduções de poluentes anuais significativas (Figura 68), se comparado com a situação atual no

município, onde não há tratamento de esgotos, e com a situação ideal, de implantação dos sistemas separadores desde o início de plano.

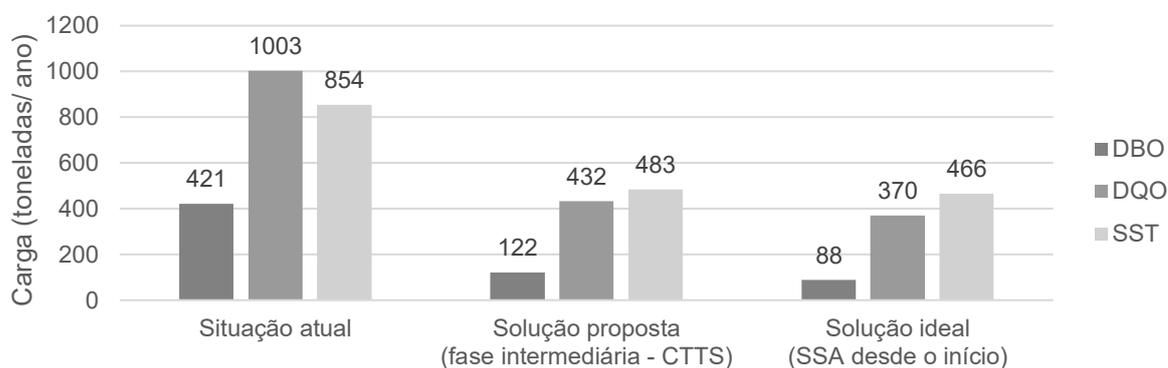


Figura 68 – Cargas de poluentes (DBO₅, DQO e SST) efluentes dos sistemas na situação atual (sem tratamento) em duas soluções estudadas: solução proposta (intermediária utilizando CTTS) e solução ideal (SSA desde o início do plano).

Fonte: Gonçalves, Kleidorfer e Rauch (2017).

Os dados acima indicam uma redução de poluentes com a implantação da solução proposta da ordem de 71,4%, 57,8% e 44,5%, respectivamente para DBO₅, DQO e SST e em termos de desempenho do sistema, indica 83,9%, 72,2% e 52,3%, respectivamente (GONÇALVES; KLEIDORFER; RAUCH, 2017).

O estudo corrobora a análise da sazonalidade do desempenho do sistema em função das chuvas ao apresentar reduções de poluição inferiores para o mês mais chuvoso, de verão, com remoções da ordem de 61,2%, 45,5% e 31,3% para DBO₅, DQO e SST, respectivamente, enquanto para o mês de inverno, as remoções ficaram na ordem de 89,6%, 81,9% e 66,1%, respectivamente. Os autores afirmam que a pluviometria anual na cidade de Joinville (2051,8 mm para o ano de 2012) é superior à da maioria das cidades brasileiras, o que pode favorecer a eficiência das CTTS em outros locais (GONÇALVES; KLEIDORFER; RAUCH, 2017).

O estudo realizado para a zona oeste cidade do Rio de Janeiro (bacias de drenagem da Barra da Tijuca e Jacarepaguá) com área de 280 km² e aproximadamente 900 mil habitantes, sendo cerca de 300 mil habitam ou ocupam áreas de urbanização informal em 195 favelas, possuía projeto conceitual para implantação de 132 captações em tempo seco. Foi realizada a modelagem hidráulica das estruturas, sendo 86 delas implantadas nas redes coletoras de microdrenagem pluvial e 46 delas em canais

abertos de macrodrenagem, e foram avaliadas as potenciais sobrecargas hidráulicas nos sistemas de esgotos existentes e os eventuais extravasamentos em termos de número de eventos e de cargas de DBO₅ e P (VOLCHAN JR., 2020).

Os resultados indicaram que as CTS tinham capacidade interceptar em média 11 toneladas de DBO₅ por dia, correspondente a uma eficiência de 86% em termos de controle de poluição por esgotos; mais de 50% das estruturas de captação puderam atingir eficiência superiores a 90%; e apenas 10% das estruturas apresentaram eficiências inferiores a 35%. Destaca-se que as menores eficiências foram decorrentes de condições ambientais, como as chuvas de altas intensidades, durações e frequências, e locais como as altas declividade, impermeabilização e densidade populacional da sub-bacia de drenagem (VOLCHAN JR., 2020).

Outro estudo propõe um sistema de CTTS na cidade de Arraial do Cabo, no estado do Rio de Janeiro e avalia sua eficiência por meio das cargas diárias de DBO₅ reduzidas em tempo seco e que podem atingir cerca de 76% (VERÓL *et al.*, 2020).

A eficiência percentual de redução de poluentes é uma das referências estabelecidas nas resoluções ambientais brasileiras (CONAMA) como padrão de controle dos lançamentos de efluentes na natureza, conforme é descrito no item 5.4.5. (BRASIL, 2011).

Ao se avaliar o sistema de captação em tempo seco como estratégia de melhoria da qualidade das águas dos corpos receptores, além da análise posterior das concentrações e cargas de poluentes lançados, é interessante se medir a qualidade das águas antes da intervenção no sistema para uma análise dos impactos e avaliação dos resultados (FADEL; DORNELLES, 2015).

Fadel e Dornelles (2015) avaliaram a implantação de CTTS em um sistema na cidade de Porto Alegre, na bacia hidrográfica do arroio Capivara e calcularam que o sistema reduziria 85% o lançamento de carga orgânica (DBO₅), considerando a carga transportada pela vazão desviada para o tratamento. Esta análise, portanto, não avalia a eficiência de remoção da ETE. Uma análise interessante realizada pelo estudo diz respeito aos dias sem chuva no ano, que corresponde em média a 76% do tempo, e

indica que nesse período, toda os esgotos seriam desviados ao tratamento em tempo seco (FADEL; DORNELLES, 2015).

A separação efetiva dos sistemas, que deve ser o objetivo final de projeto dos sistemas de CTTS, visa retirar os esgotos das redes de drenagem pluvial e as infiltrações e influxos excessivos das redes sanitárias e tem o potencial de aumentar significativamente a eficiência dos sistemas.

O efeito da separação é simulado por Chen *et al.* (2019) para três sistemas da cidade de Shenzhen e é apresentado no item 5.4.5, a seguir. Nesta análise podem ser analisadas, a partir da Figura 74, as eficiências da redução das cargas de alguns poluentes, porém, a despeito das reduções atingidas com a separação de até 90% entre os sistemas, as cargas anuais remanescentes de poluentes carreadas pelos escoamentos superficiais (*runoff*) permanecem bastante expressivas para DQO e praticamente inalteradas para NH₃-N, e indicam que o tratamento das águas pluviais é uma necessidade para que os sistemas urbanos de drenagem sejam de fato eficientes no controle da poluição.

Conforme mencionado, a possibilidade de controle da poluição proveniente dos escoamentos superficiais tem potencial para melhoria da eficiência dos sistemas de drenagem de águas urbanas e as estruturas de CTTS, mesmo após a completa separação dos sistemas pode ser utilizada para o controle dessa poluição difusa de origem pluvial, e em especial aquela advindas dos primeiros minutos das chuvas, com maior carga de poluentes (*first-flush*) (VOLSCHAN JR., 2020; VERÓL *et al.*, 2020).

Na cidade de Shanghai, segundo Li, Ma e Zeng (2009), a Autoridade de Água de Shanghai estabeleceu a instalação de instalações de interceptação em tempo seco para quase todas as estações elevatórias de bombeamento de águas pluviais, a fim de tentar sanar os problemas causados pelas conexões ilícitas e seus lançamentos nos corpos hídricos. Em 2004 um estudo indicou que 33 das 88 estações de bombeamento de águas pluviais da área central da cidade recebiam e descarregavam 15% dos esgotos sanitários diretamente para os rios. Com a interceptação desses esgotos aproximadamente 46% do volume lançado em tempo seco foi reduzido e as cargas totais de poluentes foram reduzidas.

Por outro lado, a partir da implantação dos sistemas de interceptação uma grande quantidade de material se deposita e acumula nos condutos em tempo seco e nos momentos subsequentes de tempo úmido se erodem e são carregados, especialmente, durante chuvas intensas. Esta ressuspensão aumenta consideravelmente as concentrações, principalmente, de DQO, SS e PT e promove choques significativos de cargas de poluente nesses momentos. Segundo os autores apenas a interceptação dos esgotos em tempo seco é insuficiente para resolver os problemas causados pelas conexões ilícitas (LI; MA; ZENG, 2009).

5.4.5 Aspectos ambientais dos CTTS

Relativamente aos aspectos ambientais, são trazidas algumas discussões sobre os impactos dos esgotos sanitários, esgotos combinados e das águas de escoamento pluvial no meio ambiente, quando não tratados adequadamente; discussões sobre os impactos positivos ou negativos dos sistemas de CTTS na natureza, além de outras questões que possam ter relevância para a análise ambiental como, ações mitigadoras, dispositivos específicos ou normativos que mencionem as variáveis, indicadores ou parâmetros físico-químicos e biológicos utilizados para subsidiar as análises técnicas-ambientais e outras informações provenientes dos estudos de caso.

A análise de aspectos ambientais dos sistemas de CTTS perpassa as premissas necessárias para qualquer sistema de esgotamento sanitário, calcados na sustentabilidade e que podem ser descritas como:

Um sistema urbano de drenagem sustentável deve manter a proteção à saúde pública, evitar a poluição local ou distante do meio ambiente, minimizar o uso de recursos naturais, como a água, energia e materiais, deve ser operável a longo prazo e adaptável para atendimento às exigências futuras (BUTLER; PARKINSON; 1997, p.53).

Segundo YIN *et al.* (2017), a poluição carregada pelos sistemas separadores de drenagem pluvial pode ser proveniente de várias fontes como: qualidade da água de chuva; escoamento superficial dos telhados e vias; conexões ilícitas; despejos ilegais; descargas de empresas.

Enquanto muita atenção já foi dada em estudos que avaliam os sistemas separadores de drenagem pluvial do ponto de vista da caracterização das águas pluviais

transportadas, dos parâmetros de poluição em tempo úmido, e também do ponto de vista da comparação da poluição destes sistemas com os sistemas unitários, muito menos esforço acadêmico tem sido empreendido em discussões sobre a poluição promovida pelos sistemas de drenagem que recebem aportes sanitários por conexões inapropriadas, em especial na investigação sobre a relação entre as entradas de esgotos sanitários em tempo seco e os correspondentes extravasamentos em tempo seco e úmido (YIN *et al.*, 2017).

As tão comuns conexões sanitárias ilegais ao sistema de drenagem, que ocorrem mesmo em áreas de urbanização recentes dotadas de SSA, são responsáveis por constantes lançamentos de esgotos nos cursos de água, sujeitando esses ambientes a sérios riscos pela poluição, caso não sejam adotadas medidas de controle (CHEN *et al.* 2019).

As interconexões entre os sistemas separadores sanitário e pluvial causam disfuncionalidades que impactam o meio ambiente, seja por vazões em tempo seco ou em tempo úmido (chuvoso), como já mencionado. A Figura 69, apresenta os fluxos de geração de poluentes em:

- tempo seco: esgotos sanitários, infiltrações, influxos, e as águas de lavagens superficiais que fluem para a microdrenagem urbana; e
- tempo úmido: esgotos combinados da mistura de águas de escoamento superficial, esgotos sanitários, infiltrações e influxos, e ainda os extravasamentos da rede sanitária por sobrecarga devido às infiltrações e influxos.

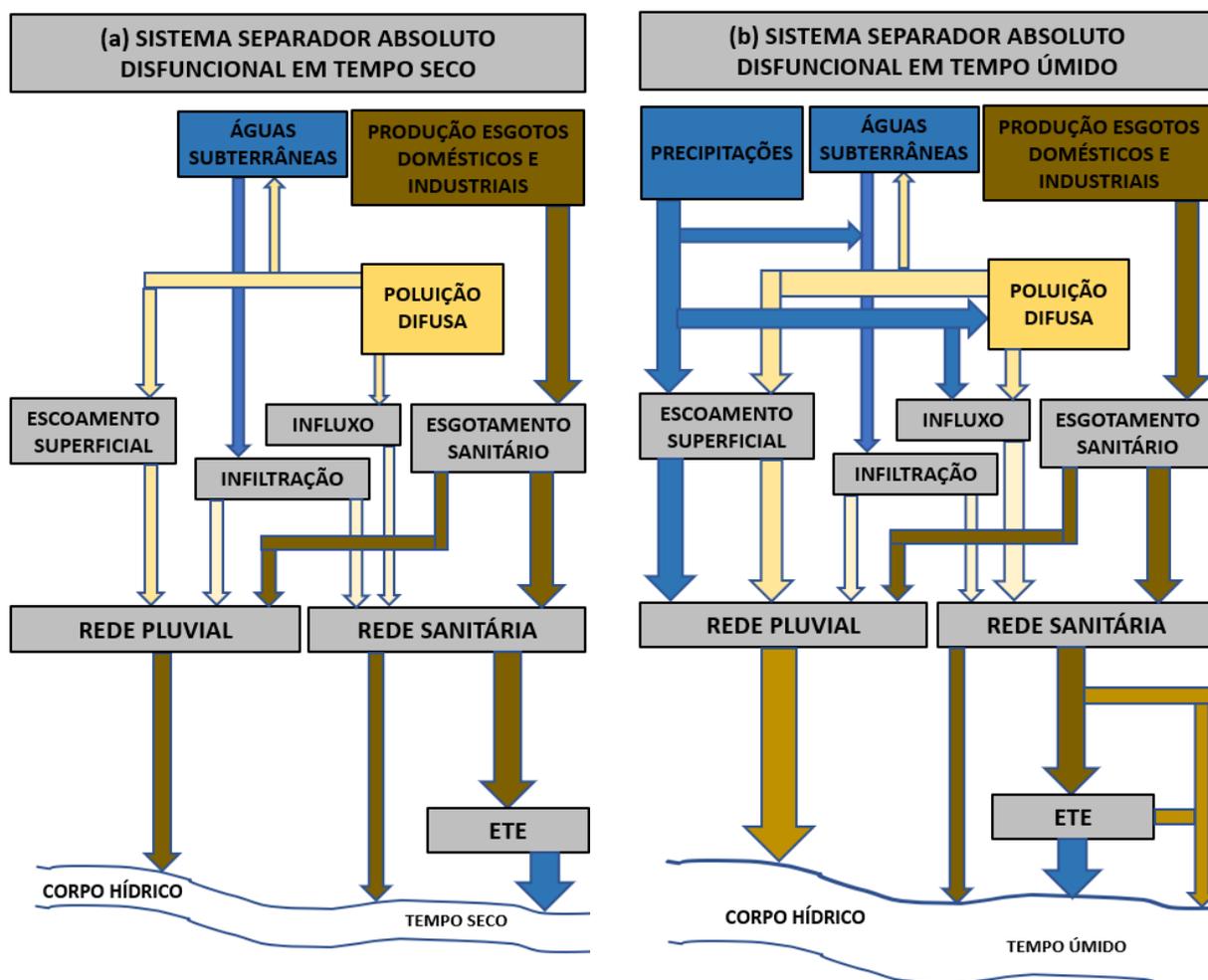


Figura 69 – Sistema separador absoluto (SSA) disfuncional devido às diferentes interconexões nas redes pluvial e sanitária. (a) fluxos em tempo seco; (b) fluxos em tempo úmido.

Fonte: autoria própria (2023).

Alguns autores indicam que as interconexões de esgotos sanitários nos sistemas de drenagem pluvial, mesmo que dotados de CTTs, levam as concentrações de poluentes lançados em tempo úmido, quando dos extravasamentos, a valores semelhantes aos que ocorrem nos extravasamentos dos sistemas combinados em tempo úmido (PENG *et al.*, 2015 *apud* LI *et al.*, 2022; XU *et al.* 2017 *apud* LI *et al.*, 2022). Li *et al.* (2014) chegam às mesmas conclusões para a carga anual dos seguintes poluentes: DQO; SS; NT; $\text{NH}_4^+\text{-N}$; e PT para as cidades de Shanghai e Hefei na China.

No caso dos sistemas unitários, os eventos de extravasão decorrentes de chuvas excessivas em relação à capacidade do sistema, são as maiores preocupações no que diz respeito à poluição ambiental e são alvos de rigorosos e progressivos

controles ao longo das últimas décadas em diversos países do mundo (FIELD *et al.*, 1994; FADEL; DORNELLES, 2015).

Conforme já mencionado, é amplamente relatado que os sistemas unitários, ou combinados, são mais adequados, em termos de efetividade, para países com clima subtropical, os quais apresentam regimes pluviométricos (intensidades, durações e frequências de chuvas) baixos se comparadas com os que ocorrem em algumas regiões de países tropicais como o Brasil (TSUTIYA; SOBRINHO, 2000; TSUTIYA; BUENO, 2004; DIAS; ROSSO, 2011; ROSSO; DIAS; GIORDANO, 2011; PEREIRA; MATOS; FERREIRA, 2020; VOLCHAN JR., 2020).

Essa realidade implica também em menor efetividade dos sistemas de CTTS, já que os extravasamentos podem ocorrer com maior frequência em locais com elevada pluviometria. Nesse sentido, cabe mencionar que mesmo nos SSAs sanitários, quando disfuncionais, ou seja, com excesso de influxos provenientes das chuvas, os extravasamentos de esgotos combinados são mais frequentes e deletérios para o meio ambiente do que em SSAs sanitários sem aportes excessivos de águas pluviais.

No entanto, como já mencionado, as particularidades locais, geográficas e ambientais relacionadas a pluviometria deve ser considerada em um projeto de um SES, sendo este um princípio estabelecido pela Lei 14.026/2020. A Figura 70 apresenta as discrepâncias pluviométricas na extensão do território brasileiro em termos de média de chuva por ano, em milímetros.

Verifica-se que há mínimos em torno de 600 mm/ano, no semiárido brasileiro, em estados da região nordeste, como Bahia, Pernambuco e Piauí, assim como máximos que variam de 2500 a até 2800 mm/ano na região norte, mais especificamente no norte da Amazônia, nos estados do Amazonas, Roraima, e nas costas dos estados do Amapá e Pará (Figura 70).

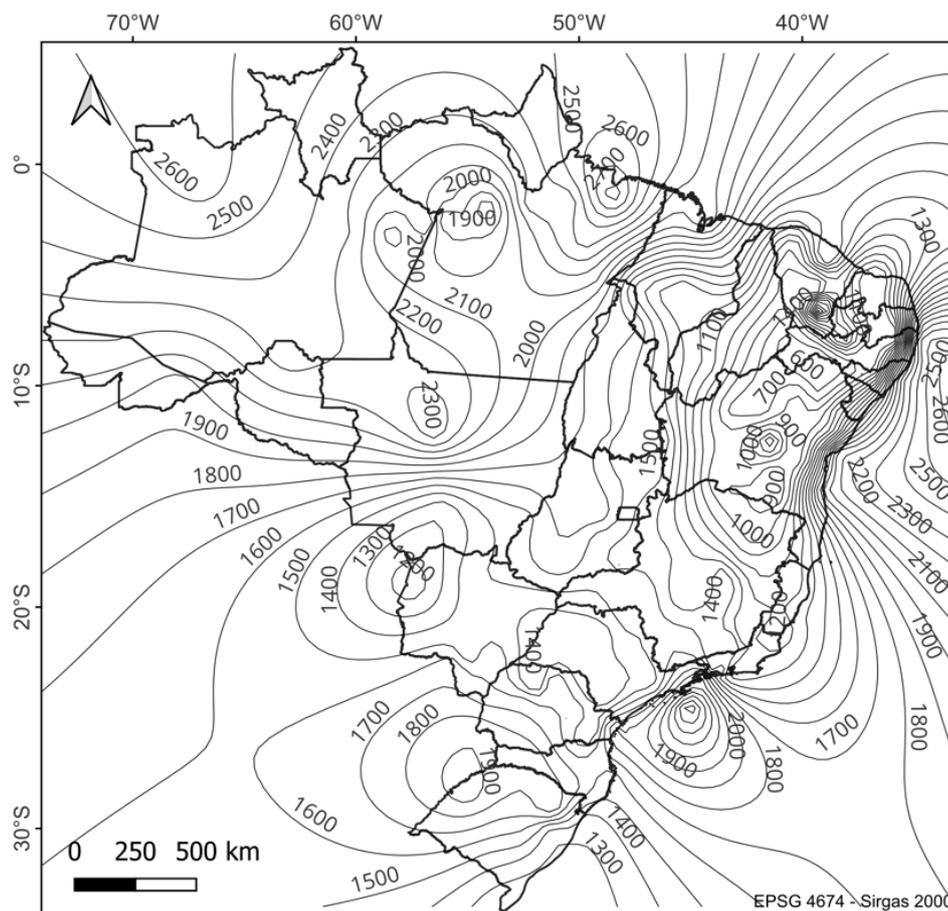


Figura 70 – Mapa de isoietas no Brasil. Precipitação média anual. Metadados ANA.

Fonte: adaptado de Brasil (2023).

Em Shanghai, no sistema de drenagem pluvial analisado por Yin *et al.* (2017), existe bombeamento para extravasamento das elevadas vazões dos tubos de drenagem pluvial (Figura 71) e as interconexões de esgotos são de tamanha magnitude que mesmo em tempo seco e com os sistemas de interceptação em operação há lançamentos de esgotos nos cursos de água já que a capacidade de interceptação é insuficiente para evitar os extravasamentos.

A referida publicação compara o sistema separador implantado em três diferentes situações: operando por gravidade, em tempo seco, sem acionamento das bombas e sem extravasamentos; operando em tempo seco com acionamento das bombas e gerando extravasamento; operando em tempo úmido sob bombeamento (por até 6 bombas) e extravasamento. Além disso, os parâmetros analisados para o sistema nessas condições de operação são comparados com os dados de outra publicação na mesma cidade que avaliam sistemas unitários, e indicam que os sistemas

separadores pluviais disfuncionais podem ser piores em controlar a poluição, mesmo com CTTS, do que os sistemas unitários (YIN *et al.*, 2017).



Figura 71 – Esquema do SSA disfuncional dotado de CTTS em Shanghai, China. Drenagem pluvial e sanitária interligados por interceptação de final de tubo pluvial, dotado de bombeamento para extravasamento.

Fonte: traduzido de Yin *et al.* (2017).

Li *et al.* (2014) avaliam comparativamente o desempenho dos SSAs de drenagem pluvial dotados de CTTS com os SCs e afirmam que, diferentemente do que era esperado, não são observadas vantagens inequívocas dos sistemas SSAs, ainda que dotados de CTTS, em relação aos CSs avaliados, no quesito controle da poluição difusa. Em tempo úmido, as cargas anuais de DQO, SS, NT, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ e PT lançadas em tempo úmido para os dois tipos de sistemas forma semelhantes em uma mesma cidade. As cargas anuais em tempo seco são responsáveis pela maior parte da carga total anual lançada pelos SSAs com muitas interconexões de esgotos. E os SSAs com capacidade de interceptação insuficientes, apresentam cargas totais anuais superiores às apresentadas pelos SCs.

Chen *et al.* (2019) relatam que os impactos nos corpos hídricos dos esgotos combinados extravasados de sistemas combinados de esgotos (*combined sewage overflow – CSO*) têm sido amplamente investigados, por outro lado, os impactos dos extravasamentos dos esgotos combinados provenientes dos sistemas de interceptação nas drenagens pluviais (*interception system overflow – ISO*), não têm sido discutidos na sua totalidade.

Em sistemas separadores absolutos disfuncionais existem ainda as conexões de águas pluviais nos sistemas sanitários, devido aos aportes excessivos de // o que causa os extravasamentos (SSOs), mencionados anteriormente.

Li *et al.* (2014) indicam que há uma correlação positiva entre a carga de poluentes lançada anualmente e a taxa de conexões ilícitas observadas nos SSAs pluviais interceptados.

Independentemente do tipo de sistema que provoca a poluição, se os de drenagem pluvial dotados de CTTS ou os SUs, os impactos podem ser contínuos, ou durar por horas, ou por dias, no caso de extravasamentos esporádicos, comuns em tempo úmido. Os principais problemas causados aos corpos receptores são comuns entre eles e indicados como (GEHLING; BENETTI, 2005; CHEN *et al.*, 2019; PEREIRA; MATOS; FERREIRA, 2020; LI *et al.*, 2022):

- Mau cheiro;
- Alteração da cor;
- Alteração da turbidez;
- Redução do oxigênio dissolvido;
- Eutrofização com lançamento de nutrientes (nitrogênio e fósforo);
- Crescimento de plantas indesejáveis;
- Contaminação por microrganismos patogênicos;
- Contaminação por micropoluentes derivados do petróleo;
- Contaminação por metais pesados;
- Propagação de doenças;
- Outros problemas relacionados à ecotoxicidade no meio;
- Assoreamento de material grosseiro e de lodo;
- Limitação ou impedimento de diferentes usos da água, como abastecimento humano e animal, recreação e balneabilidade;
- Contaminação e impactos diversos relacionados aos materiais grosseiros e resíduos sólidos transportados pelas redes de drenagem.

Embora os autores reforcem que em ambos os sistemas as cargas de poluentes provêm principalmente dos escoamentos superficiais pluviais e dos esgotos

sanitários, a diferenciação se justifica (ao menos para o estudo de caso reportado, e detalhado abaixo), pelos aspectos espaciais da localização dos dispositivos hidráulicos de coleta em tempo seco e de extravasão. Enquanto nos SCs os dispositivos de desvio de esgotos se localizam nos coletores, antes dos esgotos adentrarem nos coletores tronco (ou nos interceptores), e os extravasores (CSO) se situam distantes e com pouca interação uns com os outros, no caso dos sistemas estudados todo esgoto combinado é direcionado ao interceptor (Figura 55), implantado nas margens dos cursos de água, e que possuem uma série de orifícios laterais para extravasão (*ISOs*) dos efluentes para o curso de água ao seu lado, ao longo de toda (ou quase toda) a extensão do interceptor e cujos efeitos podem interagir entre si (CHEN *et al.*, 2019).

A poluição do meio ambiente pode ocorrer a partir de SSA pluvial ainda que existam implantados os sistemas de interceptação em tempo seco em todos os sistemas, pois suas capacidades de desvio em tempo seco podem ser insuficientes para levar ao tratamento toda vazão lançada na rede (LI *et al.*, 2014). No entanto, se comparado com a situação de um sistema pluvial com relevantes aportes sanitários, os sistemas de CTTS podem promover a redução da degradação ambiental de forma mais rápida e assim como acelerar o atingimento da meta de enquadramento do corpo hídrico (MACHADO; BORJA; MORAES, 2013).

Chen *et al.* (2019) realizaram um estudo em Shenzhen, cidade costeira no sudeste da China, com intuito de avaliar os impactos dos extravasamentos dos *ISOs* de sistemas de CTTS existentes em 3 diferentes sub-bacias: *Dasha river* (DSR); *Xinzhou river* (XZR); e *Futian river* (FTR). O artigo avaliou o potencial de extravasamento a partir da quantificação da altura de precipitação crítica que provoca os eventos (Figura 72), realizou a análise dos volumes extravasados assim como as cargas de DQO e de $\text{NH}_3\text{-N}$ lançadas anualmente nos corpos hídricos nesses eventos. Estes parâmetros foram escolhidos pois nesses cursos de águas os mesmos não cumprem os requisitos dos padrões de qualidade locais.

As quantificações foram analisadas a partir de aspectos físicos e espaciais da bacia hidrográfica e dos interceptores, como o uso e ocupação do solo, declividade e seções das galerias (Figura 73). As análises foram feitas distinguindo duas principais fontes

de contribuições, sanitárias (preto) ou pluviais (branco), o que permitiu o entendimento sobre o impacto relativo de cada escoamento nos corpos hídricos (CHEN *et al.*, 2019).

Percebe-se que os esgotos sanitários contribuem para volumes extravasados significativamente menores do que os escoamentos pluviais, como era de se esperar, e são responsáveis por lançar maiores cargas anuais dos poluentes NH₃-N (CHEN *et al.*, 2019).

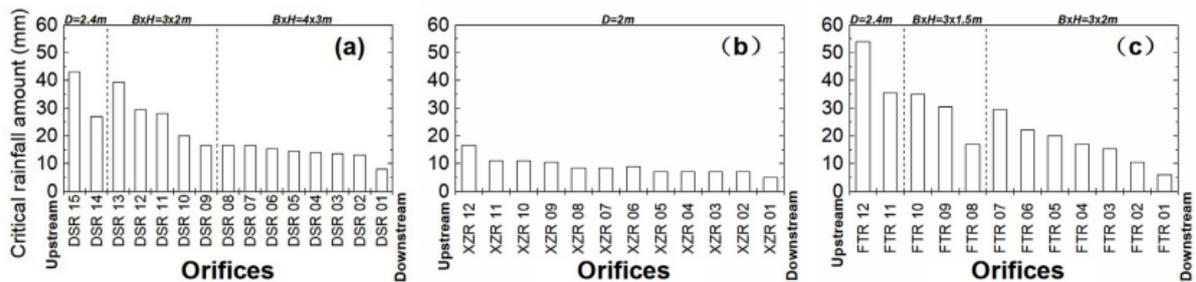


Figura 72 – Chuva crítica (mm) que provoca extravasamento dos orifícios (*orifices*) em cada subsistema (a: DSR; b: XZR; c: FTR) de montante (*upstream*) para jusante (*downstream*) e indicação da seção transversal do interceptor (D: diâmetro; BxH: base x altura).

Fonte: Chen *et al.* (2019).

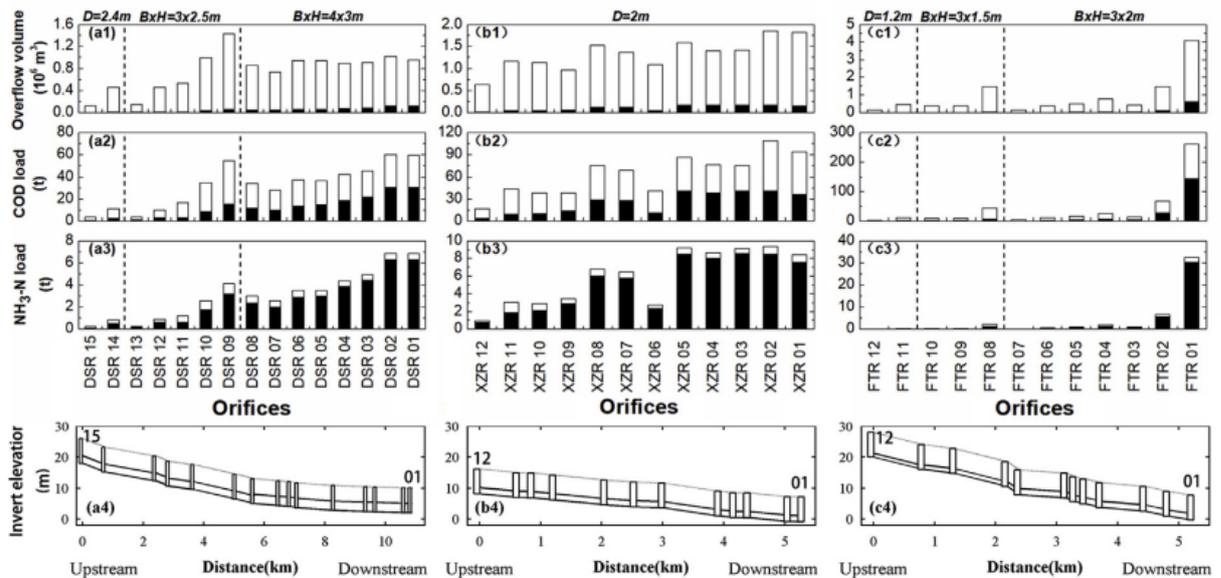


Figura 73 – Volumes (m³) e cargas poluentes (t) anuais extravasadas pelos orifícios de ISO em cada subsistema (a: DSR; b: XZR; c: FTR) de montante (*upstream*) para jusante (*downstream*) e indicação da seção transversal do interceptor (D: diâmetro; BxH: base x altura) e perfil longitudinal dos interceptores.

Fonte: Chen *et al.* (2019).

Segundo os autores a variação espacial das cargas de DQO é semelhante à variação dos volumes totais extravasados em cada posição (orifício) ao longo do interceptor, e a variação espacial das cargas de $\text{NH}_3\text{-N}$ são semelhantes à variação dos volumes de esgotos sanitários (preto) (CHEN *et al.*, 2019).

As águas provenientes das precipitações são responsáveis por aportar mais carga (cerca de 60%) de DQO aos cursos de água do que os esgotos sanitários. Isso porque os volumes são mais significativos para as contribuições pluviais a despeito das concentrações: pluvial - 100 a 600 mg/L e sanitária: 220 a 250mg/L. A relação se inverte para $\text{NH}_3\text{-N}$, cujas cargas provenientes dos esgotos sanitários são mais expressivas (em média 87%) do que dos escoamentos pluviais (CHEN *et al.*, 2019).

Além disso, avaliou-se qual o potencial de redução do impacto desses extravasamentos em cinco cenários em que ocorre a progressiva separação dos esgotos (sanitários e pluviais), variando de 10% a 90%. Embora os gráficos apresentem a redução dos volumes de esgotos e a manutenção dos volumes de águas pluviais com as sucessivas separações, é indicado que estas se dariam por meio da construção de novas redes de drenagem pluvial (CHEN *et al.*, 2019).

Os resultados são apresentados na Figura 74, extraída do artigo, que apresenta as simulações dos efeitos da separação dos esgotos para os volumes extravasados e para as cargas dos dois poluentes nos três subsistemas: DSR; XZR; e FTR. Verifica-se que as análises foram feitas distinguindo-se as diferentes fontes das contribuições, sanitárias (preto) ou pluviais (branco), o que permitiu o entendimento do impacto relativo de cada escoamento nos corpos hídricos e a eficiência potencial da separação dos esgotos por meio da construção de novas redes pluviais (CHEN *et al.*, 2019).

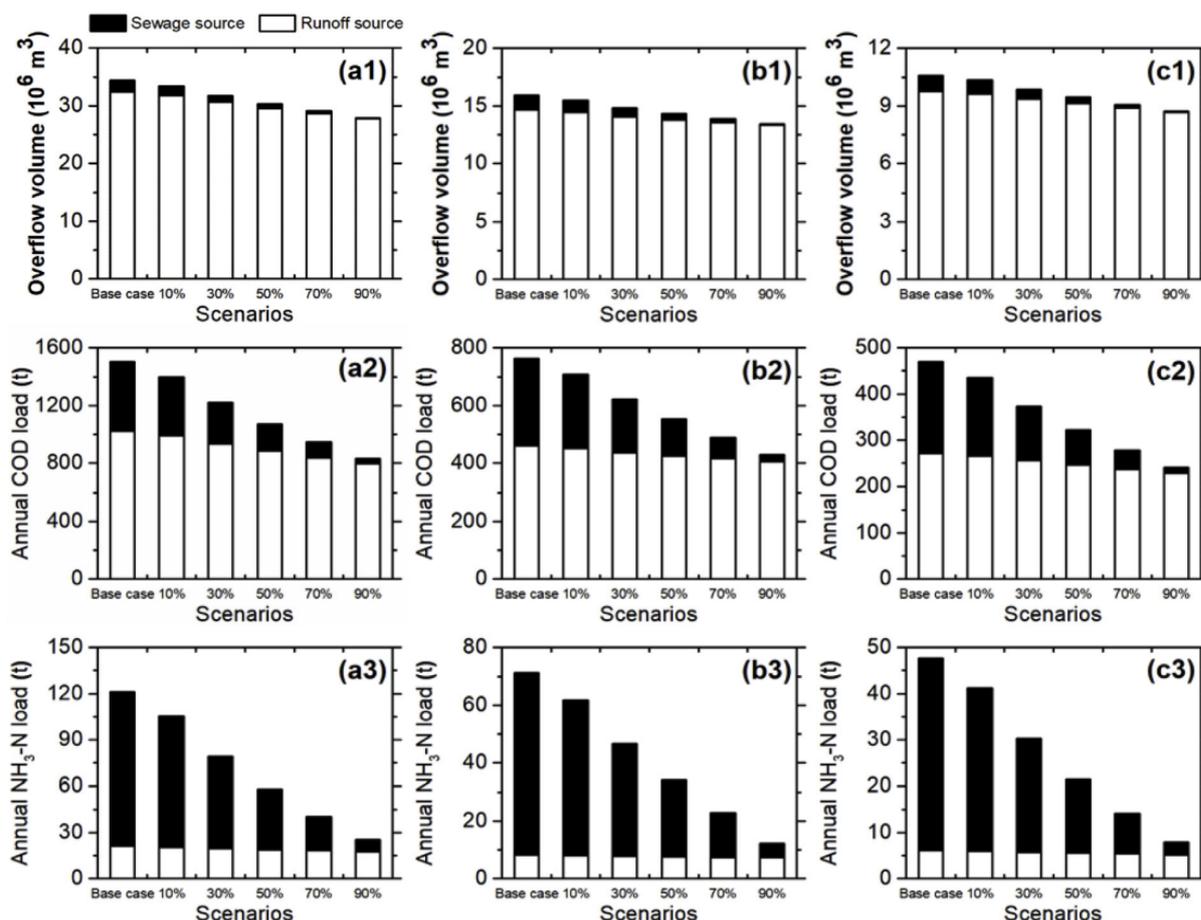


Figura 74 – Estimativa da redução de volumes e cargas anuais de poluentes extravasados (DBO_5 e $\text{NH}_3\text{-N}$) de esgotos combinados, a partir do cenário de referência (*Base case*) com a separação percentual progressiva (de 10% a 90%) dos esgotos sanitários (preto) e de origem pluvial (branco) em três subsistemas (a: DSR; b: XZR; c: FTR).

Fonte: Chen *et al.* (2019).

No cenário de referência (*Base case*) os esgotos sanitários são responsáveis proporcionalmente por cerca de 30 a 45% das cargas de DBO_5 lançadas anualmente nos cursos de água. Essas cargas reduzem gradativamente a cada aumento percentual da separação, chegando a uma razão proporcional de aproximadamente 10%. Para o parâmetro $\text{NH}_3\text{-N}$ a separação de esgotos proporciona uma redução muito expressiva, da ordem de 90%, 92% e 85%, para os três subsistemas, respectivamente. Embora a separação possa reduzir significativamente a poluição provocadas pelos esgotos, ela não consegue reduzir significativamente as cargas de poluentes provenientes do escoamento superficial das chuvas, pois os volumes extravasados de chuvas são muito elevados e superiores ao dos esgotos sanitários (CHEN *et al.*, 2019).

Os lançamentos de efluentes gerados pelas atividades humanas, o que inclui as ETEs, precisam ser controlados e monitorados com determinada frequência que garantam as condições mínimas estabelecidas para manutenção e/ou progressão da qualidade das águas superficiais, permitindo seus diferentes usos de forma adequada (BRASIL, 2005; BRASIL, 2011). Este tipo de controle através do enquadramento dos corpos hídricos existe no Brasil e existe também em outros países, como na China.

A maior parte dos parâmetros listados nas resoluções n.º 357 e n.º 430, em especial os metais pesados, não são frequentemente encontrados nos esgotos sanitários, entretanto podem ser identificadas nos esgotos combinados, já que a variedade de poluentes carreados pelas águas pluviais é significativamente maior (BERNARDES; SOARES, 2005).

A DBO₅ foi identificada em alguns estudos referentes ao Brasil como parâmetro utilizado para avaliar a eficiência de remoção de carga poluidora extravasada por sistemas de CTTS (FADEL; DORNELLES, 2015; VERÓL *et al.*, 2020). Sendo que em um deles a carga total de DBO₅ efluente, lançada nos corpos receptores, avaliada a partir do cálculo do fator de vazão não interceptação dos esgotos pelo sistema de CTTS, antes da implantação o fator seria de 100% não interceptada e após a implantação da interceptação esse fator se reduz (FADEL; DORNELLES, 2015).

Sobre as condições e padrões de lançamentos de efluentes, a Resolução CONAMA N.º 430/2011 estabelece uma redução mínima de 60% de DBO₅ para o lançamento de efluentes de qualquer fonte poluidora diretamente no corpo receptor (BRASIL, 2011), o que pode incluir os lançamentos provenientes das redes pluviais, com aportes de esgotos, assim como os extravasamentos de esgotos combinados em tempo úmido desviados pela caixa de derivação dos sistemas de CTTS (FADEL; DORNELLES, 2015).

Para os lançamentos provenientes de sistemas de tratamento de esgotos, a norma estabelece concentração máxima de 120 mg/L de DBO₅, sendo que este limite poderá ser ultrapassado em caso de eficiência de remoção mínima de 60%, ou mediante estudo de depuração que comprove o atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor (BRASIL, 2011).

5.4.6 Aspectos sociais e de saúde pública dos CTTS

Além dos impactos causados ao meio ambiente aquático, a mistura de águas pluviais e esgotos sanitários lançam poluentes e substâncias tóxicas que ameaçam a saúde das pessoas (WEI *et al.*, 2019).

A elevado grau de poluição das águas urbanas que pode decorrer dos lançamentos de esgotos sanitários e combinados em tempo chuvoso nas cidades geram impactos negativos na paisagem e assentamentos urbanos, afeta sensorialmente as pessoas, principalmente os residentes, assim como a imagem da cidade perante a comunidade internacional (WANG *et al.*, 2021; YIN; ISLAM; JU, 2021).

As experiências brasileiras demonstram que grande parte dos problemas atuais tem relação com a forma como se deu a urbanização, com rapidez e pouco ou nenhum planejamento, e verifica-se que não é viável o provimento efetivo de sistemas de esgotamento sanitário e drenagem urbana se forem desconsiderados os aspectos sociais, institucionais, físicos e ambientais (SOARES; PARKINSON; BERNARDES, 2005).

A população habitante em áreas informais, favelas, ocupações e habitações inadequadas no Brasil são drasticamente impactadas pela falta de infraestrutura de saneamento e, conseqüentemente, sofrem pelo atendimento inadequado com esgotos não coletados ou precariamente coletados e tratados. Nesse sentido o problema de habitação e de poluição ambiental por esgotos são intimamente relacionados e a qualidade das águas só serão melhoradas quando superados os desafios da habitação irregular (VOLSCHAN JR., 2020).

A Tabela 6 indica como o acesso a serviço de coleta de esgotos no Brasil varia em função da renda domiciliar para o ano 2000. Embora esses números devam se mostrar melhores atualmente, em função dos avanços no saneamento básico e de renda, expressam claramente a diferença socioeconômica que existe na oferta de serviços sanitários básicos para a população brasileira.

Tabela 6 – Renda por domicílio e acesso à sistema de coleta de esgotos no Brasil - ano 2000.

Renda por domicílio (R\$)	< 714	714 - 1905	1905 - 3571	> 3571
Acesso à sistema de coleta (%)	32,4	55,6	67,1	75,9

Fonte: Soares, Parkinson e Bernardes (2005).

A ocupação espontânea e ilegal do território urbano, em especial as periferias e áreas *non aedificandi* das cidades, muitas vezes tem relação com a falta de moradia e a maior facilidade para aquisição de terrenos e imóveis com valores atrativos à população de baixa renda. A realidade de crescimento desordenado dessas regiões traz consigo demandas diversas inerentes à população como saúde, transporte, lazer, segurança e o saneamento básico (SANTOS *et al.*, 2018).

A carência de saneamento básico nesses locais é muitas vezes grave e o alto adensamento do território, com pouco espaço para a entrada e implantação dos serviços públicos, dificulta a utilização de tecnologias e sistemas padronizados. Essa realidade somada à ausência da atuação do poder público muitas vezes leva à implantação de sistemas simplificados autoconstruídos pelos moradores, que geralmente não resolvem os problemas, mas ao menos amenizam a situação com o afastamento dos esgotos gerados.

Segundo Brum *et al.* (2018) a implantação e uso dos sistemas de drenagem pluvial para afastamento dos esgotos, pré-tratados ou não, podem trazer benefícios para a sociedade, minimizando o contato direto da população com os efluentes.

Diante do exposto, o planejamento futuro dessas áreas é difícil de predizer e o estabelecimento de uma sistemática a partir de modelagens que simulem a complexidade envolvida, permitindo trabalhar com a necessária flexibilidade, pode ser importante para a tomada de decisão e para a escolha de soluções sustentáveis que tenham capacidade de serem alteradas diante das dinâmicas condições envolvidas (SOARES; PARKINSON; BERNARDES, 2005).

As soluções de esgotamento sanitário, o que inclui aquelas que adotem as CTTS, devem levar em consideração, como já foi dito, dois princípios: a universalização e a adoção de tecnologias apropriadas (MACHADO; BORJA; MORAES, 2013), este que

deve, portanto, ser adequado à realidade local, que normalmente tem relação próxima com o contexto socioeconômico estabelecido.

Os ambientes urbanos, com seus problemas, precisam ser tratados como sistemas complexos, necessitando uma abordagem interdisciplinar, sistêmica e participativa, a fim de compreender todas as dinâmicas existentes que o compõem de forma interligada e interdependente, dentre as quais as relativas ao espaço natural, ao ambiente construído e às pessoas que neles vivem (VERÓL *et al.*, 2020).

Segundo Lopes, Kusterko e Volschan Jr. (2023) as soluções de captação em tempo seco são difundidas em áreas urbanas formais de capitais, como o Rio de Janeiro, Salvador e Florianópolis, e também de cidades menores no estado do Rio de Janeiro. Já em áreas informais das cidades, como os aglomerados subnormais, loteamentos irregulares e favelas, desprovidas de infraestrutura de saneamento adequada, o sistema também é aplicável para o desvio de esgotos em tempo seco dos elementos de drenagem para a sistema sanitário existente.

Na Região dos Lagos, estado do Rio de Janeiro, os projeto de coleta através de sistemas separadores em áreas de ocupação desordenada (favelas e habitações precárias) atingiram apenas 30% dos esgotos produzidos, no entanto após a uso da alternativa de captação em tempo seco na região os índices de coleta e tratamento subiram para 60% dos esgotos produzidos, e o custo do sistema se reduziram pela metade e os resultados para a recuperação das lagoas de Araruama e Saquarema já são observados (SANTOS; JOHNSON, 2012; FADEL; DORNELLES, 2015).

Para que se consiga a separação total e efetiva dos esgotos, que é o objetivo final de planejamento de um SES, mesmo nos locais em que se utilize temporariamente as CTTs, é necessário encampar ações de educação ambiental para a população e dos demais envolvidos para garantir que não se agrave as interconexões ilegais (FIELD *et al.*, 1994).

Relativamente às questões de saúde pública, é sabido que os esgotos sanitários contribuem em larga escala para a propagação de doenças de veiculação hídrica, uma vez que em sua composição há excretas humanos e animais que contêm bactérias, vírus, protozoários que podem provocar doenças se houver contato humano. Dito isso,

os sistemas de CTTS se implantados onde não há coleta adequada e nem tratamento de esgotos pode promover melhoria das condições sanitárias locais e a jusante, no entanto, o sistema não impede que ainda haja lançamentos de esgotos nos corpos receptores nos momentos de chuvas (LI *et al.*, 2022).

O avanço crescimento das cidades, somado ao desenvolvimento, com a melhoria das condições de vida da população, aumento da renda e do acesso aos serviços de abastecimento de água, maior consumo de água ocorre e conseqüentemente maior quantidade de esgotos é gerada, e caso a os serviços de esgotamento sanitário adequados não acompanhe esta expansão, as condições ambientais se degradam acarretando em comprometimento da saúde pública com a propagação de doenças de veiculação hídrica (VON SPERLING, 2005 *apud* TOLEDO *et al.*, 2021).

Relativamente ao impacto à vida aquática, os lançamentos de esgotos sanitários e industriais podem provocar a contaminação de seres vivos, nomeadamente, peixes, crustáceos ou causar a mortandade dos mesmos. Como consequência, esses efeitos podem levar à contaminação humana e de outras espécies animais pela cadeia alimentar ou ainda impactar atividades econômicas, como a pesca, a recreação e o lazer que dependem da qualidade das águas para serem exercidas em sua plenitude (LI *et al.*, 2022).

A implantação dos sistemas de CTTS com a construção de anteparos no fundo do sistema de drenagem pode elevar o perfil hidráulico no sistema e provocar remansos que aumentem o risco de extravasamentos e inundações das vias nas áreas urbanas (VOLSCHAN JR., 2020). Essa disfunção operacional deve ser minuciosamente observada e simulada, pois pode levar a aumentos no contato das pessoas e animais com os micro-organismos patogênicos supramencionados e afetar a saúde da população. Além disso, o aumento das inundações provoca transtornos e perdas materiais que afetam fortemente outros aspectos da vida, como o social e o econômico.

5.4.7 Aspectos econômicos dos CTTS

Relativamente aos aspectos econômicos dos sistemas de CTTS, são trazidas discussões em nível qualitativo e quantitativo identificadas nas publicações, tanto para

implantação (*Capital Expenditure* – CAPEX), quanto para operação e manutenção (*Operational Expenditure* – OPEX), assim como, são discutidos alguns aspectos relativos às receitas operacionais e o custo-benefício, aspectos econômicos necessários para avaliar a viabilidade dos sistemas de tempo seco (VOLSCHAN JR., 2020).

Além disso são trazidos alguns conceitos econômicos disponíveis em Von Sperling (2017) para complementar e fundamentar as análises, adaptando-os para a realidade dos projetos de CTTS.

Cabe destacar que os custos de implantação e de operação em sistemas de tratamento de esgotos, juntamente com a simplicidade e a sustentabilidade da estação, são os quatro aspectos mais críticos na seleção dos sistemas em países desenvolvidos. Isto quer dizer que estes aspectos vão além da importância que são conferidas aos aspectos como eficiência, confiabilidade, disposição do lodo, requisitos de área e sustentabilidade ambiental. Já nos países desenvolvidos essa importância se inverte, basicamente (VON SPERLING, 2017).

Von Sperling (2017) menciona que para a realização de estudos econômicos das alternativas de tratamento de esgotos sanitários devem ser avaliados os diferentes aspectos que influenciam nos custos dos sistemas para determinado local, dentre eles destacam-se: característica do esgoto, processo e critérios de projeto, condições e custos locais como o de energia, mão de obra, materiais e terreno. Estas condicionantes podem ser entendidas como aplicáveis a todos os SES, e sejam úteis para a avaliação econômica dos sistemas de CTTS.

5.4.7.1 CAPEX

A implantação dos sistemas de esgotamento sanitário impõe um grande desafio de ordem financeira para que as prefeituras, ou outra entidade responsável pelos sistemas de saneamento básicos, implantem seus sistemas adequadamente, já que os sistemas demandam grandes investimentos em projetos e em obras, o que leva à impossibilidade de algumas localidades em implantar ambas infraestruturas, de drenagem pluvial e sanitária, em sistemas separadores, e a implementação apenas das primeiras: a rede pluvial (GONÇALVES; KLEIDORFER; RAUCH, 2017). Nesse

cenário algumas prefeituras acabam por permitir a interligação dos esgotos na rede de drenagem pluvial (FADEL; DORNELLES, 2015).

Dentre os custos de implantação, pontuais no tempo, destacam-se (ARCEIVALA, 1981 *apud* VON SPERLING, 2017):

- Custos de projetos, supervisão e taxas legais;
- Custos de compra ou desapropriação de terrenos;
- Custos de construção, incluído equipamentos e instalações;
- Juros dos empréstimos durante o período de construção.

Conforme mencionado, estimam-se que para a universalização dos serviços de esgotamento sanitário no Brasil sejam necessários R\$ 101,9 bilhões em coleta de esgotos (considerando SSA) o que representam 68% do total de recursos financeiros necessários para a universalização dos serviços de esgotamento sanitário (BRASIL, 2017a).

Números semelhantes são apresentados por Pereira; Matos; Ferreira, (2020) que indicam que cerca de 30% dos custos de implantação dos sistemas separadores são relativos às estruturas de coletores tronco, elevatórias, linhas de recalque e estações de tratamento, e os demais 70% são os custos referentes as redes coletoras separadoras.

Alguns autores enfatizam a importância da utilização de ambos os sistemas no Brasil, SU e SSA, uma vez que não haverá tempo nem recursos financeiros para a implantação apenas do SSA, e que a separação absoluta deve ser implementada progressivamente mediante adaptações dos sistemas mistos já existentes em muitas cidades (PINTO; CAVASSOLA, 2011 *apud* FADEL; DORNELLES, 2015).

Os custos de implantação, assim como nos demais sistemas de esgotos variam em função das condições locais, como as geográficas, geológicas, pluviométricas, de uso e ocupação do solo; e das premissas de projeto definidas, podendo ser citadas algumas como a vazão admissível do sistema a jusante, taxa de interceptação, e padrões de qualidade das águas a serem atendidos no local.

O sistema unitário possui vantagens financeiras e operacionais em relação ao sistema separador, como custos de implantação inferiores por se tratar de uma única rede e elimina os problemas decorrentes das ligações clandestinas (TUCCI, 2005 *apud* BRUM *et al.* 2018).

Por outro lado, em relação aos custos de implantação e operação das estações de tratamento de sistemas combinados, estes tendem a ser mais altos devido à necessidade de maior dimensionamento das estruturas, para vazões superiores, já que uma parcela maior de contribuições “não-sanitárias”, correspondentes as águas pluviais, misturadas ao esgoto, deve adentrar ao tratamento (GEHLING; BENETTI, 2005). Essa constatação deve ser análogo para os sistemas de CTTS.

O dimensionamento dos sistemas de CTTS, quando incorporar tratamento da poluição difusa (*first-flush*), deve ser maior do que no caso dos sistemas para tratar apenas as vazões em tempo seco, esgotos sanitários, o que conseqüentemente, aumentam os custos de implantação e de operação e manutenção. A incorporação de águas do escoamento superficial contribui para aportes de poluentes, dentre os quais se destacam os resíduos sólidos urbanos, SST, e material grosseiro, como areia. Esses materiais podem demandar a implantação de estruturas de tratamento preliminar das vazões desviadas do sistema de drenagem, antes do transporte para a ETE, como por exemplo gradeamentos e desarenadores.

A solução de utilização das redes de drenagem pluvial existentes, adaptadas para a captação de esgotos em tempo seco, pode ser uma solução que requeira menores investimentos iniciais do que a solução que implante as redes separadoras de forma imediata (GONÇALVES; KLEIDORFER; RAUCH, 2017).

Como referência para as redes de CTTS, apresentam-se os custos de implantação das redes coletoras de esgotos e dos interceptores de esgotos nas Tabela 7 e Tabela 8, respectivamente. Os custos variam em função de diferentes tipos de solo, das profundidades e das populações e foram atualizados de abril de 2010 para março de 2023 (VON SPERLING, 2017).

Tabela 7 – Faixas típicas de custos de implantação de redes coletoras de esgotos.

Tipo	Número de dados	Faixa de valores no banco de dados				Custos por metro linear *		Custos por habitante *	
		Profundidade (m) (min-máx)		População (hab) (mín-máx)		(R\$/m) (25-75 %il)		(R\$/hab) (25-75 %il)	
Solo com < 10% pedras e < 40% pavimentado	6	1,15	1,74	254	7 231	213	243	451	869
Solo com > 10% pedras e > 40% pavimentado	12	0,85	1,76	296	13 998	245	363	1 214	1 727

* Valores atualizados de abril de 2010 para março de 2023 pelo Índice Nacional da Construção Civil (INCC), acumulado em 145,35%.

Fonte: adaptado de Von Sperling (2017).

Tabela 8 – Faixas típicas de custos de implantação de interceptores de esgotos.

Tipo	Número de dados	Faixa de valores no banco de dados				Custos por metro linear *	
		Profundidade (m) (min-máx)		População (hab) (mín-máx)		(R\$/m) (25-75 %il)	
Solo com < 10% pedras; diâmetro <300mm	26	0,75	2,46	49	7 955	304	542
Solo com > 10% pedras; diâmetro >300mm	6	1,52	2,52	7 976	61 125	606	1 259
Solo com > 10% pedras. diâmetro <300mm	7	0,92	2,78	316	6 067	483	655
Condições especiais	8	1,08	2,14	1 277	176 637	923	1 232

* Valores atualizados de abril de 2010 para março de 2023 pelo Índice Nacional da Construção Civil (INCC), acumulado em 145,35%.

Fonte: adaptado de Von Sperling (2017).

Os custos de implantação dos SES na cidade de Joinville, Santa Catarina, apresentados por Gonçalves, Kleidorfer e Rauch (2017) indicam que financeiramente pode ser mais econômico implantar a solução proposta, por meio de uma fase intermediária, que aproveita as redes pluviais com as captações em tempo seco, conforme indica a Tabela 9, do que implantar o SSA-sanitário de imediato (solução ideal).

Tabela 9 – Custo de implantação das duas alternativas: solução ideal e solução proposta.

Solução	Instalações	Unidade	Quantidade	Custo * (R\$ x 1000)	Custo Total* (R\$ x 1000)
Solução ideal					
SSA desde o início do plano	Conduitos	m	41 249	34 137	44 183
	EEE	–	8	1 975	
	ETE	L/s	56,3	8 072	
Solução proposta					
Fase Intermediária (SC aproveitando rede pluvial e tratando esgotos em tempo seco)	Conduitos	m	6 832	9 420	(a) 25 790
	EEE	–	4	4 263	
	ETE	L/s	63,7	8 338	
	Bacia de detenção	m ³	1 075	3 769	
Fase Final (SSA a partir do 15° ano do início do horizonte de projeto)	Conduitos	m	34 425	27 624	(b) 28 243
	EEE	–	5	619	
	Valor presente (taxa interna de retorno = 4%)				(c) 15 683
Total				(a)+(c) 41 473	

* Valores atualizados de dezembro de 2015 para março de 2023 pelo Índice Nacional da Construção Civil (INCC), acumulado em 64,57%. Taxa de conversão de Dólar Americano (US\$) para Real (R\$): US\$ 0,21 / R\$. Utilizado taxa interna de retorno de investimento de 4,0%.

Fonte: adaptado de Gonçalves, Kleidorfer e Rauch (2017).

Além disso, os benefícios sanitários e ambientais são conseguidos mais rapidamente aproveitando as infraestruturas de condução já instaladas, mesmo considerando que a pluviometria local é relativamente mais elevada se comparada a média de outras cidades do Brasil (2051 mm/ano; 2012) e em tempo chuvoso haverá extravasamentos de esgotos combinados para os corpos receptores (GONÇALVES; KLEIDORFER; RAUCH, 2017).

Verifica-se que a solução intermediária, com o faseamento dos investimentos se mostra financeiramente vantajosa, ao custo de R\$ 41 473 mil, que é cerca de 6,1% menor se comparado com os R\$ 44 183 mil do custo da solução ideal, que investe todo o montante no início do horizonte de projeto. Isso se dá devido ao fato de que os investimentos realizados na fase final, estimados em R\$ 28 243 mil, seriam aplicados 15 anos após o início de plano (GONÇALVES; KLEIDORFER; RAUCH, 2017).

Salienta-se que a análise realizada acima leva em conta apenas os custos de implantação das estruturas e os outros custos como os de operação e manutenção devem ser avaliados, assim como consideradas outras variáveis de ordem econômica e financeira para a comparação e subsídio da escolha de alternativa.

Para intervenções pontuais de captação em tempo seco, com a implantação das válvulas de tempo seco (VTS) em galerias de águas pluviais na cidade de São Paulo, apresentam-se os custos de mão-de-obra e de materiais na Tabela 10, adaptado de Santos *et al.*, (2018). O custo total estimado, atualizado para 2023, é de R\$ 1 174,03.

Tabela 10 – Estimativa custo de mão de obra e materiais para implantação de uma VTS

Mão de obra	Preço/hora (R\$/ hora) *	Quantidade (hora)	Subtotal (R\$)
Líder	26,01	8	208,10
Encarregado	55,74	8	445,92
Operador de Escavadeira	17,09	8	136,75
Agente	17,09	8	136,75
Total de mão de obra			927,51
Material	Preço unitário (R\$) *	Quantidade (unidade)	Subtotal (R\$)
Tubo PVC ocre D=300mm	39,72	1	39,72
Tampa polietileno	177,07	1	177,07
Conjunto molas e parafusos	29,73	1	29,73
Total de material			165,85
TOTAL (mão-de-obra + materiais)			1 174,03

* Valores atualizados de janeiro de 2018 para março de 2023 pelo Índice Nacional da Construção Civil (INCC), acumulado em 48,64%.

Fonte: adaptado de Santos *et al.* (2018).

Nos sistemas da região oeste do Rio de Janeiro, apresentados anteriormente (item 5.4.4.6), os custos de implantação das CTS em 2018, incluindo o tratamento preliminar (gradeamento/ peneiramento, desarenadores, e conexões por gravidade ou bombeamento) foi estimado em U\$ 209 000,00 para cada intervenção em tubulação de microdrenagem pluvial e em U\$ 456 000,00 por cada intervenção em canal de macrodrenagem (calha fluvial) (VOLSCHAN JR., 2020). Tais valores equivalem em março de 2023, em reais, a R\$ 1 467 272,60 e R\$ 3 201 322,03, respectivamente, atualizados pelo INCC.

O PEMAPES no Estado da Bahia estima uma economia de recursos da ordem de 41% com as obras de implantação dos sistemas de tempo seco, que aproveitam as redes mistas (BAHIA, 2011a; MACHADO; BORJA; MORAES, 2013).

Ainda assim, os valores estimados correspondiam a aproximadamente R\$ 2,2 bilhões em 2011 e atualizados para março de 2023, chegam a R\$ 5,12 bilhões. Ressalta-se que o PEMAPES indicou que em 90% das 404 cidades avaliadas, as redes de

drenagem pluvial recebem e conduzem esgotos sanitários e em apenas 17% das cidades existem redes de sistemas separadores que encaminham os esgotos para unidades de tratamento (BAHIA, 2011a).

Vários autores descrevem que, dentre as maiores dificuldades da separação minuciosa dos sistemas de drenagem pluvial e de esgotamento sanitário, se encontram os elevados custos, especialmente em uma região altamente urbanizada (CHEN *et al.*, 2019).

Como os sistemas unitários, os quais segundo a Lei 14.026/2020 se enquadram os sistemas de captação em tempo seco, devem ser utilizados de forma temporária até que se implemente os sistemas separadores livres de interconexões, é necessário se aferir os custos de separação das redes a serem considerados nos projetos.

Os custos unitários da separação das interconexões de esgotos nos sistemas de drenagem pluvial para reconectá-los corretamente às tubulações sanitárias são apresentados por Ellis e Butler (2015) na Tabela 11, baseados em diferentes estudos. A média dos valores foi calculada em R\$ 23 537,71 por conexão ilícita corrigida.

Tabela 11 – Estimativa de custo unitário para separação das interconexões ilícitas no SDP.

Estudo	Ano	Local	Intervenção	Tipo do custo da intervenção	Custo/conexão reparada (£)	Custo/conexão reparada (R\$) *
Environmental Agency	2014	Londres (NE)	identificação, reparo e retificação	–	786,00	8 863,40
UKWIR UK - Water Industry Research	2013	Inglaterra	identificação, reparo e retificação	–	1 462,50	17 867,16
MWH (Thames Water)	2008	Brent, Londres (N)	reparo e retificação	baixo custo	500,00	8 778,84
				alto custo	2 624,00	46 071,35
Brown <i>et al.</i>	2004	EUA	identificação, reparo e retificação	–	1 554,00	36 107,79
Média					1 385,3	23 537,71

* Valores atualizados de janeiro do referido ano de cada estudo para março de 2023 pelo Índice Nacional da Construção Civil (INCC). Taxa de Conversão de Libra Esterlina (£) para Real (R\$): U\$ 0,165 / R\$.

Fonte: adaptado de Ellis e Butler (2015).

Para se estimar os custos globais da separação dos esgotos devem ser mensurados também os impactos econômicos no comércio local quando as obras causarem

transtornos significativos, mesmo que temporários nas dinâmicas urbanas, já que este é um importante contratempo segundo relata Estados Unidos (1999).

Apesar de os sistemas de captação e tratamento em tempo seco serem reconhecidos e aceitáveis durante o período de transição nos sistemas de esgotos, de acordo com a Lei 14.026/2020, ainda não está claro como eles serão financiados pelos programas governamentais voltados para a infraestrutura de saneamento.

5.4.7.2 OPEX

Os custos operacionais, OPEX envolvidos na operação de projetos de CTTs, são pouco discutidos pelas publicações incluídas embora possa-se indicar que eles dependem das características locais do sistema, e podem variar em função das estruturas e equipamentos implantados, da declividade e condições de escoamento, do uso e ocupação do solo, da eficiência do sistema de limpeza e manejo dos resíduos sólidos urbanos.

Os custos de operação e manutenção são incluídos dentro dos chamados custos anuais, aqueles distribuídos no tempo e dentre eles destacam-se (ARCEIVALA, 1981 *apud* VON SPERLING, 2017):

- Juros dos empréstimos;
- Amortização dos empréstimos;
- Depreciação do sistema;
- Seguro do sistema;
- Custos de operação e manutenção dos sistemas.

É sabido que o OPEX dos sistemas de CTTs tendem a ser mais elevados do que dos sistemas separadores sem interconexões de esgotos, já que os a deterioração das tubulações e estruturas de concreto em contato com os esgotos sanitários reduz a vida útil e exige maior limpeza, desobstrução e reparos de seus componentes. Além disso, os sólidos sedimentáveis e resíduos sólidos carregados pelo escoamento superficial impõem desafios que implicam em maiores custos de operação como mão de obra, energia e de maiores necessidades de manutenções devido aos desgastes dos equipamentos (MACHADO; BORJA; MORAES, 2013; VOLSCHAN JR., 2020).

5.4.7.3 Tarifas e receitas operacionais

As receitas operacionais durante o uso do sistema de tempo seco, utilizado durante o período de transição do sistema, devem ser provenientes de uma estrutura tarifária que leve em consideração os custos reais de construção, operação e manutenção temporária dos sistemas de CTTS (VOLSCHAN Jr., 2020).

Nos sistemas convencionais, separadores, segundo Machado, Borja e Moraes (2013) normalmente a prefeitura cobra pelo manejo das águas pluviais por meio de tributos e a prestadora dos serviços públicos de esgotamento sanitário cobra por meio de tarifa. Deste modo, com o sistema de CTTS é híbrido e tem interface entre os dois, a forma de cobrança pelo uso dos sistemas de tempo seco ainda não é bem definida.

É necessário que se estabeleçam diretrizes para que os sistemas que adotem as CTTS possam levantar recursos financeiros para realizar investimentos e adequações no sistema (MACHADO; BORJA; MORAES, 2013; BRUM *et al.*, 2018). Entende-se que a partir da promulgação da Lei 14.026/2020 essas discussões devam avançar no âmbito da regulação tarifária e permitam que a cobrança para garantir a sustentabilidade dos sistemas.

6 CONCLUSÕES

A metodologia de revisão integrativa aplicada permitiu acessar uma grande quantidade de publicações, 2391 no total, de onde restaram 31 para leitura na íntegra, e a partir destas buscaram-se outras 30 publicações pelas buscas complementares desdobradas da primeira. Dentre as 61 publicações lidas (2,6% do total), 15 abordam as CTTS e 17 mencionam a estratégia, somando 32 publicações (1,3% do total e 52,5% das 61 lidas na íntegra). Portanto conclui-se que a metodologia se apresentou robusta e adequada para a intenção de inclusão do máximo de publicações acadêmicas sobre o tema.

A revisão integrativa desenvolvida indica que ainda existem poucas publicações que abordem especificamente sobre os sistemas de CTTS (15) e menos ainda que explorem os aspectos econômicos, sociais e ambientais relacionados à técnica. No entanto, pela análise bibliométrica percebe-se que as pesquisas acadêmicas que abordam a temática têm aumentado ao longo dos últimos 14 anos (2009) e há uma concentração no número de instituições e universidades que estudam os sistemas no Brasil (10) e na China (9), e conseqüentemente há maior número de estudos de caso nesses países: 14 no Brasil e 15 na China.

No Brasil foram identificados sistemas de CTTS implantados e estudos desenvolvidos modelando sua implantação que se concentram nas regiões Sul e Sudeste. O estado do Rio de Janeiro se destaca com 7 estudos de caso identificados e corresponde ao local onde há mais publicações, (11) encontradas, produzidas pelas instituições e universidades locais. Casos no Nordeste foram identificados, mas ainda não estão refletidos em publicações acadêmicas.

No âmbito internacional, destaca-se a cidade de Shanghai, na China, com 9 estudos abordando e mencionando os sistemas de CTTS, e de onde pode-se perceber uma maior maturidade na aplicação do sistema, com estudos já em estágio de avaliação do desempenho dos sistemas implantados e avaliações dos sistemas de CTTS em comparação com os outros sistemas implantados (SSA e SC). O aprofundamento no entendimento dos CTTS pode auxiliar e colaborar com a implantação dos sistemas em outros locais, principalmente em outras grandes cidades e em condições urbanas e ambientais semelhantes.

Passados pouco mais de dez anos desde as publicações de Dias e Rosso (2011) e de Machado, Borja e Moraes (2013), as mais antiga obtidas nesta revisão integrativa que mencionam e se dedica aos sistemas de CTTs, respectivamente, percebe-se que houve avanços favoráveis ao uso do sistema em dispositivos legais recentes, nomeadamente a promulgação da Lei n.º 14.026 de 2020, o novo marco legal do saneamento básico brasileiro, que passa a reconhecer explicitamente a possibilidade do uso das redes unitárias de esgotos ao longo de um período de transição.

As interconexões entre redes de drenagem urbanas, ditas separadoras, são comuns no mundo, não só em países em desenvolvimento, como Brasil e China, mas também nos países desenvolvidos, como Reino Unido, Portugal e Estados Unidos. As dificuldades para empreender a separação entre os sistemas sanitário e pluvial são grandes, tanto pelo custo elevado, transtornos durante as obras, quanto pela efetividade, pois as ligações clandestinas possuem dinâmica espacial e cronológica diferente, e mais alargada, do que as empreitadas de construção dos sistemas, da investigação e correção, e de fiscalização das disfuncionalidades.

Essas dificuldades e incertezas envolvidas na identificação das ligações errôneas e na separação dos esgotos podem ser tão elevadas em um sistema a ponto de que não se justifiquem, e outros esforços e investimentos devem ponderados, como a implantação das interceptações em tempo seco, que podem proporcionar melhorias relativamente rápidas e baratas em comparação com a situação ideal.

Salienta-se que a melhor solução para resolução dos problemas decorrentes dos SSA disfuncionais deve ser avaliada caso a caso, seguindo os princípios fundamentais da universalização e do uso das tecnologias apropriadas (Lei n.º 11.445, art. 2º).

O novo marco legal do saneamento, Lei n.º 14.026/2020 pode contribuir para que os municípios enfrentem a situação das disfuncionalidades dos sistemas (interconexões) e da existência das redes unitárias com mais entendimento e também assertividade perante as instituições responsáveis pelos diagnósticos (IBGE, ANA, ministérios, agências reguladoras, entre outros), na medida em que a lei passa a definir e autorizar o uso dos sistemas unitários, mesmo que de forma temporária. Nesse sentido os futuros diagnósticos poderão refletir a realidade com mais credibilidade, dentre os quais destacam-se o SNIS e a PNSB.

Ponto de atenção deve ser colocado para o fato de que, embora os sistemas unitários e de CTTS tenham caráter transitório, existem locais que operam estes sistemas há muitos anos, como observado na cidade do Rio de Janeiro. Assim, há a possibilidade de que na prática os sistemas venham a se tornar permanentes, sem que assim sejam planejados. Esta realidade precisa ser adequadamente trabalhada para que os benefícios planejados sejam alcançados e a lei seja cumprida. Cabe ressaltar que na China a interceptação das vazões em tempo seco é uma obrigatoriedade e não é vista como estratégia temporária, embora a separação dos esgotos seja almejada e os sistemas separadores sejam os exigidos para novos SES. A permanência das interceptações pode ser importante para o controle da poluição difusa, mesmo após da separação completa dos sistemas de drenagem.

Em termos de desempenho dos sistemas de CTTS, diferentes publicações indicam, principalmente em casos na China, os benefícios e melhoria das condições ambientais e sanitárias onde foram implantados. No Brasil, a maioria das pesquisas apresentam resultados de estudos teóricos e de modelagens, e que também apontam os potenciais benefícios. Cabe mencionar que alguns estudos indicam resultados de investigação prática dos sistemas de CTTS no Brasil, mas sem resultados robustos metodologicamente do ponto de vista da amostragem e da diversidade de parâmetros analisados.

Embora os resultados positivos possam ser uma realidade, ainda existem dificuldades para a implantação das CTTS e desafios a serem enfrentados, principalmente em termos de regulação por parte dos órgãos competentes, nomeadamente a ANA e as agências reguladoras locais e de definição de critérios técnicos e ambientais, que devem ser refletidos em normatização.

A falta de normatização técnica para os sistemas unitário e de CTTS no Brasil é um problema identificado, uma vez que o prazo para universalização é curto (menos de 10 anos), os sistemas unitários são uma realidade, e a difusão dos sistemas de CTTS tem sido cada vez maior.

Verificam-se algumas inconsistências entre a prática dos SES separadores e as normas vigentes da ABNT que versam sobre os sistemas, na medida em que a contribuição pluvial parasitária (NBR n.º 9648:1986) é incorporada no apenas cálculo

dos interceptores (NBR n.º 12207:2016), estações elevatórias (NBR n.º 12208:1992) e nas estações de tratamento de esgotos (NBR n.º 12209:1992) e não são consideradas no projeto dos coletores de esgoto (NBR n.º 9649:1986). De forma semelhante, a possibilidade da incorporação da contribuição de tempo seco se dá apenas nos interceptores (NBR n.º 12207:2016), sendo que na prática, em sistemas de CTTS, estas vazões podem ser desviadas também para os coletores. Além disso, há contradição entre esta norma e a Lei n.º 14.026/2020, uma vez que a norma permite a incorporação das águas de tempo seco de forma temporária ou permanente já a lei não.

Ressalta-se que há carência de critérios técnicos e parâmetros para o planejamento e projeto dos sistemas de CTTS de forma sistematizada no país, assim como para avaliar os naturais desdobramentos que partem da engenharia para abarcar com maior profundidade as análises econômicas, financeiras, ambientais e sociais.

Caminhos essenciais devem partir das necessárias modelagens do sistema urbano de drenagem como um todo para se avaliar as melhores soluções, levando em conta as questões ambientais locais (pluviometria, uso e ocupação do solo, características quali e quantitativas e capacidade de autodepuração dos corpos hídricos), sociais (consumo de água, acesso à moradia e aos serviços de saneamento) e econômicas (modelagem tarifária que atenda à toda a população proporcionando equidade).

Dentre os critérios técnicos observados, destacam-se os que auxiliam na tomada de decisão e que consideram o uso dos sistemas unitários e de CTTS, como aqueles apresentados pelo PEMAPES.

Ênfase deve ser dada ao diagnóstico do sistema de drenagem local existente, identificando o nível de interconexões, as condições estruturais e de degradação da rede unitária (pluvial) a ser interceptada, devido ao potencial contato concreto-gás sulfídrico, assim como a capacidade de admissão do sistema a jusante para recebimento da vazão a ser interceptada.

Em relação as caixas de interceptação e desvio, as mesmas devem ser dimensionadas seguindo critérios de capacidade do sistema a jusante, e a taxa de interceptação deve levar em conta não apenas a vazão média de tempo seco (*DWF*),

mas também as questões sanitárias e ambientais locais que devem ser modeladas para os diferentes cenários, e de preferência com dados medidos nos locais, pois cada caso demandará condições específicas. Avanços tecnológicos que auxiliem na automação e nas análises da qualidade e quantidade de esgotos, com o controle em tempo real, podem se tornar mais acessíveis no futuro próximo.

As estações de tratamento devem ser adaptadas para não sofrerem os impactos hidráulicos e de cargas de poluentes trazidas pelas contribuições de tempo úmido que adentram o sistema sanitário, com o tratamento preliminar adequado e unidades de armazenamento temporário e/ou equalização dos afluentes. Dispositivos de tratamento preliminar (*in-line*) devem ser incluídos, principalmente a montante das EEE, e receber manutenção adequada para garantir a eficiência da operação e vida útil adequada dos sistemas.

As CTTS têm sido adotadas em cidades de diferentes portes, seguindo o princípio do gradualismo, como uma alternativa complementar e temporária para se buscar a universalização no atendimento adequado por serviços de esgotamento sanitário, podendo postergar investimentos de CAPEX, antecipar receitas operacionais pelo atendimento por coleta e tratamento de esgotos. Entendimentos relacionados aos custos, e especialmente os operacionais e de manutenção dos sistemas de CTTS, precisam avançar para que a adequada modulação das tarifas, a serem definidas pelas agências reguladoras, possam permitir a capitalização das empresas e possibilitar a realização dos investimentos de CAPEX e dispêndios de OPEX.

Ressalta-se que a referida regulação para estabelecimento das normas e metas para a substituição dos sistemas unitários pelos sistemas separadores ainda não foi publicada pela ANA, no entanto a lei n.º 14026/2020 já estabelece o prazo para atendimento de 90% da população com coleta e tratamento de esgotos até a data de 31 de dezembro de 2033.

Dentre as limitações da pesquisa cita-se a opção por não buscar exhaustivamente pelas normas e legislações nacionais e internacionais acerca do tema, tendo limitado o foco àquelas que eram citadas pelas publicações e que tiveram livre acesso.

O uso dos idiomas escolhidos para as buscas, português e inglês, e das bases indexadoras utilizadas são fatores limitantes para a obtenção de informações e dados produzidos por outros países, e em especial pela China, que se mostrou detentora de muito conhecimento sobre o tema pesquisado e merece maior aprofundamento.

7 RECOMENDAÇÕES

Os sistemas unitário, assim como os sistemas de CTTS carecem de especificações técnicas e normatização no Brasil, e recomendam-se que as mesmas sejam desenvolvidas, uma vez que os sistemas passaram a ser aceites legalmente a partir da promulgação do novo marco legal do saneamento básico, Lei n.º 14.026 de 2020.

Sugerem-se ajustes conceituais nas normas NBRs n.º 6948, n.º 9649, e nas NBRs n.º 12208 e n.º 12209 para incorporação das contribuições de tempo seco e as contribuições parasitárias em todo o sistema. Sugere-se ainda definir em normas os sistemas separadores parciais, assim como especificar as contribuições pluviais adicionais ou parasitárias, estabelecendo limiares para a diferenciação entre estes e os separadores absolutos.

Sugerem-se que mais pesquisas sejam desenvolvidas no sentido de indentificar o panorama das interconexões de esgotos nos sistemas de drenagem no Brasil, assim como para a avaliação dos sistemas de CTTS já implantados e em implantação.

Recomendam-se que mais pesquisas sejam desenvolvidas interdisciplinarmente para a avaliação dos diferentes aspectos relacionados aos soluções de CTTS nas cidades brasileiras.

8 REFERÊNCIAS

ABES. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – 1º Seminário Estadual de Saneamento e Meio Ambiente. SANEA Rio - Dia 01, Mesa 04 – Captações de Tempo Seco – Conceitos Técnicos Aplicados Mundialmente. 2022a. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Dmf7r0-h2uw> . Acesso em: 06 abr. 2023.

ABES. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – 1º Seminário Estadual de Saneamento e Meio Ambiente. SANEA Rio - Dia 02, Mesa 01 - Captações de Tempo Seco - Projetos no Rio de Janeiro (14/04 09h). 2022b. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=nR66TZfRnW8&list=PLmmxvd1jpDtGu4d616rpzRAEeTvSul2sP&index=7> . Acesso em: 06 abr. 2023.

ABES. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – 1º Seminário Estadual de Saneamento e Meio Ambiente - SANEA Rio - Dia 02, Mesa 02 – Captações de Tempo Seco – Projetos no Brasil (14/04 11h). 2022c. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=rcEn-yUhdJU&list=PLmmxvd1jpDtGu4d616rpzRAEeTvSul2sP&index=9>. Acesso em: 06 abr. 2023.

ABES. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – 1º Seminário Estadual de Saneamento e Meio Ambiente – SANEA Rio - Dia 02, Mesa 03 - Captações de Tempo Seco - Conceitos Jurídicos e Legais (14/04 13h30). 2022d. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=rcEn-yUhdJU&list=PLmmxvd1jpDtGu4d616rpzRAEeTvSul2sP&index=9> . Acesso em: 06 abr. 2023.

ABES. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – 1º Seminário Estadual de Saneamento e Meio Ambiente – SANEA Rio - Sanea Rio - Dia 02 Mesa 04 - Captações de Tempo Seco - Conceitos Regulatórios e Econômicos. 2022e. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=mSN6ITxC_jQ&list=PLmmxvd1jpDtGu4d616rpzRAEeTvSul2sP&index=12 . Acesso em: 06 abr. 2023.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Tubo de concreto de seção circular para água pluvial e esgoto sanitário — Requisitos e métodos de ensaios – NBR 8890, 2020.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário – NBR 9648, 1986a.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário – NBR 9649, 1986b.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Projeto de estações elevatórias de esgoto sanitário – NBR 12208, 1992a.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário – NBR 12209, 1992b.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Projeto de interceptores de esgoto sanitário – NBR 12207, 2016.

ACCIONA. Sistema de Esgotamento Sanitário de Santa Cruz do Capibaribe entra em operação. 2020. Disponível em: https://www.accionacom.br/novidades/noticias/sistema-de-esgotamento-sanitario-de-santa-cruz-do-capibaribe-entra-em-operacao/?_adin=02021864894 . Acesso em: 21 abr. 2023.

ADASA. Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal. Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas do Distrito Federal. Superintendência de Drenagem Urbana, Brasília, 2018. 333 p.

ADB. Asian Development Bank. Project Completion Report. Suzhou Creek Rehabilitation Project – (Loan 1692-PRC) - In the People's Republic of China. 2015.

ARAÚJO, W. C. O. Recuperação da informação em saúde: construção, modelos e estratégias. Convergências em Ciência da Informação – ConCI. Aracaju. V.3, n. 2, p. 100-134, 2020.

ARIA, M.; CUCCURULLO, C. Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis, *Journal of Informetrics*, Elsevier. V., n. 4, p. 2017.

AZEVEDO NETTO, J. M. DE. Contribuições indevidas para a rede de esgotos. *Revista DAE*, v. 210, n. 313, p. 36–38, jun. 1979.

BARATA, R. C. B. Dez coisas que você deveria saber sobre o Qualis. *Revista Brasileira de Pós-Graduação*. Brasília. V.13, n. 30, p.13-40. 2016.

BBC. British Broadcasting Corporation. Quem eram os escravos 'tigres', marcantes na história do saneamento básico no Brasil. São Paulo. 30 nov. de 2019. 2019. Disponível em: < <https://www.bbc.com/portuguese/brasil-50526902>>. Acesso em: 14 junho de 2023.

BERNARDES, R. S.; SOARES, S. R. A. Esgotos combinados e controle da poluição: estratégia para planejamento do tratamento da mistura de esgotos sanitários e águas pluviais. *Alternativas tecnológicas – Saneamento Ambiental*. Brasília. Caixa, 2004. 160 p.

BAHIA. Plano estadual de manejo de águas pluviais e esgotamento sanitário - PEMAPES. Governo do Estado da Bahia. TOMO XVIII – Sinopse geral do PEMAPES. 2011a.

BAHIA. Plano estadual de manejo de águas pluviais e esgotamento sanitário - PEMAPES. Governo do Estado da Bahia. TOMO XIII – Plano de Ações. Volume 6 – RDS 21 – Recôncavo. 2011b.

BORNATICI, L.; CIAPONI, C.; PAPIRI, S. Control of urban runoff stormwater discharge to receiving waters using off-line storage. *Enhancing Urban Environment by Environmental Upgrading and Restoration*, v. 43, p. 33–44, nov. 2004.

BRASIL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Catálogos de metadados da ANA 2023. Disponível em: < <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/home>> . Acesso em: 19 jul. de 2023.

BRASIL. Ministério da Educação. Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES. Qualis Periódicos. Classificações de Periódicos Quadriênios. 2023. Disponível em: <<https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/veiculoPublicacaoQualis/listaConsultaGeralPeriodicos.jsf>>. Acesso em: 20 abril 2023.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento. Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento - SNIS. Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto. Visão Geral. ano de referência 2021. Brasília, 2022.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades, 2021. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/panorama>>. Acesso em: 12 maio 2021a.

BRASIL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). RESOLUÇÃO ANA N.º 102, de 04 de outubro de 2021. Aprova o Manual de Elaboração de Atos Regulatórios da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA. 2021b.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Nacional do Saneamento Básico 2017. Rio de Janeiro, 2020a.

BRASIL. Lei n.º 14.026 de 15 de julho de 2020, Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei n.º 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, a Lei n.º 10.768, de 19 de novembro de 2003, para alterar o nome e as atribuições do cargo de Especialista em Recursos Hídricos, a Lei n.º 11.107, de 6 de abril de 2005, para vedar a prestação por contrato de programa dos serviços públicos de que trata o art. 175 da Constituição Federal, a Lei n.º 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País, a Lei n.º 12.305, de 2 de agosto de 2010, para tratar dos prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, a Lei n.º 13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da Metrópole), para estender seu âmbito de aplicação às microrregiões, e a Lei n.º 13.529, de 4 de dezembro de 2017, para autorizar a União a participar de fundo com a finalidade exclusiva de financiar serviços técnicos especializados, 2020b.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Estimativas das populações residentes municipais calculadas com base na Projeção da população para o Brasil e Unidades da Federação. 2020c. Disponível em <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html>>. Acesso em 10 de ago. de 2022.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento. Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB. Brasília, 2019.

BRASIL. Resolução do Conselho Deliberativo da Sudene n.º 115, de 23 de novembro de 2017. Aprova a Proposição n.º 113/2017, que acrescenta municípios à relação aprovada pela Resolução CONDEL n.º 107, de 27 de julho de 2017. 2017c.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Oswaldo Cruz. Notícias. Conheça semelhanças e diferenças entre mosquitos transmissores da febre amarela. 03/03/2017. 2017b. Disponível em: <<https://portal.fiocruz.br/noticia/conheca-semelhancas-e-diferencas-entre-mosquitos-transmissores-da-febre-amarela>>. Acesso em: 11 Jun. 2023.

BRASIL. Agência Nacional de Águas; Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Atlas Esgotos de Despoluição de Bacias Hidrográficas. Brasília, 2017a.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS. 1ª ed. Brasília: Funasa, 2014. 112 p.

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

BRASIL. Lei n.º 11.445 de 5 de janeiro de 2007, Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993,

e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei n.º 6.528, de 11 de maio de 1978. (Redação pela Lei n.º 14.026, de 2020). 2007.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução n.º 357, de 17 de março de 2005, Publicada no DOU no 053, de 18/03/2005, págs. 58-63. Alterada pela Resolução 410/2009 e pela 430/2011. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências, 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Dengue: Instruções para Pessoal de Combate ao Vetor. Manual de Normas Técnicas. 3ª ed. Brasília: Funasa, 2001. 75 p.

BRASIL. Lei de Constituição da República Federativa do Brasil de 5 de outubro de 1988. 1988.

BRISCOE, J. When the cup is half full. Environment: science and policy for sustainable development. Water and Sanitation Division, The World Bank, Washington, D.C., USA. V. 35, n. 4, p. 6-37. 1993.

BROMBACH, H.; WEISS, G.; FUCHS, S. A new database on urban runoff pollution: comparison of separate and combined sewer systems. Water Science and Technology, v. 51, n. 2, p. 119–128, 1 jan. 2005.

BRUM, M. M.; TRONCA, I. F.; MARIN, R. M.; WARTCHOW, D. Adoção de metodologias alternativas para o alcance da universalização dos serviços de esgotamento sanitário. 48º Congresso Nacional de Saneamento da ASSEMAE. Anais...Fortaleza/CE: Associação Nacional dos Serviços Municipais de Saneamento, 27 maio 2018. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/188121>>. Acesso em: 8 mar. 2023

BUTLER, D. ; DAVIES, J. W. Urban Drainage. 2nd ed. Boca Raton: Taylor & Francis, Spon Press, 2004. 543p.

BUTLER, D. ; DIGMAN, C. ; MAKROPOULOS, C. ; DAVIES, J. W. Urban Drainage. 4ª ed. Boca Raton: Taylor & Francis, CRC Press, 2018. 545p.

BUTLER, D.; PARKINSON, J. Towards sustainable urban drainage. *Water Science and Technology*, v. 35, n. 9, p. 53–63, 1997.

BVS. Biblioteca Virtual de Saúde. Disponível em: <https://pesquisa.bvsalud.org/porta1/decs-locator/?lang=pt>. Acesso em: mar. 2022

BVSA. Biblioteca Virtual em Saúde Ambiental. Centro Pan-Americano da Engenharia Sanitária e Ciências do Ambiente. Organização Pan-Americana da Saúde. Organização Mundial da Saúde – OMS. 2005.

CARLETON, M. G. Comparison of overflows from separate and combined sewers – quantity and quality. *Water Science and Technology*, v. 22, n. 10–11, p. 31–38, 1990.

CEDAE. Companhia Estadual de Águas e Esgotos. Estudos Técnicos e Planejamento para a Universalização do Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário – Município de Saquarema, 2020.

CEMBRANO, G.; QUEVEDO, J.; SALAMERO, M.; PUIG, V.; FIGUERAS, J.; MARTÍ, J. Optimal control of urban drainage systems. A case study. *Control Engineering Practice*, v. 12, n. 1, p. 1–9, 2004.

CEMBRANO, G.; FIGUERAS, J.; QUEVEDO, J.; PUIG, V.; SALAMERO, M.; MARTÍ, J. et al. Global control of the Barcelona sewerage system for environment protection. *IFAC Proceedings Volumes*, v. 35, n. 1, p. 59–64, 2002.

CHEN, S.; QIN, H.; ZHENG, Y.; FU, G. Spatial variations of pollutants from sewer interception system overflow. *Journal of Environmental Management*, v. 233, p. 748–456, 2019.

CHUA, H. Overview of water environment priorities in Hong Kong (China). *Water Science and Technology*, v. 40, n. 2, p. 91–96, 1 jan. 1999.

CITY POPULATION. Population census result 2020 for Chaohu city. Anhui province. China. 2023. Disponível em: <https://www.citypopulation.de/en/china/cities/anhui/?cityid=5326>. Acesso em: 05 mai. 2023.

COMPESA. Companhia Pernambucana de Saneamento. Nota Técnica Gerência de Regulação e Concessões – GRC – n.º 014/2020. Assunto: Sistema de Esgotamento Sanitário implantado em Santa Cruz do Capibaribe. p. 1–6, 2020.

COPPETEC. Análise da viabilidade técnica e econômica da implantação de estruturas de captação de esgotos sanitários em tempo seco (CTS) e de tratamento de deflúvios poluídos (UTR) no âmbito da Área de Planejamento 4 da Cidade do Rio de Janeiro. Relatório Técnico. Relatório final do estudo de engenharia. Fundação Coordenação de Projetos, Pesquisas e Estudos Tecnológicos. 2018.

COUTINHO, W. Emprego da flotação a ar dissolvido no tratamento de cursos d'água. Avaliação de Desempenho da Estação de Tratamento dos Córregos Ressaca e Sarandi Afluentes à Represa da Pampulha. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais. 2007. 118 p.

DE TOFFOL, S.; ENGELHARD, C.; RAUCH, W. Combined sewer system versus separate system - A comparison of ecological and economical performance indicators. Water Science and Technology. Anais... 2007.

DEMOGRAPHIA. COX, W. (2018). Demographia World Urban Areas. 14th Annual Edition (PDF). St. Louis: Demographia. 2018. 22p. Disponível em <<http://www.demographia.com/db-worldua.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2022.

DIAS, A. P.; ROSSO, T. C. A. Análise dos elementos atípicos do sistema de esgoto – separador absoluto – na cidade do Rio de Janeiro. Engevista, v. 13, n. 3, p. 177-192, 2011.

DSD. Drainage Services Department. Government of the Hong Kong Stormwater Drainage Manual. Planning, Design and Management. 5th ed. 2018. 193 p.

ECS. ECS Engineering Services. New HDPE flap valve cuts energy consumption for Welsh pumping station. 18 fev. 2016. Disponível em: <<https://www.ecsengineeringservices.com/new-hdpe-flap-valve-cuts-energy-consumption-for-welsh-pumping-station/>>. Acessado em: 24 jul. 2023.

ELLIS, J. B.; BUTLER, D. Surface water sewer misconnections in England and Wales: Pollution sources and impacts. *Science of The Total Environment*, v. 526, p. 98–109, 2015.

ESTADOS UNIDOS. United States Environmental Protection Agency - USEPA. Combined Sewer Overflow Management Fact Sheet. Sewer Separation. EPA 832-F-99-041. Office of Water. Washington. D.C. Public Utilities, Division of Sewerage and Drainage. Columbus, OH. p. 1-7. 1999.

ESTADOS UNIDOS. United States Environmental Protection Agency - USEPA. Investigation of Inappropriate Pollutant Entries into Storm Drainage Systems. A user's guide. EPA/600/R-92/238. Office of research and development. Cincinnati, OH. p. 88. 1993

FADEL, A. W; DORNELLES, F. Eficiência da interceptação de esgoto sanitário em rede pluvial na bacia do Arroio Capivara – Porto Alegre/RS. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. V. 20, n. 4, p. 970-979, 2015.

FIELD, R.; PITT, R.; LALOR, M.; BROWN, M.; VILKELIS, W.; PHACKSTON, E. Investigation of dry-weather pollutant entries into storm-drainage systems. *Journal of Environmental Engineering*. V. 120, n. 5, p. 1044-1066, 1994.

FIELD, R.; O'CONNOR, T. P. Control Strategy for Storm-Generated Sanitary-Sewer Overflows. *Global Solutions for Urban Drainage*, p. 1–14, 2002.

FOLHA. Folha de São Paulo. Baía de Guanabara 'fura fila' e vê nova promessa de despoluição. Rio de Janeiro/RJ. 2022a. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/ambiente/2022/01/baia-de-guanabara-fura-fila-e-ve-nova-promessa-de-despoluicao.shtml?utm_source=whatsapp&utm_medium=social&utm_campaign=compwa&origin=folha> . Acesso em: 04 jan. 2022a.

FOLHA. Folha de São Paulo. Praia de Botafogo, no Rio, deve estar limpa em 5 anos, diz concessionária. Rio de Janeiro/RJ. 2022b. Disponível em:

<<https://www1.folha.uol.com.br/ambiente/2022/01/praiadebotafogono-rio-deve-estar-limpa-em-5-anos-diz-concessionaria.shtml>>. Acesso em: 11 jan. 2022b.

FURTADO, A. P. F. V.; MONTE-MOR, R. C. A.; COUTO, E. A. Avaliação das ações de reabilitação da lagoa da Pampulha em Belo Horizonte-MG. XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos – ABRHidro. v.?. p. 1-10. 2019.

GEHLING, G. R.; BENETTI, A. D. Aceitabilidade de sistema combinado de esgotos em planos diretores de esgotamento sanitário. XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Anais...João Pessoa/PB: ABRH - Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 20 nov. 2005. Disponível em: <<https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=9631>>. Acesso em: 8 mar. 2023

GONÇALVES, M. L. R.; KLEIDORFER, M.; RAUCH, W. Case study on the use of a combined system as an intermediate solution in Brazil: cost estimate. Water and environment Journal, v. 31, p. 478-485. 2017.

GROMAIRE-MERTZ, M. C.; GARNAUD, S.; GONZALEZ, A.; CHEBBO, G. Characterisation of urban runoff pollution in Paris. Water Science and Technology, v. 39, n. 2, p. 1–8, 1 jan. 1999.

GUIMARÃES, A. S. P.; SOUZA, A. P. Projetos de pequenos sistemas unitários de esgotamento. Alternativas tecnológicas – Saneamento Ambiental. Brasília. Caixa, 2004. 216 p.

GUO, S.; SHI, X.; LUO, X.; YANG, H. River water intrusion as a source of inflow into the sanitary sewer system. Water Science & Technology. v. 82, n. 11, p. 2472-2481, 2020.

HENRIQUES, J. A.; DE OLIVEIRA, R.; COURA, M. A.; LIBÂNIO, M.; BAPTISTA, M. B. Água de drenagem ou esgoto sanitário? Uma análise do sistema de macrodrenagem em cidade de médio porte na Região Nordeste. Engenharia Sanitária e Ambiental. v. 26, n. 5, p. 935-943, 2021.

HUANG, D.; LIU, X.; JIANG, S.; WANG, H.; WANG, J.; ZHANG, Y. Current state and future perspectives of sewer networks in urban China. *Frontiers of Environmental Science and Engineering*, v. 12, n. 3, 1 jun. 2018.

IWUGO, K. O.; ANDOH, R. Y. G.; FEEST, A. Cost-effective integrated drainage and wastewater management systems. *Water and Environment Journal*, v. 16, n. 1, p. 53–57, 1 mar. 2002.

LI, T.; MA, L.; ZENG, Y. Deterioration of discharge quality of separate storm systems caused by intercepting dry weather flows. *International Conference on Pipelines and Trenchless Technology 2009, ICPTT 2009: Advances and Experiences with Pipelines and Trenchless Technology for Water, Sewer, Gas, and Oil Applications*. Anais. State Key Lab. of Pollution Control and Resource Reuse, Tongji University, China, 2009.

LI, T.; TAN, Q.; ZHU, S. Characteristics of combined sewer overflows in Shanghai and selection of drainage systems. *Water and Environment Journal*, v. 24, n. 1, p. 74–82, mar. 2010.

LI, T.; ZHANG, W.; FENG, C.; SHEN, J. Performance assessment of separate and combined sewer systems in metropolitan areas in southern China. *Water Science and Technology*, v. 69, n. 2, p. 422–429, 2014.

LI, T.; ZHOU, Y.-C.; LI, H. Quantifying nonstorm-water discharges to storm-water systems with model analysis. *Journal of Environmental Engineering*, v. 134, n. 11, p. 928–932, 2008.

LI, Y.; ZHOU, Y.; WANG, H.; JIANG, H.; YUE, Z.; ZHENG, K.; WU, B.; BANAHENE, P. Characterization and sources apportionment of overflow pollution in urban separate stormwater systems inappropriately connected with sewage. *Journal of Environmental Management*, v. 303, n. 114231, p. 1-11, 2022.

LIAO, Z.; ZHI, G.; ZHOU, Y.; XU, Z.; RINK, K. To analyze the urban water pollution discharge system using the tracking and tracing approach. *Environmental Earth Sciences*, v. 75, n. 14, p. 1-10, 2016.

LOPES, A. C. R.; KUSTERKO, S. K.; VOLSCHAN JR., I. Captações de esgotos sanitários em tempo seco em galerias de águas pluviais: proposta de discussão sobre critérios e parâmetros de dimensionamento. *Revista DAE*, v. 71, n. 239, p. 188-204, 2023.

LÜDKE, M., ANDRÉ, M. E. D. A. *Pesquisa em educação: abordagens qualitativas*. São Paulo: E.P.U., 1986.

MACHADO, A. S.; BORJA, P. C.; MORAES, L. R. S. Desafios e oportunidades para implantação de uma das propostas do PEMAPES: o sistema combinado. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)*, 2013.

MANNINA, G.; VIVIANI, G. Separate and combined sewer systems: A long-term modelling approach. *Water Science and Technology*, v. 60, n. 3, p. 555–565, 2009.

MELO, J. C.; *The experience of condominium water and sewerage systems in Brazil: case studies from Brasilia, Salvador and Parauapebas*. The World Bank. Water and Sanitation Program, Latin America and the Caribbean. LEDEL S.A.C. Lima. Peru. 2005. 62 p.

MENDELEY. Mendeley Reference Manager for Desktop. Mendeley Ltd. Disponível em: <https://www.mendeley.com/download-reference-manager/windows>. Acesso em: 06 dez. 2021.

MENEZES, J. N. C. (org.) *Água e inteligência industrial: para começar uma reflexão sobre os usos sociais da água*. in *Água: uma história dos usos nas Minas Gerais e em Portugal (séculos XVII e XIX)*. 1ª ed. Belo Horizonte: Fino Traço. 2019. 258p.

METCALF, H. P.; EDDY, L. *Wastewater engineering: treatment and reuse*. 4th ed. Nova Iorque: McGraw-Hill, 2003. 1819 p.

METCALF, H. P.; EDDY, L. *Wastewater engineering: collection, treatment, disposal*. McGraw-Hill, 1972. 782 p.

MINAS GERAIS (estado) Saneamento Básico em Belo Horizonte: Trajetória em 100 Anos - Os Serviços de Água e Esgoto. Fundação João Pinheiro. Centro de Estudos Históricos e Culturais. Belo Horizonte. 1997. 314 p.

MORETTI, R. S.; SILVA, E. A. Sistemas urbanos de esgotos e drenagem das águas pluviais- poluição difusa e interconexões. Ondas – Observatório Nacional dos Direitos à Água e ao Saneamento. 2021. Disponível em: <https://ondasbrasil.org/sistemas-urbanos-de-esgotos-e-drenagem-das-aguas-pluviais-poluicao-difusa-e-interconexoes/>. Acesso em: 22 dez. 2021.

MORIHAMA, A. C. D.; AMARO, C.; TOMINANGA, E. N. S.; YAZAKI, L.F.O.L.; PEREIRA, M. C. S.; PORTO, M. F. A.; MUKAI, P.; LUCCI, R. M. Integrated solutions for urban runoff pollution control in Brazilian metropolitan regions. Water Science & Technology. IWA Publishing. V. 66, n. 4, p. 704-711, 2012.

MU. Murdoch University – MU. Systematic Reviews – Research Guide. Using PICO or PICO. 2022. Disponível em: <https://libguides.murdoch.edu.au/systematic/PICO>. Acesso em: 31 mai. 2022.

NETO, P. S. G.; VERÓL, A. P.; MIGUEZ, M. G.; VAZQUEZ, E. G. Sistemas de drenagem urbana sustentáveis no mundo e no Brasil/ Sustainable urban drainage systems in the world and Brazil. Brazilian Journal of Development, v. 5, n. 10, p. 18743–18759, 10 out. 2019.

OLIVEIRA, D. J.; ANDRADE, W. C. DE P. Os sistemas de saneamento enquanto tecnologias em disputas: o tout-à-l'égout em Belo Horizonte (1893 – 1902). URBANA: Revista Eletrônica do Centro Interdisciplinar de Estudos sobre a Cidade, v. 6, n. 1, p. 694, 2014.

ONU. Organização das Nações Unidas. Objetivos de desenvolvimento sustentável. Transformando nosso mundo: a agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável. Nova Iorque, 49 p., 2015.

O'SHEA, M. L.; FIELD, R. An evaluation of bacterial standards and disinfection practices used for the assessment and treatment of stormwater. Em: NEIDLEMAN, S. L.; LASKIN, A. I. B. T.-A. IN A. M. (Eds.). [s.l.] Academic Press, 1992. v. 37p. 21–40.

OUZZANI, M.; HAMMADY, H.; FEDOROWICZ, Z.; ALMAGARMID, A. Rayyan – a web and mobile app for systematic reviews. *Systematic Reviews*. V. 5, n. 1, p. 1-10, 2016.

PEREIRA, L. F. M.; MATOS, J. S.; FERREIRA, F. S. Inserção do sistema de drenagem na concepção dos projetos de esgotamento sanitário – sua pertinência, viabilidade e admissibilidade. XIII Encontro Nacional de Águas Urbanas. Porto Alegre. p. 1-10. 2020.

PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal de Porto Alegre; Departamento de Esgotos Pluviais. Plano Diretor de Drenagem Urbana: Manual de Drenagem Urbana. Porto Alegre, 2005.

PRISMA. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses. 2020. Disponível em: <<http://www.prisma-statement.org/PRISMAStatement/FlowDiagram>>. Acesso em: 27 jan. 2022.

QIN, H. P.; SU, Q.; KHU, S.T.; TANG, N. Water Quality Changes during Rapid Urbanization in the Shenzhen River Catchment: An Integrated View of Socio-Economic and Infrastructure Development. *Sustainability* 2014, Vol. 6, Pages 7433-7451, v. 6, n. 10, p. 7433–7451, 23 out. 2014.

RAYYAN. Rayyan Systems, Inc. Disponível em: <<https://help.rayyan.ai/hc/en-us>>. Acesso em: 03 jun. 2022.

RED VALVE. Red Valve Tideflex. Tideflex Check Valves for Backflow Prevention. 2023. Disponível em: <https://www.redvalve.com/industries/stormwater-and-sewers/backflow-prevention>. Acesso em: 24 jul. 2023.

REDA, A. L. L.; FERREIRA, P.; MENDES, M.; BRUCE BECK, M. Combined sewer overflows in Brazil: a 2014 situation report. XIV Safety, Health and Environment World Congress. Cubatão, 20-23 de julho de 2014, p. 11-15. 2014.

RIBEIRO, H. C. M. Bibliometria: quinze anos de análise da produção acadêmica em periódicos brasileiros. *Biblios: Revista de Bibliotecología y Ciencias de la Información*. n. 69, p. 1-20. 2017.

RIO DE JANEIRO (Estado). Lei Complementar n.º 184 de 27 de dezembro de 2018, Dispõe Sobre a Região Metropolitana do Rio de Janeiro, sua composição, organização e gestão, define as funções públicas e serviços de interesse comum, cria a autoridade executiva da região metropolitana do Rio de Janeiro, e dá outras providências. 2018c.

RIO DE JANEIRO (Estado). Plano estratégico de desenvolvimento urbano integrado da Região Metropolitana do Rio de Janeiro – PEDUI-RMJ. Resumo Executivo. Rio de Janeiro, 2018b.

RIO DE JANEIRO (Estado). Plano estratégico de desenvolvimento urbano integrado da Região Metropolitana do Rio de Janeiro – PEDUI-RMJ. TOMO II. Produto 18. Rio de Janeiro, 2018a.

RIO GRANDE DO SUL. Lei n.º 11.520, de 03 de agosto de 2000. Institui o Código Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul e dá outras providências. 2000.

ROCHA, A. A. Histórias do Saneamento. 2ª reimpressão. São Paulo: editora Edgard Blucher Ltda., 2016. 152 p.

ROSSO, T. C. A.; DIAS, A. P.; GIORDANO, G. Vulnerabilidade dos sistemas de esgotamento sanitário da cidade do Rio de Janeiro, RJ, Brasil - relato de um caso de estudo. *Revista Recursos Hídricos*, v. 32, n. 2, p. 45-52, 2011.

SABESP. Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. Notícias: Sabesp inaugura equipamentos que recuperam córregos e contribuem para despoluir rio Pinheiros. 2022. Disponível em: <https://site.sabesp.com.br/site/imprensa/noticias-detalle.aspx?secaold=65&id=8774>. Acesso em: 06 maio 2023.

SANTOS, M. O. R. M.; JOHNSON, R. M. F. Água, gestão e transição para uma economia verde no Brasil: propostas para o setor público. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável. 2012, 51 p.

SANTOS, P. R.; SILVA, A. M.; PAULA, C. H.; VIEIRA, A. R. Sistema de interceptação e captação de esgoto em galeria de água pluvial utilizando a válvula de tempo seco. Revista Saneas. Ano XI, São Paulo, v. 68, p. 30-32, 2019.

SANTOS, P. R.; SILVA, A. M.; PAULA, C. H.; VIEIRA, A. R. Sistema de interceptação e captação de esgoto em galeria de água pluvial utilizando a válvula de tempo seco. AESABESP - Associação dos Engenheiros da Sabesp, 29º Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente, São Paulo, 2018.

SOARES, S. R. A.; PARKINSON, J.; BERNARDES, R. S. Analysis of scenarios for wastewater and urban drainage systems in Brazil based on an integrated modeling approach. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://iwaponline.com/wst/article-pdf/52/9/53/434599/53.pdf>>.

SOONTHORNONDA, P.; CHRISTENSEN, E. R. Source apportionment of pollutants and flows of combined sewer wastewater. Water Research, v. 42, n. 8, p. 1989–1998, 2008.

SOUZA, M. T.; SILVA, M. D.; CARVALHO, R. Revisão integrativa: o que é e como fazer. *Einstein*. Instituto Israelita de Ensino e Pesquisa Albert Einstein. São Paulo. v. 8, n. 1, p. 102-106, 2010.

SPDA, Prefeitura Municipal de São Pedro da Aldeia. Ações em prol da despoluição da Lagoa de Araruama são destaques no governo Cláudio Chumbinho. 2019. Disponível em: <https://pmspa.rj.gov.br/acoes-em-prol-da-despoluicao-da-lagoa-de-araruama-sao-destaques-no-governo-claudio-chumbinho/>. Acesso em: 24 de jan. de 2020.

TIBBETTS, J. Combined sewer systems: down, dirty, and out of date. Environmental Health Perspectives, v. 113, n. 7, p. A467, jul. 2005.

TIDEWAY. Thames Tideway Tunnel project, 2022. Disponível em : <https://www.tideway.london/> . Acesso em: 20 abr. 2023.

TOLEDO, L. M.; WALL, F. C. M.; OBRACZKA, M.; SALOMÃO, A. L. S. Panorama do sistema lagunar de Maricá-RJ: Indicadores de saneamento vs. Qualidade de água. *Revista Internacional de Ciências*, v. 11, n. 1, p. 6, 2021.

TORNO, H. C. A model for assessing impact of stormwater runoff and combined sewer overflows and evaluating pollution abatement alternatives. *Water Research*, v. 9, n. 9, p. 813–815, 1975.

TORRACO, R. J. Writing Integrative Literature Reviews: Guidelines and Examples. *Human Resource Development Review*, v. 4, n. 3, p. 356-367, 2005.

TORRACO, R. J. Writing Integrative Literature Reviews: Methods and Purpose. *International Journal of Adult Vocational Education and Technology*, v. 7, n. 3, p. 62-70, 2016.

TRONCA, I. F.; BRUM, M. M.; MALLMANN, E. H.; MARIN, R. M.; WARTCHOW, D. A importância da gestão integrada de águas residuárias : estudo de caso : municípios de pequeno porte do Rio Grande do Sul. 6o Congresso Internacional de Tecnologia para o Meio Ambiente . Anais...Bento Gonçalves/RS: 10 abr. 2018. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/188118>>. Acesso em: 8 mar. 2023

TSUTIYA, M. T.; SOBRINHO, P. A. Coleta e Transporte de Esgotos. 1ª ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2000. 547 p.

TSUTIYA, M. T.; BUENO, R. C. R. Contribuição de águas pluviais em sistemas de esgoto sanitário no Brasil. *Água Latinoamérica*. AIDIS - Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2004.

EU. Directiva 91/271/CEE do Conselho das Comunidades Europeias, de 21 de Maio de 1991, relativa ao tratamento de águas residuais urbanas. 1991.

VERÓL, A. P.; MIGUEZ, M. G.; TARDIN-COELHO, R. H.; BATTEMARCO, B. P.; RUTIGLIANI, V. A.; COSTA, D. C. Proposição do Sistema de Coleta em Tempo Seco em Arraial do Cabo (RJ) para Melhoria da Qualidade Ambiental. *Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades*, v.08, n.59, 2020.

VOLSCHAN JR., I.; TSUTIYA, M. T.; MARTINS, R. H. O.; YAZAKI, L. F. O. L. Sistema unitário x sistema separador absoluto: qual o mais atraente para as condições brasileiras? *Revista DAE*, p. 40–43, 2009.

VOLSCHAN JR., I. The challenge of dry-weather sewage intakes as a sustainable strategy to develop urban sanitation in the tropics. *Water Practice and Technology. International Water Association - IWA*. v.15. p. 38-47, 2020.

VON SPERLING, M. V. Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos. *Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias*. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG. Belo Horizonte. v. 1. 2017, 452 p.

WANG, J.; LIU, G. H.; WANG, J.; XU, X.; SHAO, Y.; ZHANG, Q.; LIU, Y.; QI, L.; WANG, H. Current status, existent problems, and coping strategy of urban drainage pipeline network in China. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 28, n. 32, p. 43035–43049, 1 ago. 2021a.

WANG, L.; YU, L.; XIONG, Y.; LI, Z.; GENG, J. Study on the governance of black-odor water in Chinese cities. *Journal of Cleaner Production*, v. 308, p. 127290, 2021b.

WEI, Z.; HUANG, X.; LU, L.; SHANGGUAN, H.; CHEN, Z.; ZHAN, J.; FAN, G. Strategy of rainwater discharge in combined sewage intercepting manhole based on water quality control. *Water (Switzerland)*, v. 11, n. 5, 2019.

WHITTEMORE, R.; KNALF, K. The integrative review: update methodology. *Journal of Advanced Nursing*. V. 52, P. 546-553, 2005.

XU, Z.; WANG, L.; YIN, H.; LI, H.; SCHWEGLER, B. R. Source apportionment of non-storm water entries into storm drains using marker species: Modeling approach and verification. *Ecological Indicators*, v. 61, p. 546–557, 2016.

XU, Z.; XU, J.; YIN, H.; JIN, W.; LI, H.; HE, Z. Urban river pollution control in developing countries. *Nature Sustainability*, v. 2, n. 3, p. 158–160, 2019.

XU, Z.; YIN, H.; LI, H. Quantification of non-stormwater flow entries into storm drains using a water balance approach. *Science of The Total Environment*, v. 487, n. 1, p. 381–388, 15 jul. 2014.

YIN, H.; LU, Y.; XU, Z.; LI, H.; SCHWEGLER, B. R. Characteristics of the overflow pollution of storm drains with inappropriate sewage entry. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 24, n. 5, p. 4902–4915, 1 fev. 2017.

YIN, H.; ISLAM, M. S.; JU, M. Urban River pollution in the densely populated city of Dhaka, Bangladesh: Big picture and rehabilitation experience from other developing countries. *Journal of Cleaner Production*, v. 321, n. 129040, p. 1-11, 2021.

YIN, H.; XU, Z. Transitional gravity flow of sewers inappropriate entry into storm drainage of a separate system. *Journal of Hydrodynamics*, 2010.