



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA- UFBA
ESCOLA POLITÉCNICA

MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE RECURSOS
HÍDRICOS – PROFÁGUA

DANIEL GONÇALVES NETO

PROPOSTA METODOLÓGICA PARA DIAGNÓSTICO DO
METABOLISMO DA ÁGUA EM BACIAS URBANAS

Salvador

2022

DANIEL GONÇALVES NETO

**PROPOSTA METODOLÓGICA PARA DIAGNÓSTICO DO
METABOLISMO DA ÁGUA EM BACIAS URBANAS**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – Prof. Água da Universidade Federal da Bahia, como requisito para obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dra. Vivien Luciane Viaro.

Coorientador: Prof. Dr. Francisco Ramon Alves do Nascimento.

Salvador

2022

G635 Gonçalves Neto, Daniel.

Proposta metodológica para diagnóstico do metabolismo da água em bacias urbanas / Daniel Gonçalves Neto. – Salvador, 2022.

102 f.: il. color.

Orientadora: Prof. Dra. Vivien Luciene Viaro.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Ramon Alves do Nascimento.

Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - Prof. Água - Universidade Federal da Bahia - Escola Politécnica, 2022.

1. Gestão de Recursos Hídricos. 2. Bacia Hidrográfica. 3. Análise de Fluxos de Materiais. I. Viaro, Vivien Luciene. II. Nascimento, Francisco Ramon Alves do. III. Universidade Federal da Bahia. VI. Título.

CDD: 333.91



ProfÁgua



MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS
UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

DANIEL GONÇALVES NETO

“Proposta Metodológica para Diagnóstico do Metabolismo da Água em Bacias Urbanas”.

Banca Examinadora:

Profa. Dra. Vivien Luciane Viaro
Universidade Federal da Bahia

Prof. Dr. Francisco Ramon Alves do Nascimento
Universidade Federal da Bahia

Profa. Dra. Andrea Sousa Fontes
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof. Dr. Vladimir Caramori Borges de Souza
Universidade Federal de Alagoas

Salvador, 31 de março de 2022

Aos

Meus filhos Marcelo e Lucas, minha esposa Sandra e meus pais Genezio e Janete, por todo apoio e compreensão durante essa jornada.

AGRADECIMENTOS

A minha orientadora Prof. Dra. Vivien Luciane Viaro pelos ensinamentos, confiança, paciência, apoio e incentivo, fundamentais para a realização e conclusão desta pesquisa.

Ao meu Coorientador Prof. Dr. Francisco Ramon Alves do Nascimento pelos ensinamentos, oportunidade de estágio, por todo apoio e conhecimento compartilhado ao longo deste trabalho.

Aos professores Dr. Vladimir Caramori Borges de Souza e Dra. Andrea Sousa Fontes pelas contribuições e sugestões, as quais enriqueceram esta pesquisa.

Ao Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – INEMA, Diretoria de Regulação-DIRRE, Núcleo de Outorga- NOUT, pelo apoio dado na disponibilidade de dados.

A Maria das Graças de Castro Reis, Secretária de Infraestrutura do município de Alagoinhas-BA, pelo apoio dado a esta pesquisa.

A Valeria Figueiredo Lima, Diretora Técnica do Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Alagoinhas-BA, fundamental para o desenvolvimento deste trabalho ao compartilhar comigo o seu conhecimento e pela sua generosidade na disponibilização de dados para a pesquisa.

Aos professores e equipe administrativa do Prof. Água Polo UFBA pela dedicação e apoio durante realização do Mestrado.

A todos os colegas de turma, pelas contribuições e experiências compartilhadas durante as disciplinas.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) e ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - Prof. Água, - Código de Financiamento 001, Projeto CAP.ES/ANA AUXPE N°. 2717/2015, pelo apoio técnico científico.

RESUMO

A Agenda 2030 apresentada pela Organização das Nações Unidas, propõe objetivos para o alcance de um desenvolvimento sustentável, dentre eles o ODS 6 e 13, que retratam a garantia da disponibilidade e a gestão sustentável da água, aumento do uso eficiente dos recursos hídricos, além de ações contra a mudança global do clima, as quais podem intensificar a escassez hídrica ou inundações. Ademais, o impacto do aumento populacional e o crescimento econômico nas cidades, associados às mudanças climáticas precisam ser avaliados em relação ao uso da água e como seus efeitos nos eventos hidrológicos podem afetar a Gestão Integrada dos Recursos Hídricos. Diante da possibilidade de analisar sustentabilidade e a segurança hídrica no ambiente urbano por meio da associação do balanço hídrico ao metabolismo urbano da água, uma proposta metodológica aplicada à bacias urbanas foi estruturada e apresentada como produto da pesquisa, com base na metodologia, resultados e conclusões utilizados em um estudo de caso realizado em uma cidade, a estrutura metodológica respalda-se nos preceitos do metabolismo urbano da água, mediante a determinação dos fluxos de entrada, saída e os estoques de água em um perímetro urbano, por meio do uso do software STAN versão 2.6.801, aplicado em análises de fluxos de materiais, associado ao uso do software QGIS versão 3.10, na identificação das bacias, sub-bacias e nas estimativas de áreas permeáveis e impermeáveis. Tendo em vista, o município de Alagoinhas/ BA como foco para o estudo de caso e desenvolvimento da proposta, a elaboração do banco de dados necessário demarcou a realização de consultas a concessionária local de saneamento, órgãos ambientais, empresas de grande porte e a busca por padrões e parâmetros na literatura científica especializada. As fontes e os padrões necessários para quantificação de fluxos e estoques de água apoiam-se na estruturação das seguintes informações: produção de água bruta e tratada, número e categoria de consumidores atendidos pelos sistemas de abastecimento, outorgas de captação de água e lançamento de efluentes com respectivas vazões, cobertura do sistema de coleta e tratamento de esgoto, volumes tratados e/ou lançados, cobertura dos sistemas de drenagem, indicação de áreas permeáveis e impermeáveis, além de dados de precipitação. Observa-se com base no metabolismo urbano que no ano de 2019, o volume de água extraído, apenas para o suprimento da cidade, foi equivalente a cerca de 46,23% da reserva de água subterrânea renovável. De todo o volume de água que entra no sistema, 42,41% são consumidos pela cidade para os usos residencial, industrial, comercial, público, filantrópico, entretanto apenas 32,03% do total de efluentes gerados são tratados e 34,20% infiltrados no solo. A proposta metodológica, produto da pesquisa apresentado na íntegra no capítulo de resultados, baseada na análise de fluxo de materiais incorporada ao balanço hídrico, permite detalhar os fluxos, estoques e processos decorrentes da integração entre o ambiente natural e ações antrópicas, contribuindo para a gestão da água, através do mapeamento das potencialidades, fragilidades e identificação das opções para a manutenção e utilização da água em circulação na área urbana.

Palavras-chave: Gestão de Recursos Hídricos, Bacia Hidrográfica, Análise de Fluxos de Materiais.

ABSTRACT

The 2030 Agenda presented by the United Nations, proposes objectives to achieve sustainable development, including SDGs 6 and 13, which portray the guarantee of availability and sustainable management of water, increased efficient use of water resources, in addition to of actions against global climate change, which can intensify water scarcity or floods. Furthermore, the impact of population growth and economic growth in cities, associated with climate change, need to be evaluated in relation to water use and how its effects on hydrological events can affect the Integrated Management of Water Resources. Given the possibility of analyzing sustainability and water security in the urban environment through the association of water balance with urban water metabolism, a methodological proposal applied to urban basins was structured and presented as a research product, based on the methodology, results and conclusions used in a case study carried out in a city, the methodological structure is based on the precepts of urban water metabolism, through the determination of inflows, outflows and water stocks in an urban perimeter, through the use of the STAN software version 2.6.801, applied in the analysis of material flows, associated with the use of the QGIS software version 3.10, in the identification of the basins, sub-basins and in the estimates of permeable and impermeable areas. Bearing in mind the municipality of Alagoinhas/BA as the focus for the case study and development of the proposal, the elaboration of the necessary database demarcated consultations with the local sanitation concessionaire, environmental agencies, large companies and the search for standards and parameters in the specialized scientific literature. The sources and standards required to quantify water flows and stocks are based on the structuring of the following information: production of raw and treated water, number and category of consumers served by the supply systems, water abstraction grants and effluent discharge with respective flows, coverage of the sewage collection and treatment system, volumes treated and/or released, coverage of drainage systems, indication of permeable and impermeable areas, in addition to precipitation data. Based on urban metabolism, it is observed that in 2019, the volume of water extracted, just for the city's supply, was equivalent to about 46.23% of the renewable underground water reserve. Of the entire volume of water that enters the system, 42.41% is consumed by the city for residential, industrial, commercial, public, philanthropic uses, however, only 32.03% of the total effluents generated are treated and 34.20% infiltrated into the soil. The methodological proposal, product of the research presented in full in the results chapter, based on the analysis of material flow incorporated into the water balance, allows detailing the flows, stocks and processes resulting from the integration between the natural environment and human actions, contributing to the management of water, through the mapping of strengths, weaknesses and identification of options for the maintenance and use of water in circulation in the urban area.

Keywords: Water Resources Management, Watershed, Material Flow Analysis

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Balanço de massa de água urbana proposto por Kenway <i>et al.</i> , (2011).....	28
Figura 2 - Balanço de massa de água urbana proposto por Farooqui <i>et al.</i> (2016).	29
Figura 3 - Sistema de Gestão de Água e Águas Residuais em Tepic (cenário 2011).	30
Figura 4 - Análise da absorção de Fósforo utilizando AFM	31
Figura 5 - Fluxos de água no ambiente urbano de Tecoh em 2014.....	32
Figura 6 - Fluxograma de ações para realização de AFM.....	33
Figura 7 - Exemplo de sistema de Análise de Fluxo de Materiais	34
Figura 8 - Exemplo de Diagramas de Sankey utilizando o software STAN.	35
Figura 9 - Limites Municipais e Administrativos, Alagoinhas/BA.....	37
Figura 10 – Detalhamento do modelo do metabolismo urbano da água da cidade de Alagoinhas/ BA.....	40
Figura 11 - Detalhamento do processo Usos da Água e Esgoto da cidade de Alagoinhas/BA.	42
Figura 12 - Bacias Hidrográficas Urbanas, Alagoinhas/ BA.....	61
Figura 13 - Região de Planejamento e Gestão das Águas, RPGA XI.....	62
Figura 14 - Mapa de Áreas verdes, Alagoinhas/ BA.....	63
Figura 15 - Sistemas de Abastecimento de Água da cidade de Alagoinhas/ BA.....	64
Figura 16 - Percentual micro medido por categoria de consumo	65
Figura 17 - Vazões outorgadas no município de Alagoinhas, período de 2012 a 2020.	66
Figura 18 - Cobertura dos sistemas de coleta de esgoto em Alagoinhas/ BA.....	67
Figura 19 - Metabolismo urbano da água da cidade de Alagoinhas/BA.....	68
Figura 20 – Metabolismo do processo Usos de água e esgoto da cidade de Alagoinhas/BA. .	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Volumes de água outorgados para finalidade industrial em Alagoinhas/ BA.....	87
Tabela 2 - Volumes de água outorgados para finalidade irrigação em Alagoinhas/ BA.....	89
Tabela 3 - Volumes de água outorgados para uso comercial em Alagoinhas/ BA.	91
Tabela 4 - Volumes de água outorgados para consumo humano residencial em Alagoinhas/ BA.	92
Tabela 5 - Volumes de água outorgados para criação animal em Alagoinhas/ BA	93
Tabela 6 - Cálculo de áreas permeáveis e impermeáveis, por categoria de abastecimento.	94
Tabela 7 - Memória de cálculo dos fluxos do metabolismo urbano, Alagoinhas/ BA.....	94
Tabela 8 - Volumes de água medidos, por categoria de consumo - SAAE/ Alagoinhas/ BA.	100
Tabela 9 - Dados Climatológicos de Alagoinhas/ BA.....	100
Tabela 10 - Estações de Tratamento de Esgotos da cidade de Alagoinhas/ BA.	101

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Definições de Segurança Hídrica	20
Quadro 2 - Termos utilizados na AFM.....	33
Quadro 3 – Identificação e descrição dos fluxos do modelo de metabolismo urbano da água	40
Quadro 4 - Identificação e descrição dos fluxos do modelo para o processo Usos de Água e Esgoto	43
Quadro 5 - Leis municipais associadas a gestão da água em Alagoinhas- BA.	58
Quadro 6 - Identificação inicial dos fluxos urbanos de água	74

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AFM	Análise de Fluxo de Materiais
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
BH	Bacia Hidrográfica
CONDER	Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia
DAFA	Digestor anaeróbico de fluxo ascendente
DPSIR	Forças motrizes, pressões, estados, impactos e respostas
EMBASA	Empresa Baiana de Águas e Saneamento
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ETA	Estação de tratamento de água
ETE	Estação de tratamento de esgoto
FIEB	Federação das Indústrias do Estado da Bahia
GRH	Gestão dos Recursos Hídricos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDE-BAHIA	Infraestrutura de Dados Espaciais do estado da Bahia
INEMA	Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil
ISH	Índice de Segurança Hídrica
OMS	Organização Mundial de Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
PMA	Prefeitura Municipal de Alagoinhas-Ba.
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PNSH	Plano Nacional de Segurança Hídrica
PSIR	Pressão-estado-impacto-resposta
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SAAE	Serviço Autônomo de Água e Esgoto
SEAGRI	Secretaria da Agricultura, Pecuária, Irrigação, Pesca e Aquicultura
SECIN	Secretaria Municipal de Infraestrutura
SH	Segurança Hídrica
SNIRH	Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS.....	17
2.1	OBJETIVO GERAL.....	17
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1	SEGURANÇA HÍDRICA.....	18
3.1.1	CONCEITOS E EVOLUÇÃO	18
3.1.2	METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO	21
3.2	GESTÃO DA ÁGUA URBANA	24
3.3	METABOLISMO URBANO DA ÁGUA E ANÁLISE DE FLUXO DE MATERIAIS	26
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	36
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	36
4.1.1	CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE ALAGOINHAS.....	36
4.2	CONSTRUÇÃO DO MODELO PARA DETERMINAÇÃO DO METABOLISMO URBANO DA ÁGUA.....	37
4.2.1	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	38
4.2.2	DEFINIÇÃO DO SISTEMA	38
4.2.3	DETERMINAÇÃO DE FLUXOS DE MATERIAIS E ESTOQUES	46
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
5.1	DIAGNÓSTICO DA GESTÃO DA ÁGUA EM ALAGOINHAS.....	58
5.1.1	POLÍTICAS E LEGISLAÇÃO EXISTENTES	58
5.1.2	CARACTERIZAÇÃO DAS BACIAS E SUB-BACIAS URBANAS EM ALAGOINHAS.....	61
5.1.2.1	ÁREAS VERDES E NÃO VERDES.....	62

5.1.3	DIAGNÓSTICO DA INFRAESTRUTURA DE SANEAMENTO EXISTENTE NA ÁREA DE ESTUDO	63
5.2	METABOLISMO URBANO DA ÁGUA DA CIDADE DE ALAGOINHAS/ BA	67
5.2.1	PRODUTO DA PESQUISA.	72
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	76
	REFERÊNCIAS	78
	APÊNDICE A	87
	ANEXO A.....	100

1 INTRODUÇÃO

Na Agenda 2030, apresentada pela Organização das Nações Unidas (ONU), foram propostos 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), 169 metas de desenvolvimento global, compostas por objetivos, negociados e adotados por 193 estados membros da Assembleia Geral das Nações Unidas no ano de 2015, tornando-se vigentes no ano de 2016.

Os dezessete ODS constituíram-se em um plano de ação global dentro do qual podem-se destacar metas para a construção de um futuro mais sustentável, tais como as estabelecidas para o ODS 6, que visa garantir a disponibilidade e a gestão sustentável da água, aumentando o uso eficiente dos recursos hídricos, e o ODS 13, que propõe ações contra a mudança global do clima (ONU, 2016).

Atender aos objetivos propostos na Agenda 2030 e construir um futuro garantindo água de maneira sustentável para todos é um desafio para os países desenvolvidos e em desenvolvimento, principalmente em se tratando das bacias hidrográficas urbanas que integram os territórios. Esta perspectiva torna-se mais pertinente a partir da análise de projeções do Fundo de População das Nações Unidas (UNFPA), na qual indicou que cinco bilhões de pessoas viverão nas cidades até a década de 2030, o que corresponde a aproximadamente a 60 % da população mundial (ONU, 2018; IBGE, 2016).

Em vista disso, alguns estudos começaram a se concentrar nas questões donexo urbano água-energia-alimento, a fim de avaliar os impactos do aumento populacional e crescimento econômico, associados às mudanças climáticas. Os estudos nessa temática são necessários para avaliar como os usos da água e os efeitos de eventos hidrológicos afetam a Segurança Hídrica (SH) e, por conseguinte, a gestão da água (DENG *et al.*, 2020).

Destaca-se que SH pode ser entendida como a capacidade de garantir acesso a água com aspectos quali-quantitativos aptos para sustentar a saúde humana e do ecossistema em uma Bacia Hidrográfica (BH), ao mesmo tempo em que se assegura a proteção da vida e da propriedade opondo-se aos perigos relacionados à água, tais como: inundações e secas (MAKARIGAKIS, JIMENEZ-CISNEROS, 2019). A garantia do uso eficiente e mais sustentável da água, em qualidade dentro de padrões adequados e o aumento da resiliência aos eventos extremos têm se tornado desafios para a Gestão dos Recursos Hídricos (GRH).

No âmbito nacional, a garantia da sustentabilidade hídrica e a gestão adequada dos recursos hídricos em bacias hidrográficas são temáticas presentes na Lei Nacional nº 9.433/1997, também conhecida como Lei das Águas, a qual busca a partir de instrumentos, dentre outros aspectos, disciplinar, de forma mais sustentável, os diversos usos da água.

Por meio da associação das informações provenientes do instrumento de outorga e o de enquadramento de corpos hídricos, o balanço hídrico em um ambiente urbano pode nortear a tomada de decisão em relação a disponibilidade, demanda e qualidade de água. Entretanto, destaca-se a importância de associar à análise do desempenho hidrológico, aspectos associados ao crescimento das cidades, mudanças sociais, ambientais e climáticas, ao uso e ocupação do solo, considerando mudanças ao longo do tempo (HAASE, 2009; KENWAY *et al.*, 2011). Pois, a abordagem convencional do balanço hídrico, usada por muitos planejadores urbanos está direcionada apenas à avaliação da demanda de água da cidade e à identificação de fontes de água (GHOSH *et al.*, 2019).

Ao se constatar a realidade nacional com aproximadamente 84 % da população residente em áreas urbanas, o desafio inerente à uma adequada GRH torna-se intrínseco em áreas urbanas. Tal situação pode ser complementada com a incapacidade em grandes áreas urbanas de atendimento à demanda de água dentro dos limites geográficos, caracterizadas pela dependência externa de recursos hídricos, questão típica associada à Segurança Hídrica e a resiliência no nível urbano (ONU, 2018; IBGE, 2016; HOEKSTRA *et al.*, 2018).

Ademais, destacando-se as interações e interconexões entre água, energia e alimento, a GRH demanda esforços das instâncias governamentais, órgãos gestores e de controle de recursos hídricos, bem como da própria população. Pois, a alteração do ciclo hidrológico local decorrente do desenvolvimento urbano, causa impactos como inundações, contaminação do ar, do solo, rios e aquíferos. Assim, metodologias que possam subsidiar a gestão precisam ser desenvolvidas, retratando de forma mais clara a eficiência do uso da água e as fontes alternativas, o controle do tratamento e disposição dos esgotos sanitários, o manejo adequado das águas pluviais e o controle da quantidade e qualidade da água disponível (WANG *et al.*, 2021; CURTARELLI *et al.*, 2018).

Neste contexto, a caracterização do Metabolismo Urbano da Água, baseado na Análise de Fluxo de Materiais (AFM), pode auxiliar a GRH, complementando o balanço hídrico, por meio da caracterização e associação dos fluxos naturais e antropogênicos da água no ambiente urbano. Na caracterização do metabolismo urbano da água, a bacia hidrográfica urbana deve ser considerada como um ecossistema, cuja fisiologia é regida por fluxos de energia e materiais, e

relações com os elementos circundantes (NEWMAN, 1999). A AFM é utilizada para rastrear os fluxos dentro do sistema de estudo em um período definido. A análise dos fluxos e processos relacionados ao ciclo da água nas bacias urbanas permite tanto a abordagem da Sustentabilidade Hídrica quanto a avaliação da Segurança Hídrica nas cidades.

Diante da possibilidade de analisar sustentabilidade e a segurança hídrica no ambiente urbano por meio da associação do metabolismo da água, uma área urbana foi selecionada para realização de um estudo de caso e desenvolvimento desse trabalho. Com base na metodologia utilizada, resultados e conclusões obtidos a partir do estudo de caso, uma proposta metodológica para o diagnóstico do metabolismo da água em bacias urbanas foi estruturada e apresentada na íntegra no Capítulo 5, Seção 5.2.1.

Portanto, a proposta metodológica considerada nesta pesquisa, irá contribuir para a área de conhecimento da gestão urbana de recursos hídricos, tanto para áreas com oferta de água quanto para áreas impactadas com estresse hídrico. Essa proposta baseia-se no mapeamento das potencialidades e fragilidades e identificação das opções para a manutenção e utilização da água em circulação na área urbana. O produto da pesquisa pode ser aplicado em outras cidades ou áreas urbanas e utilizado por gestores das esferas federal, estadual e municipal, como ferramenta de informação e fonte de dados para a construção de indicadores ambientais, auxiliando na regulação dos serviços de abastecimento de água e em instrumentos de gestão de recursos hídricos como a Outorga, fornecendo informações sobre disponibilidade hídrica e avaliação da segurança hídrica.

2 OBJETIVOS.

2.1 OBJETIVO GERAL

Conceber procedimento metodológico de análise do metabolismo da água em ambientes urbanos a partir de estudo de caso realizado em uma cidade, visando auxiliar no processo de tomada de decisão para a segurança hídrica.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Identificar as fontes e os padrões das informações necessárias para quantificação de fluxos e estoques de água;
- b) Determinar e avaliar o metabolismo urbano da água da cidade de Alagoinhas/BA;
- c) Identificar as etapas metodológicas necessárias para a determinação do metabolismo da água em cidades.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 SEGURANÇA HÍDRICA

3.1.1 CONCEITOS E EVOLUÇÃO

O termo Segurança Hídrica começou a ser utilizado no ano 2000, com a publicação do relatório, *Um mundo seguro para a água: Visão para a água, a vida e o meio ambiente*, que foi elaborado pelo Conselho Mundial da Água. O documento traçou perspectivas e objetivos a serem buscados para a garantia do acesso à água, saneamento adequado, alimentos e energia a um custo razoável. Destacava questões importantes como o fornecimento de água adequado e de maneira equitativa, harmonia com a natureza, além da preocupação com o desenvolvimento humano de maneira sustentável. Um ponto importante abordado no relatório foi a constatação da necessidade de mudanças drásticas na maneira como a água era administrada. Uma abordagem holística e sistêmica baseada na gestão integrada dos recursos hídricos deve substituir a fragmentação na gestão da água (WWC, 2000).

No mesmo ano em que o Conselho Mundial da Água publicou o seu relatório, outro documento com a abordagem do conceito de segurança hídrica, foi o relatório *Rumo à segurança da água: Uma estrutura para ação*, publicado pela Parceria Global Pela Água (GWP). No relatório foi destacada a importância da cooperação entre os diferentes tipos de usuários da água, os quais compartilham bacias hidrográficas e aquíferos, a preocupação com a exploração dos recursos hídricos, salientando que tais recursos deveriam ser administrados de forma equitativa, eficiente e integrada. O relatório da GWP apresentava a Segurança Hídrica como uma pré-condição estratégica para se atingir a eficiência na redução da pobreza, saneamento ambiental, gestão de águas residuais e controle de enchentes. O conceito ainda deixou claro que o acesso à água deveria ocorrer em todos os níveis, desde o domicílio até o global e o ambiente natural, protegido e aprimorado (GWP, 2000).

Desde então, o interesse pela SH passou a ser tema de estudos, seja associado a conceitos surgidos ao longo do tempo, tais como Sustentabilidade Hídrica, como associado à gestão da água, integrando debates em temas como energia renovável, ciências políticas, planejamento

urbano regional, economia e relações internacionais. Segundo Gain *et al.* (2016) a SH sobrepõe a relação disponibilidade física de recursos hídricos e demanda de água, estendendo-se também a fatores sociais e econômicos como planejamento, gerenciamento, capacidade institucional para fornecer serviços de água e políticas econômicas sustentáveis.

Neste contexto, o conceito de SH ultrapassa a relação da quantidade *versus* demanda, a exemplo da definição estabelecida por Grey e Sadoff (2007), a qual, além da preocupação com a quantidade e a qualidade da água, sugere a redução de riscos relacionados à água para pessoas, ambientes e economias. Outros aspectos também foram incorporados ao conceito de SH, como a abordagem de Garantia da Segurança Nacional (BAKKER, 2013), o estado de equilíbrio entre o ciclo hidrológico e atividades humanas, evitando inundações ou seca (LI *et al.*, 2016), e o uso da água de forma a aumentar a sustentabilidade a longo prazo (HOEKSTRA *et al.*, 2018).

A ONU, associou a SH à estabilidade política UN-WATER (2013), delimitando a Bacia Hidrográfica como a região na qual deve ser garantido o acesso a água, sustentando a saúde humana e a do ecossistema (MAKARIGAKIS *et al.*, 2019). Considerando os limites da BH, os objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e a necessidade de uma gestão que integre todas as estruturas envolvidas para o alcance de melhores resultados, garantir a segurança hídrica passou a ser de fundamental relevância. É importante destacar que a Gestão Integrada de Recursos Hídricos é pautada no compromisso entre desenvolvimento econômico, equidade social e integridade ecológica, o que torna a SH um importante objetivo dentro do processo de gestão e gerenciamento da água (VAN GINKEL *et al.*, 2018).

O sucesso da garantia da Segurança Hídrica depende de algumas condições, como conhecer, direcionar e gerenciar os riscos associados a água (OECD, 2013). O que exige planejamento e políticas que considerem os interesses da sociedade, algo presente no conceito de SH adotado, na esfera nacional, pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), que a descreve como:

Condição indispensável para o desenvolvimento social e econômico, perante impactos causados por eventos hidrológicos extremos, posição ideal alcançada mediante uma infraestrutura planejada, adequada, implantada e bem gerida, equilibrando oferta e a demanda de água em situações de contingenciamento (ANA, 2019).

A incorporação de assuntos como a seca, escassez, inundações, na definição de SH, pode ser explicado pelos impactos causados ao meio ambiente pelas mudanças climáticas, visto que mudanças globais no clima têm sido observadas ao longo dos anos e tais mudanças podem intensificar a ocorrência de eventos extremos (VAN GINKEL *et al.*, 2018; NSHIMBI, 2019; HOEKSTRA *et al.*, 2018).

A necessidade de garantia da Segurança Hídrica e a importância de alcançar os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, ODS 6 e o ODS 13, propostos pela ONU na Agenda 2030, podem ser observados dentro do conceito de SH utilizado pela UNESCO, o qual incorpora a preocupação em assegurar proteção eficiente da vida e propriedade contra os perigos relacionados a água como inundações, desabamentos, subsidência do solo e secas (MAKARIGAKIS *et al.*, 2019).

No Quadro 1 são apresentados os conceitos de Segurança Hídrica, de acordo com a evolução temporal, adotados por autores, instituições internacionais e nacionais de relevante destaque na abordagem do tema.

Quadro 1 - Definições de Segurança Hídrica

Referências	Definições
World Water Commission (2000)	Todo ser humano, agora e no futuro, deve ter acesso a água potável para beber, saneamento adequado e alimentos e energia suficientes a um custo razoável. O fornecimento de água adequada para atender a essas necessidades básicas, deve ser feito de maneira equitativa que funcione em harmonia com a natureza, pois a água é a base para todos os ecossistemas e habitats vivos e parte de um ciclo hidrológico imutável que deve ser respeitado. O desenvolvimento do ser humano, atividade e bem-estar deve ser sustentável.
Global Water Partnership (2000)	Cada pessoa e em qualquer nível, desde o domicílio até o global, tem acesso a água potável suficiente a um custo acessível para levar uma vida limpa, saudável e produtiva, ao mesmo tempo que garante que o ambiente natural seja protegido e aprimorado.
Grey e Sadoff (2007)	Disponibilidade de água em quantidade e qualidade aceitáveis para a saúde, meios de subsistência, ecossistemas e produção, juntamente com um nível aceitável de riscos relacionados à água para pessoas, ambientes e economias.
Bakker e Morinville (2013)	Nível aceitável de riscos relacionados à água para seres humanos e ecossistemas, juntamente com a disponibilidade de água em quantidade e qualidade suficientes para apoiar meios de subsistência, segurança nacional, saúde humana e serviços ecossistêmicos.
UN-WATER (2013)	Capacidade de uma população para garantir acesso sustentável a quantidades adequadas de água de qualidade aceitável para meios de subsistência, bem-estar humano e desenvolvimento socioeconômico, para garantir proteção contra a poluição causada pela água e desastres relacionados à água e pela preservação de ecossistemas em um clima de paz e estabilidade política.

Referências	Definições
Li <i>et al.</i> (2016)	Estado em que o ciclo hidrológico natural e as atividades humanas relacionadas à água, não causam escassez de água, poluição da água, inundações, seca ou outros problemas.
Hoekstra <i>et al.</i> (2018)	Utilização da água de maneira sustentável a longo prazo, promovendo um aumento do bem-estar econômico, melhorando a igualdade social e reduzindo os riscos relacionados a água.
ANA (2019)	Condição indispensável para o desenvolvimento social e econômico, perante impactos causados por eventos hidrológicos extremos, posição ideal alcançada mediante uma infraestrutura planejada, adequada, implantada e bem gerida, equilibrando oferta e a demanda de água em situações de contingenciamento.
Makarigakis <i>et al.</i> (2019) / “UNESCO”	Capacidade da população de garantir acesso a quantidades de água de qualidade aceitável para sustentar a saúde humana e do ecossistema em uma bacia hidrográfica, e assegurar proteção eficiente da vida e propriedade contra os perigos relacionados a água como inundações, desabamentos, subsidência do solo e secas.

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.1.2 METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO

A proteção dos recursos hídricos requer o diagnóstico das ameaças em diferentes escalas, do nível global ao local, levando em consideração a Segurança Hídrica, as perspectivas humanas e da biodiversidade (VÖRÖSMARTY *et al.*, 2016). Indicadores são ferramentas amplamente utilizadas para quantificar os agentes estressores do meio ambiente. Indicadores por definição são abstrações simplificadas do mundo real (FEKETE, 2014), considerados como uma ferramenta poderosa para a tomada de decisão e adotados para avaliar e monitorar o progresso em direção à sustentabilidade (PIRES *et al.*, 2017). Segundo Bragatto *et al.* (2012), indicadores ambientais aplicados à gestão de recursos hídricos, permitem criar e avaliar programas e políticas públicas que visem a sustentabilidade ambiental nas microbacias hidrográficas.

A mensuração adequada do nível de Segurança Hídrica, depende da avaliação correta do nível de estudo, podendo ser global, nacional, regional, local ou individual (JENSEN, 2018). A quantificação da SH deve considerar dimensões físicas, socioeconômicas e de governança, por meio da avaliação de indicadores que contemplem critérios de disponibilidade, acessibilidade, segurança, qualidade e gestão (GAIN *et al.*, 2016). Segundo Jensen (2018), para que um indicador se torne significativo e passível de uso, é necessário que seja confiável,

cientificamente válido, tecnicamente robusto e capture com precisão os níveis e as mudanças no fenômeno de interesse.

Na revisão de literatura, realizada durante a elaboração deste trabalho, foi identificada uma gama de indicadores relacionados aos recursos hídricos, com foco nos mais diversos níveis e dimensões da Segurança Hídrica. Pires *et al.* (2017) identificaram 170 indicadores relacionados ao uso e gerenciamento da água, os quais foram avaliados por um painel internacional de especialistas, com base em critérios de sustentabilidade social, econômica, ambiental, institucional e classificados de acordo com a estrutura do DPSIR (forças motrizes, pressões, estados, impactos e respostas). O estudo resultou em 24 indicadores, que atenderam aos critérios de sustentabilidade, dos quais o Índice de Pobreza da Água (WPI), Índice de Reutilização de Água (WRI), Índice de estresse hídrico relativo (RWSI) e o Índice de Uso Não Sustentável da Água (INSWU), podem ser aplicados como ferramenta para a avaliação do uso e gerenciamento sustentável da água e como consequência a SH.

Van Ginkel *et al.* (2018) desenvolveram um painel de 56 indicadores, baseados na estrutura pressão-estado-impacto-resposta (PSIR), os quais foram aplicados em 10 cidades (Amsterdã, Toronto, Cingapura, Nairóbi, Lima, Jacarta, Dubai, Pequim, Hong Kong e São Paulo), para a identificação das diferentes características de segurança hídrica. Os indicadores foram agrupados de acordo com a característica e o estágio exercido ao meio ambiente, pressão, impacto, estado ou resposta, gerando um índice de SH, ao qual foi atribuído uma pontuação para classificação das cidades. O trabalho observou que a pressão exercida nas cidades pelo rápido crescimento populacional e aumento da poluição, combinada a ausência de planejamento, gestão operacional deficiente, impactaram em uma resposta inadequada que contribuiu para a baixa Segurança Hídrica observada nas cidades em desenvolvimento.

Em ambos os trabalhos citados anteriormente a estrutura pressão-estado-impacto-resposta foi utilizada na classificação dos indicadores, a qual pode ser entendida pelas pressões ambientais e sócio econômicas que impactam os recursos naturais e sua disponibilidade, pelo estado atual dos elementos naturais e infraestrutura dos sistemas urbanos de água, pelo impacto causado a esses sistemas em decorrência do estado em que se encontram e a resposta da população, na tentativa de prevenção e adaptação a tais impactos e mudanças nesse estado. A utilização da estrutura PSIR para identificação e seleção de indicadores, permite avaliar a SH dentro de suas quatro dimensões proposta pela ANA (2019), a humana, ecossistêmica, de resiliência e econômica.

A Comissão das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável (CSD), apresentou em seu estudo, *Indicadores de desenvolvimento sustentável: Estrutura e metodologias*, uma lista de 134 indicadores, baseado em tal estudo, Guimarães (2008) propôs um Sistema de Indicadores de Bacias Hidrográficas para o Brasil, composto por 32 indicadores, abordando quatro dimensões: ambiental, social, econômica e institucional. Como estudo de caso, o sistema foi aplicado à Bacia da Baía de Guanabara no estado do Rio de Janeiro, Brasil, através da avaliação de três indicadores dessa lista: Abastecimento público de água, acesso a um sistema de esgoto público e coleta de lixo municipal, utilizados para a avaliação do desenvolvimento sustentável na região, condição relacionada a SH.

Tucci (2017) ao avaliar a sustentabilidade do ciclo de água urbano, considerando o uso doméstico da água, propôs dois indicadores que podem ser utilizados para a avaliação da segurança hídrica, o Indicador de vazão de subsídio ambiental, que representa a demanda total de água, demanda consumida para uso urbano, somada à demanda que o meio ambiente necessitaria para eliminar o efeito do esgoto não tratado. Apresentando também o Indicador de Sustentabilidade Hídrica, que relaciona a vazão utilizada pela população e a vazão disponível. A pesquisa utilizou dados de fácil acesso, disponíveis no Sistema Nacional de Indicadores de Saneamento- SNIS e observou que, para o Brasil, a vazão de subsídio é 27,9 vezes maior que a vazão consuntiva e que a demanda de água atual é 200 vezes maior do que a disponível. Podendo tal avaliação ser replicada em escalas menores, a níveis regional e local.

Jensen e Wu (2018) desenvolveram indicadores de segurança hídrica urbana, testados nas cidades de Cingapura e Hong Kong. O trabalho destaca o processo de construção de indicadores, atendendo a características como, validade, legitimidade, confiabilidade, robustez, dentre outras, aspectos considerados necessários para que o indicador seja considerado significativo. A pesquisa utilizou o Método de Análise de Processo (MAP) para o desenvolvimento, metodologia baseada na identificação das causas e efeitos gerados ao sistema e que utiliza um número reduzido de indicadores quando comparada com as metodologias DPSIR e PSIR, as quais necessitam de um maior número de indicadores para representar forças motrizes, pressões, estado, impacto e respostas. Os indicadores selecionados através do MAP, são direcionados apenas para a descrição dos impactos.

A utilização do Método de Análise de Processo, permitiu que os pesquisadores obtivessem resultados satisfatórios na construção de indicadores de segurança hídrica específicos para o limite urbano, entretanto é importante observar como os recursos hídricos são gerenciados e

explorados, fora dos limites da cidade, pois tal restrição pode ocultar possíveis riscos a SH, envolvidos no compartilhamento destes recursos hídricos com outras regiões.

Atualmente os indicadores ambientais ganharam destaque, ao serem utilizados para o monitoramento das oito metas globais, propostas pela ONU (2016) para o alcance de um desenvolvimento sustentável, no ODS 6, foi estabelecido um conjunto de 12 indicadores, dos quais 3 indicadores estão associados a aspectos como qualidade, quantidade e acesso sustentável à água e o indicador, Nível de estresse hídrico: retirada de água doce como proporção dos recursos disponíveis em água doce. ODS 6/META 6.4 / 6.4.2, pode ser calculado mediante fluxos anuais determinados pelo metabolismo da água, cuja determinação é um dos objetivos dessa pesquisa.

3.2 GESTÃO DA ÁGUA URBANA

Problemas relacionados à água têm afetado a população mundial, a falta de água potável, recursos hídricos insuficientes para garantir a segurança alimentar, desastres hídricos, poluição e degradação dos ecossistemas tem se tornado um risco crescente para a humanidade (ROSSI, 2015). O estresse hídrico e eventos hidrológicos extremos estão entre os três principais riscos globais em termos de impacto e probabilidade para a humanidade (WEF, 2016), o que tem tornado a gestão da água um desafio. Segundo Scholten (2020), as questões hídricas contemporâneas são muito mais complexas e inter-relacionadas com interesses econômicos, sustentabilidade, interesses sociais, igualdade, legitimidade, justiça e perspectivas holísticas na integração de políticas.

Os desafios para se atingir níveis satisfatórios na gestão da água, tem levado a discussões e reflexões sobre a melhor forma de governança dos recursos hídricos, lidando com problemas como escassez de água e a sua necessidade para o abastecimento humano, crescimento urbano e o seu impacto nos recursos hídricos, dentre outros. Em qualquer aspecto avaliado os recursos hídricos constituem o veículo responsável por impulsionar ou limitar o desenvolvimento das cidades e regiões. No Brasil, a Lei Nacional nº 9.433/1997, também conhecida como Lei das Águas, instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, a qual, através de diretrizes e objetivos possibilitou a construção de um ambiente propício para que sejam superadas as

fragilidades identificadas no processo de gestão da água, as quais vem sendo refletidas na governança dos recursos hídricos.

A Lei das Águas, estabelece que a gestão dos recursos hídricos seja descentralizada, com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades e proporcione o uso múltiplo das águas (BRASIL, 1997). O reconhecimento dos usos prioritários em períodos de crise hídrica e a descentralização da gestão dos recursos hídricos, é um ponto fundamental para que problemas locais relacionados ao uso da água possam ser resolvidos em níveis hierárquicos menores, na bacia hidrográfica, com o envolvimento e a participação do governo, dos usuários e das comunidades locais.

Considerando os impactos causados pela urbanização, decorrentes do crescimento das cidades, os quais ocasionam alterações no ciclo hidrológico, observa-se que, à medida que as aglomerações urbanas crescem, elas enfrentam desafios de gestão em termos de prestação de serviços de água e saneamento a uma população cada vez maior (VAN DEN BRANDELER *et al.*, 2019). Segundo Tucci (2008), os impactos resultantes da urbanização são:

- (a) contaminação das fontes de abastecimento (mananciais),
- (b) contaminação dos sistemas hídricos urbanos por efluentes doméstico e pluvial e a produção de resíduos sólidos;
- (c) erosão e sedimentação com áreas degradadas;
- (d) áreas de risco de inundação, escorregamento;
- (e) proliferação de doenças.

Diante deste contexto, a prestação satisfatória dos serviços básicos de saneamento, é de fundamental importância para uma boa gestão da água. Campo em que devem ser observadas a Lei Nº 11.445/07, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico, com direcionamento para os serviços e sistemas de abastecimento de água, coleta e tratamento de esgoto e drenagem pluvial, bem como a Lei Nº 14.026/20, que atualiza o marco legal do saneamento básico do Brasil.

A contaminação do solo, ocupação desordenada e degradação de áreas, são problemas que, segundo Curtarelli *et al.* (2018), afetam quase todas as cidades brasileiras e estão relacionados ao uso e ocupação do solo, produzindo um ciclo de contaminação das fontes água para abastecimento e perda da disponibilidade hídrica. Em relação as políticas urbanas alguns marcos como a Lei Nº 6.766/79, a qual dispõe sobre o parcelamento do solo urbano, a Lei Nº 10.257/01, que estabelece diretrizes gerais da política urbana, interesse social, uso da

propriedade urbana em prol do bem coletivo, bem como do equilíbrio ambiental, a Lei Nº 12.651/12, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa, orientam o planejamento urbano, contribuindo para melhoria na gestão da água urbana.

É possível observar que apesar da existência de um grande número de instrumentos, com ações e objetivos que contribuem para a proteção dos corpos hídricos e melhoria na gestão da água, seja ela a nível urbano ou bacia hidrográfica, o conflito entre as diferentes escalas de governança, impactam o resultado final de uma boa gestão. Alcançar a coerência entre a gestão de bacias hidrográficas e a gestão das águas urbanas é um desafio para as grandes cidades, devido a suas múltiplas unidades político-administrativas (VAN DEN BRANDELER *et al.*, 2019).

Enfrentar os desafios da gestão urbana da água e resolver problemas ambientais complexos, que afetam os recursos hídricos em decorrência do processo de urbanização, requer uma avaliação sistemática e eficiente. Um caminho possível é o entendimento do metabolismo da água em cidades, conhecer a maneira como ela é gerenciada no ambiente urbano permite mensurar o quanto as áreas urbanas estão progredindo em direção aos objetivos estabelecidos para o gerenciamento de recursos (RENOUF *et al.*, 2017), complementar a tomada de decisões sobre o serviço de água urbano e avaliar o uso de fontes alternativas de água, tais como, captação de águas pluviais, reciclagem de águas residuais e reuso de águas cinzas (FAROOQUI *et al.*, 2016), além de auxiliar na identificação dos gargalos que restringem a expansão e o desenvolvimento das cidades, identificando mecanismos de adaptação para lidar com a poluição, seca e inundações (HUANG *et al.*, 2013).

3.3 METABOLISMO URBANO DA ÁGUA E ANÁLISE DE FLUXO DE MATERIAIS

Segundo Peña-Guzmán *et al.* (2017), o ciclo da água no ambiente urbano, pode ser definido como a interação espaço-temporal entre a água e os processos hidrológicos, bem como o abastecimento, tratamento, distribuição, consumo, coleta, fornecimento e reutilização realizados em áreas urbanas ou áreas parcialmente urbanas. O ciclo urbano da água é constituído por fluxos de entradas e saídas, os quais a água é transportada pelo ambiente, além dos estoques.

O conceito de metabolismo urbano foi empregado pela primeira vez no ano de 1965, com o objetivo de debater a qualidade da água e do ar de cidades americanas (WOLMAN, 1965). O metabolismo urbano compreende a conceituação e quantificação dos fluxos de recursos através dos sistemas urbanos, mapeando entradas e saídas de recursos nas áreas urbanas, que podem ser recursos energéticos, naturais ou artificiais e que estão relacionados aos fluxos de água, materiais e nutrientes (KENNEDY *et al.*, 2011). Esse tipo de análise de fluxos de recursos também pode ser utilizado para caracterizar todos os materiais e fluxos de energia dentro e fora de uma região urbana (KENWAY, 2011).

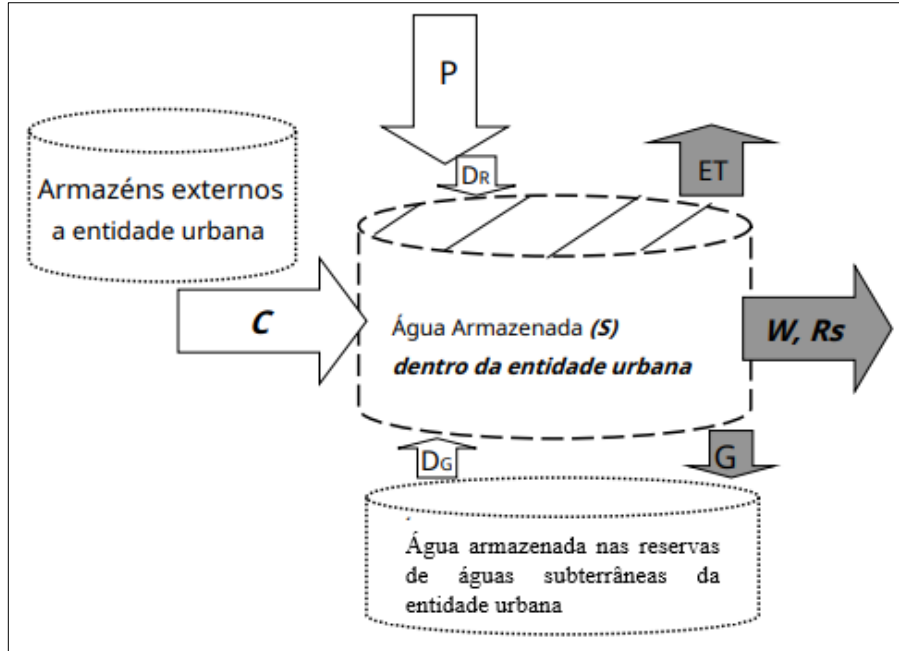
Na determinação do metabolismo urbano da água é utilizado o método de balanço de massa para quantificar todos os fluxos de água, naturais e antropogênicos, através de uma área urbana definida, a partir da qual indicadores de desempenho podem ser gerados (SERRAO *et al.*, 2019). O metabolismo urbano da água, balanço hídrico urbano, e o ciclo urbano da água partem do mesmo princípio de balanço de massa, por meio da quantificação das importações e exportações de materiais e substâncias para um meio, considerando o esgotamento dos recursos internos ou a sua acumulação dentro dos limites do sistema (ESPINOSA, 2016).

Diversos modelos matemáticos foram propostos desde a década de 1990, buscando descrever o comportamento do ciclo da água e as interações dentro do ambiente urbano, inicialmente, com o objetivo de compreender o comportamento e as interações entre os sistemas de drenagem urbana, sistemas de tratamento de água e os corpos d'água, estes modelos foram aprimorados ao longo dos anos, passando a incluir a gestão das águas pluviais, o controle da qualidade e quantidade de águas superficiais e das fontes de águas subterrâneas (PEÑA-GUZMÁN, *et al.*, 2017). Os modelos dinâmicos de simulação da água urbana *Dynamic Urban Water Simulation Model* (DUWSiM) (WILLUWEIT e O'SULLIVAN, 2013), *WaterMet 2* (WM2) (BEHZADIAN e KAPELAN, 2015) e o *Model for Urban Stormwater Improvement Conceptualization* (MUSIC) modelo hidrológico urbano que simula as características do escoamento de águas pluviais, usado para estimar as magnitudes das fontes hidrológicas naturais (FAROOQUI *et al.*, 2016), são alguns exemplos de modelos matemáticos identificados durante a revisão.

Uma estrutura sistemática de balanço de massa, para quantificar todos os fluxos antropogênicos e naturais dentro e fora do ambiente urbano (Figura 1) foi proposto por Kenway *et al.* (2011), o modelo avaliou as cidades Australianas de Sydney, Melbourne, Sudeste de Queensland e Perth, permitindo mensurar alguns indicadores quantitativos de desempenho, dentre eles o grau de centralização dos sistemas de abastecimento de água, o potencial de chuvas, as águas pluviais

e águas residuais que poderiam ser utilizadas para compensar a demanda de água. A abordagem tornou visível grandes fluxos de água que não foram contabilizados e/ou ignorados.

Figura 1 – Balanço de massa de água urbana proposto por Kenway *et al.*, (2011)

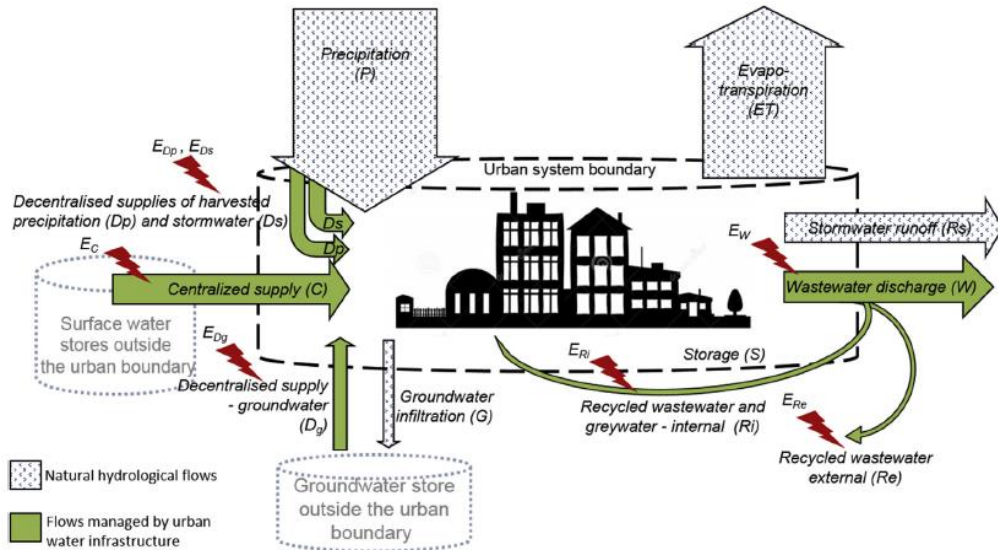


O modelo avalia a relação do balanço hídrico urbano e da água armazenada (S) dentro dos limites da cidade, calculando o balanço de massas através da Equação 1, na qual as entradas são representadas pelo fluxo (C), caracterizando as principais fontes de água, centralizadas ou importadas, pelos fluxos descentralizados (D) que corresponde ao somatório das águas subterrâneas (DG) e reservatórios de aproveitamento da água da chuva (DR), além da precipitação (P), que pode ser representada pela chuva, neve ou orvalho. As saídas do sistema são, a descarga de águas residuais (W), o escoamento de águas pluviais (RS), as águas infiltradas (G) e a evapotranspiração (ET). Todos os parâmetros são volumes de fluxos por unidade de tempo.

$$S = C + D + P - (W + RS + G + ET) \quad (1)$$

Farooqui *et al.* (2016), aprimoraram o modelo apresentado por Kenway *et al.* (2011), para avaliar como o uso de fontes alternativas de água, tais como a captação de águas pluviais, reuso de efluentes, dentre outras, influenciam o metabolismo local da água, bem como, quantificar a energia relacionada ao uso da água. O novo modelo (Figura 2) foi utilizado para testar cenários alternativos de serviços de água e fornecer uma nova perspectiva para complementar avaliações mais amplas de sustentabilidade hídrica urbana.

Figura 2 - Balanço de massa de água urbana proposto por Farooqui *et al.* (2016).



O modelo refinado é representado pela Equação 2, na qual são considerados, além dos fluxos inicialmente propostos na Equação 1, os fluxos provenientes da reutilização/reciclagem de águas residuais, utilizados no interior da cidade (Ri) e exportados para áreas adjacentes aos limites do sistema (Re). O modelo também identifica os fluxos hidrológicos naturais e os fluxos geridos pela infraestrutura associada aos sistemas de abastecimento urbano.

$$(C + D + P + Ri) = (W + RS + G + ET + Ri + Re) + \Delta S \quad (2)$$

Onde:

P= Precipitação;

C= Reservas de águas superficiais e subterrâneas;

D= Reservatórios de aproveitamento de águas pluviais;

Re= Reuso de esgoto para uso externo a cidade;

Ri= Reuso de esgoto para uso interno na cidade;

ET= Evaporação;

RS= Descarga de águas pluviais/ Escoamento Superficial;

W= Lançamento de efluentes/ descarga de águas residuais;

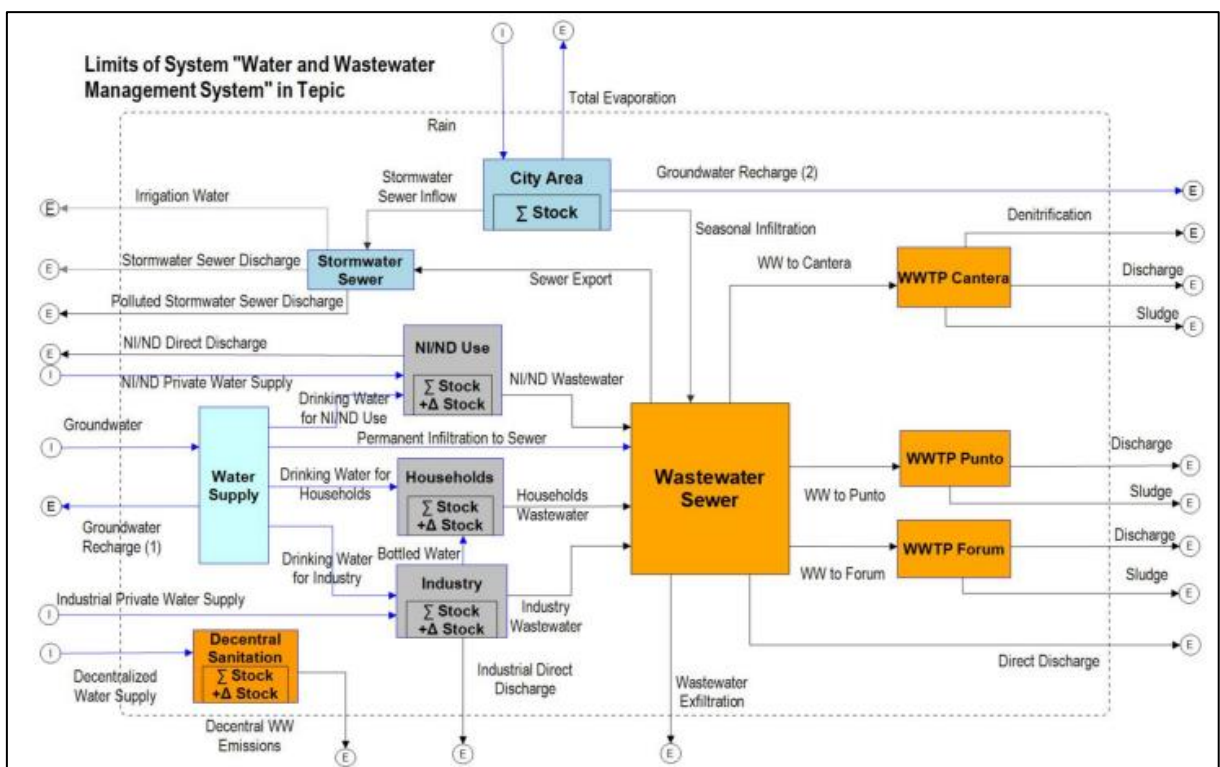
G= Infiltração;

ΔS = Armazenamento/ Estoque

No Brasil, Galvão, Morais e Miranda (2017), utilizaram o metabolismo urbano como método para avaliar a gestão da água na cidade de Campina Grande, na Paraíba, permitindo identificar uma tendência do sistema de abastecimento à centralização em uma única fonte hídrica, mesmo possuindo potencial para diversificar as suas fontes, apontando assim, para a necessidade de mudanças no seu padrão de gestão da água.

Espinosa (2016) avaliou os sistemas de gestão da água e das águas residuais urbanas, em pequenas e médias cidades do México. Para obter uma visão completa dos processos relacionados com a água na cidade e compreender de forma holística de que maneira ela é gerida, utilizando a Análise de Fluxo de Materiais (AFM) como metodologia para a avaliação, a qual foi testada em um estudo de caso realizado para a cidade de Tepic, baseada em dados coletados nos anos de 2007 e 2011 (Figura 3). O modelo além de permitir uma imagem completa dos processos relevantes para a água no ambiente urbano, permitiu também a identificação das suas fontes, caminhos e o seu destino final, tornando possível traçar cenários com um primeiro prognóstico da situação futura na cidade para o ano de 2030. O estudo demonstrou que a utilização da AFM é adequada, além de permitir a análise de outros processos correlacionados, a exemplo do balanço de nutrientes.

Figura 3 - Sistema de Gestão de Água e Águas Residuais em Tepic (cenário 2011).

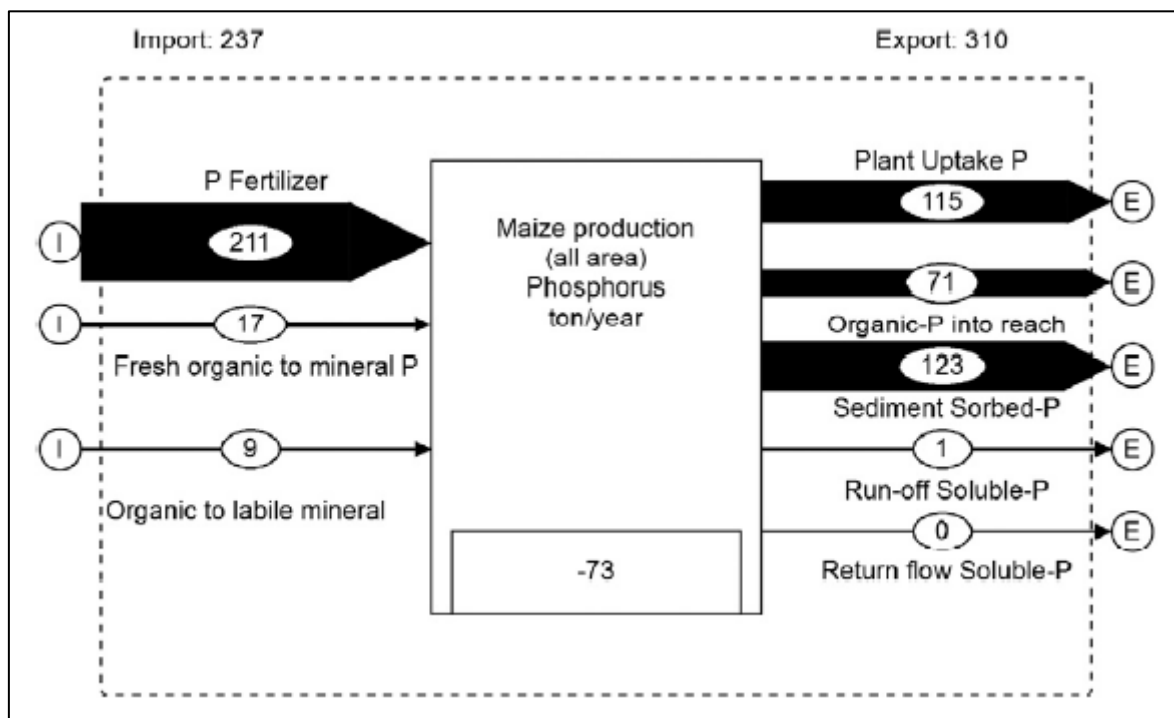


Fonte: Espinosa, 2016.

A AFM é uma avaliação sistemática do estado e das mudanças de fluxos e estoques de materiais, dentro de um sistema definido no espaço e no tempo (BRUNNER e RECHBERGER, 2016). A execução da AFM é baseada no princípio de balanço de massa para criar modelos de estoques e fluxos de um recurso ou recursos por meio de um sistema limitado (SIMA *et al.*, 2013). Sua aplicação abrange diferentes escalas, desde análises individuais de processos industriais, cidades até países inteiros, permitindo que seja desenvolvido um modelo específico para o sistema estudado, de acordo com as características e dados disponíveis.

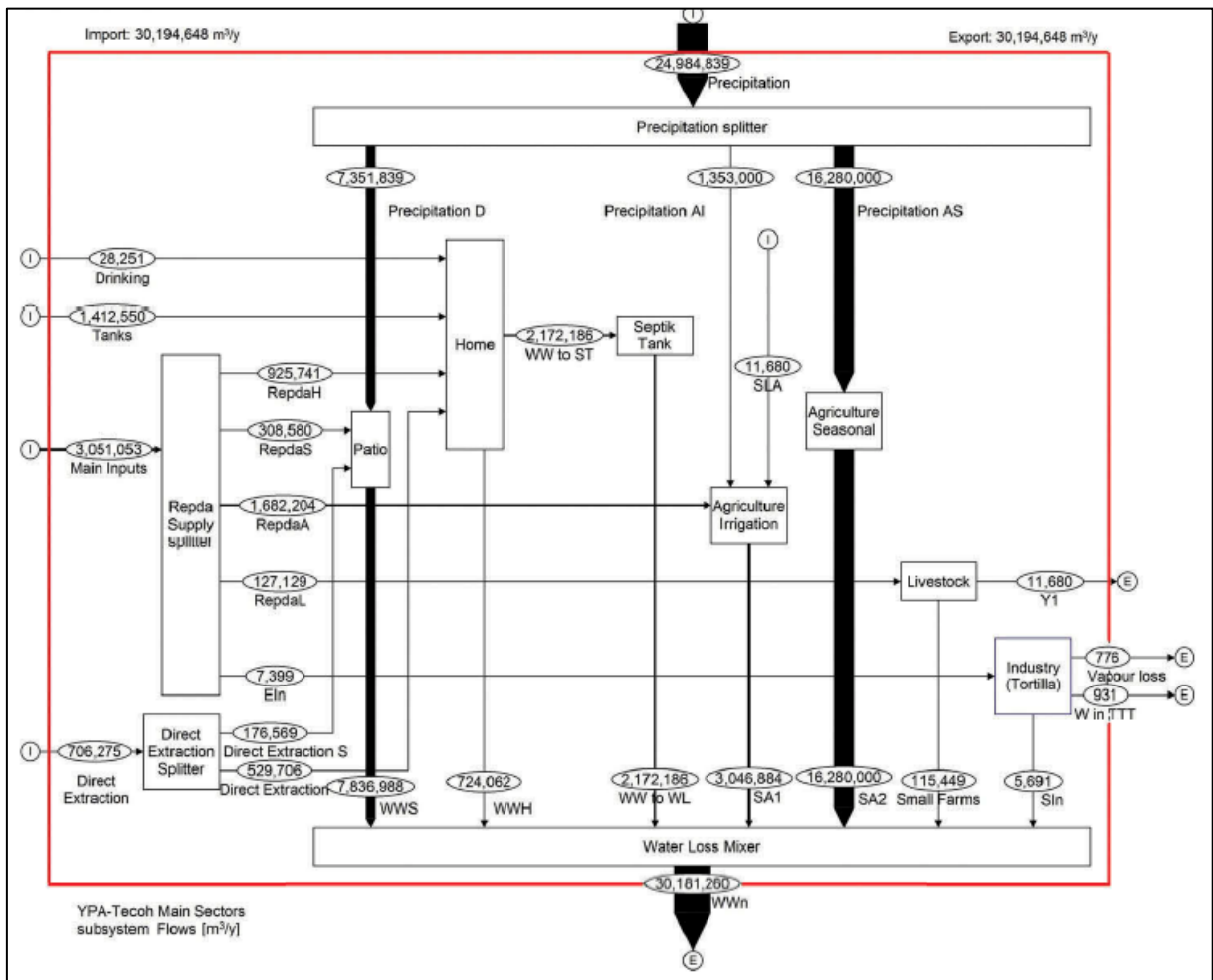
Tal ferramenta é associada a campos como gestão de recursos, gestão ambiental, gestão de resíduos, na análise de aspectos como, economia (MATTHEWS *et al.*, 2000), utilização global de metal (GLÖSER *et al.*, 2013), sistemas nacionais de gestão de resíduos (ALLESCH *et al.*, 2015), análise de fluxo de nutrientes, a exemplo do fósforo (Figura 4) e potássio (JAKRAWATANA *et al.*, 2017; SIPERT e COHIM, 2019; SIPERT, COHIM e NASCIMENTO, 2020), para quantificar os fluxos de água no ambiente urbano (Figura 5) (LOPEZ-MALDONADO *et al.*, 2017). Chowdhury e Zhang (2021) propuseram a utilização de indicadores obtidos através dos resultados da AFM, para a avaliação da eficiência do metabolismo urbano, buscando soluções para problemas ambientais, como poluição e escassez de água, decorrentes do processo de urbanização.

Figura 4 - Análise da absorção de Fósforo utilizando AFM



Fonte: JAKRAWATANA *et al.*, 2017.

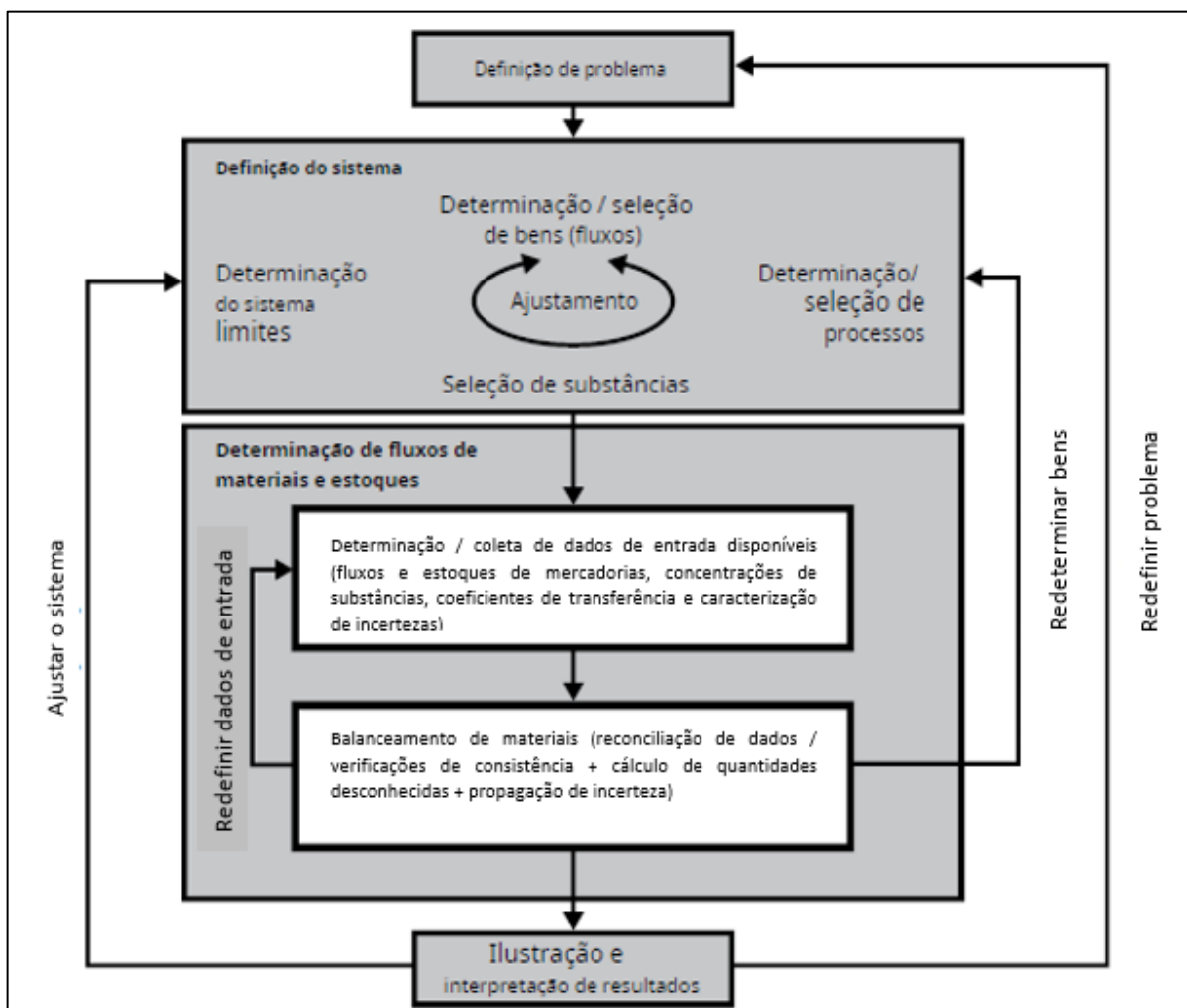
Figura 5 - Fluxos de água no ambiente urbano de Tecoh em 2014



Fonte: LOPEZ-MALDONADO, 2017.

A metodologia de AFM (Figura 6) começa com a definição do problema e dos objetivos a serem alcançados. Na sequência, o material, os processos relevantes e limites do sistema são selecionados. A segunda etapa é a construção de um modelo (Figura 5) que engloba a determinação dos fluxos de massa, estoques e concentrações de substâncias nesses fluxos, as quais são determinadas por medições, dados da literatura ou estimativas, a incerteza dos dados, quando possível, também deve ser considerada. Os fluxos e estoques são balanceados com base no princípio da conservação de massa, que deve ser cumprido para cada processo, bem como para todo o sistema (BRUNNER e RECHBERGER, 2016). Um modelo quantitativo é gerado ao final da AFM, em uma imagem de todos os processos relevantes, estoques e fluxos de um sistema (Figuras 4 e 5).

Figura 6 - Fluxograma de ações para realização de AFM



Fonte: BRUNNER e RECHBERGER, 2016.

A estrutura de uma AFM envolve a definição de alguns termos e procedimentos, os quais possibilitam a reprodução e transparência dos resultados. No Quadro 2 são apresentados os principais termos utilizados no processo.

Quadro 2 - Termos utilizados na AFM

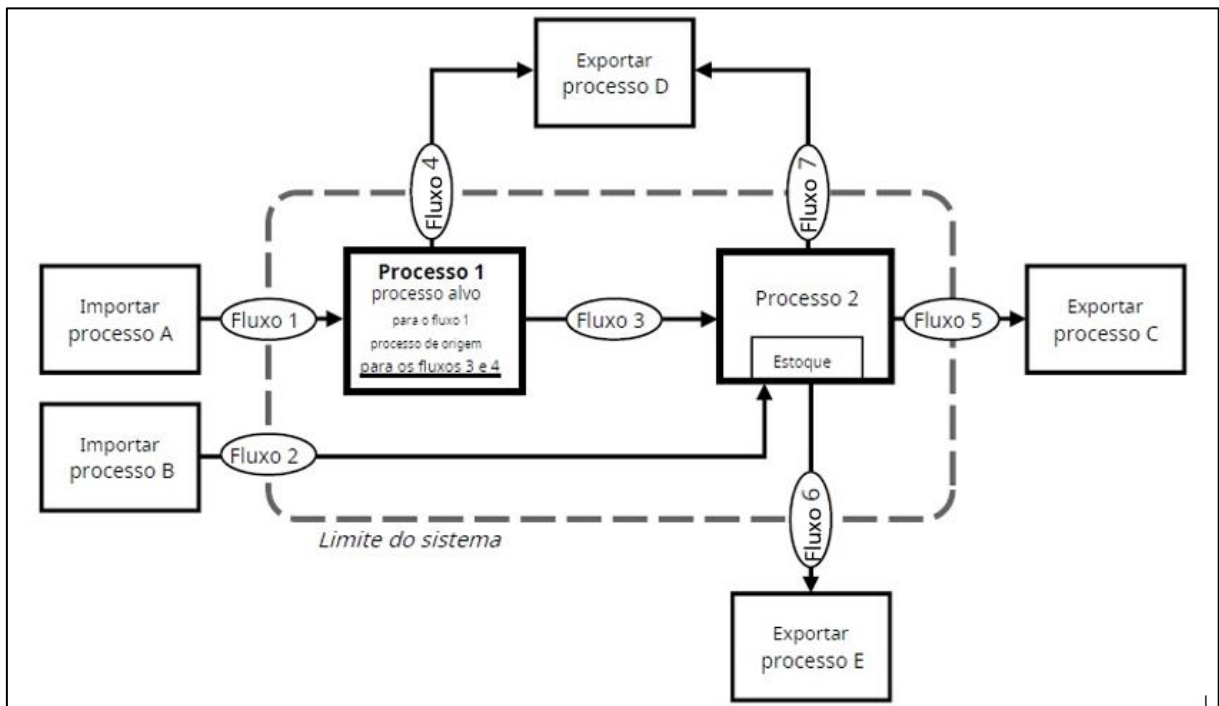
Substância	Elementos ou compostos químicos feitos apenas de unidades uniformes, mercadorias ou materiais e bens composto por várias substâncias
Material	Substâncias ou bens
Processo	Atividade que fornece, transforma, transporta ou armazena materiais

Fluxos	Ligações entre os processos, massa de materiais que fluem de um processo para outro
Estoque	Quantidade total de materiais armazenados num processo
Sistema	Grupo de elementos que compõem a AFM, a interação entre esses elementos e as fronteiras entre esses e outros elementos no espaço e no tempo. Objeto do estudo.
Os limites espaciais	Área geográfica a ser estudada
Os limites temporais	Tempo definido para o estudo

Fonte: BRUNNER e RECHBERGER, 2016; ESPINOSA, 2016.

A Figura 7 exemplifica um sistema AFM, ilustrando os termos apresentados no Quadro 2. Os fluxos de importação e exportação são colocados diretamente na fronteira do sistema para facilitar a compreensão visual das entradas e saídas no modelo.

Figura 7 - Exemplo de sistema de Análise de Fluxo de Materiais

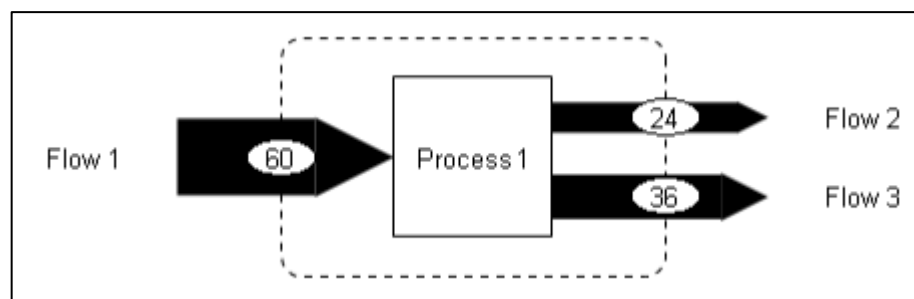


Fonte: BRUNNER e RECHBERGER, 2016.

Alguns softwares podem ser utilizados para apoiar os cálculos e apresentação de resultados, poucos são aplicados para avaliações a nível das substâncias, dentre eles, o SIMBOX e o STAN, *short for subSTance flow ANalysis*, da abreviação de Análise de Fluxo de Substância, desenvolvido pela Universidade de Tecnologia de Viena. Algumas vantagens e recursos oferecidos pelo STAN, são observados além da gratuidade do sistema para utilização na AFM, podem ser destacadas, a possibilidade de tratamento de diferentes tipos de dados: fluxos, estoques, concentrações. Os dados podem ser inseridos manualmente ou importados do Microsoft Excel®, o algoritmo de cálculo do software utiliza ferramentas estatísticas, para ajustar medições ou estimativas conflitantes e propagação de erros, além de executar testes estatísticos básicos para detectar erros grosseiros.

O STAN permite a construção de modelos gráficos com componentes predefinidos (processos, fluxos, limite do sistema, campos de texto), inserindo ou importando dados conhecidos (fluxos de massa e estoques, fluxos de volume e estoques, concentrações, coeficientes de transferência) em diferentes camadas (mercadoria, substância, energia) e períodos. Todos os fluxos podem ser exibidos na forma de Diagramas de Sankey, em que a largura de um fluxo é proporcional ao respectivo valor (Figura 8).

Figura 8 - Exemplo de Diagramas de Sankey utilizando o software STAN.



Fonte: TU WIEN, 2017.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão apresentadas as etapas executadas no desenvolvimento metodológico do estudo de caso realizado para esta pesquisa assim como as principais ferramentas empregadas.

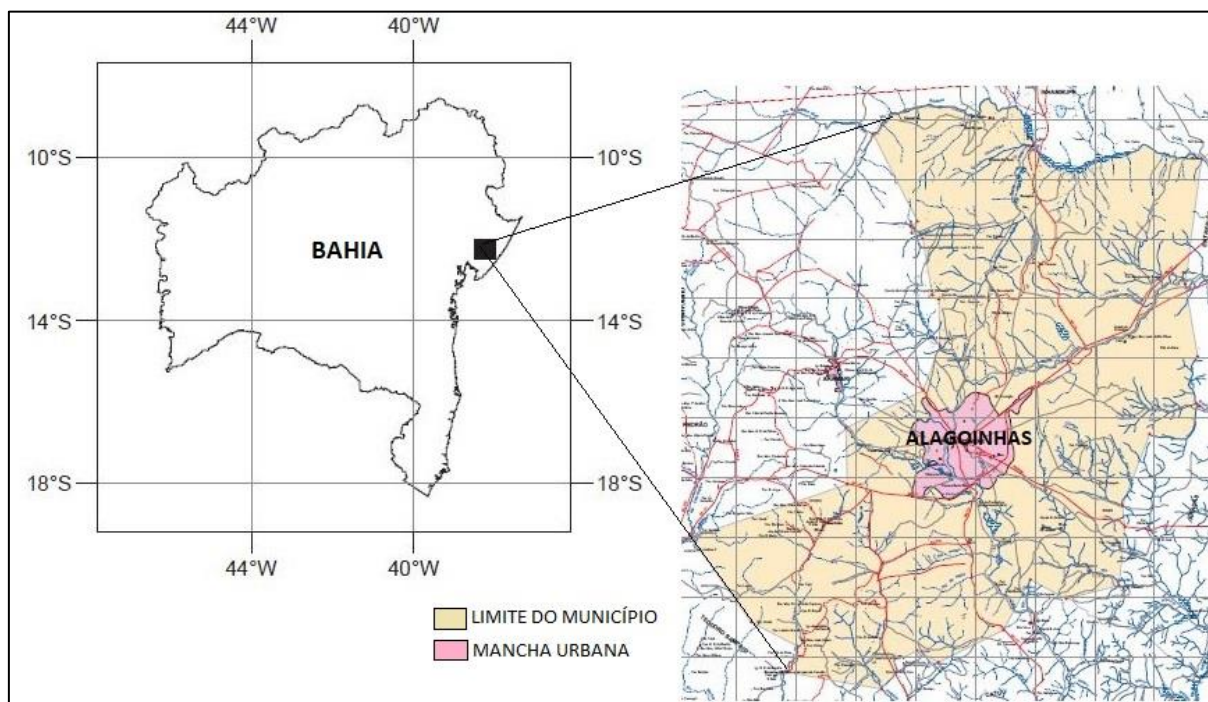
A cidade de Alagoinhas-BA foi a área escolhida para o estudo de caso por possuir características como disponibilidade de recursos hídricos, crescimento urbano significativo, aumento das atividades industriais e econômicas relacionadas com o uso da água e disponibilidade de dados, com fácil acesso. Os critérios utilizados para a escolha, observaram informações disponíveis em sites oficiais do Governo Federal, do Estado e do município, com foco na identificação de características socioeconômicas, dados demográficos e hidrografia.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1.1 CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE ALAGOINHAS

A pesquisa foi desenvolvida no município de Alagoinhas/BA, situado na mesorregião do nordeste baiano, coordenadas 12°08'08'' S e 38°25'08'' O (Figura 9). De acordo com os dados disponibilizados no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o município abrange a área territorial de 707,835 km² com população atual estimada em 152.327 habitantes, representando a 10^a posição no estado e 1^a posição em sua microrregião, em termos de população, quando comparada a outros municípios (BRASIL, 2020). A região possui clima variando do tipo úmido a subúmido, temperatura média aproximada de 24 °C, com pluviosidade média anual de 1.469 mm.

Figura 9 - Limites Municipais e Administrativos, Alagoinhas/BA.



Fonte: BAHIA, 2016.

Um diagnóstico da gestão da água e da infraestrutura de saneamento existente na área de estudo foi realizado durante o desenvolvimento da pesquisa, através da coleta de informações em visitas técnicas realizadas a concessionária de saneamento local e Secretaria de Infraestrutura do município, órgãos responsáveis pelo saneamento. O site oficial da prefeitura municipal de Alagoinhas foi utilizado como complemento para consultar políticas e legislações existentes relacionadas com a gestão da água. A identificação das bacias e sub-bacias hidrográficas, os cursos d'água principais e afluentes que integram os limites da área estudada foram obtidos mediante consulta ao Plano Municipal de Saneamento Ambiental: PMA/DEA-UFBA (PMA, 2004).

4.2 CONSTRUÇÃO DO MODELO PARA DETERMINAÇÃO DO METABOLISMO URBANO DA ÁGUA

Para o estabelecimento do metabolismo da água na cidade de Alagoinhas, foi utilizada a metodologia Análise de Fluxo de Materiais proposta por Brunner e Rechberger (2016), a qual

foi apresentada na Seção 3.3. Para a execução da AFM foi utilizado o software STAN, versão 2.6.801 (TU WIEN, 2017).

Ao final desta etapa o modelo construído para a determinação do metabolismo urbano da água, foi apresentado em reunião ao órgão gestor de saneamento do município, representado por sua diretora técnica, para uma avaliação acerca dos processos, fluxos e estoques considerados para o sistema, após as considerações e sugestões recebidas, procedeu-se os ajustes necessários no modelo para a continuidade do trabalho.

4.2.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

O município de Alagoinhas se tornou uma região administrativa de destaque regional, atraindo empresas de diversos setores, com atividades específicas relacionadas ao uso e exploração dos recursos hídricos, como indústrias de cerveja, refrigerante e água. Segundo dados obtidos da Junta Comercial do Estado da Bahia (JUCEB), o município é o terceiro que mais atrai empresas na Bahia (BAHIA, 2021), ficando à frente de cidades do estado com maior população.

A expansão urbana da sede municipal e os impactos do aumento populacional, a exemplo da poluição dos corpos hídricos e demanda de ampliação da infraestrutura para abastecimento de água da cidade, somado à expansão industrial, tem levantado questionamentos se os recursos hídricos disponíveis têm potencial para suprir a demanda crescente por água, tal indagação representa o problema que se pretende estudar em busca de respostas.

4.2.2 DEFINIÇÃO DO SISTEMA

A água foi o material escolhido para a análise e o sistema estudado foi caracterizado pelos fluxos e processos relacionados à captação, tratamento e distribuição de água para os setores comercial, industrial e residencial, irrigação, lançamento de efluentes, drenagem pluvial, além dos fluxos ambientais decorrentes da precipitação, evapotranspiração e infiltração no solo. A cidade de Alagoinhas/ BA foi definida como limite espacial e o limite temporal para o estudo

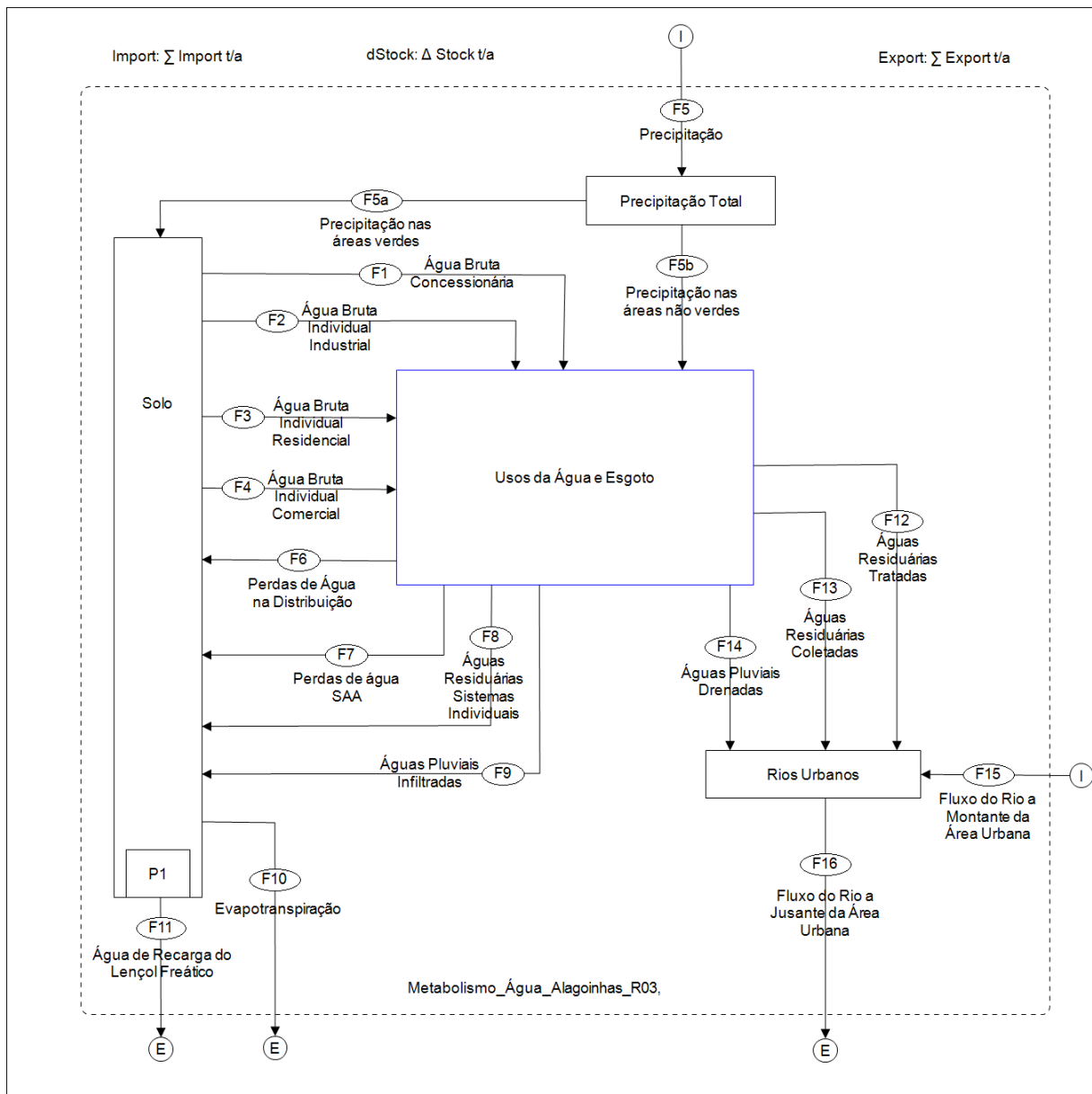
compreende o ano de 2019, escolhido por representar o período mais completo com dados disponíveis.

Para a determinação dos fluxos, processos e estoques de água da cidade, elaborou-se um banco de dados referente ao ciclo hidrológico partindo do conceito do Balanço Hídrico, utilizando a Equação 2 apresentada no capítulo 3, Seção 3.3, descrita por Farooqui *et al.* (2016) para a construção do balanço de massas de água urbano. O procedimento abrange a identificação e quantificação das entradas e saídas de água no ambiente urbano decorrentes dos fluxos naturais e antropogênicos. Após a determinação destes fluxos o software STAN foi utilizado para a construção dos Shapes, modelos de metabolismo urbano da água, configurados para o ano de 2019 (Figuras 10 e 11), caracterizando o sistema de estudo utilizado para a realização da AFM.

Os fluxos associados ao consumo indireto decorrentes da chamada água virtual, água necessária para produzir os bens e serviços para consumo próprio e a água incorporada aos bens e serviços produzidos em outros lugares (RENOUF, 2017; FAROOQUI *et al.*, 2016), mesmo localizados dentro dos limites do sistema, em decorrência da ausência de dados e da dificuldade na realização de medições de campo, não foram considerados. Os fluxos de entrada e saída de água subterrânea e córregos existentes dentro dos limites do sistema foram analisados no estudo.

O sistema estudado é composto por quatro processos principais, a Precipitação Total, os Usos de Água e Esgoto, Solo e Rios Urbanos. Associados aos processos, os principais fluxos de entrada de água identificados foram a precipitação e a extração de água do solo, enquanto a evaporação, lançamento de efluentes, perdas de água na distribuição e a recarga do lençol freático, foram considerados os principais fluxos de saída (Figura 10).

Figura 10 – Detalhamento do modelo do metabolismo urbano da água da cidade de Alagoinhas/ BA.



Fonte: Elaborado pelo autor, software STAN versão 2.6.801.

Todos os fluxos identificados durante a construção do modelo do metabolismo urbano da água da cidade de Alagoinhas, encontram-se listados e descritos no Quadro 3.

Quadro 3 – Identificação e descrição dos fluxos do modelo de metabolismo urbano da água

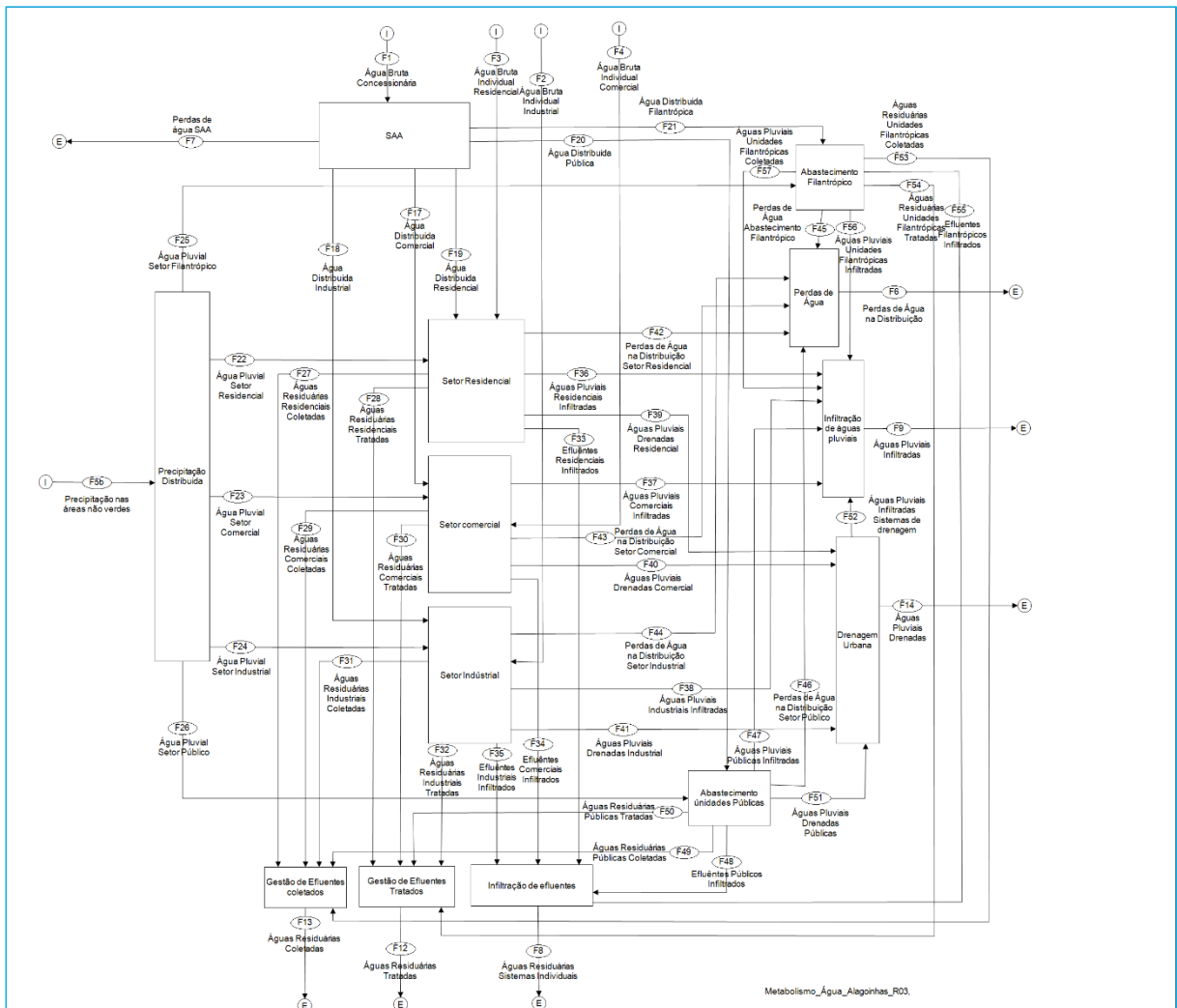
FLUXO	NOME DO FLUXO	DESCRIÇÃO
F1	Água Bruta Concessionária	Água captada para o abastecimento da cidade, pela concessionária de saneamento
F2	Água Bruta Individual Industrial	Água captada individualmente por particulares, com finalidade de uso industrial

FLUXO	NOME DO FLUXO	DESCRIÇÃO
F3	Água Bruta Individual Residencial	Água captada individualmente por particulares, com finalidade de uso residencial
F4	Água Bruta Individual Comercial	Água captada individualmente por particulares, com finalidade de uso comercial
F5	Precipitação	Água precipitada em forma de chuva, componente ambiental que integra o ciclo hidrológico
F5a	Precipitação nas Áreas não Verdes	Água precipitada em forma de chuva em áreas impermeáveis, imóveis e vias com ou sem pavimentação
F5b	Precipitação nas Áreas Verdes	Água precipitada em forma de chuva em áreas permeáveis, parque ou espaço urbano com predomínio de vegetação
F6	Perdas de Água na Distribuição	Água perdida no processo de distribuição, provenientes de vazamentos em redes, falhas em componentes do sistema de distribuição e consumos não autorizados
F7	Perdas de Água SAA	Água perdida devido a utilização de água nos processos de tratamento e na concessionária de saneamento
F8	Águas Residuárias Sistemas Individuais	Esgoto proveniente das categorias de usos da água, comercial, industrial, residencial, de prédios públicos, lançadas no solo sem tratamento, ou em soluções individuais de tratamento de esgoto, a exemplo de Fossas Sépticas, Sumidouros e valas de infiltração
F9	Águas Pluviais Infiltradas	Água proveniente das chuvas, que é infiltrada diretamente no solo
F10	Evapotranspiração	Água perdida por evaporação somada a transpiração da vegetação.
F11	Água de Recarga do Lençol Freático	Água que infiltra no solo
F12	Águas Residuárias Tratadas	Esgoto proveniente das categorias de usos da água, comercial, industrial, residencial, de prédios públicos, coletado e tratado, para posterior lançamento no corpo hídrico.
F13	Águas Residuárias Coletadas	Esgoto proveniente das categorias de usos da água, comercial, industrial, residencial, de prédios públicos, coletados e lançados no corpo hídrico sem tratamento.
F14	Águas Pluviais Drenadas	Águas pluviais provenientes dos sistemas de drenagem urbana com lançamento em corpo hídrico
F15	Fluxo do Rio a Montante da Área Urbana	Vazão do rio, na entrada dos limites da área de estudo
F16	Fluxo do Rio a Jusante da Área Urbana	Vazão do rio, na saindo dos limites da área de estudo

Fonte: Elaborado pelo autor.

A interação dos fluxos hidrológicos naturais com a infraestrutura urbana e os setores de consumo da cidade resulta em fluxos decorrentes de ações antrópicas, os quais foram agrupados no processo Usos de água e Esgoto (Figura 11), cuja entrada de água ocorre através da precipitação, retirada de água pela concessionária local de saneamento e captações diretas de poços privados localizados em residências, indústrias e estabelecimentos comerciais.

Figura 11 - Detalhamento do processo Usos da Água e Esgoto da cidade de Alagoinhas/BA.



Fonte: Elaborado pelo autor, software STAN versão 2.6.801.

Dentro da área urbana a água é distribuída pela concessionária de saneamento municipal para os setores de abastecimento classificados por ela como residencial, industrial, comercial, unidades públicas e abastecimento filantrópico, perdas de água decorrentes de vazamentos em tubulações ocorrem durante o processo de distribuição. Parte da água consumida pelos setores é devolvida ao sistema na forma de efluentes coletados e lançados nos corpos hídricos sem tratamento, identificado no modelo como o processo de Gestão de Efluentes Coletados. Outra parte do esgoto é coletada e tratada antes do lançamento em corpos hídricos, caracterizando o

processo identificado como Gestão de Efluentes Tratados. Uma terceira parcela dos efluentes infiltra diretamente no solo e juntamente com os efluentes coletados por particulares destinados a sistemas individuais de tratamento, integram o processo de Gestão de Efluentes Infiltrados.

Completando o metabolismo, a água precipitada nas áreas verdes e áreas não verdes permeáveis foi reunida no processo de Infiltração de Águas Pluviais, enquanto as águas pluviais coletadas por sistemas de drenagem compuseram o processo de Drenagem Urbana.

Os fluxos identificados durante a construção do modelo do metabolismo urbano da água resultantes do processo Usos da Água e Esgoto da cidade de Alagoinhas encontram-se listados e descritos no Quadro 4.

Quadro 4 - Identificação e descrição dos fluxos do modelo para o processo Usos de Água e Esgoto

FLUXO	NOME DO FLUXO	DESCRIÇÃO
F17	Água Distribuída Comercial	Água tratada e distribuída pela concessionária de saneamento para usuários com fins comerciais
F18	Água Distribuída Industrial	Água tratada e distribuída pela concessionária de saneamento para usuários com fins industriais
F19	Água Distribuída Residencial	Água tratada e distribuída pela concessionária de saneamento para o consumo residencial
F20	Água Distribuída Pública	Água tratada e distribuída pela concessionária de saneamento para abastecimento de prédios públicos
F21	Água Distribuída Filantrópica	Água tratada e distribuída pela concessionária de saneamento em ações filantrópicas, referente a consumos autorizados, medidos e não faturados
F22	Água Pluvial Setor Residencial	Águas pluviais de áreas residenciais
F23	Água Pluvial Setor Comercial	Águas pluviais de áreas comerciais
F24	Água Pluvial Setor Industrial	Águas pluviais de áreas industriais
F25	Água Pluvial Setor Filantrópico	Águas pluviais de unidades abastecidas por ações filantrópicas
F26	Água Pluvial Setor Público	Águas pluviais de Prédios públicos
F27	Águas Residuárias Residenciais Coletadas	Esgoto produzido nas residências, coletado e lançado no corpo hídrico sem tratamento
F28	Águas Residuárias Residenciais Tratadas	Esgoto produzido nas residências, coletado e tratado para posterior lançamento no corpo hídrico

FLUXO	NOME DO FLUXO	DESCRIÇÃO
F29	Águas Residuárias Comerciais Coletadas	Esgoto produzido nas unidades comerciais, coletado e lançado no corpo hídrico sem tratamento
F30	Águas Residuárias Comerciais Tratadas	Esgoto produzido nas unidades comerciais, coletado e tratado para lançamento no corpo hídrico
F31	Águas Residuárias Industriais Coletadas	Esgoto produzido nas unidades industriais, coletado e lançado no corpo hídrico sem tratamento
F32	Águas Residuárias Industriais Tratadas	Esgoto produzido nas unidades industriais, coletado e tratado para lançamento no corpo hídrico
F33	Efluentes Residenciais Infiltrados	Esgoto produzido nas residências lançado no solo sem tratamento ou em soluções individuais de tratamento de esgoto, a exemplo de Fossas Sépticas, Sumidouros e valas de infiltração
F34	Efluentes Comerciais Infiltrados	Esgoto produzido nas unidades comerciais, lançado no solo sem tratamento ou em soluções individuais de tratamento de esgoto, a exemplo de Fossas Sépticas, Sumidouros e valas de infiltração
F35	Efluentes Industriais Infiltrados	Esgoto produzido nas unidades industriais, lançado no solo sem tratamento ou em soluções individuais de tratamento de esgoto, a exemplo de Fossas Sépticas, Sumidouros e valas de infiltração
F36	Águas Pluviais Residenciais Infiltradas	Águas pluviais infiltradas nas áreas permeáveis em residências
F37	Águas Pluviais Comerciais Infiltradas	Águas pluviais infiltradas nas áreas permeáveis em unidades comerciais.
F38	Águas Pluviais Industriais Infiltradas	Águas pluviais infiltradas nas áreas permeáveis em unidades industriais.
F39	Águas Pluviais Drenadas Residencial	Águas pluviais drenadas de unidades residenciais cobertas por sistemas de drenagem urbana.
F40	Águas Pluviais Drenadas Comercial	Águas pluviais drenadas de unidades comerciais cobertas por sistemas de drenagem urbana.
F41	Águas Pluviais Drenadas Industrial	Águas pluviais drenadas de unidades industriais por sistemas de drenagem urbana.
F42	Perdas de Água na Distribuição Setor Residencial	Água perdida no processo de distribuição para as unidades residenciais
F43	Perdas de Água na Distribuição Setor Comercial	Água perdida no processo de distribuição para as unidades comerciais
F44	Perdas de Água na Distribuição Setor Industrial	Água perdida no processo de distribuição para unidades industriais

FLUXO	NOME DO FLUXO	DESCRIÇÃO
F45	Perdas de Água Abastecimento Filantrópico	Água perdida no processo de distribuição para ações filantrópicas
F46	Perdas de Água na Distribuição Setor Público	Água perdida no processo de distribuição para prédios públicos
F47	Águas Pluviais Públicas Infiltradas	Águas pluviais de prédios públicos infiltradas diretamente no solo
F48	Efluentes Públicos Infiltrados	Esgoto produzido de prédios públicos lançado no solo sem tratamento ou em soluções individuais de tratamento de esgoto (Fossas Sépticas, Sumidouros e valas de infiltração).
F49	Águas Residuárias Públicas Coletadas	Esgoto produzido de prédios públicos, coletado e lançado no corpo hídrico sem tratamento
F50	Águas Residuárias Públicas Tratadas	Esgoto produzido de prédios públicos, coletado e tratado para posterior lançamento no corpo hídrico
F51	Águas Pluviais Drenadas Públicas	Águas pluviais drenadas de prédios públicos cobertas por sistemas de drenagem urbana.
F52	Águas Pluviais Infiltradas Sistemas de Drenagem	Água pluviais dos sistemas de drenagem diretamente lançada no solo
F53	Águas Residuárias Unidades Filantrópicas Coletadas	Esgoto produzido de locais abastecidos filantropicamente, coletado e lançado no corpo hídrico sem tratamento
F54	Águas Residuárias Unidades Filantrópicas Tratadas	Esgoto produzido de locais abastecidos filantropicamente, coletado e tratado para posterior lançamento no corpo hídrico
F55	Efluentes de Unidades Filantrópicas Infiltrados	Esgoto produzido de locais abastecidos filantropicamente, lançado no solo sem tratamento ou em soluções individuais de tratamento de esgoto (Fossas Sépticas, Sumidouros e valas de infiltração)
F56	Águas Pluviais Unidades Filantrópicas Infiltradas	Águas pluviais de locais abastecidos filantropicamente infiltrada diretamente no solo
F57	Águas Pluviais Unidades Filantrópicas Coletadas	Águas pluviais de locais abastecidos filantropicamente, em áreas cobertas por sistemas de drenagem urbana com lançamento em corpo hídrico

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.3 DETERMINAÇÃO DE FLUXOS DE MATERIAIS E ESTOQUES

Os dados dos fluxos de entrada de água na cidade, Água Bruta Concessionária (F1), água distribuída comercial (F17), industrial (F18), residencial (F19), pública (F20) e filantrópica (F21), foram obtidos junto ao Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Alagoinhas (SAAE), concessionária de saneamento local que é responsável pela operação dos sistemas urbanos de água e esgoto. A coleta de informações foi realizada por meio de contatos com funcionários e visitas de campo ocorridas entre janeiro de 2020 e setembro de 2021. Os dados obtidos, referentes ao ano de 2019, encontram-se apresentados na Tabela 8 (ANEXO A), classificados de acordo com o tipo de uso da água proposto pelo SAAE.

O fluxo Perdas de água na distribuição (F6) foi calculado utilizando a Equação 3, considerando a captação anual de água bruta pela concessionária (F1) e o Índice de Perdas na Distribuição de Água, que foi obtido a partir da consulta ao Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto 2019, publicado no SNIS.

$$F6 = F1 \times \text{IPD} \quad (3)$$

Onde:

F6 - Perdas de água na distribuição (m³/ano);

F1 - Água Bruta Concessionária (m³/ano);

IPD - Índice de Perdas na Distribuição (%).

Os fluxos F42, F43, F44, F45, F46, referentes às perdas de água na distribuição por categoria de uso, foram calculados utilizando a Equação 4, descrita como o volume de água distribuída para cada categoria, fluxos F17, F18, F19, F20, F21, multiplicado pelo Índice de Perdas na Distribuição de Água (IPD), para o ano de 2019.

$$F_{\text{NPD}} = F_{\text{NAD}} \times \text{IPD} \quad (4)$$

Onde:

F_{NPD} - Perdas de água na distribuição por categoria de uso, Residencial (F42), Comercial (F43), Industrial (F44), Filantrópico (F45), Público (F46) (m³/ano);

F_{NAD} - Água distribuída por categoria de uso, Residencial (F19), Comercial (F17), Industrial (F18), Filantrópico (F21), Público (F20) (m³/ano);

IPD - Índice de Perdas na Distribuição (%).

Para a determinação dos fluxos de entrada F2, F3, F4, referentes a captações individuais de água bruta, realizadas por particulares para fins industriais, uso nas residências e comércio, respectivamente, foi efetuada uma consulta formal ao Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA), o qual, por meio da Diretoria de Regulação- DIRRE, sob o processo nº 046.0525.2020.0016932-26, resultou na obtenção dos dados referentes aos usuários de recursos hídricos outorgados no município de Alagoinhas, por meio de planilha eletrônica anexa ao processo. Os dados, referentes ao período entre os anos de 2012 e 2020, foram extraídos do Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos (CNARH) na data de 05/02/2021, organizados e estruturados em planilhas para o desenvolvimento da pesquisa, através das quais se extraíram as coordenadas para a verificação dos pontos de captação localizados dentro da área de estudo, vazões outorgadas, tempo de captação, além do nome do empreendimento e finalidade do pedido de outorga. Por fim os dados foram tratados e suas unidades convertidas considerando vazões anuais em $m^3 \cdot \text{ano}^{-1}$ e volumes anuais em m^3 , conforme apresentado no APÊNDICE A, Tabelas 1, 2, 3 e 4. A Equação 5 foi utilizada para o cálculo dos fluxos.

$$F_n = (Q_{\text{outg}}) \times (T_{\text{capt}} \times I_{\text{cap}}) \quad (5)$$

Onde:

F_n - Água Bruta Individual, Industrial (F2), Residencial (F3), Comercial (F4) (m^3/ano);

Q_{outg} - Vazão outorgada (m^3/h);

T_{capt} - Tempo de captação (h/dia);

I_{cap} - Intervalo de captação (365 dias).

Para a determinação do fluxo F5, caracterizado pelo volume anual precipitado em forma de chuva, foi realizada uma pesquisa e avaliação dos dados hidrológicos disponíveis no Portal HydroWeb, ferramenta integrante do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), o qual oferece o acesso ao banco de dados que contém todas as informações coletadas pela Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN) e encontra-se disponível no site da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Apenas um posto pluviométrico (código 1238006), foi localizado na área urbana da cidade, com dados pluviométricos brutos, disponíveis para o período compreendido entre os anos de 1943 até o ano de 1998.

Valores de referência para Precipitação e Evapotranspiração, propostos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, obtidos mediante pesquisa ao banco de dados climáticos do Brasil e disponibilizado pela Empresa

Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), constante na tabela 9 (ANEXO A), também foram avaliados. Os dados apresentados no formato consistido, foram selecionados para dar continuidade a essa etapa da pesquisa. A área da bacia hidrográfica urbana foi obtida mediante consulta ao Plano Municipal de Saneamento Ambiental de Alagoinhas.

Para o cálculo do fluxo F5, referente a precipitação, foi utilizada a equação 6.

$$F5 = (P) \times (A_{BHU}) \quad (6)$$

Onde:

F5 – Fluxo de Precipitação (m^3/ano);

P – Precipitação total anual (m/ano);

A_{BHU} - Área da Bacia Hidrográfica Urbana (m^2).

Para o cálculo dos fluxos F5a, precipitação nas áreas não verdes e F5b, precipitação nas áreas verdes, inicialmente foi realizado um mapeamento seguido do cálculo das áreas verdes e não verdes que integram a área urbana, utilizado o software QGIS 3.10 e o *shapefile* de autoria da Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia (CONDER) com dados armazenados de posição, forma e atributos de feições geográficas para o município de Alagoinhas, disponíveis no Geoportal de Infraestrutura de Dados Espaciais do Estado da Bahia (IDE-BA).

Os fluxos F5a e F5b foram calculados através das equações 7 e 8, dados apresentados na Tabela 6 (APÊNDICE A) e em mapas dando continuidade à pesquisa.

$$F5a = (P) \times (A_{NV}) \quad (7)$$

$$F5b = (P) \times (A_V) \quad (8)$$

Onde:

A_{NV} – Áreas não Verdes (m^2);

A_V – Áreas Verdes (m^2);

F5a – Fluxo de Precipitação nas Áreas não Verdes (m^3/ano);

P – Precipitação total anual (m/ano);

F5b – Fluxo de Precipitação nas Áreas Verdes (m^3/ano);

O fluxo F10, Evapotranspiração, foi calculado com base no valor de referência proposto pelo INMET, disponível na tabela 9 (Anexo A), considerando o total anual da evapotranspiração

real (ETR) sobre a área da bacia hidrográfica urbana, equação 9. A ETR foi selecionada para o cálculo, por representar a quantidade de água efetivamente transferida para a atmosfera, por evaporação e transpiração, em condições reais de fatores atmosféricos e umidade do solo.

$$F10 = (ETR) \times (A_{BHU}) \quad (9)$$

Onde:

F10 – Evapotranspiração anual (m³/ano);

ETR - Evapotranspiração Real (m/ano);

A_{BHU} - Área da Bacia Hidrográfica Urbana (m²).

Os fluxos de saída dos processos que ocorrem dentro da área urbana, referentes as águas residuárias, foram calculados a partir dos dados coletados junto ao SAAE, relativos à população e área atendida pelos sistemas de abastecimento de água, coleta e tratamento de esgoto, mapa das áreas com cobertura de esgoto, tipos de sistemas de coleta e tratamento, características das unidades de tratamento utilizadas, vazões e pontos de lançamentos das Estações de Tratamento de Esgotos (ETE's) nos corpos hídricos. O Índice de coleta de esgoto e o Índice de esgoto tratado referido à água consumida, informados no Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto 2019, publicado no SNIS, também foi utilizado para o cálculo.

O Fluxo F13, que representa as águas residuárias coletadas, foi calculado através da Equação 10, aplicando-se o Índice de coleta de esgoto ao valor resultante do somatório dos fluxos de água distribuída para a cidade pela concessionária, multiplicados pelo coeficiente de retorno, definido como a relação entre o volume de esgoto recebido na rede coletora e o volume de água fornecido a população, adotado como 0,8 conforme NBR 9649/1986, Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário - Procedimento.

$$F13 = (F17 + F18 + F19 + F20 + F21) \times C \times (ICE) \quad (10)$$

Onde:

F13 – Águas Residuárias Coletadas (m³/ano);

F17 – Água Distribuída Comercial (m³/ano);

F18 – Água Distribuída Industrial (m³/ano);

F19 – Água Distribuída Residencial (m³/ano);

F20 – Água Distribuída Pública (m³/ano);

F21 – Água Distribuída Filantrópica (m³/ano);

C – Coeficiente de Retorno;

I_{CE} – Índice de coleta de esgoto (%).

O cálculo dos demais fluxos, F27, F29, F31, F49, F53, referentes as águas residuárias coletadas, residenciais, comerciais e industriais, públicas e filantrópicas, foi realizado aplicando-se o Índice de coleta de esgoto ao respectivo valor do fluxo de água distribuída pela concessionária, multiplicado pelo coeficiente de retorno de esgoto, para cada categoria avaliada, conforme equação 11.

$$F_{27, 29, 31, 49, 53} = (F_{19,17,18,20,21} \times C) \times (I_{CE}) \quad (11)$$

Onde:

F27 – Águas Residuárias Residenciais Coletadas (m^3/ano);

F29 – Águas Residuárias Comerciais Coletadas (m^3/ano);

F31 – Águas Residuárias Industriais Coletadas (m^3/ano);

F49 – Águas Residuárias Públicas Coletadas (m^3/ano);

F53 – Águas Residuárias Filantrópicas Coletadas (m^3/ano);

F17 – Água Distribuída Comercial (m^3/ano);

F18 – Água Distribuída Industrial (m^3/ano);

F19 – Água Distribuída Residencial (m^3/ano);

F20 – Água Distribuída Pública (m^3/ano);

F21 – Água Distribuída Filantrópica (m^3/ano);

C – Coeficiente de Retorno;

I_{CE} – Índice de coleta de esgoto (%).

O Fluxo F12, águas residuárias tratadas, foi calculado usando a Equação 12, aplicando-se o Índice de esgoto tratado referido à água consumida, informado no SNIS de 2019, ao valor resultante do somatório dos fluxos de água distribuída pela concessionária para a cidade.

$$F12 = (F17 + F18 + F19 + F20 + F21) \times (I_{ET}) \quad (12)$$

Onde:

F12 – Águas Residuárias Tratadas (m^3/ano);

F17 – Água Distribuída Comercial (m^3/ano);

F18 – Água Distribuída Industrial (m^3/ano);

- F19 – Água Distribuída Residencial (m³/ano);
 F20 – Água Distribuída Pública (m³/ano);
 F21 – Água Distribuída Filantrópica (m³/ano);
 I_{ET} – Índice de esgoto tratado referido à água consumida (%).

Os fluxos, F28, F30, F32, F50, F54, referentes às águas residuárias tratadas, residenciais, comerciais e industriais, públicas e filantrópicas, foi realizado aplicando-se o Índice de esgoto tratado referido à água consumida ao respectivo valor do fluxo de água distribuída pela concessionária, multiplicado pelo coeficiente de retorno de esgoto, para cada categoria avaliada, conforme equação 13.

$$F_{28, 30, 32, 50, 54} = (F_{19,17,18,19,20,21}) \times (I_{ET}) \quad (13)$$

Onde:

- F28 – Águas Residuárias Residenciais Tratadas (m³/ano);
 F30 – Águas Residuárias Comerciais Tratadas (m³/ano);
 F32 – Águas Residuárias Industriais Tratadas (m³/ano);
 F50 – Águas Residuárias Públicas Tratadas (m³/ano);
 F54 – Águas Residuárias Filantrópicas Tratadas (m³/ano);
 F17 – Água Distribuída Comercial (m³/ano);
 F18 – Água Distribuída Industrial (m³/ano);
 F19 – Água Distribuída Residencial (m³/ano);
 F20 – Água Distribuída Pública (m³/ano);
 F21 – Água Distribuída Filantrópica (m³/ano);
 I_{ET} – Índice de esgoto tratado referido à água consumida (%).

As águas residuárias provenientes de sistemas individuais, caracterizada pelo lançamento de efluentes sem tratamento em fossas sépticas e/ou sumidouros, fluxo F8, foi calculado através da equação 14.

$$F8 = (F1 \times C) - (F12 + F13) \quad (14)$$

Onde:

- F8 – Águas Residuárias Sistemas Individuais (m³/ano);
 F1 – Água Bruta Concessionária (m³/ano);

F12 – Águas Residuárias Tratadas (m³/ano);

F13 – Águas Residuárias Coletadas (m³/ano);

C – Coeficiente de Retorno;

Para cada uma das categorias de uso da água, os efluentes infiltrados caracterizados pelos fluxos F33, F34, F35, F48, F55, foram calculados utilizando a equação 15.

$$F_{33,34,35,48,55} = (F_{17,18,19,20,21} \times C) - (F_{28,30,32,50,54} + F_{27,29,31,49,53}) \quad (15)$$

Onde:

F_{33,34,35,48,55} – Efluentes residenciais, comerciais, industriais, públicos, ou filantrópicos, Infiltrados (m³/ano);

F_{17,18,19,20,21} – Água Distribuída residencial, comercial, industrial, pública ou filantrópica (m³/ano);

F_{28,30,32,50,54} – Águas Residuárias Tratadas, residencial, comercial, industrial, pública ou filantrópica (m³/ano);

F_{27,29,31,49,53} – Águas Residuárias Coletadas, residencial, comercial, industrial, pública ou filantrópica (m³/ano);

C – Coeficiente de Retorno;

O cálculo das reservas de águas subterrâneas foi baseado em dados informados no Plano Municipal de Saneamento Ambiental de Alagoinhas. Estudo que avaliou e quantificou as reservas subterrâneas, permanentes e reguladoras, potencialidades e disponibilidades do Sistema Aquífero Marizal São Sebastião, em uma região que engloba 45% do território do município, se localizam a maioria dos poços e os principais sistemas de abastecimento de água da cidade e da zona rural. (PMA, 2004). Os dados foram utilizados para identificar a reserva permanente, Estoque P1, e a reserva renovável.

O fluxo F11, corresponde à taxa de recarga anual do lençol freático, em metros cúbicos por ano, foi calculado considerando os fluxos de entrada e saída no solo, equação 16.

$$F11 = (F5a+F6+F7+F8+F9) - (F1+F2+F3+F4+F10) \quad (16)$$

Onde:

F1 – Água Bruta Concessionária (m³/ano);

F2 – Água Bruta Individual Industrial (m³/ano);

F3 – Água Bruta Individual Residencial (m³/ano);

- F4 – Água Bruta Individual Comercial (m³/ano);
 F5a – Precipitação nas Áreas não Verdes (m³/ano);
 F6 – Perdas de Água na Distribuição (m³/ano);
 F7 – Perdas de Água SAA (m³/ano);
 F8 – Águas Residuárias Sistemas Individuais (m³/ano);
 F9 – Águas Pluviais Infiltradas (m³/ano);
 F10 – Evapotranspiração (m³/ano);

No cálculo dos fluxos relacionados às águas pluviais infiltradas (F9), equação 17, e águas pluviais drenadas (F14), equação 18, para as parcelas de contribuições que envolveram dados relacionados ao zoneamento urbano, áreas pavimentadas e tipo de pavimentação, escoamento superficial, infiltração em ruas não pavimentadas, macro e micro drenagem com identificação do lançamento em solo ou corpo hídrico, em um primeiro momento, realizou-se contatos com a Secretaria Municipal de Infraestrutura (SECIN), responsável pela operação e manutenção desses sistemas. Em decorrência da ausência de respostas e da dificuldade no levantamento de tais dados em campo, não foi possível calcular as parcelas de contribuições dos fluxos, F22, F23, F24, F25, F26, F52.

$$F9 = (F36+F37+F38+F47+F56) \quad (17)$$

Onde:

- F9 – Águas Pluviais Infiltradas (m³/ano);
 F36 – Águas Pluviais Residenciais Infiltradas (m³/ano);
 F37 – Águas Pluviais Comerciais Infiltradas (m³/ano);
 F38 – Águas Pluviais Industriais Infiltradas (m³/ano);
 F47 – Águas Pluviais Públicas Infiltradas (m³/ano);
 F56 – Águas Pluviais Unidades Filantrópicas Infiltradas (m³/ano).

$$F14 = (F39+F40+F41+F51+F57) \quad (18)$$

Onde:

- F14 – Águas Pluviais Drenadas (m³/ano);
 F39 – Águas Pluviais Drenadas Residencial (m³/ano);
 F40 – Águas Pluviais Drenadas Comercial (m³/ano);
 F41 – Águas Pluviais Drenadas Industrial (m³/ano);
 F51 – Águas Pluviais Drenadas Públicas (m³/ano);

F57 – Águas Pluviais Unidades Filantrópicas Coletadas (m³/ano).

Os fluxos referentes às águas pluviais infiltradas por categorias de abastecimento, residencial, comercial, industrial, público e filantrópico, foram estimados de acordo com o número de imóveis existentes em cada categoria, esse número foi levantado com base no número de ligações ativas e volume de água distribuído, informado pelo SAAE para o ano de 2019, com base nas informações, o consumo médio de água por ligação foi calculado, dividindo o volume de água distribuído pela concessionária para cada setor pelo consumo médio, obteve-se o número estimado de imóveis, considerado equivalente ao número de ligações encontradas.

Calculado o número de imóveis em cada setor de abastecimento, efetuou-se o cálculo das áreas permeáveis e impermeáveis de cada residência, considerando 125 m² a área mínima do lote residencial e unidades abastecidas filantropicamente, 500 m² a área mínima dos lotes destinados a atividades industriais, comerciais e prédios públicos. A taxa de permeabilização de 15%, adotada para ambas as dimensões de lote, foi utilizada para calcular a fração permeável dos terrenos (A_{Per}) e que subtraída do valor total do lote, resulta na área impermeável (A_{Imper}). Os parâmetros adotados na estimativa de cálculo das áreas, integram o ANEXO I da LEI Nº 1.737/2004, que dispõe sobre o uso, ocupação e parcelamento do solo e dá providências correlatas. Os cálculos das áreas permeáveis e impermeáveis para cada categoria de consumo, são apresentados na Tabela 6 (APÊNDICE A).

Os fluxos de águas pluviais infiltradas, classificados por setor de uso da água, podem ser calculados de acordo com a equação 19.

$$F_{36,37,38,47,56} = (P) \times (A_{Per}) \quad (19)$$

Onde:

$F_{36,37,38,47,56}$ – Águas Pluviais Infiltradas no setor residencial, comercial, industrial, público ou filantrópico (m³/ano);

P – Precipitação total anual (m³/ano);

A_{Per} – Área permeável do setor residencial, comercial, industrial, público ou filantrópico (m²).

O cálculo dos fluxos de águas pluviais drenadas, classificados por setor de uso da água, podem ser calculados de acordo com a equação 20.

$$F_{39, 40, 41, 51, 57} = (P) \times (A_{\text{Imper}}) \quad (20)$$

Onde:

$F_{39, 40, 41, 51, 57}$ – Águas Pluviais Drenadas no setor residencial, comercial, industrial, público ou filantrópico (m^3/ano);

P – Precipitação total anual (m/ano);

A_{Imper} – Área Impermeável do setor residencial, comercial, industrial, público ou filantrópico (m^2).

As águas pluviais dos setores residencial, F22, comercial, F23, industrial, F24, público, F25 e filantrópico, F26, foram calculadas conforme equações, 21, 22, 23, 24, 25, descritas a seguir.

$$F22 = (F36 + F39) \quad (21)$$

Onde:

F22 – Água Pluvial Setor Residencial (m^3/ano);

F36 – Águas Pluviais Residenciais Infiltradas (m^3/ano);

F39 – Águas Pluviais Drenadas Residencial (m^3/ano).

$$F23 = (F37 + F40) \quad (22)$$

Onde:

F23 – Água Pluvial Setor Comercial (m^3/ano);

F37 – Águas Pluviais Comerciais Infiltradas (m^3/ano);

F40 – Águas Pluviais Drenadas Comercial (m^3/ano).

$$F24 = (F38 + F41) \quad (23)$$

Onde:

F24 – Água Pluvial Setor Industrial (m^3/ano);

F38 – Águas Pluviais Industriais Infiltradas (m^3/ano);

F41 – Águas Pluviais Drenadas Industrial (m^3/ano).

$$F25 = (F56 + F57) \quad (24)$$

Onde:

F25 – Água Pluvial Setor Filantrópico (m³/ano);

F56 – Águas Pluviais Unidades Filantrópicas Infiltradas (m³/ano);

F57 – Águas Pluviais Unidades Filantrópicas Coletadas (m³/ano).

$$F26 = (F47+F51) \quad (25)$$

Onde:

F26 – Água Pluvial Setor Residencial (m³/ano);

F47 – Águas Pluviais Residenciais Infiltradas (m³/ano);

F51 – Águas Pluviais Drenadas Residencial (m³/ano).

Para o cálculo dos fluxos do rio a montante e jusante da área urbana, F15 e F16, inicialmente se optou pelo cálculo da vazão mínima, a qual permite caracterizar a disponibilidade hídrica natural de um curso d'água e pode ser considerada um dos limitantes para concessão de outorga de direito de uso dos recursos hídricos (ULIANA *et al.*, 2016).

A outorga se constitui no ato administrativo mediante o qual a autoridade outorgante faculta ao outorgado o uso de recursos hídricos superficiais ou subterrâneos de domínio do Estado, por prazo determinado, estabelecida para a Bahia em 80% (oitenta por cento) da vazão de referência do manancial, estimada com base na vazão de até 90% (noventa por cento) de permanência (BAHIA, 2007). Não foi possível a avaliação da disponibilidade da vazão em 90% do tempo (Q90), devido a carência de informações fluviométricas para o local, visto que os dados fluviométricos da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), disponíveis no site da ANA, compreendem apenas análises da qualidade da água dos corpos hídricos. Uma alternativa para o cálculo é a regionalização de vazões, baseado em rios pertencentes a mesma bacia hidrográfica estudada. Devido à dificuldade na obtenção de dados o cálculo do fluxo F16 considerou-se apenas o somatório dos fluxos identificados dentro da área de estudo e que são lançados no corpo hídrico, equação 26, cabendo um posterior aprofundamento da pesquisa para identificação da vazão mínima e do fluxo do rio a montante da área urbana (F15).

$$F16 = F12 + F13 + F14 \quad (26)$$

Onde:

F16 – Fluxo do Rio a Jusante da Área Urbana (m³/ano);

F12 – Águas Residuárias Tratadas (m³/ano);

F13 – Águas Residuárias Coletadas (m³/ano);

F14 – Águas Pluviais Drenadas (m³/ano).

Os fluxos calculados estão listados na Tabela 7 (Apêndice A), os valores em metros cúbicos por ano foram transformados para a unidade de tonelada por ano, considerando o valor da densidade da água igual a aproximadamente 1 t/m³. Após tais ajustes, foi realizada a AFM utilizando o software STAN.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 DIAGNÓSTICO DA GESTÃO DA ÁGUA EM ALAGOINHAS

A gestão da água no município é de responsabilidade do Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE), autarquia municipal criada pela Lei Municipal de nº 377 de 03 de agosto de 1965, com a finalidade de coordenar as atividades de abastecimento de água e esgotamento sanitário. Tal gestão é complementada pela Prefeitura Municipal de Alagoinhas (PMA), responsável pela operação e manutenção dos sistemas de drenagem pluvial, através da Secretaria Municipal de Infraestrutura e Planejamento Urbano.

5.1.1 POLÍTICAS E LEGISLAÇÃO EXISTENTES

O Quadro 5 apresenta as principais legislações municipais, que são utilizadas ou que guardam relação mesmo que indireta com a gestão da água, associadas às respectivas ementas. O município ainda possui um Plano Municipal de Saneamento Ambiental: PMA/DEA-UFBA, publicado no ano de 2004.

Quadro 5 - Leis municipais associadas a gestão da água em Alagoinhas- BA.

LEI MUNICIPAL	EMENTA DA LEI
Lei Nº 1.205/98	“Institui, no âmbito do município de Alagoinhas, o fórum da Agenda 21, e dá outras providências. ”
Lei Nº 1.416/01	“Autoriza o executivo a observar, no município de Alagoinhas, a legislação federal e estadual concernente às ações de vigilância e fiscalização exercidas na promoção, proteção e recuperação da saúde e preservação do meio ambiente, e dá outras providências. ”
Lei Nº 1.423/01	“Estabelece como áreas de proteção ambiental as lagoas, fontes e riachos do município de alagoinhas e dá outras providências. ”

LEI MUNICIPAL	EMENTA DA LEI
Lei Nº 1.460/01	“Dispõe sobre a política municipal de saneamento ambiental de Alagoinhas, seus instrumentos, e dá outras providências.”
Lei Nº 1.737/04	“Dispõe sobre o Uso, Ocupação e Parcelamento do Solo e dá providências correlatas. ”
Lei Complementar Nº 012/2004	“Aprova o Plano Diretor do Município. ”
Lei Complementar Nº 014/2004	“Institui o Código de Posturas e de Preservação do Meio Ambiente do Município de Alagoinhas e dá outras providências.”
Lei Nº. 1.789/2006	“Cria do fundo municipal de recursos para o meio ambiente, e dá outras providências. ”
Lei Complementar Nº 083/2012	“Institui o Código Municipal do Meio Ambiente e dispõe sobre o Sistema Municipal do Meio Ambiente para a administração da qualidade ambiental, proteção, controle e desenvolvimento do meio ambiente e uso adequado dos recursos naturais no Município de Alagoinhas. ”
Lei Complementar Nº 086/2012	“Dispõe sobre a organização e reestruturação da Administração Pública do Poder Executivo Municipal e dá outras providências. ”

Fonte: PMA, 2020.

O município possui leis municipais identificadas e divididas entre as esferas administrativa, ambiental, de uso do solo e tributarias. Entre as leis administrativas a Lei Complementar Nº 014/2004 em sua Seção VI trata do controle de água e do sistema de eliminação de dejetos e se destaca ao estabelecer que nenhum prédio situado em via pública com rede de água e esgotos, poderá ser habitado sem estar ligado às referidas redes.

Dentre as leis ambientais a Lei Nº 1.205/98, ao instituir o fórum da Agenda 21, remetendo o município a planejar ações e programas que objetivem o desenvolvimento sustentável. Já a lei Lei Nº 1.460/01 com a finalidade de assegurar a proteção da saúde da população e a salubridade do meio ambiente urbano e rural, disciplina o planejamento, execução de ações, obras e serviços de saneamento, através de diretrizes que orientam a destinação de recursos financeiros administrados pelo município segundo critérios de melhoria da saúde pública e do meio ambiente. A Lei Nº. 1.789/2006 cria para o município o Fundo Municipal do Meio Ambiente, para custear a execução da Política Ambiental do município, aplicando os recursos em pesquisas, capacitações, melhoria da estrutura dos órgãos ambientais, dentre outros.

A Lei Complementar Nº 083/2012 estabelece o princípio da supremacia do interesse público, nos casos em que houver conflito entre o desenvolvimento social e econômico local e a legislação ambiental, criando o Sistema Municipal do Meio Ambiente para a administração do meio ambiente em benefício da qualidade de vida.

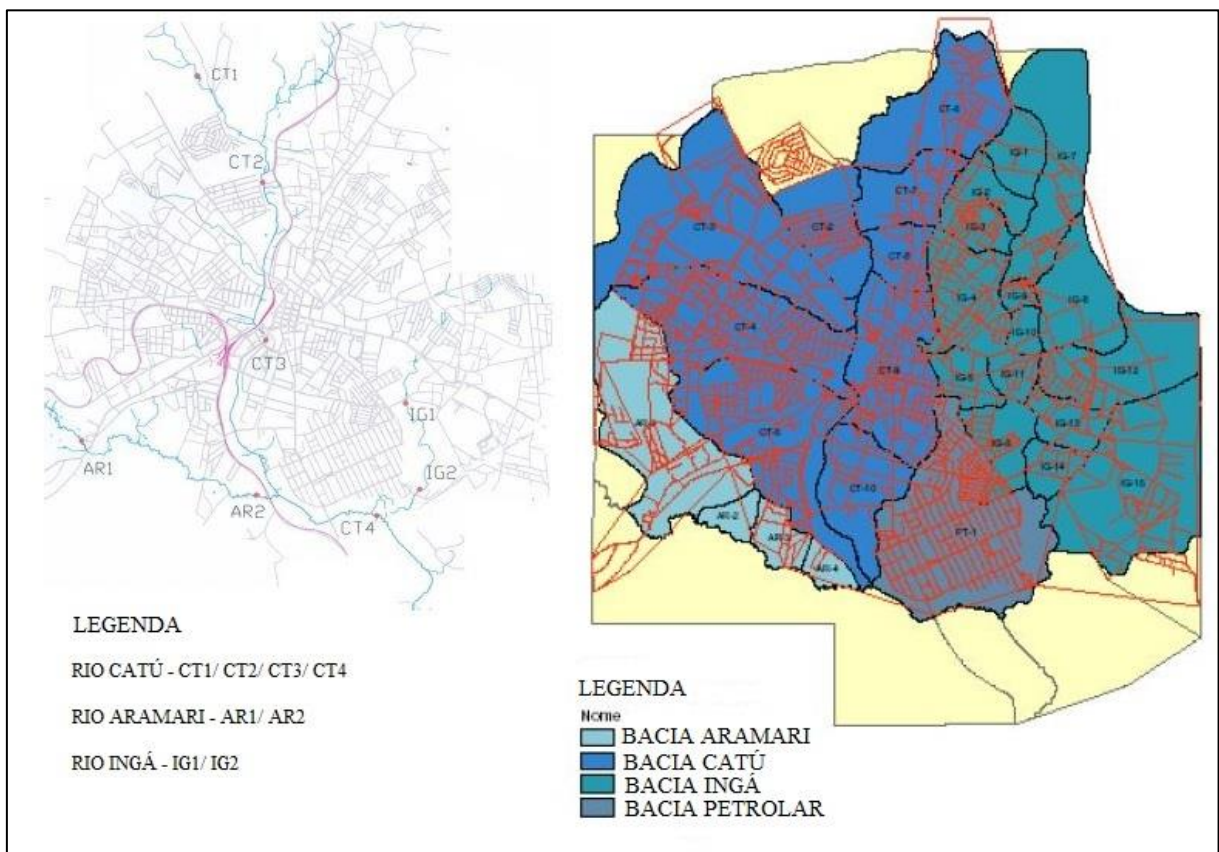
Entre as leis de uso do solo o Plano Diretor do Município, aprovado pela Lei Complementar Nº 012/2004, possui princípios e objetivos que abordam a política ambiental e princípios norteadores da prestação de serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário tais como universalidade do atendimento e qualidade dos serviços prestados.

Apesar de um satisfatório arcabouço de leis, o município também observa a legislação federal e estadual concernente às ações de preservação do meio ambiente, conforme Lei Nº 1.416/01, deixando claro que o município observa a legislação correlata de esferas superiores.

5.1.2 CARACTERIZAÇÃO DAS BACIAS E SUB-BACIAS URBANAS EM ALAGOINHAS.

De acordo com o Plano Municipal de Esgotamento Sanitário do município, a cidade de Alagoinhas é dividida em quatro bacias hidrográficas (Figura 12), em função de sua topografia e hidrografia, denominadas de: Bacia do Catu, Bacia do Aramari, Bacia do Ingá e Bacia do Jardim Petrolar. A área urbana da cidade é cortada pelo rio Catu, o qual possui dois afluentes, o rio Aramari e o riacho do Ingá. O rio Catu pertence à bacia hidrográfica do rio Pojuca que deságua no oceano Atlântico na divisa dos municípios de Camaçari e Mata de São João (PMA, 2004).

Figura 12 - Bacias Hidrográficas Urbanas, Alagoinhas/ BA.



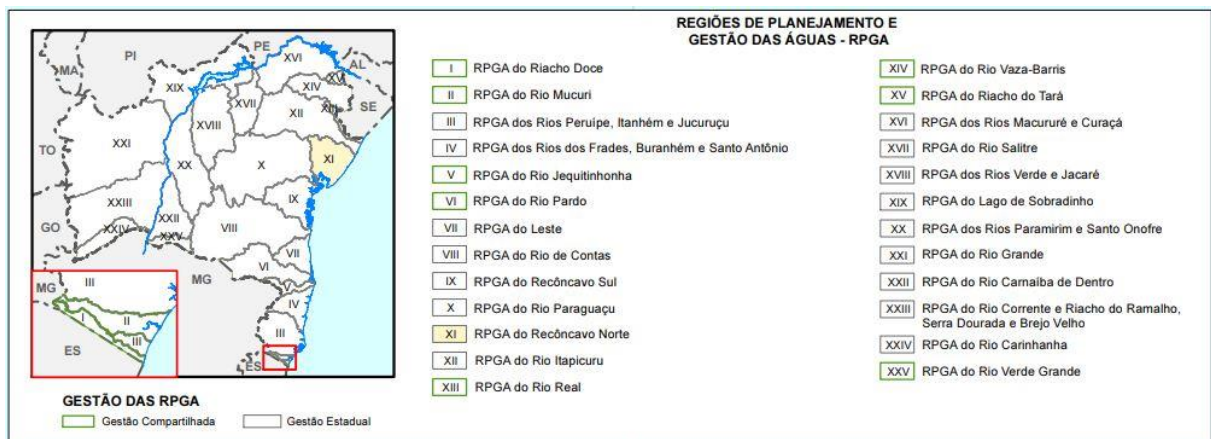
Fonte: PMA, 2004.

Com área de 1.162 ha, a bacia do rio Catu, abrange a área mais central e consolidada da cidade, já a bacia do Aramari, possui área drenante de 203,10 ha e está localizada na área periférica da cidade. A bacia do Ingá situa-se na área leste da cidade, com 572,20 ha de área, enquanto a

bacia do Jardim Petrolar, 216,80 ha de área, com escoamento natural de águas para os rios Catu e riacho do Ingá. As bacias hidrográficas urbanas correspondem a uma área total de 2.154,10 ha (21,5 Km²).

O município de Alagoinhas está situado na mesorregião geográfica Recôncavo Norte e pertencente a região hidrográfica do Atlântico Leste, Região de Planejamento e Gestão das Águas, RPGA XI (Figura 13). Integra totalmente a Bacia do Rio Pojuca, a qual é constituída de rios estaduais, que deságuam no Oceano Atlântico (BAHIA, 2014). O Rio Catu, um dos seus principais afluentes, corta a área urbana da cidade sede do município, que é limitada por outros afluentes importantes do Rio Pojuca, os rios: Subaúma, Aramarí e Sauípe.

Figura 13 - Região de Planejamento e Gestão das Águas, RPGA XI



Fonte: BAHIA, 2014.

A análise dos mananciais disponíveis para a captação de água bruta para a cidade, identificou o sistema Marizal/ São Sebastião como a sua principal reserva para abastecimento, o qual é formado pela combinação das Formações Marizal, componente freático, associado ao componente semiconfinado ou artesiano, representado pela Formação São Sebastião.

5.1.2.1 ÁREAS VERDES E NÃO VERDES

As Áreas Verdes identificadas na cidade (Figura 14) são áreas permeáveis compostas por parques ou espaços urbanos com predomínio de vegetação e totalizaram 3,4 Km² da área total das bacias hidrográficas urbanas (Figura 12). As Áreas não Verdes representam uma parcela de 18,1 Km² da área total das bacias hidrográficas urbanas, correspondendo às áreas permeáveis compostas por ruas com pavimentação em paralelepípedo, pavimento intertravado, ruas sem

pavimentação, áreas não edificadas dos lotes urbanos e áreas impermeáveis, formadas por ruas com pavimentação asfáltica e as áreas edificadas dos lotes urbanos.

Figura 14 - Mapa de Áreas verdes, Alagoínhas/ BA.



Fonte: BAHIA, 2016.

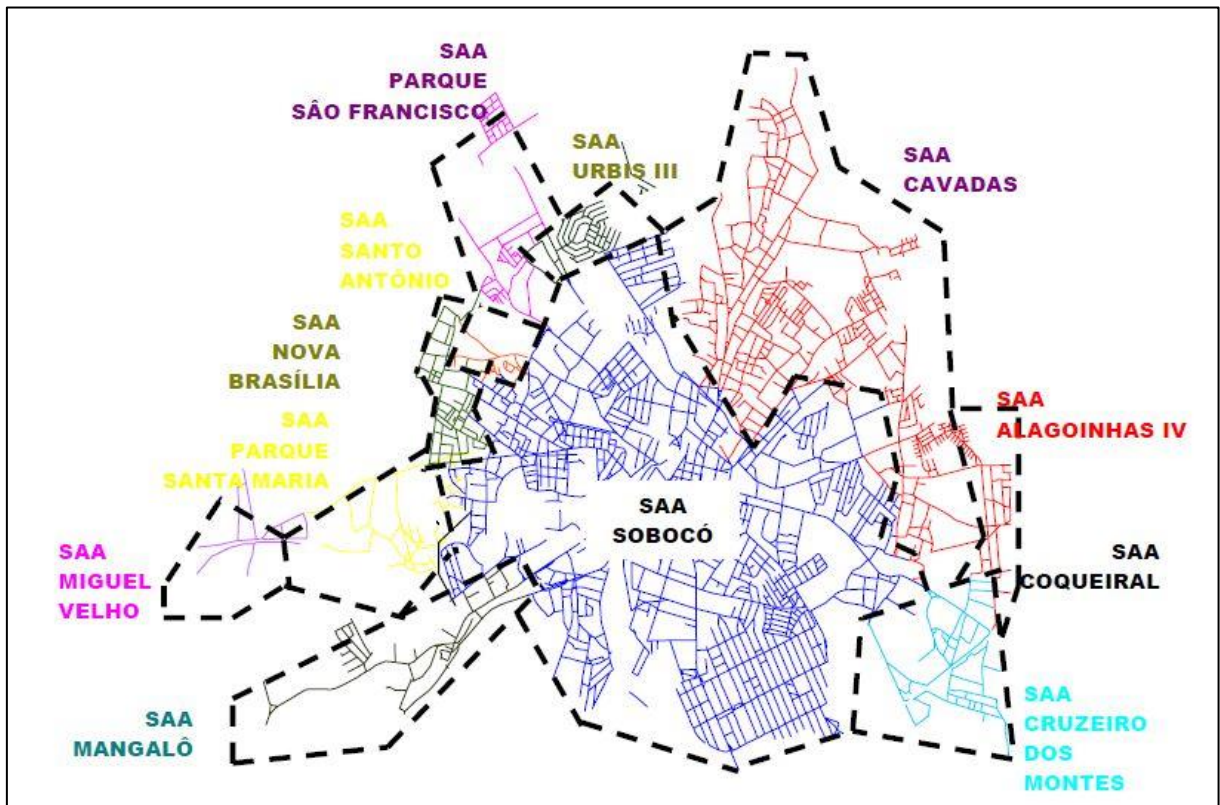
5.1.3 DIAGNÓSTICO DA INFRAESTRUTURA DE SANEAMENTO EXISTENTE NA ÁREA DE ESTUDO

Segundo dados do SNIS, no município de Alagoínhas, o índice de atendimento total, o índice de atendimento urbano e o índice de perdas na distribuição de água, no ano de 2019, eram 96,43%, 100% e 71,93%, respectivamente. Quanto ao esgoto, o índice de coleta e o índice de tratamento eram 33,78% e 25,62%, respectivamente. O consumo médio per capita de água era 0,101 m³/hab.dia (BRASIL, 2019).

O SAAE possui 12 Sistemas Individuais de Abastecimento de Água (SAA's), responsáveis pelo abastecimento da cidade (Figura 15). A captação de água é do tipo subterrânea, realizada através de poços tubulares e devido a boa qualidade da água, as estações de tratamento de água (ETA's)

são do tipo simplificadas, nas quais ocorrem os processos de desinfecção, fluoretação e correção do PH (LIMA, 2015). Durante o processo de tratamento não foi identificado um volume significativo de perdas de água associado com as etapas envolvidas no processo de tratamento, de maneira que o fluxo Perdas de Água SAA (F7) foi considerado nulo.

Figura 15 - Sistemas de Abastecimento de Água da cidade de Alagoinhas/ BA.



Fonte: PMA, 2004.

Além do sistema de abastecimento público, alguns sistemas de abastecimento individuais utilizando captações de águas subterrâneas foram identificados no município, sob a responsabilidade de particulares e da iniciativa privada, com destaque para o atendimento destes sistemas a indústrias de grande porte do ramo de cervejaria.

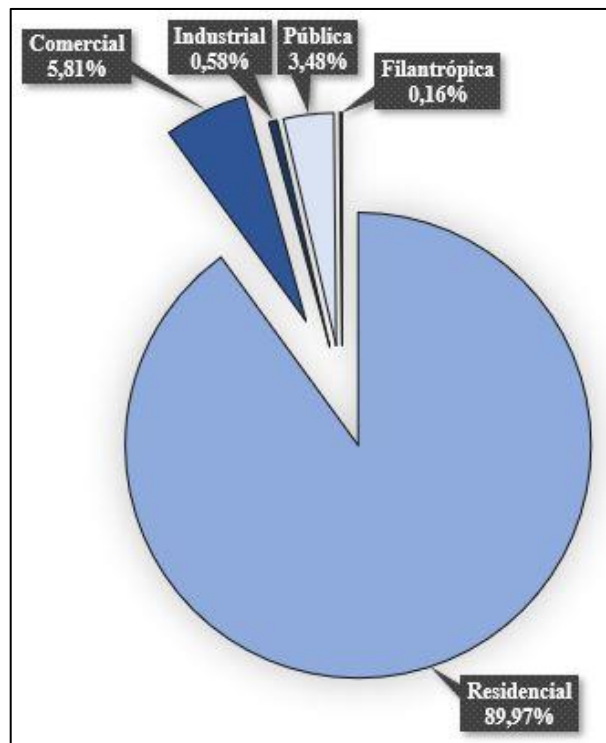
O sistema de drenagem superficial é representado pelos rios Catu, Aramarí e Ingá, as ruas pavimentadas possuem redes de coleta de águas pluviais, sarjetas e bocas de lobo, integrando o sistema de microdrenagem. Segundo dados do IBGE (2010), 24.3% dos domicílios urbanos encontram-se em vias públicas com urbanização adequada (presença de bueiro, calçada, pavimentação e meio-fio).

O uso Residencial, o qual compreende o consumo humano, foi identificado como o uso predominante, seguido dos usos, comercial, público, industrial e filantrópico (Figura 16),

conforme valores medidos pelo SAAE no ano de 2019, para as respectivas categorias de consumo do município.

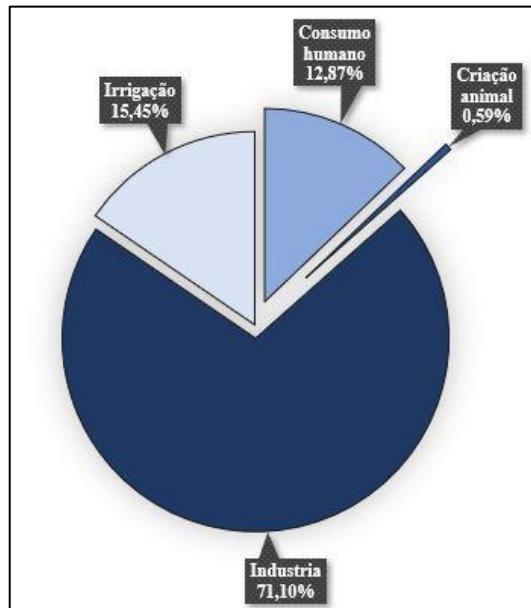
Ao avaliar os dados de usuários de recursos hídricos, referente a vazões outorgadas no município de Alagoinhas pelo INEMA, observando as diversas finalidades uso da água solicitadas, observa-se a predominância do uso industrial, seguido dos usos para a irrigação, consumo humano e criação animal (Figura 17).

Figura 16 - Percentual micro medido por categoria de consumo



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 17 - Vazões outorgadas no município de Alagoinhas, período de 2012 a 2020.

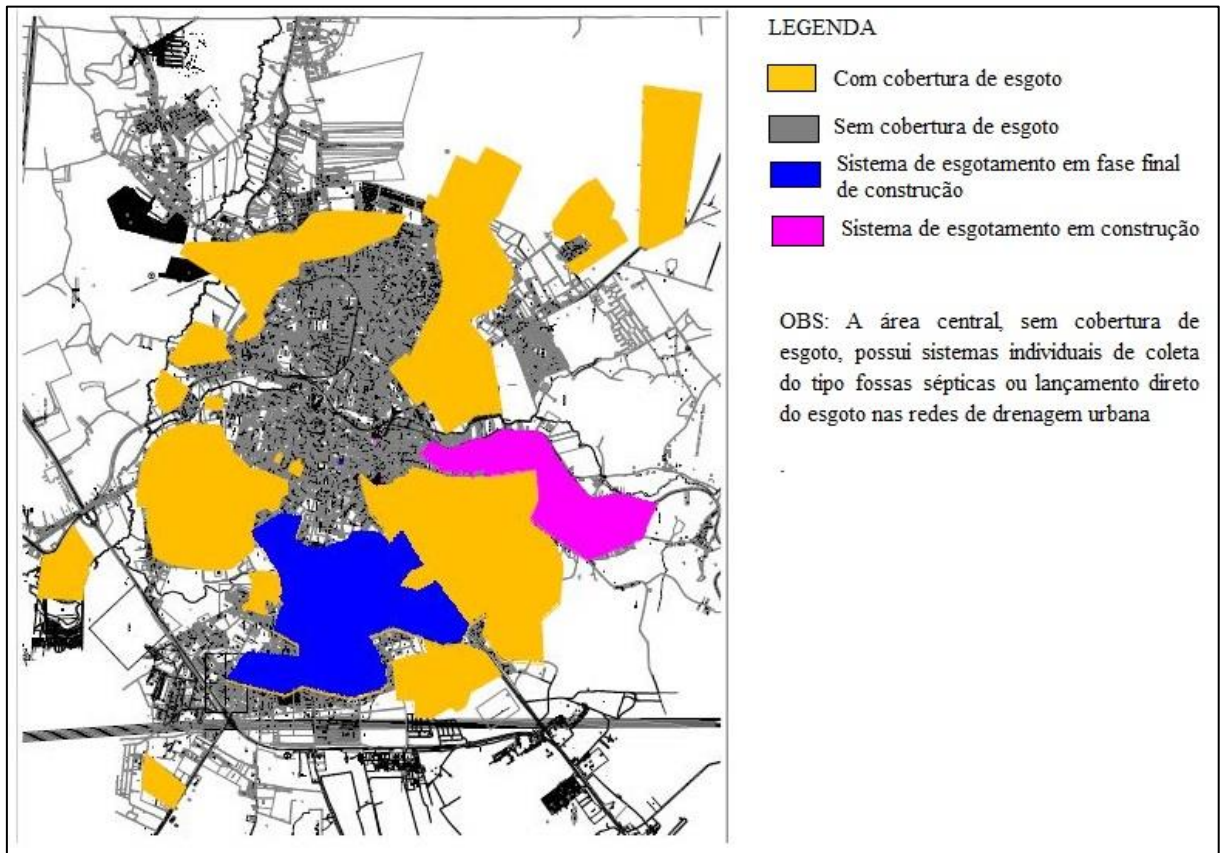


Fonte: INEMA.

O serviço de coleta e tratamento de esgotos do município de Alagoinhas é de responsabilidade do SAAE, a sede municipal possui 36,80% de cobertura de esgoto, dos quais 22,80% são tratados (BRASIL, 2019). Entre os sistemas de coleta identificados estão o condominial, do tipo separador absoluto e sistemas individuais compostos por fossas sépticas, além do lançamento nas redes de drenagem em áreas sem cobertura dos sistemas de coleta de esgoto (Figura 18).

Os sistemas de tratamento observados nas estações de tratamento de esgotos (ETE) existentes, são predominantemente do tipo biológico, compostos por Digestores Anaeróbicos de Fluxo Ascendente (DAFA), Wetlands e Tanque Sépticos. A relação das ETE's existentes, bem como suas características encontram-se descritas na Tabela 1. O lançamento dos efluentes ocorre predominantemente no Rio Catu, devido ao caminho percorrido pelo mesmo cortando a cidade no sentido norte/ sul, seguido do lançamento em seus afluentes, Aramari e Ingá.

Figura 18 - Cobertura dos sistemas de coleta de esgoto em Alagoinhas/ BA

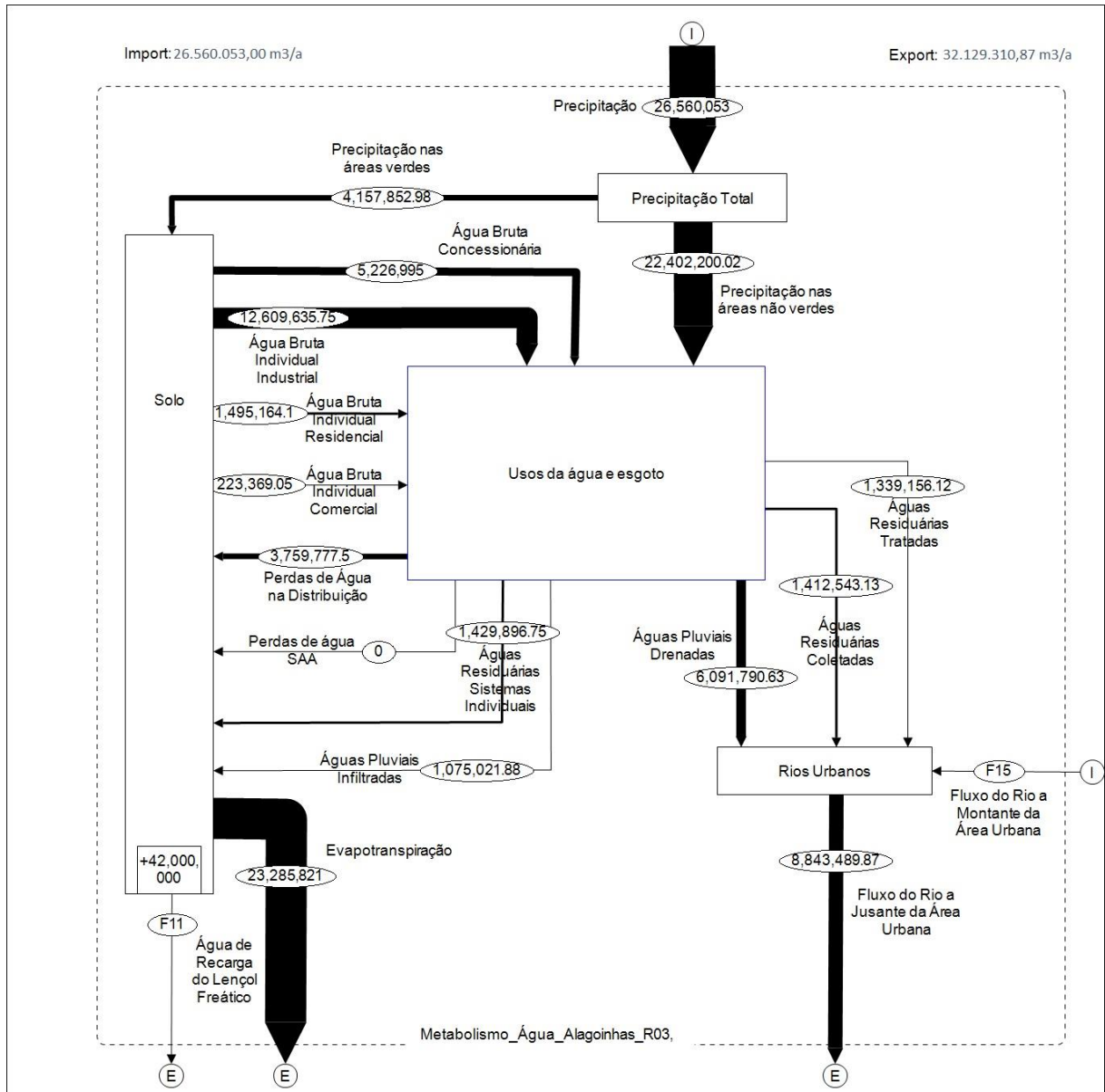


Fonte: Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Alagoinhas, 2020.

5.2 METABOLISMO URBANO DA ÁGUA DA CIDADE DE ALAGOINHAS/ BA

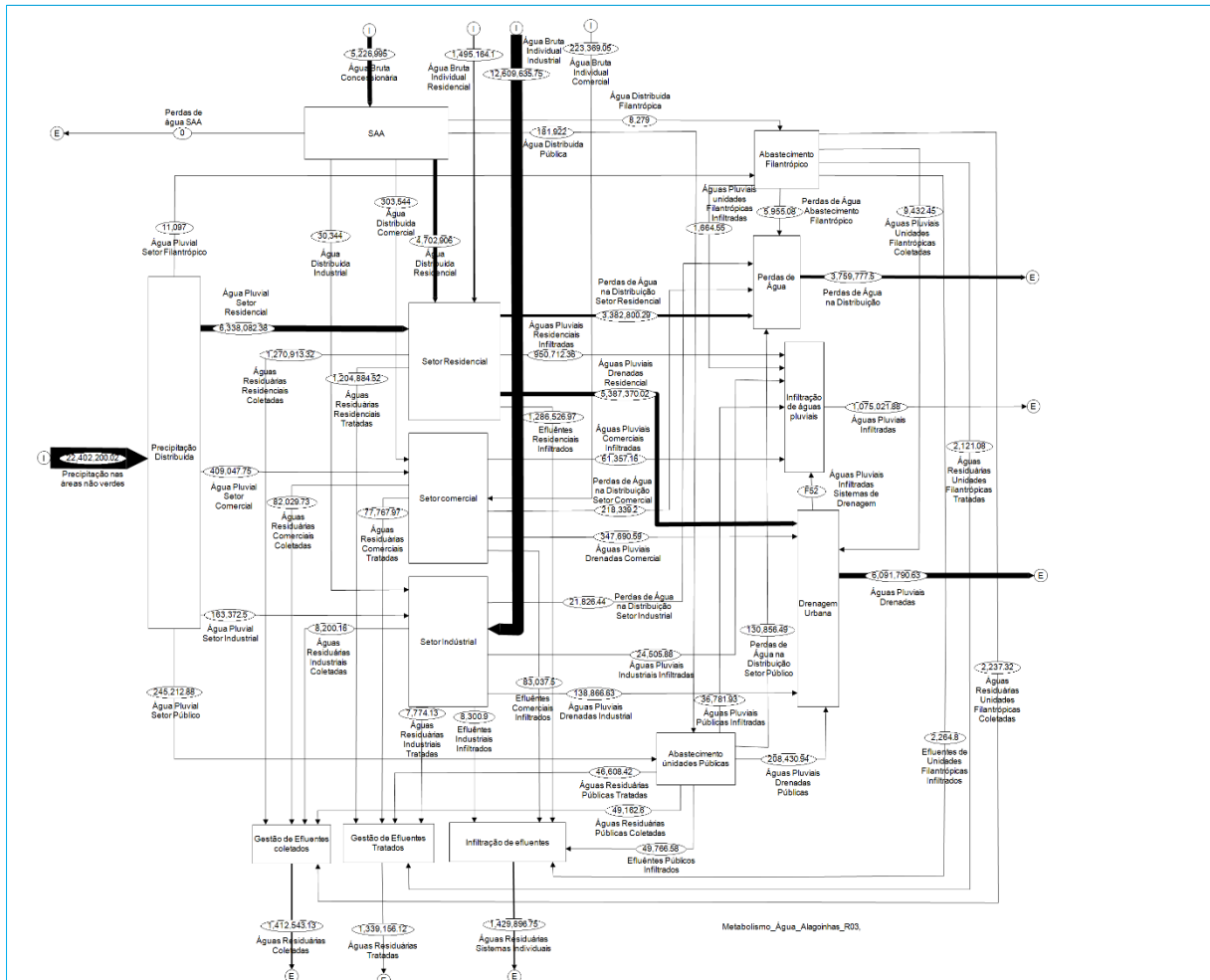
O metabolismo urbano da água para a cidade de Alagoinhas é apresentado nas Figuras 19 e 20, sendo a última o resultado dos fluxos referentes ao processo Usos da água e esgoto. Os valores dos fluxos além de quantificados são representados pelos diagramas de Sankey gerados através do software STAN.

Figura 19 - Metabolismo urbano da água da cidade de Alagoinhas/BA.



Fonte: Elaborado pelo autor, software STAN versão 2.6.801.

Figura 20 – Metabolismo do processo Usos de água e esgoto da cidade de Alagoinhas/BA.



Fonte: Elaborado pelo autor, software STAN versão 2.6.801.

A principal entrada de água no sistema é a Precipitação que corresponde a 57,6% do volume de todas as entradas somadas e equivale a um volume de água importado para o sistema de $26,56 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$. O fluxo contribui para as recargas do lençol freático e corpos hídricos e precisa ser avaliado anualmente, pois simulações sobre o Estado da Bahia realizadas para os anos de 2070 a 2100, indicaram a redução da precipitação anual e o aumento da temperatura média do ar em todo o Estado em decorrência de mudanças climáticas (TANAJURA *et al.*, 2010). O aumento da temperatura pode elevar o fluxo Evapotranspiração, responsável pela maior saída de água do sistema $23,3 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ equivalente a 87,7% do fluxo de precipitação, a soma desses fatores pode provocar uma redução na recarga das águas subterrâneas.

O volume de água exportado do sistema foi estimado em $32,12 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ e corresponde a soma do fluxo Evapotranspiração e do fluxo do rio a jusante da área urbana, calculado através do somatório dos fluxos lançados nos rios urbanos, águas pluviais drenadas, águas residuárias coletadas, águas residuárias tratadas e fluxo do rio a montante da área urbana (F15). O valor

exportado tende a ser maior devido à ausência do valor de F15, o qual não foi calculado neste trabalho.

O total de água captada da reserva subterrânea e consumida pela cidade corresponde ao volume aproximado de $19,6 \times 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$ direcionado para os seguintes usos, 64,6% na indústria, 31,7% em residências, 2,7% em estabelecimentos comerciais, 0,9% abastecimento de unidades públicas e 0,04% em ações filantrópicas. A análise dos estoques de água doce da área de estudo identificou a reserva renovável de $42,3 \times 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$ correspondente ao volume das recargas anuais e o valor de $13 \times 10^9 \text{ m}^3$ para a reserva permanente, correspondente ao volume hídrico acumulado no aquífero (PMA, 2004). No cenário atual a cidade é responsável pela extração do volume anual equivalente a 46,2% da reserva renovável, o aumento da população e crescimento industrial da cidade podem comprometer ainda mais a utilização dessa reserva renovável, componente freático responsável pela recarga do aquífero São Sebastião.

Apesar do volume de água identificado na reserva permanente, o comprometimento observado de quase metade da reserva renovável associado a fatores como mudanças climáticas, crescimento industrial e aumento da população, exige atenção e ações voltadas para o acompanhamento dos grandes consumidores de água, representados nesse estudo pela indústria e residências que juntos são responsáveis por consumir 96,3% do volume de água extraído anualmente da reserva subterrânea. Algumas ações e programas relacionados a Política Estadual de Recursos Hídricos como a portaria Nº 22181/21 do INEMA, já contemplam o monitoramento dos usos e intervenções em recursos hídricos, através da instalação de sistema de medição de vazão em águas superficiais e captações de águas subterrâneas, entretanto o atendimento a portaria encontra-se em fase de implantação e precisa ser intensificado na região.

O fluxo Águas Residuárias Coletadas representa o volume anual de esgoto coletado e lançado sem tratamento no rio Catu e afluentes, Aramari e Ingá, com valor estimado em $1,4 \times 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$ representa em sua maior parcela o volume de esgoto gerado pela área central da cidade coletado através de sistemas unitários (Figura 19; Figura 20), é responsável pelo aumento das concentrações de nutrientes como o fósforo e nitrogênio, acelerando o processo de eutrofização e consequente perda da qualidade ambiental. O impacto da poluição provocado pelo lançamento de esgotos sem tratamento nos rios urbanos da cidade foi comprovado através do resultado da campanha de monitoramento de qualidade das águas realizada em 2021, disponível no Sistema Estadual de Informações Ambientais e de Recursos Hídricos (SEIA) do Governo da Bahia, programa Monitora, que identificou através de amostras coletadas em um ponto do rio Catu a jusante da cidade, RCN-CAT-200 com coordenadas $12^{\circ}09'34,09''$ (S) $38^{\circ}24'41,86''$ (W), um

Índice de Estado Trófico (IET) > 67 que caracteriza um ambiente Hipereutrófico com enriquecimento máximo de nutrientes e número excessivo de algas e plantas aquáticas.

O fluxo Águas Residuárias Sistemas Individuais correspondente a $1,4 \times 10^6$ m³/ano e lançado em sistemas de tratamento individuais como fossas sépticas e sumidouros ou infiltrados diretamente no solo, impacta na qualidade da água subterrânea. Estudos realizados identificaram a presença de elevado teor de nitrato em um pequeno número de poços destinados a captação de água para abastecimento da cidade, concluindo que a contaminação é decorrente da oxidação dos compostos nitrogenados presentes no esgoto que percolam no solo e ocorre na faixa de flutuação sazonal do nível hidrostático do aquífero (NASCIMENTO *et al.*, 2006; SILVA, 2018), camada livre ou freática que corresponde a reserva renovável.

O fluxo Águas Residuárias Tratadas equivalente a $1,3 \times 10^6$ m³/ano corresponde a 32% do total de efluentes gerados pela cidade, considerando o somatório das vazões tratadas de final de plano das dezessete Estações de Tratamento de Esgoto existentes na cidade (ANEXO A, tabela 10), com capacidade para tratar cerca de $5,1 \times 10^6$ m³/ano, observa-se que apenas 26% da capacidade de tratamento de esgoto é utilizada.

O fluxo Águas Pluviais Infiltradas contribui para a recarga do lençol freático que alimenta a reserva permanente do aquífero e foi estimado em 1×10^6 m³/ano, enquanto o fluxo Águas Pluviais Drenadas em 6×10^6 m³/ano, dos quais aproximadamente 88,4% são provenientes das áreas impermeáveis das residências.

Fechando os fluxos de saída do Sistema de Água e Esgoto as perdas de água na distribuição foram estimadas em $3,8 \times 10^6$ m³/ano, valor elevado chegando a ser sete vezes maior que os volumes anuais de água distribuída pela concessionária para os setores comercial, industrial, público e filantrópico, estimados em $0,5 \times 10^6$ m³/ano.

Alguns fluxos relacionados com a retirada de águas subterrâneas no município, mesmo fora da área de estudo foram quantificados durante a pesquisa por apresentarem relevância para a avaliação e comparação com outros fluxos da área de estudo, são eles os fluxos de água bruta extraída por particulares para a Irrigação, estimado em $2,8 \times 10^6$ m³/ano (Tabela 2 – APÊNDICE A) e para criação animal $0,03 \times 10^6$ m³/ano (Tabela 5 - APÊNDICE A).

5.2.1 PRODUTO DA PESQUISA.

A metodologia utilizada para o desenvolvimento deste trabalho, foi estruturada e apresentada nessa Seção. O produto apresentado pode ser replicado em outras bacias hidrográficas urbanas.

METODOLOGIA PARA DIAGNÓSTICO DO METABOLISMO DA ÁGUA EM BACIAS URBANAS

1º Estágio – Seleção da área de estudo

- Identificação do local de interesse
 - Identificar na área, aspectos relacionados aos recursos hídricos que justifiquem a relevância de um estudo. Usar como referência para a escolha os objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei Nº 9.433/ 1997): Disponibilidade de água; qualidade da água; uso racional recursos hídricos; desenvolvimento sustentável; prevenção e defesa contra eventos hidrológicos críticos; captação, preservação e aproveitamento de águas pluviais.
- Caracterização da área de estudo
 - Identificação das fontes de dados existentes para a área de estudo escolhida: Pesquisa em sites oficiais de órgãos ambientais, página oficial do município e do Governo do Estado, Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)
 - Levantamento de dados preliminares: Informações territoriais, população, clima, dados socioeconômicos, ambientais, hidrografia.
 - Avaliação da viabilidade do estudo na área escolhida com base nas fontes de dados disponíveis e dados preliminares obtidos.
 - Elaboração de mapa de coleta de dados necessários para a pesquisa: Planilha eletrônica contendo, tipo do dado, descrição, período solicitado, fonte, endereço da fonte, data da solicitação, responsável pela informação, Situação da consulta, Observações.
 - Coleta de dados: Solicitação formal de dados através do encaminhamento de ofício para os órgãos de controle ambientais e órgão gestor municipal, visitas técnicas para levantamento de dados de campo, pesquisa de dados na web, revistas técnicas especializadas, artigos científicos publicados.

2º Estágio – Construção do modelo para determinação do metabolismo urbano da água

- Definição do problema relacionado a água a ser estudado:
 - Escolha da(s) diretrizes para a abordagem do problema: Aspectos relacionados a disponibilidade de água; qualidade da água; uso racional recursos hídricos; desenvolvimento sustentável; prevenção e defesa contra eventos hidrológicos críticos; captação, preservação e aproveitamento de águas pluviais.
 - Descrever o problema identificado na área de estudo, de acordo com a diretriz escolhida para abordagem.

- Definição do sistema: Determinação dos parâmetros considerados para o estudo
 - Definir o material: Água;
 - Definir o limite espacial para o estudo: Bacia ou bacias hidrográficas urbanas, área urbana e periurbana da cidade. Delimitação da área ou bacia escolhida com a utilização de dados obtidos e/ou do software QGIS versão 3.10 (Disponível em <https://qgis.org/en/site/>)
 - Definir o limite temporal para o estudo: Anual, mensal, semanal, caracterizado pelo intervalo de tempo em que a série de dados analisados foi gerada.
 - Identificar os processos que fornecem, transportam, modifica ou armazenam água no ambiente urbano: Precipitação Total, os Usos da Água e Esgoto, Solo e Rios Urbanos, caracterizando as entradas, saídas, demandas e estoques de água.
 - Identificar os fluxos, ligações entre os processos, naturais e resultantes de ações antrópicas (Quadro 6): Utilizar inicialmente a equação proposta por Farooqui *et al.* (2016), identificando também as demandas e reservas de água com base na coleta de dados realizada no 1º Estágio, etapa de caracterização da área de estudo.
 - Equação sugerida para a identificação dos fluxos e processos: Equação 1, proposta por Farooqui *et al.* (2016).

$$(C + D + P + Ri) = (W + RS + G + ET + Ri + Re) + \Delta S \quad (1)$$

Onde:

C= Reservas de águas superficiais e subterrâneas;

D= Reservatórios de aproveitamento de águas pluviais;

P= Precipitação;

Ri= Reuso de esgoto para uso interno na cidade;

W= Lançamento de efluentes/ descarga de águas residuais;

RS= Descarga de águas pluviais/ Escoamento Superficial;

G= Infiltração;

ET= Evaporação;

Re= Reuso de esgoto para uso externo a cidade;

ΔS = Armazenamento/ Estoque

Quadro 6 - Identificação inicial dos fluxos urbanos de água

Origem do Fluxo	Identificação do Fluxo	Sentido do Fluxo
Fluxo Hidrológico Natural	Precipitação (P)	Entrada de água no ambiente urbano
	Evaporação (ET)	Saída de água do ambiente urbano
	Infiltração (G)	Saída de água do ambiente urbano
	Escoamento Superficial (RS)	Saída de água do ambiente urbano
Fluxos resultantes da Infraestrutura Urbana	Reservatórios de aproveitamento de águas pluviais (D)	Entrada de água no ambiente urbano
	Reservas de águas superficiais e Subterrâneas (C)	Entrada de água no ambiente urbano
	Reuso de esgoto (Ri/Re)	Entrada de água no ambiente urbano
	Lançamento de efluentes/ águas residuárias (W)	Saída de água do ambiente urbano
	Armazenamento (S)	Saída de água do ambiente urbano

- Identificação dos fluxos associados aos processos: Precipitação Total, Usos da Água e Esgoto, Solo e Rios Urbanos:
 - Construção de tabela de identificação e descrição dos fluxos do modelo de metabolismo urbano da água: Elaboração de tabela em Excel contendo código de identificação, nome e descrição do fluxo de água no ambiente urbano (Quadros 3 e 4).
- Determinação de fluxos de materiais e estoques
 - Construção do modelo inicial para o metabolismo urbano da água: Utilização do software STAN para a construção do diagrama de fluxo de substâncias.
 - Apresentação do modelo inicial, para representantes dos setores envolvidos no processo de gestão da água na área de estudo e especialistas no tema: Reuniões periódicas para avaliação e ajustes necessários no modelo e validação do modelo inicial.
 - Cálculo dos fluxos de água do modelo: Elaboração de planilha eletrônica para memória de cálculo dos fluxos, contendo: Código, nome e descrição do fluxo, equação utilizada no cálculo e fonte do dado (Apêndice A, Tabela 7).
 - Avaliação da incerteza dos dados: Reconciliação dos dados, verificação de consistência e propagação da incerteza.

3º Estágio – Análise de resultados

- Avaliação dos resultados obtidos, conclusões, sugestões de melhoria e aprofundamento do modelo.

4º Estágio – Monitoramento

- Revisão periódica anual dos fluxos, processos e estoques dos sistemas para proceder os ajustes necessários no modelo.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar do município de Alagoinhas ocupar uma posição privilegiada em relação a disponibilidade de água considerando as estimativas de reservas Renovável e Permanente do seu aquífero, o entendimento do metabolismo da água dentro do ambiente urbano permitiu identificar o impacto que o crescimento industrial da cidade, associado ao crescimento da população em decorrência da geração de empregos diretos e indiretos, provoca nestas reservas e é refletido no elevado volume de água consumida pela atividade industrial e para o uso residencial.

A avaliação do metabolismo da água na cidade de Alagoinhas possibilitou a identificação de características que necessitam de análise e planejamento detalhados, visando a redução das vulnerabilidades do sistema, os quais podem ser descritos a seguir.

- a) A água subterrânea é atualmente a principal fonte de água utilizada para o consumo da população e apesar do alto volume de sua reserva permanente, fontes alternativas de abastecimento precisam ser avaliadas, de maneira que os impactos negativos da ação antrópica e do processo de urbanização da cidade sobre essa reserva, sejam minimizados.
- b) Devido ao crescimento do setor industrial e ao alto volume de água consumido em suas atividades, o controle e monitoramento periódico dos volumes de água extraídos de acordo com os limites outorgados, por parte dos órgãos de controle municipal e estadual, torna-se um objetivo necessário que precisa ser alcançado.
- c) Necessidade de ampliação da cobertura e tratamento de esgotos para reduzir a infiltração, o lançamento de efluentes, contaminação do solo e dos corpos hídricos.
- d) O resultado do metabolismo também apontou a necessidade de ações na gestão da água, voltadas para a redução das perdas na distribuição e incentivo a utilização de fontes alternativas, identificadas nos fluxos de Águas Pluviais Coletadas e Águas Residuárias Tratadas.

Ao entender como a água circula no interior da cidade foi possível identificar o impacto causado pelo ambiente urbano nas reservas subterrâneas de água. A análise de fluxos de materiais realizada para o metabolismo urbano, permitiu quantificar as retiradas e recargas de água, o

lançamento de efluentes, avaliar os impactos causados aos corpos hídricos, suas potencialidades e venerabilidades.

Como proposta para trabalhos futuros, algumas lacunas referentes ao processo de infiltração de água no solo e sua contribuição para o fluxo de recarga do aquífero precisam ser aprofundadas, bem como o potencial das águas superficiais, o reúso de esgoto e o aproveitamento das águas pluviais oriundas dos sistemas de macro e micro drenagem, fluxos e processos que devido à ausência de dados não foram melhor desenvolvidos. Os dados obtidos e pesquisados precisam ser avaliados e tratados em relação a sua incerteza, completando o rol de ausências a serem desenvolvidas em continuidade a pesquisa.

As fontes e padrões de informação obtidas e utilizadas durante o estudo de caso realizado permitiram conhecer os sistemas urbanos de água de maneira estruturada e identificar as etapas necessárias para avaliar o metabolismo urbano da água em uma bacia urbana. A metodologia utilizada para o estudo de caso serviu de base para a concepção do procedimento metodológico de análise do metabolismo da água em ambientes urbanos, objetivo dessa pesquisa, o qual encontra-se sistematizado e apresentado na íntegra no capítulo 5 como produto da pesquisa.

O procedimento proposto pode ser replicado em outras regiões de estudo, bacias hidrográficas urbanas e cidades em geral, entretanto o seu desenvolvimento deve ocorrer de maneira integrada, envolvendo os responsáveis pela gestão, operação, controle da água, além da própria população que utiliza o recurso, permitindo identificar e validar os fluxos hidrológicos naturais, fluxos e processos resultantes da infraestrutura urbana que são específicos para cada ambiente a ser estudado, além de auxiliar a tomada de decisão e suprir lacunas relacionadas a ausência ou deficiência de dados.

O modelo precisa ser constantemente atualizado, seja através do refinamento dos dados de entrada e saída, ou revisão periódica dos fluxos e processos que integram a área de estudo, pois representa uma fotografia do ambiente urbano em um determinado intervalo de tempo.

REFERÊNCIAS

ABOELNGA, H. T., EL-NASER, H., RIBBE, L., FRECHEN, F. B. **Assessing Water Security in Water-Scarce Cities: Applying the Integrated Urban Water Security Index (IUWSI) in Madaba, Jordan.** *Water*, v. 12, n. 5, p. 1299, 2020. Disponível em: < <https://doi.org/10.3390/w12051299> > Acesso em: 01 set. 2021.

ANA, AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **National Water Security Plan – PNSH.** Brasília: ANA. 112 p., il. ISBN 9788582100592. 2019. Disponível em: < http://biblioteca.ana.gov.br/index.asp?codigo_sophia=82640 > Acesso em: 29 jun. 2020.

ALLESCH, A.; BRUNNER, P. H. Material flow analysis as a decision support tool for waste management: A literature review. **Journal of Industrial Ecology**, v. 19, n. 5, p. 753–764, 2015. Disponível em: < <https://doi.org/10.1111/jiec.12354>>. Acesso em: 05 de fev. de 2022.

BAHIA. INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS - INEMA. **Mapas Temáticos: RPGA XI – RPGA DO RECÔNCAVO NORTE.** Governo do Estado da Bahia. 2014. Disponível em: < <http://www.inema.ba.gov.br/wp-content/files/XI-RPGA-DO-RECONCAVO-NORTE.pdf> >. Acesso em: 3 fevereiro. 2020.

BAHIA. JUCEB - JUNTA COMERCIAL DO ESTADO DA BAHIA. SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. **Quantitativos de Constituições de Empresas (matrizes e filiais) no Estado da Bahia, por Região Administrativa.** 2021. Disponível em: < <http://www.juceb2.ba.gov.br/rad.asp> >. Acesso em: 19 de agosto de 2021.

BAHIA. SEI. SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA. **Mapa Municipal – Alagoinhas/Ba.** 2016 Disponível em: < <http://geoportal.ide.ba.gov.br/geoportal/> >. Acesso em: 22 ago. 2021.

BAHIA. **Instrução Normativa nº N° 01, de 27 de fevereiro de 2007.** Instrução Normativa Nº 01, de 27 de fevereiro de 2007. [S. l.], BA, Disponível em: < http://www2.sema.ba.gov.br/gestor/ArquivosSistemas/SistemaPublicacao/Arquivos/3163/ANEXO_1418406728548b2b4877857.pdf >. Acesso em: 11 nov. 2020.

BAKKER, K.; MORINVILLE, C. **The governance dimensions of water security: a review.** *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, v. 371, n. 2002, p. 20130116. 2013. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2013.0116> >. Acesso em: 10 jul. 2021.

BEHZADIAN, KOUROSH; KAPELAN, ZORAN. **Advantages of integrated and sustainability based assessment for metabolism based strategic planning of urban water systems.** Science of the total environment, v. 527, p. 220-231, 2015. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.04.097>>. Acesso em: 23 mar. 2021.

BRAGATTO, R. D., MARTINI, C. A., STEFFANI, M. A., BARRETO-RODRIGUES, M., & JUNIOR, H. E. Z. **Indicadores ambientais de sustentabilidade sistematizados pelo modelo pressão-estado-resposta (PER): análise de águas superficiais na microbacia hidrográfica Passo da Pedra, em Pato Branco-PR.** Revista Brasileira de Agroecologia, v. 7, n. 2, p. 87-103, 2012. Disponível em: < https://orgprints.org/id/eprint/22816/1/Bragatto_Indicadores.pdf >. Acesso em: 10 ago. 2021

BRASIL. IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Panorama.** 2020. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/alagoinhas/panorama> >. Acesso em: 19 de ago. 2021.

BRASIL. SNIS. Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento. **Diagnostico dos Serviços de Água e Esgoto. 2019.** Disponível em: < <http://www.snis.gov.br/diagnosticos> >. Acesso em: 11 jan. 2019.

BRASIL. **Lei Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, DF, 8 jan. 1997. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm >. Acesso em: 11 jun. 2020.

BRASIL. **Lei nº. 11.445, de 05 de Janeiro de 2007.** Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm>. Acesso em: 13 de Setembro de 2021.

BRASIL. **Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979.** Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L6766.htm>. Acesso em: 10/09/2021.

BRASIL. **Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001.** Regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana dá outras providências. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/110257.htm > Acesso em: 2 nov. 2021.

BRASIL. Código Florestal. **Lei, nº 12.651 de 25 de maio de 2012**. Das Normas Gerais de Tutela do Meio Ambiente. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm. Acesso em: 09 de ago. 2020.

BRUNNER, P. H.; RECHBERGER, H. **Handbook of material flow analysis: For environmental, resource, and waste engineers**. CRC press, 2016.

CHOWDHURY, Rubel Biswas; ZHANG, Xin. **Phosphorus use efficiency in agricultural systems: A comprehensive assessment through the review of national scale substance flow analyses**. Ecological Indicators, v. 121, p. 107-172, 2021.

COOK, CHRISTINA; BAKKER, KAREN. **Water security: Debating an emerging paradigm**. Global environmental change, v. 22, n. 1, p. 94-102. 2012. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.10.011> > Acesso em: 10 set. 2020.

CURTARELLI, M. P., TUCCI, C., RAGGHIANI, V., & GUIMARÃES, V. **Sustentabilidade Hídrica Urbana: O Caso De Santa Catarina**. Rega - Revista de Gestão de Água da América Latina: REGA - Revista de Gestão de Água da América Latina, [s. L.], v. 1514, n. 1, p.1-15, 29 dez. 2018. Disponível em: < <https://www.abrh.org.br/OJS/index.php/REGA/article/view/69> >. Acesso em: 17 jan. 2020.

DENG, H. M., WANG, C., CAI, W. J., LIU, Y., & ZHANG, L. X. **Managing the water-energy-food nexus in China by adjusting critical final demands and supply chains: An input-output analysis**. Science of the Total Environment, v. 720, p. 137635, 2020. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137635> >. Acesso em: 25 abr. 2021

ESPINOSA, GABRIELA. **Material flow analysis of the urban water system in Tepic Mexico: Integral evaluation and improvement options**. Technische Universität Hamburg, 2016. Disponível em: < <https://doi.org/10.15480/882.1331> >. Acesso em: 5 mar. 2021.

FAROOQUI, TAUHEED A.; RENOUF, MARGUERITE A.; KENWAY, STEVEN J. **A metabolism perspective on alternative urban water servicing options using water mass balance**. Water research, v. 106, p. 415-428, 2016. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.10.014> >. Acesso em: 17 set. 2021.

FEKETE, BALÁZS M.; STAKHIV, EUGENE Z. **Performance indicators in the water resources management sector**. In: The Global Water System in the Anthropocene. Springer, Cham. p. 15-26. 2014. Disponível em: < https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-07548-8_2 >. Acesso em: 07 jul. 2021.

GAIN, ANIMESH K; GIUPPONI, CARLO; WADA, YOSHIHIDE. **Measuring global water security towards sustainable development goals**. Environmental Research Letters, [S.L.], v. 11, n. 12, p. 124015-124028. IOP Publishing. 2016. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/11/12/124015>>. Acesso em: 14 dez. 2020.

GALVÃO, C. O.; MORAIS, S. D. A. ; MIRANDA, L. I. B. **Metabolismo urbano como ferramenta de suporte à gestão da água nas cidades**. In: Encontro Nacional da Rede Observatório das Metrópoles, 2017, Natal - RN. Regimes Urbanos e Governança Metropolitana, 2017.

GUIMARÃES, LUCY T.; MAGRINI, ALESSANDRA. **A proposal of indicators for sustainable development in the management of river basins**. Water resources management, v. 22, n. 9, p. 1191-1202. 2008. Disponível em: < <https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-007-9220-x> >. Acesso em: 7 out. 2020.

GHOSH, RUCHIRA; KANSAL, ARUN; VENKATESH, GOVINDARAJAN. **Urban water security assessment using an integrated metabolism approach—case study of the National Capital Territory of Delhi in India**. Resources, v. 8, n. 2, p. 62, 2019. Disponível em: < <https://doi.org/10.3390/resources8020062> > Acesso em: 3 set. 2021.

GLÖSER, S., SOULIER, M., AND TERCERO ESPINOZA, L. A. (2013). **Dynamic analysis of global copper flows. Global stocks, postconsumer material flows, recycling indicators, and uncertainty evaluation**. Environmental Science and Technology, 47 (12), 6564–6572.

GREY, David; SADOFF, Claudia W. **Sink or swim? Water security for growth and development**. Water policy, v. 9, n. 6, p. 545-571, 2007. Disponível em: < <https://doi.org/10.2166/wp.2007.021>> Acesso em: 06 jan. 2020.

GWP, GLOBAL WATER PARTNERSHIP. **Towards water security: A framework for action**. GWP Secretariat, 2000. Disponível em: < <https://www.gwp.org/> > Acesso em: 10 set. 2021.

HAASE, DAGMAR. **Effects of urbanisation on the water balance—A long-term trajectory**. Environmental Impact Assessment Review, v. 29, n. 4, p. 211-219, 2009. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2009.01.002> > Acesso em: 11 jun. 2020.

HOEKSTRA, A.Y.; BUURMAN, J.; VAN GINKEL, K. C. H. **“Urban water security: A review”**. Environmental Research Letters, v. 13, n. 5, p. 053002. 2018. Disponível em: < <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaba52>> Acesso em: 23 ago. 2020

HUANG, C. L., VAUSE, J., MA, H. W., & YU, C. P. **Urban water metabolism efficiency assessment: Integrated analysis of available and virtual water**. Science of the Total Environment, v. 452, p. 19-27, 2013. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.02.044> > Acesso em: 21 nov. 2020.

IBGE. **Arranjos populacionais e concentrações urbanas do Brasil**. 2ª edição. Rio de Janeiro: IBGE, 2016. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/apps/arranjos_populacionais/2015/pdf/publicacao.pdf Acesso em: 31 de ago.2021.

JAKRAWATANA, NAPAT; NGAMMUANGTUENG, PITAK; GHEEWALA, SHABBIR H. **Linking substance flow analysis and soil and water assessment tool for nutrient management**. Journal of Cleaner Production, v. 142, p. 1158-1168, 2017.

JENSEN, OLIVIA; WU, HUIJUAN. **Urban water security indicators: Development and pilot**. Environmental Science & Policy, v. 83, p. 33-45, 2018. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.02.003> > Acesso em: 17 de mai. 2021.

KENNEDY, CHRISTOPHER; PINCETL, STEPHANIE; BUNJE, PAUL. **The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design**. Environmental pollution, v. 159, n. 8-9, p. 1965-1973, 2011. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.10.022> > Acesso em: 23 ago. 2020

KENWAY, STEVEN; GREGORY, ALAN; MCMAHON, JOSEPH. **Urban water mass balance analysis**. Journal of Industrial Ecology, v. 15, n. 5, p. 693-706, 2011. DOI: 10.1111/j.1530-9290.2011.00357.x

LIMA, V. F.; COHIM, E.; ORRICO, S. **Avaliação da Pegada hídrica de sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário em uma cidade de médio porte-Caso de Alagoinhas-BA**. In: XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2015, Brasília. XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos - Segurança hídrica e desenvolvimento sustentável: Desafios do conhecimento e da gestão, 2015.

LI, X. S.; PENG, Z. Y.; LI, T. T. **An evaluation index system of water security in China based on macroeconomic data from 2000 to 2012**. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing. p. 012045. 2016. Disponível em: < <https://doi-org.ez427.periodicos.capes.gov.br/10.1088/1755-1315/39/1/012045> > Acesso em: 20 out. 2020

LOPEZ-MALDONADO, Y., BATLLORI-SAMPEDRO, E., BINDER, C. R., & FATH, B. D. **Local groundwater balance model: stakeholders' efforts to address groundwater monitoring and literacy**. Hydrological Sciences Journal, v. 62, n. 14, p. 2297-2312, 2017.

MAKARIGAKIS, ALEXANDROS K.; JIMENEZ-CISNEROS, BLANCA ELENA. **UNESCO's Contribution to Face Global Water Challenges**. Water, v. 11, n. 2, p. 388, 2019. Disponível em: < <https://doi.org/10.3390/w11020388> > Acesso em: 21 ago. 2021.

MATTHEWS, E., AMANN, C., BRINGEZU, S., FISCHER-KOWALSKI, M., HUTTLER, W., KLEIJN, R. et al. (2000). **The Weight of Nations, Material Outflows from Industrial Economies**. Washington, DC: World Resources Institute. Disponível em: < <https://doi-org.ez427.periodicos.capes.gov.br/10.1162/108819800569735> > Acesso em: 14 fev. 2022.

MOHAMMADPOUR, P.; MAHJABIN, T.; FERNANDEZ, J.; GRADY, C. **From national indices to regional action — an analysis of food, energy, water security in Ecuador, Bolivia, and Peru**. Environ. Sci. Pol., v. 101, pp. 291-301. 2019. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.08.014>. > Acesso em: 21 nov. 2020.

NASCIMENTO, S. A. M., MORAES, L. R. S., REIS, M. G. C., SANTANA, A. V. A. **Estudo Quali-Quantitativo das Águas Subterrâneas no Município de Alagoinhas-Bahia como Componente do Plano Municipal de Saneamento Ambiental**. Águas Subterrâneas, 2006.

NEWMAN, PETER WG. **Sustainability and cities: extending the metabolism model**. Landscape and urban planning, v. 44, n. 4, p. 219-226, 1999. Disponível em: < [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(99\)00009-2](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(99)00009-2) > Acesso em: 23 ago. 2020.

NSHIMBI, CHRISTOPHER CHANGWE. **SDGs and decentralizing water management for transformation: Normative policy coherence for water security in SADC river basin organizations**. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, v. 111, p. 1-12, 2019. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.pce.2019.02.010>> Acesso em: 16 jan. 2022.

ONU. **Sustainable Development Goal 6: Ensure availability and sustainable management of water and sanitation for all**. 2016. Disponível em < <https://sdgs.un.org/goals/goal6> >. Acesso em: 19 mai. 2021.

ONU. **World Urbanization Prospects 2018**. Disponível em:< <https://population.un.org/wup/> >Acesso em: 31 de ago. 2021.

PEÑA-GUZMÁN, C. A., MELGAREJO, J., PRATS, D., TORRES, A., & MARTÍNEZ, S. **Urban water cycle simulation/management models: A review**. Water, v. 9, n. 4, p. 285, 2017. Disponível em:< <https://doi.org/10.3390/w9040285> Acesso em: 20 de set 2021

PIRES, A., MORATO, J., PEIXOTO, H., BOTERO, V., ZULUAGA, L., & FIGUEROA, A. **Sustainability Assessment of indicators for integrated water resources management**. Science of the total environment, v. 578, p. 139-147, 2017. Disponível em:< <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.217> > Acesso em: 21 nov. 2020.

PMA, Prefeitura Municipal de Alagoinhas, Universidade Federal da Bahia. **Plano Municipal de Saneamento Ambiental de Alagoinhas**. Alagoinhas: PMA/DEA-UFBA, Tomos I e II. 2004.

PMA, Prefeitura Municipal de Alagoinhas. **PUBLICAÇÕES: leis administrativa, ambientais e de uso e ocupação do solo. Leis Administrativa, Ambientais e de Uso e Ocupação do Solo.** Disponível em: <https://www.alagoinhas.ba.gov.br/>. Acesso em: 14 jul. 2020.

RENOUF, M. A., SERRAO-NEUMANN, S., KENWAY, S. J., MORGAN, E. A., & CHOY, D. L. **Urban water metabolism indicators derived from a water mass balance—bridging the gap between visions and performance assessment of urban water resource management.** *Water research*, v. 122, p. 669-677, 2017. Disponível em:< <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.05.060> > Acesso em: 21 nov. 2020

ROCHA, NÍVIA CRISTINA VIEIRA; DE LIMA, ALINE MARIA MEIGUINS. **A sustentabilidade hídrica na bacia do rio Guamá, Amazônia Oriental/Brasil.** *Sociedade & Natureza*, v. 32, p. 141-160, 2020. Disponível em:< <https://doi.org/10.14393/SN-v32-2020-45694> > 21 ago. 2021.

ROSSI, GIUSEPPE. **Achieving ethical responsibilities in water management: A challenge.** *Agricultural water management*, v. 147, p. 96-102, 2015. Disponível em:< <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.07.030> > 21 abr. 2020

SERRAO-NEUMANN, S., RENOUF, M. A., MORGAN, E., KENWAY, S. J., & CHOY, D. L. **Urban water metabolism information for planning water sensitive city-regions.** *Land Use Policy*, v. 88, p. 104144, 2019. Disponível em:< <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104144> > Acesso em: 23 ago. 2020

SILVA, ADRIANO ALMEIDA DA. **Avaliação das concentrações de nitrato nos poços tubulares da estação Engenheiro Francisco Távora em Alagoinhas Bahia.** 2018. Disponível em:< <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/22521>> Acesso em: 10 nov. 2021

SIMA, L. C., KELNER-LEVINE, E., ECKELMAN, M. J., MCCARTY, K. M., & ELIMELECH, M. **Water flows, energy demand, and market analysis of the informal water sector in Kisumu, Kenya.** *Ecological Economics*, v. 87, p. 137-144, 2013. Disponível em:< <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.12.011> > Acesso em: 20 jul. 2021.

SIPERT, S.; COHIM, E. **A phosphorus flow analysis of Brazil.** *Environmental Engineering Science*, v. 37, n. 2, p. 148-163, 2019.

SIPERT, S.; COHIM, E.; NASCIMENTO, F. R. A. **Identification and quantification of main anthropogenic stocks and flows of potassium in Brazil.** *Environmental Science and Pollution Research*, v. 27, n. 26, p. 32579-32593, 2020.

SCHOLTEN, TOM; HARTMANN, THOMAS; SPIT, TEJO. **The spatial component of integrative water resources management: differentiating integration of land and water governance.** International Journal of Water Resources Development, v. 36, n. 5, p. 800-817, Disponível em: < 2020. <https://doi.org/10.1080/07900627.2019.1566055> > Acesso em: 20 set. 2021

TANAJURA, CLEMENTE AUGUSTO SOUZA; GENZ, FERNANDO; ARAÚJO, HERÁCLIO ALVES DE. **Mudanças climáticas e recursos hídricos na Bahia: validação da simulação do clima presente do HadRM3P e comparação com os cenários A2 e B2 para 2070-2100.** Revista Brasileira de Meteorologia, v. 25, p. 345-358, 2010. Disponível em: < <https://doi.org/10.1590/S0102-77862010000300006> > Acesso em: 17 jan. 2022

TUCCI, CARLOS EDUARDO MORELLI. **Gestão integrada das águas urbanas.** Revista de Gestão de Água da América Latina, v. 5, n. 2, p. 71-81, 2008. Disponível em: < <https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=2&ID=72&SUMARIO=863> > Acesso em: 20 mar. 2020.

TUCCI, CARLOS EDUARDO MORELLI. **Indicador de sustentabilidade hídrica urbana.** Revista Gestão de Água da América Latina, v. 14, p. 1-12, 2017. Disponível em: < <https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=2&ID=198&SUMARIO=5317> > Acesso em: 20 mar. 2020.

TU WIEN, INSTITUTE FOR WATER QUALITY, RESOURCE AND WASTE MANAGEMENT. **Software STAN, short for subSTance flow ANalysis** . Versão 2.6.801. 2017. Disponível em: < <https://www.stan2web.net/> > Acesso em: 15 jan. 2020.

ULIANA, E. M., DA SILVA SOUZA, L. G., DE SOUZA, A. P., DA SILVA, D. D., DE ALMEIDA, F. T., & ARAUJO, H. B. **Regionalização de vazões para o médio e alto Rio Teles Pires–MT.** Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences, v. 59, n. 4, p. 333-338, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2240> > Acesso em: 20 ago. 2020.

UN-WATER. **What is Water Security? Infographic.** UN-Water website. 2013 Disponível em : <www.unwater.org/publications/water-security-infographic/> Acesso em: 15 set.ago. 2021

VAN DEN BRANDELER, FRANCINE; GUPTA, JOYEETA; HORDIJK, MICHAELA. **Megacities and rivers: Scalar mismatches between urban water management and river basin management.** Journal of Hydrology, v. 573, p. 1067-1074, 2019. Disponível em : <<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.01.001> > Acesso em: 21 nov. 2020

VAN GINKEL, K. C., HOEKSTRA, A. Y., BUURMAN, J., & HOGEBOM, R. J. **Urban Water Security Dashboard: systems approach to characterizing the water security of cities**. Journal of water resources planning and management, v. 144, n. 12, p. 04018075. 2018.

VÖRÖSMARTY, C. J., MCINTYRE, P. B., GESSNER, M. O., DUDGEON, D., PRUSEVICH, A., GREEN, P., ... & DAVIES, P. M. **Global threats to human water security and river biodiversity**. nature, v. 467, n. 7315, p. 555-561, 2010. Disponível em : < <https://doi.org/10.1038/nature09440>> Acesso em: 15 jan. 2020

WANG, Y., ZHAO, Y., WANG, Y., MA, X., BO, H., & LUO, J. **Supply-demand risk assessment and multi-scenario simulation of regional water-energy-food nexus: A case study of the Beijing-Tianjin-Hebei region**. Resources, Conservation and Recycling, v. 174, p. 105799, 2021. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105799> > Acesso em: 21 set. 2020.

WHO, WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for Drinking-Water Quality**, 4th ed.; World Health Organization: Geneva, Switzerland, 2017; ISBN 978-92-4-154995-0.

WEF- WORLD ECONOMIC FORUM. **Global risk report 2016 (11th ed.)**. Geneva: World Economic Forum. 2016.

WILLUWEIT, LARS; O'SULLIVAN, JOHN J. **A decision support tool for sustainable planning of urban water systems: Presenting the Dynamic Urban Water Simulation Model**. Water research, v. 47, n. 20, p. 7206-7220, 2013. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.09.060>> Acesso em: 15 mar. 2021.

WOLMAN, A. **The metabolism of cities: Scientific American 213 (3)**, 179-190. 1965.

WST - WATER SERVICES AND TECHNOLOGIES. **Relatório Técnico Final: estudo hidrogeológico da borda leste da bacia do recôncavo, produto 05**. [S. L.]: Embasa, 2019. 71 p.

WWC, WORLD WATER COUNCIL. **A water secure world: Vision for water, life, and the environment**. World Water Commission, 2000.

ZEITOUN, M., LANKFORD, B., KRUEGER, T., FORSYTH, T., CARTER, R., HOEKSTRA, A. Y., ... & MATTHEWS, N. **Reductionist and integrative research approaches to complex water security policy challenges**. Global Environmental Change, v. 39, p. 143-154, 2016. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.04.010> > Acesso em: 21 nov. 2020

APÊNDICE A

Tabela 1 - Volumes de água outorgados para finalidade industrial em Alagoinhas/ BA.

Processo	Latitude	Longitude	Tipologia	Vazão outorgada (m3/h)	Tempo de captação (h/dia)	Volume anual (m3)
2009-0003210 UTAMPL-0019	- 12,0914	-38,35630556	Captação Subterrânea por poço	146,44	2	106.901,20
2013-0025960 UTDISP-0172	- 12,1403	-38,42361111	Captação Subterrânea por poço	4,67	1	1.704,55
2013-0033860 UTDISP-0363	- 12,0897	-38,35888889	Captação Subterrânea por poço	10,00	1	3.650,00
2014-0034110 UTDISP-0001	- 12,1502	-38,41685	Captação Subterrânea por poço	1,33	6	2.912,70
2014-0047920 UTDISP-0285	-12,165	-38,42083333	Captação Subterrânea por poço	30,07	1	10.975,55
20150010 00862INE MALIC-00862	- 12,1639	-38,42861111	Captação Subterrânea por poço	66,05	10	241.082,50
20170010 00341INE MALIC-00341	- 12,1675	-38,4255	Captação Subterrânea por poço	80,08	13	379.979,60
20170010 00081INE MAJUR-00081	- 12,1636	-38,42538889	Captação Subterrânea por poço	60,00	12	262.800,00

Processo	Latitude	Longitude	Tipologia	Vazão outorgada (m3/h)	Tempo de captação (h/dia)	Volume anual (m3)
20150010 02312INE MALIC- 02312	- 12,1633	-38,425	Captação Subterrânea por poço	60,00	12	262.800,00
20170010 02121INE MALIC- 02121	- 12,1287	-38,38494444	Captação Subterrânea por poço	2,00	1	730,00
20180010 01298INE MALIC- 01298	- 12,1381	-38,42125	Captação Subterrânea por poço	8,00	3	8.760,00
20190010 00142INE MAJUR- 00142	- 12,1808	-38,36402778	Captação Subterrânea por poço	14,51	3	15.888,45
20190010 05897INE MALIC- 05897	- 12,1607	-38,44869444	Captação Subterrânea por poço	400,00	20	2.920.000,00
20190010 05897INE MALIC- 05897	- 12,1643	-38,44980556	Captação Subterrânea por poço	400,00	20	2.920.000,00
20190010 06896INE MALIC- 06896	- 12,0914	-38,35630556	Captação Subterrânea por poço	14,50	24	127.020,00
20190010 03805INE MALIC- 03805	- 12,1122	-38,39041667	Captação Subterrânea por poço	3,34	6	7.314,60
20200010 00926INE MALIC- 00926	- 12,2093	-38,40094444	Captação Subterrânea por poço	317,88	24	2.784.628,80
20200010 00926INE	- 12,1556	-38,40305556	Captação Subterrânea por poço	212,88	24	1.864.828,80

Processo	Latitude	Longitude	Tipologia	Vazão outorgada (m3/h)	Tempo de captação (h/dia)	Volume anual (m3)
MALIC-00926 20200010 00926INE	- 12,1735	-38,37422222	Captação Subterrânea por poço	76,00	24	665.760,00
MALIC-00926 20200010 03066INE	- 12,1343	-38,40936111	Captação Subterrânea por poço	4,00	10	14.600,00
MALIC-03066	- 12,1099	-38,38691667	Captação Subterrânea por poço	2,50	8	7.300,00
TOTAL						12.609.635,75

Fonte: INEMA, processo nº 046.0525.2020.0016932-26.

Tabela 2 - Volumes de água outorgados para finalidade irrigação em Alagoinhas/ BA.

Processo	Latitude	Longitude	Tipologia	Vazão outorgada (m3/h)	Tempo de captação (h/dia)	Volume anual (m3)
2018001 001931I NEMALI C-01931	- 12,2347222 2	- 38,4863888 9	Captação Subterrânea por poço	8,00	5	14.600,00
2018001 004095I NEMALI C-04095	- 12,1991944 4	-38,3975	Superficial Rio ou Curso D'Água	11,63	8	33.959,60
2019001 000150I NEMALI C-00150	- 12,1485277 8	- 38,4097222 2	Captação Subterrânea por poço	14,74	19	102.221,90

Processo	Latitude	Longitude	Tipologia	Vazão outorgada (m3/h)	Tempo de captação (h/dia)	Volume anual (m3)
20190010031121 NEMALI C-03112	- 11,96666667	-38,4	Captação Subterrânea por poço	18,00	15	98.550,00
20200010002131 NEMALI C-00213	- 11,96666667	-38,4	Captação Subterrânea por poço	49,92	24	437.299,20
20200010002121 NEMALI C-00212	- 12,00391667	- 38,42061111	Captação Subterrânea por poço	40,75	12	178.485,00
20200010012421 NEMALI C-01242	- 11,98333333	- 38,36666667	Captação Subterrânea por poço	39,76	12	174.148,80
20200010028001 NEMALI C-02800	-12,01	- 38,34616667	Captação Subterrânea por poço	94,08	13	446.409,60
20200010028001 NEMALI C-02800	-12,0075	-38,35375	Captação Subterrânea por poço	94,08	13	446.409,60
20200010028001 NEMALI C-02800	- 12,01019444	- 38,35083333	Captação Subterrânea por poço	94,00	13	446.030,00
20200010028001 NEMALI C-02800	- 12,00944444	-38,3555	Captação Subterrânea por poço	94,00	13	446.030,00
					Total	2.824.143,70

Fonte: INEMA, processo nº 046.0525.2020.0016932-26.

Tabela 3 - Volumes de água outorgados para uso comercial em Alagoinhas/ BA.

Processo	Latitude	Longitude	Tipologia	Vazão outorgada (m3/h)	Tempo de captação (h/dia)	Volume anual (m3)
2013-002829 OUTDIS P-0268	- 12,1341666 7	- 38,3902777 8	Captação Subterrânea por poço	0,29	6	635,10
2013-003094 OUTDIS P-0318	- 12,1341666 7	- 38,3902777 8	Captação Subterrânea por poço	0,78	9	2.562,30
2014-003507 OUTDIS P-0013	- 12,1644444 4	- 38,4261111 1	Captação Subterrânea por poço	1,4	1	511,00
2017001 003080I NEMALI C-03080	- 12,1447222 2	- 38,3977777 8	Captação Subterrânea por poço	4,8	3	5.256,00
2017001 003636I NEMALI C-03636	- 12,1060277 8	- 38,4433055 6	Captação Subterrânea por poço	17,5	20	127.750,00
2017001 002099I NEMALI C-02099	- 12,1277777 8	- 38,4088055 6	Captação Subterrânea por poço	1	1	365,00
2019001 004887I NEMALI C-04887	- 12,1892777 8	- 38,4131388 9	Captação Subterrânea por poço	4,65	20	33.945,00
2012-001756 OUTDIS P-0140	- 12,1394444 4	-38,3895	Captação Subterrânea por poço	1,00	3	1.095,00
2013-002232 OUTDIS P-0049	- 12,1431666 7	- 38,4265833 3	Captação Subterrânea por poço	2,68	1	978,20
2009-000554 OUTDIS P-0103	- 12,1391111 1	-38,38975	Captação Subterrânea por poço	4,00	3	4.380,00

Processo	Latitude	Longitude	Tipologia	Vazão outorgada (m3/h)	Tempo de captação (h/dia)	Volume anual (m3)
20170010053831 NEMALI C-05383	- 12,1085833 3	- 38,3858888 9	Captação Subterrânea por poço	5,00	8	14.600,00
20190010010721 NEMALI C-01072	- 12,1494166 7	- 38,4014416 7	Captação Subterrânea por poço	6,50	6	14.235,00
20190010021231 NEMALI C-02123	- 12,1432777 8	- 38,4355833 3	Captação Subterrânea por poço	0,38	8	1.109,60
20190010012801 NEMALI C-01280	- 12,1510833 3	- 38,3933611 1	Captação Subterrânea por poço	6,67	4	9.738,20
20200010009961 NEMALI C-00996	- 12,1220833 3	- 38,3990833 3	Captação Subterrânea por poço	5,67	3	6.208,65
					Total	223.369,05

Fonte: INEMA, processo nº 046.0525.2020.0016932-26.

Tabela 4 - Volumes de água outorgados para consumo humano residencial em Alagoinhas/ BA.

Processo	Latitude	Longitude	Tipologia	Vazão outorgada (m3/h)	Tempo de captação (h/dia)	Volume anual (m3)
20150010000131 NEMALI C-00013	- 12,1260555 6	- 38,4563888 9	Captação Subterrânea por poço	66,77	22	536.163,10
20150010013881 NEMALI C-01388	- 12,1124166 7	-38,4435	Captação Subterrânea por poço	45,00	24	394.200,00
20170010016411	- 12,1638888 9	- 38,3986111 1	Captação Subterrânea	70,00	14	357.700,00

Processo	Latitude	Longitude	Tipologia	Vazão outorgada (m3/h)	Tempo de captação (h/dia)	Volume anual (m3)
NEMALI C-01641 2017001 0016411	- 12,16333333	- 38,40888889	ea por poço Captação Subterrânea	24,00	11	96.360,00
NEMALI C-01641 2017001 0065721	- 12,15552778	- 38,46177778	ea por poço Captação Subterrânea	14,65	20	106.945,00
NEMALI C-06572 2009-000379 OUTDIS P-0027	- 12,13838889	- 38,41038889	ea por poço Captação Subterrânea	3,00	3	3.285,00
					Total	1.495.164,10

Fonte: INEMA, processo nº 046.0525.2020.0016932-26.

Tabela 5 - Volumes de água outorgados para criação animal em Alagoinhas/ BA

Processo	Latitude	Longitude	Tipologia	Vazão outorgada (m3/h)	Tempo de captação (h/dia)	Volume anual (m3)
2017001 0000121 NEMALI C-00012	- 12,04311111	- 38,31927778	Captação Subterrânea	5,69	6,00	12.461,10
2017001 0036871 NEMALI C-03687	- 12,20936111	- 38,43961111	Captação Subterrânea	5,00	8,00	14.600,00
2019001 0017961 NEMALI C-01796	- 12,13283333	- 38,38091667	Captação Subterrânea	0,54	24,00	4.730,40
"2019001 1001047	- 12,09972222	-38,38875	Captação Subterrânea	10,00	1,00	3.650,00

Processo	Latitude	Longitude	Tipologia	Vazão outorgada (m3/h)	Tempo de captação (h/dia)	Volume anual (m3)
INEMALI C-01047			ea por poço			
Total						35.441,50

Fonte: INEMA, processo nº 046.0525.2020.0016932-26.

Tabela 6 - Cálculo de áreas permeáveis e impermeáveis, por categoria de abastecimento.

Categoria de abastecimento	Volume de água medido em 2019 (m3)	Número de		Área mínima do lote (m2)	Área total dos Lotes (m2)	Taxa de permeabilização (%)	Área permeável (m2)	Área impermeável (m2)
		Ligações de água/ Residências no setor (UND)	Área					
Residencial	4.702.906,00	41.123,00	125,00	5.140.375,00	0,15	771.056,25	4.369.318,75	
Comercial	303.544,00	2.654,00	125,00	331.750,00	0,15	49.762,50	281.987,50	
Industrial	30.344,00	265,00	500,00	132.500,00	0,15	19.875,00	112.625,00	
Pública	181.922,00	1.591,00	125,00	198.875,00	0,15	29.831,25	169.043,75	
Filantrópica	8.279,00	72,00	125,00	9.000,00	0,15	1.350,00	7.650,00	
Total	5.226.995,00	45.705,00		5.812.500,00		871.875,00	4.940.625,00	

Nota: N° de Ligações ativas de água = 45.706 und; N° de residências no setor = Volume de água medido/ N° de Ligações ativas; Área permeável = Área Total dos Lotes x Taxa de permeabilização; Área impermeável = Área Total dos Lotes - Área permeável.

Fonte: SAAE, ano 2021; LEI N° 1.737/2004, ANEXO I.

Tabela 7 - Memória de cálculo dos fluxos do metabolismo urbano, Alagoinhas/ BA

FLUXO	NOME DO FLUXO	DADOS DE ENTRADA (2019) (m3/ano)	EQUAÇÃO	FONTE
F1	Água Bruta Concessionária	5.226.995,00	F17+ F18+ F19+ F20+F21	SAAE

FLUXO	NOME DO FLUXO	DADOS DE ENTRADA (2019) (m3/ano)	EQUAÇÃO	FONTE
F2	Água Bruta Individual Industrial	12.609.635,75	$F2 = (Q_{outg}) \times (T_{capt} \times I_{cap})$	INEMA
F3	Água Bruta Individual Residencial	1.495.164,10	$F3 = (Q_{outg}) \times (T_{capt} \times I_{cap})$	INEMA
F4	Água Bruta Individual Comercial	223.369,05	$F4 = (Q_{outg}) \times (T_{capt} \times I_{cap})$	INEMA
F5	Precipitação	26.560.053,00	$F5 = (P) \times (A_{BHU})$	INEMET/ PMA (2004)
F5a	Precipitação nas Áreas não Verdes	22.402.200,02	$F5a = (P) \times (A_{NV})$	INEMET/ QGIS 3.10.
F5b	Precipitação nas Áreas Verdes	4.157.852,98	$F5b = (P) \times (A_{AV})$	INEMET/ QGIS 3.10.
F6	Perdas de Água na Distribuição	3.759.777,50	$F6 = F1 \times IPD$	SAAE/ SNIS
F7	Perdas de Água SAA	-	-	SAAE
F8	Águas Residuárias Sistemas Individuais	1.429.896,75	$F8 = (F1 \times C) - (F12 + F13)$	SAAE
F9	Águas Pluviais Infiltradas	1.075.021,88	$F9 = (F36 + F37 + F38 + F47 + F56)$	SAAE/ QGIS 3.10./ CONDER
F10	Evapotranspiração	23.285.821,00	$F10 = (ETR) \times (A_{BHU})$	INEMET/ PMA (2004)
F11	Água de Recarga do Lençol Freático	14.174.088,75	$F11 = (F5a + F6 + F7 + F8 + F9) - (F1 + F2 + F3 + F4 + F10)$	SAAE/INEMET
F12	Águas Residuárias Tratadas	1.339.156,12	$F12 = (F17 + F18 + F19 + F20 + F21) \times (I_{ET})$	SAAE/ SNIS
F13	Águas Residuárias Coletadas	1.412.543,13	$F13 = (F17 + F18 + F19 + F20 + F21) \times 0,8 \times (I_{CE})$	SAAE/ SNIS
F14	Águas Pluviais Drenadas	6.091.790,63	$F14 = (F39 + F40 + F41 + F51 + F57) - (F52)$	SAAE/ QGIS 3.10./ CONDER

FLUXO	NOME DO FLUXO	DADOS DE ENTRADA (2019) (m3/ano)	EQUAÇÃO	FONTE
F15	Fluxo do Rio a Montante da Área Urbana			
F16	Fluxo do Rio a Jusante da Área Urbana	8.843.489,87	$F16 = F12 + F13 + F14$	SAAE/ SNIS/ QGIS 3.10./ CONDER
F17	Água Distribuída Comercial	303.544,00	Dado obtido	SAAE
F18	Água Distribuída Industrial	30.344,00	Dado obtido	SAAE
F19	Água Distribuída Residencial	4.702.906,00	Dado obtido	SAAE
F20	Água Distribuída Pública	181.922,00	Dado obtido	SAAE
F21	Água Distribuída Filantrópica	8.279,00	Dado obtido	SAAE
F22	Água Pluvial Setor Residencial	6.338.082,38	$F22 = (F36 + F39)$	SAAE/INEMET/PM A
F23	Água Pluvial Setor Comercial	409.047,75	$F23 = (F37 + F40)$	SAAE/INEMET/PM A
F24	Água Pluvial Setor Industrial	163.372,50	$F24 = (F38 + F41)$	SAAE/INEMET/PM A
F25	Água Pluvial Setor Filantrópico	11.097,00	$F25 = (F56 + F57)$	SAAE/INEMET/PM A
F26	Água Pluvial Setor Público	245.212,88	$F26 = (F47 + F51)$	SAAE/INEMET/PM A
F27	Águas Residuárias Residenciais Coletadas	1.270.913,32	$F27 = (F19 \times C) \times (I_{CE})$	SAAE/ SNIS
F28	Águas Residuárias Residenciais Tratadas	1.204.884,52	$F28 = (F19) \times (I_{ET})$	SAAE/ SNIS
F29	Águas Residuárias Comerciais Coletadas	82.029,73	$F29 = (F17 \times C) \times (I_{CE})$	SAAE/ SNIS
F30	Águas Residuárias	77.767,97	$F30 = (F17) \times (I_{ET})$	SAAE/ SNIS

FLUXO	NOME DO FLUXO	DADOS DE ENTRADA (2019) (m3/ano)	EQUAÇÃO	FONTE
	Comerciais Tratadas			
F31	Águas Residuárias Industriais Coletadas	8.200,16	$F31 = (F18 \times C) \times (I_{CE})$	SAAE/ SNIS
F32	Águas Residuárias Industriais Tratadas	7.774,13	$F32 = (F18) \times (I_{ET})$	SAAE/ SNIS
F33	Efluentes Residenciais Infiltrados	1.286.526,97	$F33 = (F19 \times C) - (F28 + F27)$	SAAE/ SNIS
F34	Efluentes Comerciais Infiltrados	83.037,50	$F34 = (F17 \times C) - (F30 + F29)$	SAAE/ SNIS
F35	Efluentes Industriais Infiltrados	8.300,90	$F35 = (F18 \times C) - (F32 + F31)$	SAAE/ SNIS
F36	Águas Pluviais Residenciais Infiltradas	950.712,36	$F36 = (P) \times (A_{Per})$	SAAE/INEMET/PM A
F37	Águas Pluviais Comerciais Infiltradas	61.357,16	$F37 = (P) \times (A_{Per})$	SAAE/INEMET/PM A
F38	Águas Pluviais Industriais Infiltradas	24.505,88	$F38 = (P) \times (A_{Per})$	SAAE/INEMET/PM A
F39	Águas Pluviais Drenadas Residencial	5.387.370,02	$F39 = (P) \times (A_{Imper})$	SAAE/INEMET/PM A
F40	Águas Pluviais Drenadas Comercial	347.690,59	$F40 = (P) \times (A_{Imper})$	SAAE/INEMET/PM A
F41	Águas Pluviais Drenadas Industrial	138.866,63	$F41 = (P) \times (A_{Imper})$	SAAE/INEMET/PM A
F42	Perdas de Água na Distribuição Setor Residencial	3.382.800,29	$F42 = F19 \times IPD$	SAAE/ SNIS

FLUXO	NOME DO FLUXO	DADOS DE ENTRADA (2019) (m3/ano)	EQUAÇÃO	FONTE
F43	Perdas de Água na Distribuição Setor Comercial	218.339,20	$F43 = F17 \times IPD$	SAAE/ SNIS
F44	Perdas de Água na Distribuição Setor Industrial	21.826,44	$F44 = F18 \times IPD$	SAAE/ SNIS
F45	Perdas de Água Abastecimento Filantrópico	5.955,08	$F45 = F21 \times IPD$	SAAE/ SNIS
F46	Perdas de Água na Distribuição Setor Público	130.856,49	$F46 = F20 \times IPD$	SAAE/ SNIS
F47	Águas Pluviais Públicas Infiltradas	36.781,93	$F47 = (P) \times (A_{Per})$	SAAE/INEMET/PM A
F48	Efluentes Públicos Infiltrados	49.766,58	$F48 = (F20 \times C) - (F50 + F49)$	SAAE/ SNIS
F49	Águas Residuárias Públicas Coletadas	49.162,60	$F49 = (F20 \times C) \times (I_{CE})$	SAAE/ SNIS
F50	Águas Residuárias Públicas Tratadas	46.608,42	$F50 = (F20) \times (I_{ET})$	SAAE/ SNIS
F51	Águas Pluviais Drenadas Públicas	208.430,94	$F51 = (P) \times (A_{Imper})$	SAAE/INEMET/PM A
F52	Águas Pluviais Infiltradas Sistemas de drenagem			
F53	Águas Residuárias Unidades Filantrópicas Coletadas	2.237,32	$F53 = (F21 \times C) \times (I_{CE})$	SAAE/ SNIS
F54	Águas Residuárias Unidades Filantrópicas Tratadas	2.121,08	$F54 = (F21) \times (I_{ET})$	SAAE/ SNIS

FLUXO	NOME DO FLUXO	DADOS DE ENTRADA (2019) (m3/ano)	EQUAÇÃO	FONTE
F55	Efluentes Filantrópicos Infiltrados	2.264,80	$F55 = (F21 \times C) - (F54 + F53)$	SAAE/ SNIS
F56	Águas Pluviais Unidades Filantrópicas Infiltradas	1.664,55	$F56 = (P) \times (A_{Per})$	SAAE/INEMET/PM A
F57	Águas Pluviais Unidades Filantrópicas Coletadas	9.432,45	$F57 = (P) \times (A_{Imper})$	SAAE/INEMET/PM A

Fonte: O autor

ANEXO A

Tabela 8 - Volumes de água medidos, por categoria de consumo - SAAE/ Alagoinhas/ BA.

CATEGORIA DE USO	VOLUME/ 2019	VOLUME / 2020
	(M3)	(M3)
Residencial	4.702.906	4.751.716
Comercial	303.544	280.048
Industrial	30.344	40.999
Pública	181.922	153.100
Filantrópica	8.279	9.592
TOTAL	5.226.995	5.235.455

Fonte: SAAE, ano 2021.

Tabela 9 - Dados Climatológicos de Alagoinhas/ BA.

MÊS	T (°C)	P (mm)	ETP	ARM (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Jan	25,6	62	134	13	75	59	0
Fev	24,6	74	109	9	78	31	0
Mar	25,7	118	133	8	119	14	0
Abr	24,9	152	112	47	112	0	0
Mai	23,6	175	95	100	95	0	27
Jun	22,7	143	80	100	80	0	63
Jul	21,0	117	65	100	65	0	52
Ago	21,7	82	73	100	73	0	9
Set	22,6	60	83	80	80	2	0
Out	24,2	63	109	50	93	17	0
Nov	24,8	87	118	37	100	18	0
Dez	25,4	100	135	26	111	24	0
TOTAIS	286,8	1.233	1.246	669	1.081	165	152
MÉDIAS	23,9	103	104	56	90	14	13

Nota: Médias Climatológicas de 1961 a 1990. T = Temperatura; P = Precipitação; ETP = Evapotranspiração Potencial; ETR = Evapotranspiração Real; DEF = Déficit; EXC = Excedente Hídrico.

Fonte: (<https://www.cnpm.embrapa.br/>)

Tabela 10 - Estações de Tratamento de Esgotos da cidade de Alagoinhas/ BA.

ETE	Vazão Final de Plano (l/s)	Tipo de Tratamento	Ponto de Lançamento
Jardim Petrolar	20,00	Caixa de Areia + DAFA + WETLAND	Riacho do Ingá
Brasilinha	1,60	DAFA + WETLAND	Rio Aramarí
Fonte dos Padres I	0,90	Tanque Séptico + WETLAND	Riacho do Ingá
Nova Brasília	15,00	Caixa de Areia + DAFA + Filtro	Rio Catu
Vila das Laranjas	7,00	Caixa de Areia + DAFA + WETLAND	Rio Catu
Manoel Vitorino	5,00	Caixa de Areia + DAFA + WETLAND	Rio Catu
Loteamento Jardim Imperial	2,00	Caixa de Areia + DAFA	Disposição no Solo - Parque da Cidade
Loteamento Jardim Tropical	2,5	Caixa de Areia + DAFA	Disposição no Solo - Parque da Cidade
Loteamento Parque Jardins	1,00	Caixa de Areia + DAFA	Disposição no Solo - Parque da Cidade
Loteamento Campo Belo	2,50	Temporário- Caixa de Areia + DAFA Definitivo – ETE Fonte dos Padres II	- Temporário: Lagoa de acumulação da Cavada - Definitivo: Rede de Esgoto - ETE Fonte dos Padres II
Condomínio Clube Mais Viver	2,26	Temporário- Caixa de Areia + DAFA Definitivo - ETE Fonte dos Padres II	- Temporário: Lagoa de acumulação da Cavada - Definitivo: Rede de Esgoto - ETE Fonte dos Padres II

ETE	Vazão Final de Plano (l/s)	Tipo de Tratamento	Ponto de Lançamento
Residencial Bom Viver	2,80	Caixa de Areia + DAFA	Sistema nova Brasília
Condomínio Vida Bela	2,00	Caixa de Areia + DAFA	Drenagem: Centro da cidade / Rio Catu
Condomínio Ouro Negro	2,50	Caixa de Areia + DAFA	Disposição no Solo - Parque da Cidade
Parque Diesel	1,81	Tanque Séptico + WETLAND	Rio Aramarí
Barreiro/Mangalô (Fase de conclusão de obra)	7,30	Caixa de Areia + DAFA + WETLAND	Rio Aramarí
Fonte dos Padres II (Em construção)	84,00	Caixa de Areia + DAFA + Lagoas Facultativas + Lagoas de maturação	Rio Catu

Fonte: SAAE, ano 2021.