CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI
NATALIA VENTURINI CAVALI

**INFLUÊNCIA DE FATORES EXTERNOS NA APLICAÇÃO DE TECNOLOGIAS
AMBIENTAIS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE UM MODELO DE ECONOMIA
CIRCULAR NO SETOR DE SANEAMENTO**

São Paulo

2021

NATALIA VENTURINI CAVALI

**INFLUÊNCIA DE FATORES EXTERNOS NA APLICAÇÃO DE TECNOLOGIAS
AMBIENTAIS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE UM MODELO DE ECONOMIA
CIRCULAR NO SETOR DE SANEAMENTO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Centro Universitário FEI, como parte dos
requisitos necessários para obtenção do título
de Mestre em Administração. Orientado pela
Profª. Dra. Maria Tereza Saraiva de Souza.

São Paulo

2021

Cavali, Natalia Venturini.

Influência de fatores externos na aplicação de tecnologias ambientais para a implementação de um modelo de economia circular no setor de saneamento / Natalia Venturini Cavali. São Paulo, 2021.

154 p. : il.

Dissertação - Centro Universitário FEI.

Orientadora: Prof.^a Dra. Maria Tereza Saraiva de Souza.

1. Economia circular. 2. Inovação ambiental. 3. Recursos hídricos. 4. Indústria do saneamento. I. de Souza, Maria Tereza Saraiva, orient. II. Título.

Elaborada pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da FEI com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

**APRESENTAÇÃO DE DISSERTAÇÃO
ATA DA BANCA JULGADORA**

Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Administração

MESTRADO PPGA-10

Aluno: Natália Venturini Cavali

Matrícula: 311901-3

Título do Trabalho: Ecossistema de Inovação e tecnologias ambientais para aplicação dos princípios da economia circular nos sistemas de água e esgoto

Área de Concentração: Gestão da Inovação

Orientador: Prof^a. Dra. Maria Tereza Saraiva de Souza

Data da realização da defesa: 04/03/2021.

Avaliação da Banca Examinadora:

ORIGINAL ASSINADA

São Paulo, 04 / 03 / 2021.

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dra. Maria Tereza Saraiva de Souza Ass.: _____

Prof. Dr. Roberto Carlos Bernardes Ass.: _____

Prof^a. Dra. Adriana Marotti de Mello Ass.: _____

A Banca Julgadora acima-assinada atribuiu ao aluno o seguinte resultado:

APROVADO ☐

REPROVADO ☐

VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO

APROVO A VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO EM QUE
FORAM INCLuíDAS AS RECOMENDAÇÕES DA BANCA
EXAMINADORA

Aprovação do Coordenador do Programa de Pós-graduação

Prof. Dr. Henrique Machado Barros

Dedico essa dissertação à minha família que sempre apoiou minhas escolhas e incentivou a busca pelo conhecimento.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os professores e colegas que contribuíram para a conclusão desse trabalho, em especial, a minha orientadora Profa. Dra. Maria Tereza Saraiva de Souza pela paciência, dedicação e ensinamentos, por ter visto em mim potencial para trilhar esse caminho e por me orientar durante todo o processo.

Ao Prof. Dr. Roberto Bernardes e à Profa. Dra. Adriana Marotti de Mello, agradeço por aceitarem participar da banca de defesa e por todas as recomendações feitas.

Aos membros da banca de qualificação, Prof. Dr. Roberto Carlos Bernardes e Profa. Dra. Dafne Oliveira, agradeço pelas recomendações que contribuíram muito com o desenvolvimento do trabalho.

Agradeço às secretárias do PPGA/FEI, Carmem e Fernanda, pelo apoio e esclarecimentos durante todo o curso.

À equipe da biblioteca, agradeço por todo o auxílio, paciência e orientação para a revisão do trabalho.

Agradeço aos meus colegas de companhia pelo apoio ao longo dessa jornada de dois anos e à SABESP pela concessão de financiamento que tornou possível o ingresso nesse curso.

Ao meu companheiro, agradeço a paciência e a compreensão nos últimos dois anos, e por sempre me incentivar a buscar novos conhecimentos.

Agradeço a minha família, em especial aos meus pais por serem meu suporte em todas as etapas da minha vida, e a Deus pelas oportunidades dadas ao longo da caminhada e por me dar forças para superar as adversidades.

RESUMO

A água é um elemento chave não apenas na vida dos seres humanos, mas desempenha papel fundamental em vários setores da economia e por isso, a disponibilidade de água potável é um problema crítico e desafiador. Para o setor de saneamento, a transição de uma economia linear para um modelo circular apresenta uma oportunidade para acelerar e ampliar a inovação ambiental por meio da interação entre diversos atores como governo, universidades e empresas. O objetivo desta pesquisa é analisar como fatores externos influenciam na seleção de tecnologias ambientais para a aplicação dos princípios de uma Economia Circular em uma empresa de saneamento. O método de pesquisa utilizado é um estudo de caso único com múltiplas unidades de análise. Os instrumentos de coleta de dados utilizados foram a pesquisa documental, os registros em arquivos e as entrevistas semi-estruturadas. Os resultados mostram que (a) as tecnologias são selecionadas baseadas na capacidade tecnológica da companhia - que abrange investimento em pesquisa com universidades, conhecimento de novas tecnologias e capacitação da equipe; e na viabilidade econômica que, além de questões financeira, envolve o desenvolvimento de um mercado competitivo para motivar a busca por soluções ambientalmente amigáveis; (b) as universidades apoiam novas propostas de circularidade e ajudam a criar novo valor no mercado; (c) o desenvolvimento do mercado, por sua vez, é influenciado pelo interesse de empresas/indústrias/clientes e pela legislação ambiental vigente; (d) o ambiente regulatório impede a inovação e a adesão a novos produtos; (e) e a parceria entre setor privado, universidade e governo promove o compartilhamento de conhecimento para mudar o ambiente regulatório. Conclui-se que a empresa está se organizando por meio de uma rede de relacionamentos para enfrentar questões culturais, institucionais, econômicas e tecnológicas e criar um contexto favorável para seleção de tecnologias ambientais que proporcionem a circularidade do setor. O aumento de conhecimento incentiva a busca por um novo modelo de negócios voltado para soluções circulares dentro do saneamento e o papel das interações entre os diversos parceiros formam um ecossistema para inovação que suporta as decisões da empresa de saneamento para seleção de tecnologias. A pesquisa contribui ao proporcionar uma visão sistêmica do processo de produção de água potável, uso e direcionamento de esgoto ao identificar oportunidades do setor para implantação de um novo modelo para a produção de água.

Palavras-chave: Economia circular. Inovação ambiental. Recursos hídricos. Indústria do saneamento.

ABSTRACT

Water is a key element not only in the lives of human beings, but it plays a fundamental role in various sectors of the economy and, therefore, the availability of drinking water is a critical and challenging problem. For the sanitation sector, the transition from a linear economy to a circular model presents an opportunity to accelerate and expand environmental innovation through the interaction between different actors such as government, universities and companies. The objective of this research is to analyze how external factors influence the selection of environmental technologies for the application of the Circular Economy principles in a sanitation company. The research method used is a single case study with multiple units of analysis. The data collection instruments used were documentary research, records in archives and semi-structured interviews. The results show that (a) the technologies are selected based on the company's technological capacity - which includes investment in research with universities, knowledge of new technologies and training of the team; and the economic viability that, in addition to financial issues, involves the development of a competitive market to motivate the search for environmentally friendly solutions; (b) universities support new circularity proposals and help to create new value in the market; (c) the development of the market, in turn, is influenced by the interest of companies / industries / customers and by the current environmental legislation; (d) the regulatory environment prevents innovation and adherence to new products; (e) and the partnership between the private sector, university and government promotes knowledge sharing to change the regulatory environment. It is concluded that the company is organizing itself through a network of relationships to face cultural, institutional, economic and technological issues and create a favorable context for the selection of environmental technologies that provide the circularity of the sector. The increase in knowledge encourages the search for a new business model aimed at circular solutions within sanitation and the role of interactions between the various partners form an ecosystem for innovation that supports the sanitation company's decisions to select technologies. The research contributes by providing a systemic view of the process of producing drinking water, using and directing sewage by identifying opportunities in the sector to implement a new model for the production of water.

Keywords: Circular economy. Environmental innovation. Water resources. Sanitation industry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Princípios da economia circular	22
Figura 2 – Perspectiva de um ecossistema de inovação	34
Figura 3 – Diagrama de sistema da economia circular específico da água	39
Figura 4 – Sistema municipal de água.....	42
Figura 5 – Combinação de tecnologias que atuam como barreira contra contaminantes.....	49
Figura 6 – Tecnologias de tratamento de lodo	52
Figura 7 – Exemplo de sistema de reutilização potável indireto	54
Figura 8 – Exemplo de sistema de reutilização potável direto	54
Figura 9 – Exemplos de países que reutilizam água potável de forma direta ou indireta.	56
Figura 10 - Modelo de Análise	61
Figura 11 – Método do estudo de caso.	67
Figura 12 – Fontes de evidência para coleta de dados	70
Figura 13 – Sistema Integrado Metropolitano (SIM)	76
Figura 14 – Médias de Chuvas	78
Figura 15 – Contribuição do volume útil de cada sistema produtor.....	80
Figura 16 – Volume operacional armazenado na RMSP	81
Figura 17 - Volume operacional armazenado somente no sistema Cantareira.....	81
Figura 18 – Evolução da tecnologia SSD	83
Figura 19 – Obras cinzas e obras verdes relacionadas a conservação e recuperação florestal.	88
Figura 20 – Perdas de água nos últimos 10 anos	95
Figura 21 – Resultados aplicados no modelo de análise	124

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Fatores que facilitam ou dificultam a implementação de uma economia circular	29
Quadro 2 – Fatores que habilitam ou restringem as IA na transição para um modelo de EC..	33
Quadro 3 – Princípios da economia circular no ciclo de água	39
Quadro 4 - principais tecnologias utilizadas para a reciclagem da água.	48
Quadro 5 – Reutilização não potável.....	53
Quadro 6 – Reutilização potável	55
Quadro 7 - Oportunidades do uso da água	58
Quadro 8 – Fatores que influenciam a implementação de um modelo de economia circular ..	63
Quadro 9 – Unidades de análise - RMSP	69
Quadro 10 – Etapas da coleta de dados	71
Quadro 11 Quadro de entrevistados	72
Quadro 12 – Categorização dos princípios de economia circular	73
Quadro 13 – Fatores que dificultam ou facilitam o processo de inovação tecnológica	74
Quadro 14 – Soluções tecnológicas para garantir a segurança hídrica.....	84
Quadro 15 – Tecnologias utilizadas para preservação de fluxos hídricos.....	89
Quadro 16 – Consumo de eletricidade da companhia	90
Quadro 17 – Tecnologias que visam eficiência energética.	92
Quadro 18- Consumo diário per capita as RMSP	93
Quadro 19 – Soluções tecnológicas para evitar o consumo desnecessário	94
Quadro 20- Tecnologias para redução de perdas de água	97
Quadro 21 – Soluções tecnológicas para reciclagem do esgoto.....	100
Quadro 22 – Tecnologias para produção de água de reuso industrial	102
Quadro 23 – Soluções que visam planejar as externalidades	107
Quadro 24 – Síntese das principais tecnologias ambientais utilizadas na RMSP	108

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 CONTEXTO DA PESQUISA.....	11
1.2 JUSTIFICATIVA TEÓRICA E QUESTÃO DE PESQUISA	14
1.3 OBJETIVO GERAL E OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
2 REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1 PRINCÍPIOS DA ECONOMIA CIRCULAR.....	21
2.1.1 Barreiras e <i>drivers</i> para implementar o modelo de economia circular	25
2.2 INOVAÇÃO AMBIENTAL E ECOSSISTEMAS	30
2.2.1 Inovação ambiental aplicada a economia circular	30
2.2.2 Ecossistema de inovação	34
2.3 ECONOMIA CIRCULAR E INOVAÇÕES AMBIENTAIS APLICADAS NO SETOR DE ÁGUA	38
2.3.1 Economia circular e o ciclo da água	38
2.3.2 Oportunidades de aplicação dos princípios da economia circular no setor de água	41
2.3.2.1 Princípio 1 – Regenerar o capital natural	42
2.3.2.1.1 Água: um recurso natural escasso	43
2.3.2.1.2 Energias Alternativas	44
2.3.2.2 Princípio 2 – Manter os recursos em uso	45
2.3.2.2.1 Evitar o consumo de água	45
2.3.2.2.2 Reduzir perdas de água	46
2.3.2.2.3 Reciclar subprodutos do esgoto	47
2.3.2.2.4 Reutilizar águas residuais	52
2.3.2.3 Princípio 3 – Externalidades	56
2.3.2.3.1 Externalidades negativas.....	57
2.3.2.3.2 Externalidades positivas.....	59
2.4 MODELO DE ANÁLISE.....	60
3 MÉTODO DE PESQUISA	66
3.1 NATUREZA DA PESQUISA.....	66
3.2 AMOSTRA TEÓRICA	67
3.3 INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS	70
4 RESULTADOS DA PESQUISA	75

4.1 PRINCÍPIO 1: PRESERVAÇÃO DA ÁGUA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	75
4.1.1 Segurança hídrica	75
4.1.2 Preservação dos recursos hídricos	84
4.1.3 Busca por eficiência energética	90
4.2 PRINCÍPIO 2: MANTER A ÁGUA EM USO	92
4.2.1 Evitar o consumo desnecessário de água	92
4.2.2 Reduzir as perdas de água durante o abastecimento	94
4.2.3 Reciclar os subprodutos provenientes do esgoto	97
4.2.4 Reutilização de água residual	101
4.3 PRINCÍPIO 3: EXTERNALIDADES	102
5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	108
5.1 PRINCÍPIO 1 – CONSERVAÇÃO DO CAPITAL NATURAL NO SETOR DE SANEAMENTO NA RMSP	110
5.1.1 Soluções e parcerias para garantir a segurança hídrica na RMSP	110
5.1.2 Soluções e parcerias para a preservação dos recursos hídricos na RMSP.....	111
5.1.3 Soluções e parcerias para alcançar a eficiência energética na RMSP	113
5.2 PRINCÍPIO 2 – FECHAMENTO DO CICLO TÉCNICO DA ÁGUA NA RMSP	114
5.2.1 Soluções e parcerias para evitar o uso de água na RMSP	114
5.2.2 Soluções e parcerias para reduzir perdas de água na RMSP.....	115
5.2.3 Soluções e parcerias para viabilizar a reciclar dos subprodutos do esgoto na RMSP	117
5.2.4 Soluções e parcerias para estimular e ampliar o reuso de água.....	120
5.3 PRINCÍPIO 3 – GERENCIAMENTO DAS EXTERNALIDADES NEGATIVAS DO SETOR DE ÁGUA NA RMSP	121
5.4 RESULTADOS APLICADOS NO MODELO ANÁLISE.....	124
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	129
6.1 LIMITAÇÕES DA PESQUISA	132
6.2 RECOMENDAÇÕES.....	132
APÊNDICE A	145
APÊNDICE B.....	147

1 INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios do mundo é fornecer água limpa e saneamento para todos. Com apenas 3% de reservas de água doce na terra, existem mais de 1 bilhão de pessoas que não possuem acesso à água potável (RENE; SHU; JEGGATHEESAN, 2019). Enfrentar a escassez de água está se tornando cada vez mais urgente no contexto urbano. Mudanças climáticas, crescimento populacional e limites na disponibilidade de recursos ameaçam os sistemas de abastecimento de água (BONOLI et al., 2019). Torna-se necessário implementar processos que usem a água disponível com mais eficiência (DAIGGER et al., 2019). Espera-se que um sistema que minimize a entrada de recursos e o desperdício, atenuar os impactos negativos sem comprometer o desenvolvimento econômico (GEISSDOERFER et al., 2018).

Nesse contexto, a economia circular (EC) vem ganhando terreno como um novo paradigma para solucionar a crise ambiental (DE JESUS et al., 2017) e começa a ser visto como alternativa para uma gestão de água mais eficiente (ABU-GHUNMI et al., 2016). Ao mesmo tempo, a inovação tecnológica ambiental desempenha um papel importante na garantia do crescimento e do desenvolvimento (SHERRY et al., 2019) e é reconhecida como um elemento chave na realização da transição de um sistema linear para um circular (DE JESUS et al., 2017).

Um modelo de economia circular é impulsionado por fatores sociais, regulatórios e institucionais. Ao mesmo tempo, barreiras relacionadas a soluções técnicas e fatores financeiros podem dificultar sua expansão (JESUS; MENDONÇA, 2018). A necessidade de abordagens de inovações mais sistêmicas para implantar um programa de economia circular (KONIETZKO; BOCKEN; JAN, 2020) faz com que uma rede de relacionamento seja vista como um instrumento para o desenvolvimento de novas tecnologias que permitem a aplicação dos princípios de uma economia circular (TOLSTYKH; SHMELEVA; GAMIDULLAEVA, 2020). No caso da água, a interação entre diversos atores pode incentivar o uso de tecnologias que promovam a circularidade do setor (R2PI PROJECT, 2019).

1.1 CONTEXTO DA PESQUISA

O desenvolvimento econômico global foi dominado pelo modelo linear de produção e consumo, no qual os bens são fabricados, vendidos, usados e depois descartados como resíduo. Mesmo experimentando grandes avanços no aumento da eficiência dos recursos,

qualquer sistema cujo fundamento seja o consumo, e não o uso restaurativo desses recursos, presume perdas significativas ao longo da cadeia de valor (EMF, 2015).

A economia linear leva a deterioração do meio ambiente de duas maneiras: pela remoção do capital natural do meio ambiente e pela redução do capital natural causado pela poluição (MURRAY; SKENE; HAYNES, 2017). Assim, essa linearidade causou problemas complexos como a falta de integração do sistema e impactos ambientais negativos tanto local e global, como poluição e instabilidade de ciclos da biosfera (PAES et al., 2019). Os impactos desse sistema linear foram negligenciados, e só recentemente os efeitos ambientais negativos do crescimento econômico linear têm atraído maior atenção do público (VAN DER LEER; VAN TIMMEREN; WANDL, 2018). É muito provável que as externalidades negativas se exacerbem (EMF, 2015), já que o tamanho da população deve aumentar em mais 2 bilhões de pessoas nos próximos 30 anos (ONU, 2019).

Vários fatores indicam que o modelo linear está sendo cada vez mais desafiado pelo próprio contexto em que opera, e que é necessária uma mudança mais profunda do sistema operacional da economia. É nesse contexto que a economia circular (EC) vem se popularizando entre empresas e formuladores de políticas (EMF, 2015).

A EC refere-se a um modelo de produção e consumo de bens que é fundamentalmente diferente do modelo de economia linear tradicional baseado no processo simples de extrair, produzir, consumir e descartar, com uma atenção insuficiente à poluição gerada. A EC leva em consideração muitos dos impactos ambientais do consumo e do desperdício de recursos (BRUEL et al., 2019). Esse novo modelo acomoda recursos naturais provenientes de sistemas naturais e artificiais, criando ou retendo valor por meio de *loops* lentos, fechados ou estreitados, em vez de rapidamente destruir valor por meio da criação de resíduos (VAN DER LEER; VAN TIMMEREN; WANDL, 2018).

Assim, a economia circular é restauradora e regenerativa por *design*, e visa manter produtos, componentes e materiais com maior utilidade e valor em todos os momentos, considerando os ciclos técnico e biológicos (EMF, 2015). O ciclo biológico está relacionado aos ciclos naturais que existem no planeta, como por exemplo o da água, fundamental para a vida (MURRAY; SKENE; HAYNES, 2017). Já o ciclo técnico, abrange os estoques de materiais finitos, onde o uso substitui o consumo (EMF, 2015).

De acordo com a literatura, a amplitude das atividades relacionadas a EC ainda precisa ser explorada (STEWART; NIERO, 2018). O termo é vinculado a uma gama de significados e associações de diferentes autores, mas o que eles geralmente têm em comum é o conceito de sistema de ciclo fechado (MURRAY; SKENE; HAYNES, 2017; HOMRICH et al., 2018).

Normalmente, a EC é estudada e tratada como uma abordagem para o gerenciamento de resíduos mais apropriado (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016). Kirchher, Reike e Hekkert (2017) concluíram que a economia circular é frequentemente descrita como uma combinação de atividades de redução, reutilização e reciclagem. No entanto, as oportunidades inerentes ao pensamento da EC se aplicam além das práticas de gerenciamento de resíduos e podem ser usadas para entender e implementar novos modelos de sustentabilidade e bem-estar, com pouco ou nenhum impacto material, energético e ambientalmente negativo (VAN DER LEER; VAN TIMMEREN; WANDL, 2018).

A EC pode ser entendida como um sistema econômico que substitui o conceito de ‘fim de vida’ e atua nos níveis micro (produtos, empresas, consumidores), meso (parques industriais) e macro (cidade, região, nação) com o objetivo de alcançar o desenvolvimento sustentável, criando simultaneamente qualidade ambiental, prosperidade econômica e equidade social em benefício das gerações atuais e futuras (KIRCHHERR; REIKE; HEKKERT, 2017).

A busca pela diminuição dos impactos ambientais provenientes das atividades econômicas, faz com que a inovação ambiental seja entendida como um caminho para uma sociedade mais sustentável, dentro de uma visão integrada da sociedade, economia e meio ambiente, contribuindo, assim, para a transição em direção a uma Economia Circular (JESUS et al., 2017).

O desenvolvimento e difusão da inovação envolve o surgimento de ideias, tecnologias e demanda de mercado (SILTALOPPI; KOSKELA-HUOTARI; VARGO, 2016). A adoção de inovações ambientais também são fortemente dependentes de uma plataforma política (CAINELLI; AMATO; MAZZANTI, 2020). Assim, as empresas desenvolvem a inovação em um processo dinâmico de interação, competências, habilidades, rotinas e recursos que é condicionado a fatores que dificultam ou facilitam a capacidade de inovar (ARRANZ et al., 2019). A transição para uma EC leva a uma necessidade de interação entre diversos atores para desenvolvimento de novas tecnologias que incluem empresas industriais, techno parques, instituições governamentais e estruturas financeiras, resultando em um ecossistema de inovação (TOLSTYKH; SHMELEVA; GAMIDULLAEVA, 2020).

O conceito de EC influenciou a política e a inovação em algumas das maiores economias do mundo como a China, Alemanha, Japão e Reino Unido (WINANS; KENDALL; DENG, 2017). Para o mundo dos negócios, o tópico ganhou repercussão mundial principalmente devido ao lançamento do relatório “Rumo à economia circular: acelerando a expansão nas cadeias de suprimento globais” durante o Fórum Econômico

Mundial, realizado em 2014, elaborado em conjunto com a *Ellen MacArthur Foundation* (NCI, 2018).

A China, aparece fortemente comprometida e atraída pela EC devido aos enormes problemas ambientais, de saúde e problemas sociais causados por seu padrão de desenvolvimento econômico rápido e contínuo (SU et al., 2013). Em 2009, o governo chinês introduziu uma estratégia para superar os desafios nacionais e propôs a primeira lei sobre economia circular (GOVINDAN; HASANAGIC, 2018).

Na Europa, a EC começou recentemente a se espalhar em comunidades empresariais e governos, sendo divulgada por meio do Pacote de Economia Circular da Comissão Europeia, com seu próprio plano de ação e regulamentações (BRUEL et al., 2019). Esse pacote da Economia Circular da Comissão Europeia, compromete-se a desenvolver uma série de ações para promover uma maior reutilização, principalmente, do uso da água na União Europeia. Essas ações se concentram em superar as principais barreiras ao potencial inexplorado para a reutilização de água, sempre que seja econômico e seguro para a saúde e para o meio ambiente, conforme identificado no contexto político (EC, 2016).

A ideia de reutilização da água vem ganhando impulso há algum tempo, e encontrou um contexto importante dentro da Economia Circular (MAKROPOULOS et al., 2018). Alguns estudos focam na melhoria do fornecimento da água por meio do gerenciamento das águas cinzas e, para isso, colocam a reciclagem e o reuso como estratégias centrais (VOULVOULIS, 2018).

1.2 JUSTIFICATIVA TEÓRICA E QUESTÃO DE PESQUISA

A principal estratégia da Economia Circular é maximizar a eficiência dos recursos e minimizar o desperdício de uma sociedade e por isso é de grande importância que a taxa de exploração de recursos renováveis seja menor que a taxa de regeneração. Um dos recursos renováveis que está sob pressão com o atual modelo linear e deve ser utilizado circularmente é a água (NAVARRO et al., 2020).

A água é um elemento chave não apenas para a manutenção da vida, mas desempenha um papel muito importante em muitos setores da economia, como na agricultura, na produção, no turismo e outros serviços. Por ser uma fonte extremamente valiosa, deve ser usada de forma sustentável (SMOL; ADAM; PREISNER, 2020).

A economia de água é um problema crítico e desafiador que deve ser enfrentado em diferentes níveis, recorrendo a várias ações que devem estar focadas em: aumentar a

sustentabilidade da água para preservar recursos hídricos naturais; garantir a confiabilidade dos sistemas de abastecimento de água, a fim de reduzir o desperdício de água; e aprimorar as novas estratégias para reciclagem e reuso por meio das soluções tecnológicas (BONOLI et al., 2019).

Programas de transição em relação a gestão da água amadureceram em muitas regiões através das relações locais de acordos estratégicos regionais de compartilhamento da água envolvendo os setores agrícola, municipal, industrial, de energia e meio ambiente. Apesar das inovações, o tipo mais comum de transição ainda é a mudança de um uso da água para outro (COLBY; ISAACS, 2018).

Para o setor de saneamento, a transição para uma economia circular apresenta uma oportunidade de acelerar e de ampliar avanços científicos e tecnológicos que suportam uma maior eficiência nos serviços. Distribuição de água, tratamentos e águas residuais podem se tornar motores da economia circular por meio da oportunidade de começar a ver a água como um recurso valioso com um papel importante para a economia e para a sociedade (IWA, 2016).

Dois aspectos desempenham um papel fundamental na EC que são o uso mais racional dos recursos e o gerenciamento de resíduos. Nesse contexto, espera-se um uso mais racional da água – que estão sob pressão – e práticas mais sustentáveis de águas residuais como um caminho para a EC no (SMOL; ADAM; PREISNER, 2020) setor de saneamento.

O uso intensivo da água pelas diferentes atividades econômicas nas bacias hidrográficas e os problemas com a qualidade de água decorrentes da poluição hídrica exigem ações de gestão cada vez mais efetivas (ANA, 2019). Tradicionalmente, ela é utilizada por quatro categorias principais: agricultura, município, indústria e meio ambiente (SIRAJ; STEICHEN; SHUOLER, 2018). Escassez, preocupações com a segurança hídrica em áreas onde a demanda excede a disponibilidade e requisitos para remover contaminantes emergentes da descarga de efluentes têm impulsionado a sua reutilização em diversas partes do mundo (VOULVOULIS, 2018).

A demanda por uso de água no Brasil é crescente, com o aumento estimado em aproximadamente 80% no total de volume retirado nas últimas duas décadas. A previsão é de que, até 2030, a retirada aumente mais 26%. Atualmente, o principal uso de água, em termos de quantidade de água utilizada, é a irrigação (ANA, 2019).

Em muitos casos, a gestão sustentável da água não é o suficiente, porque a produção, serviços e as atividades domésticas ainda geram grandes quantidades de águas residuais que também devem ser gerenciadas (SMOL; ADAM; PREISNER, 2020). Todos esses problemas

empurram o setor para o modelo restaurador e regenerativo, os quais estão no centro da economia circular (ABU-GHUNMI et al., 2016).

Grandes sistemas de infraestrutura centralizadas foram desenvolvidas no século XX para armazenamento, tratamento e distribuição de água encanada, e também para coleta, tratamento e disposição de água residuais em áreas urbanas (DAIGGER et al., 2019). O sistema de saneamento inclui a coleta, transporte, armazenamento, monitoramento, tratamento de água, coleta, tratamento de esgoto e disposição de água tratada. Primeiro, a água é coletada de fontes primárias e distribuída aos usuários, processo que envolve coleta, preparação e o transporte da água armazenada para consumidores, municípios, indústria e agricultura. Posteriormente, para cada um desses usuários, o ciclo continua com a coleta e tratamento da água utilizada – esgoto - produzida por cada um dos usuários (R2PI PROJECT, 2019).

O principal objetivo de uma estação de tratamento de esgoto é o tratamento das águas contaminadas pelos usos, e por isso essa estação é vista como parte essencial para fechar o ciclo de água. As estações de tratamento de esgoto (ETEs) são responsáveis pela redução da poluição das águas residuais e, como prestadores de serviços, oferecem soluções técnicas para que a água residual tratada retorne ao meio ambiente com uma maior qualidade. Esse tratamento geralmente é realizado por meio de um modelo linear (SEIFERT; KRANNICH; GUENTHER, 2019).

As ETE's não apenas influenciam na qualidade final da água residual tratada, mas também contribuem para a conservação do ecossistema e da saúde humana. A água residual tratada pode ser reutilizada para diversos propósitos e, em todos os casos, a qualidade da água e o tratamento necessário precisam ser adequados ao uso final específico, além de garantir maior proteção à saúde e ao meio ambiente (SEIFERT; KRANNICH; GUENTHER, 2019).

Assim, no contexto da EC, o sistema binário de entrada de água limpa e saída de água suja possuem mais nuances. A variação do conceito de qualidade de água para diferentes propósitos e a necessidade de manter baixos custos de produção significam que as estações de tratamento de água potável (ETA) devem ser projetadas para processar a mesma quantidade de água com maior eficiência. Já, as estações de tratamento de esgoto (ETE) deixam de fazer parte do antigo paradigma, onde o convencional era remover poluentes, e agora a ideia é reciclar e reutilizar recursos (IWA, 2016).

Para garantir a qualidade da água é importante não somente garantir a propriedade para cada tipo de uso, mas também garantir uma operação adequada dos sistemas de reutilização (EC, 2016). Em Israel, o uso excessivo e os danos causados pela poluição no sistema de água fizeram com que o país investisse em novas tecnologias para reformular o

setor, ao mesmo tempo que conscientizaram os usuários quanto a necessidade de economizar água e garantir qualidade do suprimento. Através de impostos de uso, racionamento de água, criação da Autoridade Central de Água, parcerias governamentais com empresas do setor privado e busca de novos fornecedores de tecnologias, Israel abriu muitas frentes para acabar com o problema de escassez crônica da água (R2PI PROJECT, 2019).

Para evitar a contaminação do meio ambiente por águas poluídas, insuficientemente tratadas, introduzidas em reservatórios naturais, a União Europeia (UE) está iniciando mudanças sistemáticas das práticas de descarte de águas contaminadas (SMOL; ADAM; PREISNER, 2020). As cidades ou regiões precisam reavaliar a maneira como a infraestrutura é implementada e governada, pois força uma análise das escalas ideais nas quais os recursos devem ser gerenciados (GIEZEN, 2018).

Os avanços na ciência e na tecnologia contribuem para a implementação de novas estações de tratamento, mais eficientes e mais confiáveis. A produção de água recuperada e de boa qualidade para atender os diversos objetivos de uso passa a ser uma realidade devido a evolução progressiva das tecnologias de recuperação visando proteção de riscos ambientais e a saúde (DAIGGER et al., 2019).

A abordagem linear do tratamento de água deve ser alterada por uma abordagem circular (NAVARRO et al., 2020) e para essa transição as tecnologias ambientais são vistas como facilitadoras (JESUS et al., 2017). No entanto, mesmo quando soluções tecnológicas já são tecnicamente viáveis, podem existir fatores limitantes envolvendo questões econômicas e de mercado (JESUS; MENDONÇA, 2018). Nessa linha, os ecossistemas de inovação reúnem as melhores práticas de cooperação em termos de novos desafios tecnológicos para viabilizar ações que promovam circularidade (TOLSTYKH; SHMELEVA; GAMIDULLAEVA, 2020).

Assim, esse trabalho tem como objetivo responder as seguintes questões de pesquisa: como fatores externos influenciam na seleção de tecnologias ambientais para a aplicação de princípios da EC na gestão de recursos hídricos em uma empresa de saneamento?

Na literatura, a maioria das publicações do setor, se referem a assuntos como: novas tecnologias para tratamento e recuperação das águas residuais ou do lodo do esgoto (e.g. SOUSA et al., 2017; BOLOGNESI, 2019; CHENG et al., 2019; CRINI et al., 2019; KISELEV et al., 2019); a dimensão ambiental com relação aos processos operacionais (e.g. CASTIGLIONI et al., 2018; CASTIGLIONI et al., 2020); centralização das estruturas (e.g. GIEZEN, 2018); estudos que quantificam os benefícios econômicos e ambientais do tratamento e reuso de águas residuais para a sociedade (e.g. ABU-GHUNMI et al., 2016; AWAD; GAR ALALM; EL-ETRIBY, 2019; GIL-MESEGUER; BERNABÉ-CRESPO, 2019;

JARAMILLO; RESTREPO, 2017; SMOL; ADAM; PREISNER, 2020), mas faltam estudos que identificam e discutem as possíveis estratégias tecnológicas para a implementação de um modelo circular (NAVARRO et al., 2020) nos processos de abastecimento e esgotamento de uma empresa de saneamento, por meio da compreensão dos fatores externos que influenciam (RANTA et al., 2018) na seleção de tecnologias ambientais para aplicação dos princípios de uma EC nos sistemas hídricos (SIRAJ; STEICHEN; SHUOLER, 2018). As empresas buscam soluções tecnológicas ambientais, seja por causa de pressões externas ou seja por questões voluntárias relacionadas a uma atitude proativa. A identificação de elementos que contribuem para a seleção de tecnologias (ARRANZ et al., 2019) e que facilitam a transição para uma economia circular (DE JESUS et al., 2017) traz oportunidades de um novo modelo de gestão para o setor de água.

1.3 OBJETIVO GERAL E OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O objetivo geral desse trabalho é analisar como fatores externos podem influenciar na aplicação de tecnologias ambientais para a implementação de um modelo de economia circular em uma empresa de saneamento. Para isso, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- a) Desenvolver um framework da estrutura e dos princípios da Economia Circular aplicado em uma empresa de saneamento;
- b) Entender quais são as tecnologias ambientais que estão sendo utilizadas para promover a circularidade da água;
- c) Analisar como fatores externos influenciam na ampliação de iniciativas de um modelo de economia circular para a seleção de tecnologias ambientais em uma empresa de saneamento.

A pesquisa parte do pressuposto que para garantir a segurança hídrica da sociedade é necessário que existam mudanças sistêmicas na gestão de recursos por meio da adoção de modelo de economia circular (ABU-GHUNMI et al., 2016; CARTER et al., 2017; SIRAJ; STEICHEN; SHUOLER, 2018; VOULVOULIS, 2018; BONOLI et al., 2019; SANTELMANN et al., 2019; R2PI PROJECT, 2019; DAIGGER et al., 2019; SMOL; ADAM; PREISNER, 2020; GUERRA-RODRÍGUEZ et al., 2020; NAVARRO et al., 2020). O pensamento regenerativo leva a novos modelos de negócios na indústria da água (ABU-

GHUNMI et al., 2016) no qual o objetivo é aprimorar estratégias para reduzir a demanda por água, estimular a reciclagem e o reuso da água por meio de soluções tecnológicas (BONOLI et al., 2019). Nessa linha, é considerado que a decisão da empresa em selecionar uma tecnologia ambiental (ARRANZ et al., 2019) é influenciada por fatores que habilitam ou restringem a inovação (JESUS; MENDONÇA, 2018; ARRANZ et al., 2019) e que a abordagem de iniciativas circulares permite a identificação de potenciais fatores entendidos como barreiras (BIANCHINI; ROSSI; PELLEGRINI, 2019) no qual a cooperação entre atores promove transferência do conhecimento e técnicas (PUCCI et al., 2018; TSUJIMOTO et al., 2018; TOLSTYKH; SHMELEVA; GAMIDULLAEVA, 2020; WEI et al., 2020) garantindo novas soluções tecnológicas para os desafios existentes (TOLSTYKH; SHMELEVA; GAMIDULLAEVA, 2020).

No Brasil, em 2014 e 2015, a cidade de São Paulo passou por uma profunda crise hídrica. À medida que a crise se aprofundava, as organizações da sociedade civil exigiam uma gestão mais transparente do abastecimento de água da cidade. Quando a cidade estava perto de um colapso, a chuva chegou e recuperou os níveis dos reservatórios (MILLINGTON, 2018).

A água em São Paulo é administrada pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, uma empresa pública/privada de água formada em 1973 e que possui capital aberto desde 1994 (MILLINGTON, 2018). Durante a crise, a companhia adotou algumas medidas para manter o abastecimento de água para 20 milhões de habitantes da Região Metropolitana de São Paulo como: Programa de Incentivo a Redução de Consumo; Transferência de água tratada para outros Sistemas Produtores; Intensificação do Programa de Combate as Perdas; e Utilização de Reservas Técnicas (SABESP, 2015).

A Companhia de Saneamento Básico do Estado de SP é a maior companhia de saneamento das américas e a quarta maior do mundo em população atendida, e que atua norteadada pela inovação na prestação de serviços de saneamento básico - fornecimento de água tratada e serviços de esgoto (SABESP, 2019b) - ela foi escolhida para a realizado um estudo de caso a fim de verificar como um ecossistema de inovação e tecnologias ambientais contribuem para o fechamento do ciclo de utilização de água, facilitando a transição para uma economia circular.

A aplicação dos princípios da economia circular na gestão de água pode ajudar a cumprir com as mudanças que são necessárias para atender com as demandas futuras de água frente ao aumento do consumo, controles mais rigorosos de qualidade e poluição do meio ambiente (SIRAJ; STEICHEN; SHUOLER, 2018). Assim, o estudo contribui com o debate

ao apresentar as iniciativas em busca de uma circularidade do uso da água em uma empresa de saneamento no Brasil. A discussão é útil para o planejamento e design de outras empresas que atuam na mesma área, seguindo os princípios de uma economia circular (NAVARRO et al., 2020). A disponibilidade de dados permite a identificação de oportunidades ocultas ou inexploradas, uma vez que permitem o potencial de novas estratégias, identificação antecipada de prováveis barreiras e fornecimento de indicações sobre soluções adequadas para a implementação de um modelo circular (BIANCHINI; ROSSI; PELLEGRINI, 2019).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, são discutidos os conceitos fundamentais que irão conduzir essa pesquisa: princípios da economia circular; inovação ambiental; e economia circular e tecnologias ambientais aplicadas no setor de água.

2.1 PRINCÍPIOS DA ECONOMIA CIRCULAR

Em contraste com o atual modelo linear, a economia circular visa dissociar o crescimento do consumo de recursos finitos (EMF, 2015). Segundo a instituição EMF (2015), a economia circular apoia-se em três princípios:

- a) Princípio 1: Preservar e aprimorar o capital natural controlando estoques finitos e equilibrando os fluxos de recursos renováveis, com foco na desmaterialização de produtos e serviços;
- b) Princípio 2: Otimizar o rendimento de recursos fazendo circular produtos componentes e materiais no mais alto nível de utilidade o tempo todo - tanto no ciclo técnico quanto no ciclo biológico – ou seja, projetar para a remanufatura, a renovação e a reciclagem;
- c) Princípio 3: Estimular a efetividade do sistema revelando e excluindo as externalidades negativas com a redução de danos.

Embora os sistemas relacionados a Economia Circular estejam ganhando atenção, os princípios da EC precisam ser traduzidos em ações coordenadas entre os diferentes níveis de implementação (SUÁREZ-EIROA et al., 2019). A EC é concebida como um ciclo contínuo de desenvolvimento positivo que preserva e aprimora o capital natural, otimiza a produtividade e minimiza os riscos ambientais. Ela se distingue entre os ciclos de nutriente técnicos e biológicos (EMF, 2015).

O ciclo biológico abrange fluxos de materiais renováveis. Nutriente renováveis ou biológicos são, em sua maior parte, regenerados no ciclo biológico. Já o ciclo técnico envolve a gestão dos estoques de materiais finitos, onde o uso substitui o consumo e os materiais são recuperados e, em sua maior parte, restaurados. Esses ciclos podem ser visualizados na Figura 1 (EMF, 2015).

Figura 1 – Princípios da economia circular

Fonte: EMF, 2015. p. 6

O modelo de EC se baseia na redução de recursos desperdiçados, por meio de elaboração de projeto e implementação de produtos e processos que melhoram a eficiência do fluxo circular dos materiais (JAWAHIR; BRADLEY, 2016).

O Princípio 1 possui como objetivo a regeneração dos sistemas naturais, preservando o capital natural (EMF, 2015). O capital natural é uma metáfora para indicar a importância dos elementos da natureza – minerais, ecossistemas e processos ecossistêmicos – para a sociedade humana. Os ecossistemas naturais são definidos por várias características ambientais que determinam a capacidade da natureza de fornecer bens e serviços. Sem as funções do capital natural, nenhuma outra categoria de funções seria capaz de existir (EKINS, et.al, 2003).

A economia circular aprimora o capital natural, incentivando os fluxos de nutrientes dentro do sistema e criando condições para a regeneração (EMF, 2015). Isso começa com a desmaterialização de produtos e serviços e quando isso não for possível, o sistema circular escolhe tecnologias e processos que utilizam recursos renováveis ou que apresentam melhor desempenho (EMF, 2015).

Para o ajuste de insumos nos sistemas, considerando as taxas de regeneração, torna-se essencial a distinção de recursos renováveis e não renováveis. Esse princípio refere-se a estratégias que minimizam e até eliminam os insumos de recursos não renováveis e ajustam a taxa de extração de recursos renováveis a valores adequados para os limites do planeta (SUÁREZ-EIROA et al., 2019).

Um dos objetivos é reduzir a superexploração do ecossistema natural causado pelos modelos lineares e agregar mais valor a partir de menos materiais. A consequência direta é a preservação de recursos naturais com o uso eficiente de matérias primas, como por exemplo, a água e a energia (ELIA; GNONI; TORNESE, 2017).

Já o Princípio 2, possui foco em ações como redução, reutilização e reciclagem para manter os componentes e materiais circulando com o maior valor em uso (EMF, 2015). Essas ações têm diferentes importâncias hierárquicas, com a redução dos recursos usados como princípio orientador dentro de um sistema de EC (SU et al., 2013).

A redução se refere a minimizar a entrada de energia primária e de matéria primas por meio da melhoria de eficiência da produção. Essa ação também está relacionada aos consumidores, à medida que se incentiva uma forma mais econômica de consumo (SU et al., 2013).

A reutilização sugere o uso de subprodutos e resíduos de uma empresa como recursos para outros processos ou outras indústrias. Também se refere ao uso de produtos em sua capacidade máxima, com manutenção e recuperação frequentes para prolongar a durabilidade (SU et al., 2013).

Isso significa que materiais, como metais e plásticos, devem ser preservados e restaurados no ciclo técnico, ou seja, eles devem permanecer no circuito fechado para minimizar o uso de recursos não renováveis. Manter materiais no ciclo, buscando a melhor alternativa de uso para os recursos disponíveis é chamado de cascata (GOVINDAN; HASANAGIC, 2018).

A cascata é frequentemente mencionada como uma medida de estoques atuais de materiais associados a cada produto em um sistema e é utilizada para estimar o tipo e a quantidade potencial de materiais disponíveis para as infraestruturas (GOVINDAN; HASANAGIC, 2018). Os sistemas circulares maximizam o uso de materiais renováveis, extraíndo valiosas matérias primas e distribuindo-as em cascatas em diferentes aplicações (EMF, 2015).

Outro aspecto importante em relação a cascata é a consideração da qualidade dos materiais e do tempo de vida associado a um produto específico (GOVINDAN;

HASANAGIC, 2018). Manter o valor do recurso dentro do sistema está, principalmente, relacionado com as estratégias de aumentar a durabilidade dos produtos e da recirculação dos recursos entre as diferentes etapas do ciclo de vida de um produto (SUÁREZ-EIROA et al., 2019). Já a reciclagem incentiva o processamento dos materiais recicláveis em novos produtos. (SU et al., 2013).

As práticas da EC ligadas ao Princípio 2 podem ser estendidas para múltiplas gerações ou ciclos de vidas de um produto por meio da atividade do “*redesign*” ou redesenho (JAWAHIR; BRADLEY, 2016). O *design* pode ser trabalhado em várias perspectivas do modelo da EC possibilitando que um produto possa ser facilmente recuperado e reciclado, reparado ou facilmente separado em módulos (SUÁREZ-EIROA et al., 2019). A atividade do redesenho é inevitável e, para a implantação da economia circular, requer um pensamento além de um único *loop* circular (JAWAHIR; BRADLEY, 2016).

Assim, o Princípio 2 está ligado ao ciclo dos recursos (MURRAY; SKENE; HAYNES, 2017). O ciclo fechado do sistema visa conectar o estágio de gerenciamento de resíduos ao estágio de aquisição de recursos (SUÁREZ-EIROA et al., 2019). As empresas utilizam resíduos como recurso, onde é realizado um trabalho de desacelerar os ciclos de uso a fim de atrasar a produção de resíduos. Ao aumentar a longevidade do produto por meio de uma melhor fabricação e manutenção, a taxa de substituição diminui, e portanto, o uso de recursos é reduzido (MURRAY; SKENE; HAYNES, 2017).

Ainda, reduzir o tamanho do sistema é uma maneira de diminuir a quantidade de recursos que participam do processo para manter a circularidade. Isso pode ser feito pela diminuição da quantidade total de produtos necessários para atender às necessidades humanas e por meio da produção e consumo de produtos mais sustentáveis (SUÁREZ-EIROA et al., 2019).

Assim, no modelo circular, as matérias primas necessárias para produzir a mesma quantidade de produtos são consideravelmente reduzidas em toda a cadeia de suprimentos, através da recirculação de resíduos como matéria prima secundária e da reutilização de produtos e componentes (BIANCHINI; ROSSI; PELLEGRINI, 2019).

O Princípio 3 revela e projeta as externalidades negativas da atividade econômica que causam danos à saúde humana e aos sistemas naturais. Isso inclui a liberação de substâncias tóxicas, as emissões de gases estufas, a poluição do ar, da terra e da água (EMF, 2015). Ajustar as saídas do sistema às taxas de absorção de gases de efeito estufa, por exemplo, exige a distinção entre produtos tecnológicos e biológicos. Esse princípio promove estratégias que

minimizam e eliminam os resíduos produzidos e ajustam as taxas de emissões de resíduos renováveis a valores adequados para a natureza (SUÁREZ-EIROA et al., 2019).

É notável que a EC fornece uma maneira de aliviar a tensão entre o desenvolvimento econômico e os problemas de poluição ambiental e de escassez de recursos. Para adotar a economia circular como um modelo econômico são necessários esforços para aperfeiçoar as medidas existentes (SU et al., 2013).

2.1.1 Barreiras e *drivers* para implementar o modelo de economia circular

Um número crescente de companhias tem reconhecido os benefícios para os negócios ao se realizar uma transição para um modelo circular. Porém, mudanças nas estratégias das empresas podem ser dificultadas por uma série de fatores como custos altos, dificuldades na aquisição de novos equipamentos, necessidade de capacitação de pessoal, problemas com regulamentações e pode exigir novos relacionamentos (VELEVA; BODKIN, 2018).

A falta de informações confiáveis, a escassez de tecnologia avançada, os incentivos econômicos fracos, a existência de legislação insuficiente, a liderança deficiente, a falta de conscientização pública e a falta de um sistema padrão para avaliação de desempenho podem impedir a implementação de um modelo circular (SU et al., 2013).

Assim, os fatores que atuam como barreiras ou drivers na implementação de um modelo circular podem ser divididas em sete áreas distintas: ambiental; informação e tecnologia; econômica; social; cadeia de suprimentos; organização; e política/institucional (TURA et al., 2019).

Os benefícios ambientais potenciais que incentivam a implementação de um modelo circular incluem a conservação de recursos naturais, especialmente recursos não renováveis como a água, impacto ambiental reduzido, menos descarte de resíduos, prevenção de materiais tóxicos, ciclo de vida prolongado dos produtos e recuperação do ecossistema local (GENG et al., 2012).

A introdução dos conceitos de economia circular em novos negócios é fortemente influenciada por fatores específicos em um contexto (TURA et al., 2019). A ideia de fechar o ciclo não envolve apenas uma única empresa e seus limites, mas requer a participação de vários atores em um sistema de modelo de negócios que atuam em conjunto. Para implementar uma estratégia de EC, uma rede de informações é fundamental para mapear e capturar oportunidades (BIANCHINI; ROSSI; PELLEGRINI, 2019).

As chamadas estratégias dos 3R's – redução, reciclagem e reutilização – devem ser aplicadas ao longo de todo o ciclo de produção, e o contexto da EC exige que os atores trabalhem juntos para resolver um problema coletivo (CAVALCANTI; ABREU; CEGLIA, 2018). Essas ações são alcançadas através do rearranjo da infraestrutura de acordo com as características regionais, bem como a eliminação progressiva de processos altamente poluentes (SU et al., 2013).

Para cada empresa, não somente informações internas seriam necessárias, mas também existe a necessidade de fazer parte de um sistema econômico ou rede maior. O relacionamento interligado com outras empresas ou outras áreas é crucial para que tomadores de decisão encontrem maneiras benéficas do ponto de vista ambiental para planejar e gerenciar seus recursos e estruturas (SU et al., 2013).

O desenvolvimento de relacionamentos de longo prazo com parceiros é necessário para promover o compartilhamento de informações e de processos transparentes (VELEVA; BODKIN, 2018; TURA et al., 2019). Além disso, a padronização e harmonização das informações criam oportunidades para a inovações (TURA et al., 2019) na adoção de design ecológico ou tecnologia que elimine a utilização de materiais perigosos (VELEVA; BODKIN, 2018).

A tecnologia é um fator visto como essencial no desenvolvimento de uma EC. Cada um dos três princípios requer tecnologia e atualização de instalações e de equipamentos (SU et al., 2013). As tecnologias e a troca de informações apoiam as iniciativas de um modelo de EC e falhas no compartilhamento de experiências podem ser barreiras para a implantação de uma EC (TURA et al., 2019). Pode-se dizer que o compartilhamento do conhecimento de novas soluções tecnológicas é questão crítica na construção de novos processos (CAVALCANTI; ABREU; CEGLIA, 2018). Além disso, é importante garantir maior capacitação técnica para evitar dificuldades na implantação de novos processos (TURA et al., 2019).

No âmbito econômico, existe a oportunidade de novos negócios a partir da geração de valor dos resíduos (TURA et al., 2019). Economicamente, a principal expectativa surge com a redução de custos por meio de cadeias de suprimento sustentáveis e manejos do conceito de fim de vida. Com a implantação da EC e suas práticas de gestão, é possível reduzir os preços dos insumos, evitar penalidades ambientais e minimizar a geração de resíduos (KUMAR et al., 2019).

O potencial econômico é observado pelo aumento da disponibilidade e confiabilidade dos dados relacionados a EC e das novas soluções de gerenciamento. O fator econômico

também pode ser entendido como uma barreira visto que é preciso de um alto investimento inicial para a adaptação da infraestrutura (TURA et al., 2019).

O apoio financeiro é extremamente importante para viabilizar a adaptação de um modelo linear para o circular, principalmente para empresas jovens, mas o acesso a financiamento é um grande desafio (VELEVA; BODKIN, 2018). Em muitos casos, por exemplo, os custos do processamento são maiores do que o valor capturado com a venda de materiais reciclados (RANTA et al., 2018).

Por um lado, o apoio financeiro insuficiente dos bancos e os incentivos fiscais públicos inadequados impedem as empresas de inovar em tecnologias ambientais, por outro, produtores veem poucos incentivos econômicos para economizar energia, material e água uma vez que existe a possibilidade de transferência desses custos para os consumidores finais (SU et al., 2013).

A EC exige o envolvimento do público nessa nova maneira de produzir, pois incentiva o reaproveitamento de todos os produtos, mesmo aqueles que estão no fim de vida (KUMAR et al., 2019). Por esse motivo, as questões sociais também podem influenciar a implementação de ações ligadas a EC, e estão sendo influenciadas pela maior conscientização de questões ambientais, mas alguns processos de recuperação de materiais e reutilização de produtos ainda enfrentam resistência dos usuários finais (TURA et al., 2019; KUMAR et al., 2019).

Existe uma pressão exercida pelas partes interessadas das empresas para avançar em direção a EC, que acaba sendo um grande motivador para a implantação de atividades baseadas nos princípios da EC (RANTA et al., 2018). Isso ocorre principalmente em empresas de capital aberto que investidores socialmente responsáveis – conhecidos como investidores ESG – desempenham um papel importante no avanço da sustentabilidade corporativa (VELEVA; BODKIN, 2018).

Além disso, para incentivar a aplicação dos princípios de uma EC é de extrema importância que indicadores de desempenho sejam desenvolvidos para identificar possíveis problemas e evidenciar as melhorias (SU et al., 2013). Medir e comunicar os benefícios ambientais e sociais das práticas da EC é fundamental para estabelecer um modelo de negócios e atrair mais investidores (VELEVA; BODKIN, 2018).

As práticas da EC geralmente requerem despesas altas de curto prazo que levam a uma economia a longo prazo, portanto, é necessário que benefícios não financeiros sejam medidos para comunicar a geração de valor. No entanto, existe uma grande dificuldade mensurar os ganhos, e as empresas tendem a se concentrar em métricas ambientais, com pouca ou nenhuma medida de impacto social ou econômico (VELEVA; BODKIN, 2018).

Os benefícios potenciais de um monitoramento por meio de indicadores incluem a possibilidade de utilização de materiais mais eficientes, uso racional de energia, aumento da receita com a venda de “resíduos”, economia de custos com a redução de penalidades ambientais e aumento da capacidade competitiva (GENG et al., 2012).

As oportunidade de economia de energia e proteção ambiental são os principais fatores que promovem a intenção de implementar os princípios da EC em uma organização, seguido por incentivos financeiros e a possibilidade de redução de impostos (KUMAR et al., 2019). A missão de atingir as metas do desenvolvimento sustentável e a necessidade de manter uma boa reputação no mercado faz com que as organizações busquem por novos modelos de negócios (VELEVA; BODKIN, 2018).

Além disso, os fatores organizacionais que suportam uma economia circular incluem a facilidade de novas aquisições, disponibilidade de matéria prima no próprio local de produção, flexibilidades devido ao tamanho da empresa e estratégias corporativas (TURA et al., 2019). Ainda, a reputação corporativa está associada ao posicionamento do mercado, a capacidade de atrair e reter talentos, ao aprimoramento do relacionamento com órgãos reguladores e com investidores (VELEVA; BODKIN, 2018).

Leis, regulamentos e normas nacionais, além de exigir maior transparência nos negócios, criam oportunidades e demandam soluções baseadas nos princípios de uma EC (TURA et al., 2019) e influenciam o comportamento global (VELEVA; BODKIN, 2018). Os formuladores de políticas têm papel fundamental no avanço das práticas da EC pois são capazes de promulgar regulamentos eficazes, eliminando obstáculos regulatórios às práticas, podem viabilizar incentivos às empresas envolvidas com tais práticas, são capazes de dar apoio financeiros e possuem a missão de conscientizar a população sobre o assunto (VELEVA; BODKIN, 2018).

Com relação ao fator normativo, é visível, por exemplo, que o aterro sanitário está sendo evitado e substituído por outras maneiras de gestão de resíduos em cada ambiente institucional e isso é percebido com a existência de certificações para o incentivo do uso de materiais reciclados. Ao analisar as barreiras gerais para a EC, a falta de apoio institucional para aplicação de outros princípios fora a reciclagem é notável e, por isso, ela é vista a principal ação ligada a uma economia circular (RANTA et al., 2018).

O Quadro 1 sintetiza os principais fatores que facilitam ou dificultam a implementação de um modelo de economia circular.

Quadro 1 – Fatores que facilitam ou dificultam a implementação de uma economia circular

Categoria	Facilitadores	Barreiras
Meio Ambiente	Escassez de recursos; recuperação de ecossistemas locais (Tura et.al., 2019; Geng et al., 2012)	-
Econômico	Potencial de novos negócios; Redução de custos de energia; diminuição de custos com desperdícios. (Tura et.al., 2019; Kumar et al., 2019)	Alto custo de investimento; Dificuldades de acesso à financiamento; falta de demanda no mercado. (Tura et. al.,2019; Valela; Bodkin,2018; SU et al., 2013)
Social	Aumento da conscientização sobre questões ambientais; Pressão dos investidores (Tura et. al.,2019; Kumar et al., 2019; Valela; Bodkin,2018; Ranta et.al., 2018)	Percepção e aceitação dos clientes; cultura local. (Tura et. al.,2019; Valela; Bodkin,2018)
Institucional	Leis, regulamentos e normas podem criar oportunidades para aplicação dos princípios da EC. (Tura et. al.,2019; Valela; Bodkin,2018; SU et al., 2013)	Falta de leis, regulamentações e normas que incentivem a aplicação dos princípios; (Tura et. al.,2019; Kumar et al., 2019; Valela; Bodkin,2018; SU et al., 2013)
Tecnologias e rede Informação	Desenvolvimento de novas tecnologias que apoiam a EC; Compartilhamento de informações criam. (Tura et. al.,2019; Kumar et al., 2019; Valela; Bodkin,2018; SU et al., 2013;)	Dificuldade técnica nos novos processos; Falta de tecnologias compatíveis; Falta de compartilhamento de informações. (Tura et. al.,2019; Kumar et al., 2019; Valela; Bodkin,2018)
Cadeia de Suprimento	Incentivos a capacitação técnica; aumento de transparência nos processos. (Tura et. al.,2019; Kumar et al., 2019; Valela; Bodkin,2018)	Conflitos de interesse; validar e verificar efeitos ambientais, sociais e econômicos (indicadores). (Tura et. al.,2019; Kumar et al., 2019; Valela; Bodkin,2018; Geng et al., 2012)
Organização	As inovações na EC promovem uma boa reputação para a empresa; desenvolvimento de habilidades e de capacidade técnica. (Tura et. al.,2019; Kumar et al., 2019; Valela; Bodkin,2018)	Incompatibilidade de operações já existentes; conflitos com a cultura da empresa (Tura et. al.,2019; Kumar et al., 2019; Valela; Bodkin,2018)

Fonte: Autor “adaptado de” Tura et al., 2019, p. 94- 97

As pesquisas enfatizam que a importância das autoridades públicas em criar um apoio adequado por meio de legislações ambientais e instrumentos econômicos de mercado. Em termos de ações políticas, as parcerias públicas e privadas podem ser um caminho para fortalecer as capacidades institucionais na construção de uma transição para a EC. As estratégias devem ser expandidas não apenas para a troca de resíduos, mas também para aumento da eficiência energética (CAVALCANTI; ABREU; CEGLIA, 2018).

As empresas são atores essenciais na promoção da transição para um modelo de EC, pois têm a responsabilidade e os recursos para implementar estratégias inovadoras e influenciar a conscientização dos consumidores e a demanda por soluções ecológicas (TURA et al., 2019). Os empresários estão alavancando parcerias estratégicas e compartilhando novas

soluções tecnológicas, reduzindo riscos e os impactos negativos para o meio ambiente e sociedade (VELEVA; BODKIN, 2018).

Muitos consideram que a busca por inovação e tecnologias ambientais podem criar oportunidades na transição para um modelo de econômica circular (JESUS et al., 2017; SARR; NOAILLY, 2017; JESUS; MENDONÇA, 2018; SANTELMANN et al., 2019).

2.2 INOVAÇÃO AMBIENTAL E ECOSISTEMAS

As iniciativas de inovação ambiental estão relacionadas às pressões externas para uma atitude mais pró ativa na preservação do meio ambiente e estão associadas a um processo dinâmico de interação de competências, habilidades e recursos (ARRANZ et al., 2019). Nesse capítulo, discute-se sobre a inovação ambiental aplicada a economia circular e os ecossistemas de inovação.

2.2.1 Inovação ambiental aplicada a economia circular

Desde os trabalhos de Joseph Shumpeter é reconhecido que a inovação não é apenas uma novidade em si, e sim, uma combinação de ideias e fatores de produção (JESUS et al., 2017). Uma inovação é um produto ou processo novo ou aprimorado ou uma combinação dos dois que difere dos produtos ou processos anteriores, e que foi disponibilizado para usuários em potencial ou por uma unidade (OECD, 2018).

A inovação é vista como algo fundamental para promover mudanças, criar indústrias, sustentar o desempenho competitivo e melhorar a qualidade de vida e do meio ambiente (CARTER et al., 2017). Segundo Rogers (2003), o processo de inovação consiste em uma sequência usual de cinco etapas, cada um caracterizado por uma gama específica de eventos, ações e decisões tomadas em um determinado momento. São elas: conhecimento, persuasão, decisão, implementação e confirmação.

O conhecimento se refere a identificação de um problema e a busca por uma inovação para lidar com o problema; a persuasão é a fase em que ocorre uma correspondência conceitual com o problema, a fim de estabelecer e testar sua viabilidade dentro da solução do problema; a decisão envolve rejeitar ou adotar uma ideia; a implementação se traduz em usar a inovação; e por fim, a confirmação reforça a decisão de adoção da ideia (ROGERS, 2003).

A inovação pode ser classificada de diferentes formas e em diferentes dimensões, sendo uma delas o relacionamento com o meio ambiente. Essa dimensão origina a noção de

inovação ambiental (IA) ou eco inovação (EI) e se caracteriza por apresentar impactos positivos em diferentes níveis: economia, sociedade e o planeta (OZUSAGLAM, 2012).

A IA pode ser definida como um conjunto de inovações tecnológicas e não tecnológicas que impedem, mitigam danos e permitem a recuperação de problemas ambientais (JESUS et al., 2017). Ela abrange as responsabilidades das empresas com os consumidores, funcionários internos, acionistas e meio ambiente. Também pode reduzir riscos ambientais e melhorar a imagem pública da empresa (LIAO, 2018a). As IA's são capazes de reduzir diretamente o impacto ambiental da produção nos setores de origem e também de moldar positivamente o desempenho ambiental de outros setores por meio das transações de mercado (COSTANTINI et al., 2017).

Assim, a inovação ambiental atua trazendo soluções sociotécnicas novas ou aprimoradas que preservam recursos, mitigam a degradação ambiental e/ou permitem a recuperação de valor de substâncias já utilizadas. A IA é entendida como uma ferramenta sistêmica de solução de problemas para permitir uma saída transformadora do atual cenário insustentável (JESUS; MENDONÇA, 2018).

As comunidades científicas e políticas têm dedicado crescente atenção ao papel desempenhado pela inovação na consecução dos desafios dos objetivos ambientais que estão sendo debatidos na agenda internacional. A União Europeia, em especial, vem alimentando o debate sobre tecnologias verdes devido a melhorias contínuas em sua estratégia para redução de impactos ambientais (COSTANTINI et al., 2017).

A inovação ambiental pode ser usada como um processo transformador que modifica uma situação convencional, criando um sistema baseado no conceito de economia circular. Em outras palavras, a IA tem potencial de desencadear uma série de mudanças e criar pressões localizadas, estimulando adaptações e contribuindo na transição para um modelo circular (JESUS; MENDONÇA, 2018).

Investimentos em mudanças tecnológicas podem compensar a escassez de recursos e levar a técnicas menos dependentes de matérias primas. Assim, nas últimas décadas, os modelos econômicos que ligam mecanismos de crescimento – inovação e difusão – e o meio ambiente estão evoluindo cada vez mais (SARR; NOAILLY, 2017). A inovação tecnológica é considerada um facilitador de mudanças e é essencial na criação de uma EC, mesmo que se reconheça que a transição exige mais do que apenas ciência e tecnologia (JESUS et al., 2017).

O progresso tecnológico é frequentemente visto como fator que estimula, não só o crescimento econômico, mas também reduz externalidades ambientais (SARR; NOAILLY, 2017). Esse processo é dinâmico e envolve a interação de conhecimento, de habilidades, de

rotinas e de recursos para inovação e está condicionado a fatores que dificultam ou facilitam a capacidade de inovação das empresas (ARRANZ et al., 2019).

As características que podem influenciar o processo de inovação incluem tamanho organizacional (ARRANZ et al., 2019), estrutura, normas, investimentos em atividades de inovação e conhecimento (SPILLER et al., 2015). Algumas soluções existentes estão entrando muito lentamente no mercado devido a barreiras ligadas a investimentos e falta de incentivos, isso porque impulsionadores provenientes do mercado podem motivar fabricantes a iniciar seus esforços de uma compra mais sustentável por meio da utilização de novas tecnologias ambientais (JESUS; MENDONÇA, 2018).

Nesse contexto, entende-se que os principais fatores que habilitam ou restringem o campo do desenvolvimento de inovações ambientais na transição de uma economia circular são: os fatores técnicos; os fatores econômicos, financeiros e de mercado; os fatores sociais; e os fatores institucionais. As barreiras técnicas envolvem a necessidade de conhecimento técnico e capacitação. Assim, além dos problemas relacionados a existência de tecnologia apropriada e atrasos entre processos e desenvolvimento de produtos, ela engloba falta de mão de obra com formação e especialização (JESUS; MENDONÇA, 2018).

A capacidade tecnológica está ligada ao acesso a novas tecnologias e ao investimento em P&D e é vista como essencial para estimular a inovação ambiental. O processo de absorção de novos conhecimentos e de novas informações fornecem as empresas recursos necessários para reconhecer o potencial da IA e alcançar o desenvolvimento (LEITÃO; BRITO; CUBICO, 2019). Em busca de aprimorar a capacidade tecnológica, a cooperação para a inovação, a troca de informações e o estabelecimentos de acordos entre empresas causam efeito positivo no processo de inovação (ARRANZ et al., 2019).

Os fatores econômicos, financeiros e de mercado são fatores importantes para impulsionar a transição para uma economia circular. À medida que o consumo de recursos, a dependência, o esgotamento e a volatilidade continuam aumentando, a necessidade de dissociar as receitas dos insumos materiais e melhorar o desempenho dos recursos é um incentivo importante para a busca por novas soluções. O mercado pode motivar a busca por processos mais sustentáveis e podem iniciar mudanças de percepções do meio ambiente e de fontes de custos para soluções mais positivas como novas oportunidades de negócios (JESUS; MENDONÇA, 2018).

Os fatores sociais estão ligados com a sensibilidade da sociedade em relação aos problemas ambientais e a aceitação dos clientes para mudanças circulares. Os fatores do lado da demanda são decisivos na geração de impulsos para novas práticas mais ecológicas. Já as

barreiras institucionais e regulatórias são fatores que podem limitar ou estimular o desenvolvimento de uma EC. Regulamentações, promoção de P&D, educação e capacitação são condições necessárias a EC (JESUS; MENDONÇA, 2018).

Para superar o *trade-off* entre desenvolvimento e proteção ambiental, geralmente são prescritos dois instrumentos de política que abordam duas falhas de mercado – as externalidades ambientais e a natureza pública da inovação. O primeiro envolve a precificação do carbono para induzir os emissores a internalizar as externalidades ambientais por meio de tributação do carbono; enquanto o segundo envolve mecanismos de incentivo que incluem subsídios diretos às pesquisas e desenvolvimento, economia de impostos ou evasão de licenças, prêmios e patentes. A intervenção estatal desempenha, portanto, um papel crítico no fornecimento de investimentos em P&D, inovação e redução de externalidades (SARR; NOAILLY, 2017). O Quadro 2 sintetiza os fatores que facilitam ou restringem a inovação ambiental.

Quadro 2 – Fatores que habilitam ou restringem as IA na transição para um modelo de EC

Fatores	Descrição
Técnicos	Disponibilidade de tecnologias que facilitam a otimização de recursos
Econômicos/Financeiros/de mercado	Estão relacionados com a demanda e às tendências do lado da oferta.
Institucional/Regulatório	Associado ao aumento da legislação ambiental, normas ambientais e diretrizes de gerenciamento.
Social/Cultural	Conscientização ambiental e mudanças na preferência do consumidor

Fonte: Autora “adaptado de” Jesus; Mendonça, 2018, p. 83.

Em geral, a inovação ambiental é impulsionada por fatores técnicos, sociais, regulatórios e institucionais. Os órgãos públicos têm papel crucial no enquadramento institucional, das infraestruturas legais, bem como no apoio a P&D e na conscientização social. Barreiras relacionadas a disponibilidade de soluções técnicas e fatores financeiros podem dificultar a expansão da EC (JESUS; MENDONÇA, 2018).

As relações complexas que se formam entre esse diversos atores ou entidades com o objetivo de permitir o desenvolvimento de inovação e de novas tecnologias e que facilitam a transição para uma EC definem um ecossistema de inovação (OH et al., 2016).

2.2.2 Ecossistema de inovação

Um ecossistema de inovação é definido para a criação de valor. É composto por atores em rede interconectados e interdependentes, que incluem a empresa focal, clientes, fornecedores, inovação e outros agentes como os reguladores (GOMES et al., 2018).

Os ecossistemas de inovação levam em consideração os atores envolvidos, seus modelos de negócios para criação de valor, o risco que essas parcerias trazem, a dependência entre eles e os segmentos de usuários que são endereçados a proposição de valor (TALMAR et al., 2020). Em uma perspectiva dos ecossistemas, é possível visualizar o produto, o modelo de negócios e o ecossistema de maneira ampla (KONIETZKO; BOCKEN; JAN, 2020), conforme Figura 2.

Figura 2 – Perspectiva de um ecossistema de inovação

Fonte: Konietzko; Bocken; Jan, 2020, p. 2

O objetivo desse ecossistema dentro do campo da inovação e tecnologia é fornecer uma rede de relacionamento organizada com atores que possuem atributos diferentes. A decisão e o comportamento de um ator afetam as decisões e o comportamento dos outros atores e essas cadeias comportamentais são dinâmicas e definem a expansão e o declínio do ecossistema (TSUJIMOTO et al., 2018).

A cooperação dos atores é baseada em princípios de parceria em rede e na cognição como o principal mecanismo para atingir objetivos estratégicos. O ecossistema de inovação

está sempre em constante mudança, dependendo dos ciclos de vida de seus projetos. Os atores não são estáticos e podem cumprir diferentes funções em diferentes projetos (TOLSTYKH; SHMELEVA; GAMIDULLAEVA, 2020).

A formação de um EI diz respeito não apenas às capacidades do indivíduo, mas também as relações interativas mútuas. Assim, considerando as características do ecossistema de colaboração mútua e da cocriação de valor, os critérios para a seleção de parceiros incluem complementação e heterogeneidade, coerência e simbiose e sustentabilidade (WEI et al., 2020).

Complementar é importante no sentido de inteirar capacidades e conhecimento, e a heterogeneidade implica em parceiros que diferem entre si em termos de tecnologia, conhecimento e comportamento (WEI et al., 2020). Já a coerência dos ecossistemas pode ser entendida como o comportamento que é adequado as tomadas de decisão (TSUJIMOTO et al., 2018), sendo um elemento chave para a evolução de uma dinâmica e interação entre atores – simbiose. Por fim, a sustentabilidade dos EI é uma forma de gerar um conjunto de inovações que levam em consideração indicadores ligadas as dimensões ambientais e sociais (WEI et al., 2020).

Existem funções chaves que são importantes para o sucesso de um EI e que podem ser separados por grupo: liderança; criação; papel de suporte de criação e o papel de empreendedor. Cada grupo é definido em função de suas atividades durante a formação de um ecossistema (DEDEHAYIR; MÄKINEN; ORTT, 2018).

O líder garante a governança, promovendo parcerias, gerenciamento e distribuição de valor. O grupo da criação de valor e do suporte coloca o produto em uso e dissemina conhecimento, enquanto o empreendedor – patrocinador/regulador - facilita e apoia a criação do empreendimento (DEDEHAYIR; MÄKINEN; ORTT, 2018).

A seleção de parceiros é um fator essencial para o sucesso da colaboração em ecossistemas de inovação (WEI et al., 2020) e, em geral, a possibilidade de estabelecer relação entre organismos/empresas dependem de ajustes espaciais, organizacionais, tecnológicos, culturais e sociopolíticos (PUCCI et al., 2018).

Aprender e ensinar em um ambiente de interação são cruciais para a transferência de conhecimento e, dentre todas as interações potenciais, o potencial inovador é particularmente favorecido pela interação de indústria/empresas, universidade e governo (PUCCI et al., 2018).

As empresas e indústrias apresentam grande capacidade de introduzir modelos de negócios, produtos e serviços inovadores que abordam sistemas ambientais, ao mesmo tempo que criam benefícios sociais e econômicos. O estabelecimento de parcerias com os principais

participantes de um sistema é crucial para a criação e captura de novos valores (VELEVA; BODKIN, 2018).

As universidades desempenham um papel importante dentro dos EI pois além de desenvolverem a capacidade técnica humana, avançam na tecnologia e podem participar como parceiras no desenvolvimento econômico da indústria e de governos, ou seja, elas são capazes de manter um ecossistema forte (HEATON; SIEGEL; TEECE, 2019).

As responsabilidades e funções das universidades dentro de um EI podem variar conforme o estágio em que o ecossistema se encontra. No início de sua formação, um EI têm uma identidade limitada e poucos vínculos. Nessa fase, uma universidade pode ajudar a criar um ambiente de pesquisa e a divulgar novos campos promissores de tecnologia com potencial regional e contribuem para produzir e atrair o capital necessário para a inovação (HEATON; SIEGEL; TEECE, 2019).

Em um EI já desenvolvido, com parcerias sólidas e muitas empresas, as universidades atuam gerenciando informações para todo o ecossistema, estabelecendo conexões por meio de conferências. Além disso, ela pode oferecer orientação por meio de transferência de tecnologia para potenciais adquirentes. Qualquer sistema estável pode ser desafiado quando começarem a existir mudanças e isso significa que os membros de um EI devem atualizar e renovar seus recursos e capacidades. A transformação muitas vezes exige que as empresas estabeleçam novos paradigmas, e nesse contexto, as universidades servem como uma fonte de oportunidades por meio de novos desenvolvimentos de tecnologias (HEATON; SIEGEL; TEECE, 2019)

As atividades desenvolvidas pela universidade colaboram para melhorar significativamente o nível tecnológico das indústrias e apoiam as medidas econômicas do país a partir do desenvolvimento de conhecimento com valor agregado (CARAYANNIS et al., 2018). Assim, em um cenário de diversos atores, as universidades despontam como potencial transformador do ambiente socioeconômico por possuírem os requisitos essenciais para promoção tecnológica (PEREIRA; MARQUES; GAVA, 2016).

O governo também pode desempenhar um papel essencial nos EI como financiador público onde existe a necessidade de soluções inovadoras, apoiando condições para que a inovação ocorra em grande escala (FORD et al., 2020). Além disso, o governo pode elaborar planos, criando e integrando recursos, desenvolver políticas de apoio às universidades, indústria e criar fundos para pesquisas que geram tecnologias avançadas e patentes para as indústrias (MA et al., 2019).

A política governamental é especificamente importante no estágio inicial da formação de um ecossistema de inovação, e seu impacto diminui gradualmente em estágios mais maduros. Assim, durante o desenvolvimento de novas soluções, o governo facilita o compartilhamento de conhecimento e a solução de problemas entre indústrias, universidades e pesquisa. Em troca, os atores fornecem um *feedback* aos formuladores de políticas. Gradualmente, o governo colabora com a expansão do EI em direção a internacionalização e atualização de atividades com alto valor agregado (MA et al., 2019)

Para garantir que um EI não entre em colapso, é importante considerar, além das parcerias entre universidades, indústrias e governos, as instituições legais, regulatórias e culturais que podem contribuir ao permitir ou facilitar que as soluções inovadoras entrem no mercado e se sustentem por um longo prazo (VARGO; AKAKA; WIELAND, 2020).

A complexidade institucional que envolve normas, práticas culturais e arranjos do mercado pode dificultar um processo de inovação, mas também pode funcionar com *driver* uma vez que incentiva a busca por soluções inovadoras e permite a reconstrução criativa de práticas de cocriação de valor em um ecossistema (SILTALOPPI; KOSKELA-HUOTARI; VARGO, 2016).

O potencial de um ecossistema é definido como um conjunto de fontes, oportunidades e meios para atingir um objetivo, e consistem em uma série de fatores como facilidades de acesso de recursos, produção, investimentos, atualização de tecnologias, nível de transferência de conhecimentos, mudança de cultura e maturidade do projeto (TOLSTYKH; SHMELEVA; GAMIDULLAEVA, 2020). Ecossistemas de inovação bem-sucedidos são capazes de se adaptar, e até mesmo, provocar mudanças no ambiente regulatório e de negócios mais amplos (HEATON; SIEGEL; TEECE, 2019).

A auto-organização de um ecossistema ocorre como uma resposta aos desafios digitais e tendências ecológicas nas formas de novos projetos de inovação, produtos, plataformas digitais e tecnologias inclusive para viabilizar ações ligadas aos princípios da economia circular (TOLSTYKH; SHMELEVA; GAMIDULLAEVA, 2020).

O aumento do conhecimento a respeito de um modelo de economia circular fornecem novas informações que apoiam as universidades, formuladores de políticas e indivíduos com uma compreensão mais adequada das condições que ajudam a eliminar os problemas ambientais enfrentados pela sociedade, incentivando o desenvolvimento de tecnologias ambientalmente amigáveis (TOLSTYKH; SHMELEVA; GAMIDULLAEVA, 2020).

O desenvolvimento de ecossistemas de inovação pode ser entendido como um instrumento de aplicação dos princípios de uma economia circular, no qual é possível o

desenvolvimento de inúmeras soluções relacionadas a diminuição de gases estufas, diminuição de consumo de água, geração de biogás (TOLSTYKH; SHMELEVA; GAMIDULLAEVA, 2020) e utilização de águas residuais.

Nesse contexto, cita-se o exemplo do programa de sistema de água do Israel – NeWater - que é composto por várias parcerias públicas e privadas ao longo de uma cadeia de valor circular que se estende desde as fontes naturais de água até armazenamento, coleta e tratamento de esgoto para reutilização (R2PI PROJECT, 2019).

Esse sistema é viável pois existe um sistema avançado de parcerias entre governo-tecnologia-universidades. A proposta de valor para o sistema de água é fornecer um laboratório vivo de inovação para fornecer água limpa e pronta para suprir a demanda (R2PI PROJECT, 2019).

2.3 ECONOMIA CIRCULAR E INOVAÇÕES AMBIENTAIS APLICADAS NO SETOR DE ÁGUA

Combinando os princípios de um modelo de EC, o setor de água pode ser entendido como um sistema centralizado que imita o ciclo natural da água (R2PI PROJECT, 2019). A EC pode trazer um novo ponto de vista para os sistemas de água gerenciados pelo homem, e para a maneira como eles são projetados e operados (SIRAJ; STEICHEN; SHUOLER, 2018).

2.3.1 Economia circular e o ciclo da água

O sistema de água faz parte de todos os setores da sociedade e existem oportunidades nessas interfaces para criar valor adicional por meio da aplicação dos princípios da EC (SIRAJ; STEICHEN; SHUOLER, 2018).

Os princípios da economia circular se aplicam no setor de água e em seus elementos básicos: captação, abastecimento, coleta e esgoto (SMOL; ADAM; PREISNER, 2020). O Quadro 3 mostra a relação dos princípios da EC proposto pela *Ellen MacArthur Foundation* e as práticas que podem ser aplicadas na gestão dos sistemas de água (SIRAJ; STEICHEN; SHUOLER, 2018).

Quadro 3 – Princípios da economia circular no ciclo de água

Princípios da Economia Circular	Gerenciamento de sistemas de água
Princípio 1 – Preservar e Aprimorar o Capital Natural	<ul style="list-style-type: none"> • Garantir estoque e equilibrar fluxos de água • Preservar os fluxos hídricos • Utilizar outras fontes de energia equacionando o <i>nexus</i> água x energia
Princípio 2 – Manter os Recursos em Uso	<ul style="list-style-type: none"> • Evitar o uso desnecessário de água • Reduzir perdas de água • Promover <i>loops</i> - reciclar e reutilizar os subprodutos da água
Princípio 3 – Planejar as externalidades	<ul style="list-style-type: none"> • Ampliar o tratamento de esgotos domésticos e industriais; • Controlar a qualidade das águas residuais que voltam ao fluxo hídrico natural. • Controlar emissões de GEE

Fonte: Autora “adaptado de” Siraj; Steichen; Shuoler, 2018, p. 8

Na prática, algumas ações utilizadas na gestão de resíduos podem ser aplicados na gestão sustentável da água como reduzir, reutilizar e reciclar (SMOL; ADAM; PREISNER, 2020). Embora visualmente semelhante ao diagrama de sistemas dos materiais biológicos no lado esquerdo, e técnico no direito, o diagrama da água é dividido entre gestão natural e gestão humana, conforme mostra a Figura 3 (SIRAJ; STEICHEN; SHUOLER, 2018).

Figura 3 – Diagrama de sistema da economia circular específico da água

Fonte: Siraj; Steichen; Shuoler, 2018, p. 14

No lado esquerdo do diagrama, a água é representada em seu estado natural, sem que haja influência da ação do homem. A precipitação é coletada naturalmente dentro dos limites de uma bacia. A água também é capturada e mantida no solo e na vegetação até penetrar nos aquíferos. A saída ocorre por meio da evaporação, transpiração, descargas para o oceano ou incorporadas em produtos. Dentro de uma determinada bacia, o ciclo natural de água atua para reotimizar, reutilizar e reabastecer (SIRAJ; STEICHEN; SHUOLER, 2018).

Existe uma série de forças que impulsionam a dinâmica do ciclo hidrológico: energia térmica solar, a força dos ventos que transportam vapor d'água pelos continentes, a força da gravidade responsável pelos fenômenos da precipitação, da infiltração e deslocamentos das massas de água (ANA, 2019).

Segundo o diagrama proposto por Siraj, Steichen e Shuoler (2018) no estado natural, reotimizar significa que a natureza precisa de uma quantidade de água específica para manter o ecossistema, e isso é naturalmente variável e baseado na complexidade do ambiente, clima e capacidade geral de adaptação da fauna e da flora. A reutilização funciona à medida que a água circula no ambiente e interage com o ecossistema. Já o reabastecimento acontece com o término do ciclo, onde a água retorna ao meio ambiente através da evapotranspiração, infiltração ou vazão de águas superficiais.

No mundo natural, a água em suas diversas formas – chuva, gelo, neve, vapor e condensação de nuvens - circula através de um sistema fechado, com ganhos e perdas na forma de trocas de água entre bacias hidrográficas, terra e ar. No mundo comercial, o ciclo de água é mais complexo (R2PI PROJECT, 2019).

Assim, do lado direito, a circularidade é impactada pela ação humana através da extração de água doce acima de sua taxa de reabastecimento; aceleração da perda através de métodos ineficientes de distribuição; poluição da água e limitação de sua utilidade para usuários (SIRAJ; STEICHEN; SHUOLER, 2018).

A função do uso da água nesses circuitos pode ter várias dimensões e compreender isso é fundamental para realizar a oportunidade e o potencial da água e da EC. A oportunidade de EC na gestão de recursos hídricos está em alinhar melhor o ciclo natural da água com o ciclo humano através de medidas como reduzir perdas, evitar o uso, reciclar e reutilizar (SIRAJ; STEICHEN; SHUOLER, 2018):

- a) Evitar: Evitar o consumo está relacionado com repensar processos e produtos eliminando ações ineficazes (SIRAJ; STEICHEN; SHUOLER, 2018). Todo o conceito da EC trata de repensar como usar os recursos para criar uma economia

sustentável, livre de desperdícios e isso requer uma mudança sistemática do atual modelo linear (SMOL; ADAM; PREISNER, 2020);

- b) Reduzir: Promover melhorias contínuas através da eficiência no uso da água e melhor alocação e gerenciamento de recursos (SIRAJ; STEICHEN; SHUOLER, 2018). Reduzir é a melhor maneira de salvar a disponibilidade de água do meio ambiente (SMOL; ADAM; PREISNER, 2020);
- c) Reciclagem: Recuperação dos subprodutos das águas residuais (SMOL; ADAM; PREISNER, 2020);
- d) Reutilização: Buscar toda e qualquer oportunidade de reutilizar água em uma operação (circuito fechado) para aplicações externas na vizinha ou na comunidade (SIRAJ; STEICHEN; SHUOLER, 2018).

No ciclo técnico da água, o tratamento de esgoto faz parte do fechamento do ciclo de água influenciado pelas atividades humanas, no qual o resíduo – água poluída – se torna um recurso – como água tratada para reuso, recuperação do lodo e utilização do biogás (ABU-GHUNMI et al., 2016).

2.3.2 Oportunidades de aplicação dos princípios da economia circular no setor de água

Em um sistema de abastecimentos municipal de água, a água é coletada, tratada e distribuída aos usuários por meio de uma infraestrutura para transportar água a longas distâncias. Para cada um desses usuários, o ciclo continua com a coleta e o tratamento de águas residuais (R2PI PROJECT, 2019).

A Figura 4 apresenta uma abstração simplificada de um sistema de água municipal e nele podem ser identificadas algumas iniciativas de economia circular que têm potencial de aprimorar a otimização operacional do sistema municipal, bem como iniciativas potenciais de economia circular que podem envolver outros sistemas como agricultura e indústria, por exemplo (SIRAJ; STEICHEN; SHUOLER, 2018).

Figura 4 – Sistema municipal de água

Fonte: Siraj, Steichen e Shuoler, 2018, p. 18

Mapear esse sistema ajuda na identificação de oportunidades e na criação de valor (SIRAJ; STEICHEN; SHUOLER, 2018). No contexto de uma economia circular, reduzir, evitar, reciclar e reutilizar a água são pontos importantes que levam a uma diminuição de matérias primas, redução de resíduos e melhoria na eficiência energética (GUERRA-RODRÍGUEZ et al., 2020).

Em um município, o tratamento da água pode ser realizado em vários níveis, dependendo das tecnologias e dos possíveis tipos de usos que existem no mercado e na sociedade. Águas residuais tratadas podem retornar ao ecossistema ou podem ser recicladas para a reutilização da água tratada para agricultura, usos municipais, jardins e até mesmo o consumo humano (R2PI PROJECT, 2019).

2.3.2.1 Princípio 1 – Regenerar o capital natural

O Princípio 1 possui o objetivo de regenerar e preservar os fluxos hídricos (SIRAJ; STEICHEN; SHUOLER, 2018). Fontes não convencionais de água (DAIGGER et al., 2019) e energias alternativas (YU; ZHENG; LI, 2019) são opções para reduzir a extração de água doce dos sistemas naturais e garantir disponibilidade hídrica para manutenção dos ecossistemas.

2.3.2.1.1 Água: um recurso natural escasso

A escassez de água devido ao aumento da urbanização ou da variabilidade climática, motivou as sociedades a reduzir a pressão sobre os recursos hídricos, principalmente pela redução da demanda de água. No entanto, essa prática por si só não é suficiente para garantir a qualidade de vida que os serviços de água de alta qualidade sustentam, especialmente em um contexto de maior urbanização (MAKROPOULOS et al., 2018).

Para garantir a disponibilidade e o abastecimento de água é importante que sejam consideradas estratégias voltadas para conservação dos ecossistemas; redução de poluição das fontes hídricas; e investimentos em novas infraestruturas adaptativas do lado da oferta (GREEN et al., 2015).

A conservação de ecossistemas se refere a reabilitação de áreas impactadas pelas ações humanas como regiões de pântano, rios, e florestas, por meio da recuperação de suas características naturais para restabelecer seus fluxos hídricos. A estratégia de recuperar e conservar contribui no sentido de aumentar a segurança hídrica e garantir a disponibilidade de água no meio ambiente (GREEN et al., 2015).

Reduzir a poluição pode ocorrer por meio de políticas e regulamentos que visam controlar o comportamento do usuário, de modo a evitar a excessiva poluição. Isso pode ocorrer por meio de mecanismos que incluem os princípios do poluidor-pagador e regras de responsabilidade (GREEN et al., 2015).

Investimentos em infraestrutura pode proteger e estabilizar os serviços de água por meio de soluções de engenharia que produzam poucos impactos ao meio ambiente (GREEN et al., 2015). Assim, é preciso cuidado com as políticas de abastecimentos voltadas para ações como transferências de água entre bacias e transposições de rios para garantir maior abastecimento de água pois elas podem causar impactos como desmatamento e perda de biodiversidade (ARAUJO; OLIVEIRA ESQUERRE; SAHIN, 2019). O conjunto de soluções que existe para cada tipo de contexto varia e presume-se que a preposição de valor acompanhe cada tipo de necessidade (SIRAJ; STEICHEN; SHUOLER, 2018).

A demanda por água doce faz com que seja necessário considerar recursos hídricos “não convencionais” no planejamento futuro de água e, nessa linha, a utilização de tecnologias para utilização de água da chuva e a dessalinização podem aumentar o suprimento de água doce (WWDR, 2020).

A captação de água da chuva é uma alternativa que envolve coleta, transporte e armazenamento em uma área para posterior utilização, ou seja, consiste em canalizar e

concentrar a água da chuva. Ela pode ser realizada com tecnologias simples e baratas e aplicável em pequena escala, e em sistemas mais complexos e sofisticados em grande escala (OKHRAVI; ESLAMIAN; DALEZIOS, 2019).

A dessalinização é uma alternativa vista como um processo que consome muita energia e, portanto, não renovável (WWDR, 2020). No entanto, na última década, a prática de dessalinização da água do mar sofreu um crescimento acelerado, impulsionado pelos avanços tecnológicos de membranas e da ciência de materiais. Os recentes avanços tecnológicos, como sistema de recuperação de energia baseados em troca de pressão, elementos de membrana de osmose reversa de maior eficiência, membranas de osmose reversa nano estruturadas e configurações inovadora, são projetados para diminuir ainda mais a energia necessária para a dessalinização da água do mar (DAIGGER et al., 2019).

Várias fontes não convencionais como energia solar, eólica, das ondas e de marés podem ser utilizadas para produzir energia elétrica para as usinas de dessalinização movidas a eletricidade (MANJU; SAGAR, 2017). Espera-se que os avanços das tecnologias de dessalinização a curto e longo prazo produzam uma redução significativa nos custos da produção de água até 2030 (DAIGGER et al., 2019).

2.3.2.1.2 Energias Alternativas

A água é um componente chave na produção de energia a partir de usinas hidroelétricas e térmicas. Além disso, a energia é responsável por atender até 30% dos custos de operação de um sistema de água e esgoto (SIRAJ; STEICHEN; SHUOLER, 2018). As energias renováveis como a solar e a eólica também podem colaborar com a redução da demanda por água doce, uma vez que substituem as usinas hidrelétricas. O processo de geração de energia alternativa renovável pode não só diminuir o consumo de água como reduzir a emissão de gases estufas no meio ambiente (YU; ZHENG; LI, 2019).

Além disso, o uso inovador da infraestrutura hídrica pode ser uma fonte alternativa de energia. Por exemplo, tubulações de água potável acionadas por gravidade podem ser equipadas com turbinas para gerar eletricidade. A água potável de Viena, por exemplo, vem das nascentes das montanhas através de dois dutos de longa distância. As turbinas instaladas, além de produzir eletricidade, reduzem a pressão da água a níveis adequados à infraestrutura de água potável da cidade (WWDR, 2020).

O alto consumo de energia é outra uma preocupação emergente no setor de água. A compreensão dos fatores que influenciam no consumo de energia ajuda a melhorar o

planejamento e o gerenciamento a fim de atender às crescentes demandas de conservação de energia (NIU et.al., 2019).

A energia consumida durante o processo de tratamento depende do tamanho da planta, da localização da estação de tratamento, da população atendida, dos tipos de impurezas existentes na água após os diversos tipos de uso, dos tipos de processos estabelecidos, tecnologias escolhidas, da qualidade final definida para a água tratada e da conservação da infraestrutura (PLAPPALLY; LIENHARD, 2012).

A poluição da fonte contribui para o alto consumo de energia pode ser reduzida por meio de mudanças de hábitos e de atividades. Os usuários acabam poluindo as águas e se esquecem que possuem responsabilidades relacionadas as questões das águas residuais. Ou seja, apesar da responsabilidade atribuída as ETE's de reduzir a poluição do esgoto, é necessário repensar a fonte de poluição. O comportamento de descarga das famílias e da indústria influencia na contaminação da água, e consequentemente, no desempenho da estação de tratamento (SEIFERT; KRANNICH; GUENTHER, 2019).

Assim, as influências externas relacionadas ao uso da água acabam determinado o consumo de energia e de produtos químicos das estações de tratamento. A diminuição do consumo desses recursos é uma questão ambiental altamente interessante, especialmente porque a redução de matérias e de energia leva diretamente a economia dos custos totais de operação (SEIFERT; KRANNICH; GUENTHER, 2019).

Existem outras oportunidades para reduzir o uso de energia como ser mais eficiente no uso de água e utilizando o lodo proveniente das estações de tratamento de água residuais para gerar energia renovável (SIRAJ; STEICHEN; SHUOLER, 2018).

2.3.2.2 Princípio 2 – Manter os recursos em uso

Em um sistema de água municipal podem ser identificadas algumas oportunidades que viabilizam os *loops* de uma economia circular e otimizam o sistema municipal de abastecimento de água (SIRAJ; STEICHEN; SHUOLER, 2018).

2.3.2.2.1 Evitar o consumo de água

Os setores industriais são grandes consumidores e buscam por alternativas que eliminem a utilização de grandes volumes de água por meio de novas soluções para melhorar o gerenciamento da demanda hídrica. As plantas industriais são específicas em termos de

qualidade da água, e por isso a seleção sobre o tipo de tecnologia é individual e deve ser precisa para a planta industrial em questão (BOGUNIEWICZ-ZABLOCKA; KLOSOK-BAZAN; NADDEO, 2019).

Estratégias para melhorar o gerenciamento de água na indústria muitas vezes começam na seleção da fonte hídrica pois a tecnologia de tratamento dessa água pode influenciar no consumo total de toda a planta industrial. A seleção adequada da fonte de água pode fazer com que o consumo final para fins tecnológicos seja o mais baixo possível. Outras tecnologias utilizadas na produção podem precisar de grandes quantidades de água. Como exemplos, pode-se citar águas utilizadas para lavar máquinas, para sistemas de refrigeração ou para o processamento de produtos. Assim, possíveis maneiras de modificar operações ou alterar práticas dos funcionários podem evitar o consumo de água (BOGUNIEWICZ-ZABLOCKA; KLOSOK-BAZAN; NADDEO, 2019).

Atualmente, as atividades humanas usam mais da metade de todo o escoamento de água acessível. Aproximadamente 90% do uso total da água é para fins industriais e menos de 10% para fins domésticos. As famílias são os menores consumidores de água, no entanto, elas têm um grande impacto potencial pois colocam em prática estratégias de economia de água que podem ser implementadas diariamente (SMOL; ADAM; PREISNER, 2020).

Existem vários benefícios decorrentes de se evitar o consumo desnecessário da água como uma diminuição na demanda e melhoria na disponibilidade de água para outros usos e finalidades (SMOL; ADAM; PREISNER, 2020).

2.3.2.2.2 Reduzir perdas de água

Reduzir perdas é uma ação eficiente para salvar a disponibilidade de água do meio ambiente. A lógica da economia circular indica que o elemento na prevenção da geração de águas residuais deve considerar a redução do uso de água por meio de um melhor planejamento das atividades e processos (SMOL; ADAM; PREISNER, 2020).

Como forma de mitigar os problemas de alto consumo de água, o setor de água global está se adaptando a era da informação e inovações baseadas em dados (DAIGGER et al., 2019). O uso de tecnologias da informação em sistemas de água é um dos componentes mais significativos e importantes no setor. Geralmente, essas tendências são apoiadas por um sistema robusto de incentivos governamentais em pesquisa e desenvolvimento, iniciação de novas tecnologias nos setores relacionados como agro tecnologia, tecnologia da água, energia e tecnologia limpa. Esses incentivos são importantes para superar o risco de adoção da

tecnologia e compensar riscos irrecuperáveis herdados nos sistemas antigos de água (R2PI PROJECT, 2019).

A integração entre a internet e a infraestrutura de água pode proporcionar vantagens para a identificação de vazamentos, gerenciamento de reparos em tempo real, medição inteligente que o volume de água utilizado ao proprietário da casa ou empresa, gerenciamento de irrigação com precisão que pode personalizar a entrega de água e nutrientes a cada planta com precisão e de acordo com seu ciclo de vida e sistemas de segurança da informação que protegem a infraestrutura municipal (R2PI PROJECT, 2019).

Uma das principais tendências futuras do setor de água está na digitalização e na conversão de dados em *insights* acionáveis. A digitalização fornece soluções de gerenciamento de água que aproveitam o poder da coleta de dados em tempo real, armazenamento de informações em nuvem e análise de *Big Data* para minimizar as perdas no sistema de distribuição e maximizar a eficiência operacional (DAIGGER et al., 2019). Os sensores sem fio para monitorar o consumo de água foram desenvolvidos e são cada vez mais usados para permitir a medição remota de água (WWDR, 2020).

Uma solução emergente nos últimos anos é o uso de satélites para monitorar os vazamentos de distribuição de água e a saúde ambiental das bacias hidrográficas. A imagem do satélite é analisada e um mapa é gerado, identificando a localização dos vazamentos. Esse tipo de serviço já é utilizado por concessionárias no Reino Unido, Alemanha e África do Sul. Embora o uso de satélites para detecção de vazamentos seja relativamente caro, espera-se que nos próximos dez anos, o preço para utilizar um satélite diminua significativamente, a fim de tornar essa tecnologia mais acessível e fácil de utilizar (DAIGGER et al., 2019).

Conservação, melhorias na eficiência do uso da água e controle de perdas da água são componentes importantes do gerenciamento de água antes da implementação reciclagem e reuso. Essas medidas podem fornecer reduções substanciais nas demandas (EPA, 2018).

2.3.2.2.3 Reciclar subprodutos do esgoto

Para a reciclagem da água, devem ser aplicadas tecnologias de alta eficácia para remoção de poluentes (SMOL; ADAM; PREISNER, 2020). Em um processo de tratamento convencional, as águas passam por uma série de etapas de tratamento que usam processos físicos, biológicos e químicos para remover nutrientes sólidos, quebrar materiais orgânicos e destruir patógenos (KISELEV et al., 2019). Durante o tratamento de esgoto, os resíduos

sólidos, semissólidos e líquidos são retidos e concentrados, e o lodo é formado (KISELEV et al., 2019).

a) Tratamento de água residual

A água é reciclada quando os efluentes são submetidos a um tratamento adicional ou complementar para aumentar ou adequar sua qualidade ao seu uso final. As tecnologias para a reciclagem da água residual - tratamento e purificação - estão produzindo água em escala, para diversos tipos de aplicação, incluindo água purificada proveniente das estações de tratamento de esgoto de qualidade igual ou superior a água potável (DAIGGER et al., 2019). O Quadro 4 mostra as principais tecnologias utilizadas para tratamento de águas residuais.

As tecnologias avançadas podem ocorrer por meio de várias combinações de biorreatores de membrana, microfiltração, ultrafiltração, nano filtração, osmose reversa, processos avançados de oxidação e desinfecção por ozônio ou ultravioleta (YERUSHALMI; SEYHI, 2020).

Quadro 4 - principais tecnologias utilizadas para a reciclagem da água.

Tecnologia	Descrição	Aplicação
Oxidação Avançada	Aplicação de uma combinação de oxidantes, como o ozônio ou peróxido de hidrogênio e UV, nos quais produzem espécies que reagem com oxigênio	Oxidação de compostos orgânicos – Aumentam a biodegradabilidade Controle de microconstituintes como produtos farmacêuticos e hormônios
Tratamento anaeróbico	Processos biológicos excluindo oxigênio e nitrato como receptores terminais de elétrons para converter matéria orgânica biodegradável em biogás (metano e CO ₂)	Amplamente utilizado para o tratamento de lodo produzido no tratamento de águas residuais.
Membranas	As membranas podem possuir várias configurações e são capazes de separar partículas (micro e ultrafiltração) ou dissolver substâncias (osmose reversa e nano filtração) na água	Ampla variedade de aplicações, variando de sistemas centralizados de pequena e grande escala. Pode fornecer a necessária separação de líquidos e sólidos para sistemas biológicos, como biorreatores de membrana.
Separação de fontes	A água usada convencional é formada por uma combinação de águas de diferentes qualidades. Na abordagem de separação de fontes, cada tipo de água é mantido separada e esses fluxos são individualmente coletados e transportados separadamente para o tratamento.	Prática histórica que está ressurgindo. As águas cinzas são relativamente não contaminadas e podem ser tratadas com eficiência e uso adequado, enquanto águas negras contêm a maior parte da química (matéria orgânica). Essa prática facilita a recuperação de recursos.
Precipitação de estruvita	Precipitação de fósforo e amônia com MgNH ₄ PO ₄ .6H ₂ O (estruvita)	O estruvita é um fertilizante de liberação lenta que pode ser recuperado de águas residuais
Hidrólise Térmica	Explosão de vapor de matéria orgânica para converter partículas orgânicas e coloidais em forma dissolvida.	Esse processo aumenta a taxa de biodegradação de matéria orgânica, particularmente antes do tratamento anaeróbico.
Tratamento Ultravioleta	A aplicação de comprimentos de onda específicos de luz na água (por exemplo, 254nm) para inativar patógenos e /ou componente de um sistema avançado de oxidação.	Facilmente aplicado em uma ampla variedade de escalas para a produção de água adequada para uma finalidade específica.

Fonte: Daigger et al., 2019, p. 13

A combinação de várias tecnologias entre si atuam como barreiras e podem aumentar a capacidade de redução de contaminante (WHO, 2017). A Figura 5 ilustra a diminuição de contaminantes conforme a introdução de uma nova tecnologia no processo de tratamento.

Figura 5 – Combinação de tecnologias que atuam como barreira contra contaminantes.

Fonte: WHO, 2017, p. 25

O tratamento de membrana dupla que incluem membranas de baixa pressão (microfiltração ou ultrafiltração) e osmose reversa, seguido de oxidação avançada (por exemplo, irradiação por ultravioleta combinada com tratamento da água com peróxido de hidrogênio) está se tornando muito popular e está sendo considerada a melhor tecnologia disponível no mundo (DAIGGER et al., 2019).

As águas residuais possuem grande potencial para apoiar abordagens circulares devido à natureza de recursos recuperáveis, incluindo nutrientes inorgânicos como nitrogênio, fósforo, e matéria orgânica presente no esgoto (SMOL; ADAM; PREISNER, 2020; GUERRA-RODRÍGUEZ et al., 2020). Ao implementar essas ações, residuais são convertidas em centros de recuperação de recursos (GUERRA-RODRÍGUEZ et al., 2020).

A recuperação de nutrientes colabora para o fechamento do ciclo do tratamento de águas residuais a partir do retorno dos nutrientes recuperados das águas residuais como substâncias minerais e orgânicas. Diferentes técnicas podem ser empregadas para a

recuperação desses nutrientes, incluindo processos químicos, físicos e biológicos (GUERRA-RODRÍGUEZ et al., 2020).

b) Lodo

Novas perspectivas estão sendo abertas para a reciclagem de lodo, voltadas para a recuperação de compostos valiosos como nutrientes, metais pesados, bioplásticos, materiais adsorventes, proteínas e enzimas (GUERRA-RODRÍGUEZ et al., 2020).

Existem muitas tecnologias que podem ser aplicadas em grande escala para a produção de fertilizante com a recuperação de fósforo, para a produção de energia ou para a produção de materiais que podem ser utilizados na construção civil (GHERGHEL; TEODOSIU; GISI, 2019).

O lodo proveniente de esgoto domésticos são os mais adequados para a produção de fertilizantes destinada ao uso agrícola devido aos elevados teores de matéria orgânica e nutrientes, como fósforo e nitrogênio, e baixas concentrações de elementos tóxicos. Por isso, a descarga inadequada de águas residuais industriais na rede de esgoto municipal pode ser responsável pelo aumento de elementos perigosos na composição do lodo, tornando inviável sua adequação para o uso agrícola (NASCIMENTO et al., 2020).

A recuperação de energia do lodo em uma estação de tratamento de esgoto para produção de biogás, através da tecnologia de digestão anaeróbica, é uma prática ambientalmente amigável e traz contribuição para o desenvolvimento de um modelo circular de economia (KISELEV et al., 2019). O metano que é o componente principal do biogás e, graças ao seu valor calorífico, o biogás pode ser utilizado para geração de eletricidade, produção de calor e combustível para veículos, entre outros usos (GUERRA-RODRÍGUEZ et al., 2020).

O sistema de lodo ativado com digestão anaeróbica apresenta menores impactos ao meio ambiente devido a substituição da eletricidade pela energia gerada do lodo (AWAD; GAR ALALM; EL-ETRIBY, 2019), o que permite que as estações de tratamento deixem de ser grandes consumidoras de energia e adquiram a autonomia energética (CONNOR et al., 2017).

A hidrólise térmica é uma tecnologia que pode ser utilizada em sistemas centralizados em larga escala para o pré-tratamento do material orgânico antes do tratamento anaeróbico, aumentando assim o rendimento do biogás e reduzindo o tamanho do sistema de tratamento anaeróbico (DAIGGER et al., 2019).

O biohidrogênio é um dos biocombustíveis que podem ser recuperados das águas residuais, sendo uma alternativa para os combustíveis convencionais devido ao seu conteúdo

energético. O hidrogênio pode ser considerado o combustível mais ecológico, uma vez que sua combustão gera somente água, no entanto, pouquíssimos processos geram somente hidrogênio e a maioria das técnicas de recuperação produzem o *Syngas* – formado por hidrogênio e monóxido de carbono. Assim, o objetivo é obter uma mistura gasosa com a maior proporção de hidrogênio possível (GUERRA-RODRÍGUEZ et al., 2020).

A conversão térmica de lodo de esgoto também é considerada uma alternativa promissora para o gerenciamento de resíduos das estações de tratamento, e envolve processos termoquímicos como: produção de combustível gasoso – que pode ser utilizado em motores de combustão interna; e produção de adsorvente sólido por meio dos subprodutos sólidos (cinzas) da gaseificação que podem eliminar contaminantes orgânicos das correntes de água (WERLE; SOBEK, 2019).

Além das várias opções disponíveis para a disposição do lodo do esgoto, um possível processo para a recuperação sustentável de recursos desse resíduo é sua transformação em biocarvão, um dos produtos finais é substituir os combustíveis fósseis compensando as emissões de gases de efeito estufa ou usos na agricultura para a valorização dos solos (BOLOGNESI, 2019).

O lodo também pode ser utilizado para a produção de blocos de concreto ecológicos. A reciclagem e conversão do lodo em material de construção ajuda a aliviar a escassez de aterros sanitários, diminui o consumo de matérias primas e fornece um método econômico e energeticamente eficiente para a produção de construção ecológica (CHENG et al., 2019).

A Figura 6 a seguir sintetiza alguns dos principais recursos que podem ser recuperados do lodo, e as tecnologias que são utilizadas para isso (GHERGHEL; TEODOSIU; GISI, 2019).

Figura 6 – Tecnologias de tratamento de lodo

Fonte: Gherghel; Teodosiu; Gisi, 2019, p. 247

De maneira geral, soluções que envolvem fornecimento de energia a partir do lodo de esgoto oferecem oportunidade para as estações de tratamento utilizarem maneiras mais eficientes de fechar o ciclo em um contexto de economia circular já que as estações consomem grande quantidade de energia elétrica para os processos de tratamento de águas residuais e para o processamento de lodo do esgoto (KISELEV et al., 2019).

2.3.2.2.4 Reutilizar águas residuais

A tecnologia desempenha um papel de facilitadora das práticas de reuso devido ao alto padrão de qualidade final da água tratada e é um elemento central em um modelo de EC (DAIGGER et al., 2019). A reutilização tem como objetivo buscar toda e qualquer oportunidade para utilizar a água novamente em uma operação – circuito fechado – e para aplicações externas em vizinhança ou comunidades (SIRAJ; STEICHEN; SHUOLER, 2018), reduzindo a demanda por suprimentos limitados (EPA, 2018).

As práticas de reuso da água podem ser classificadas em duas categorias principais: reutilização de água não potável e potável (DAIGGER et al., 2019). O reuso da água residual não potável cumpre muitas funções como rega paisagística, lavagem de ruas, agricultura e silvicultura, combate a incêndios, resfriamento de usinas térmicas e instalações industriais, recarga de fluxos de água, apoio de áreas úmidas, recreação e lazer (GIL-MESEGUER; BERNABÉ-CRESPO, 2019), conforme mostra o Quadro 5.

Quadro 5 – Reutilização não potável

Categoria	Aplicações	Pontos de Atenção	Lições Aprendidas
Agricultura	Culturas alimentícias; pastos; pomares.	Qualidade da água; aceitação dos agricultores; controle de escoamento da água.	Boas práticas para mitigar impactos; design de armazenamento da água; controle da qualidade para garantir segurança.
Irrigação	Campos de golfe, parques públicos; estradas; cinturões verdes; cemitérios.	Qualidade da água; controle de escoamento; aceitação pública.	Boas práticas para mitigar impactos; controle da qualidade da água para garantir segurança.
Uso Urbano	Descarga de vaso sanitários; Paisagismo; proteção contra incêndios; lavagem de carros e casas.	Qualidade da água; custos de sistemas de distribuição; problemas de conexões cruzadas	Manutenção de sistemas de distribuição duplas e controle de conexão cruzada.
Usos Ambientais e de recreação	Recreação; abastecimento de fluxos de água; Restauração de zonas úmidas; fabricação de neve.	Qualidade da água; cuidados com eutrofização (crescimento de algas) por causa dos nutrientes.	Melhoria do meio ambiente; bem-estar humano; melhoria da biodiversidade.
Reuso Industrial	Resfriamento; alimentação de caldeira; limpeza em construção pesada.	Escalabilidade; corrosão.	A qualidade da água deve ser adaptada aos requisitos específicos de cada setor.

Fonte: Daigger et al., 2019, p. 21 - 23

Já a reutilização potável é a produção de água potável a partir de águas residuais municipais altamente tratadas (DAIGGER et al., 2019). A seleção do tipo de tratamento para um esquema específico de reutilização potável deve ser cuidadosamente avaliada para cada comunidade. Independentemente de qual combinação de tratamento for selecionada, a segurança dependerá do cumprimento da qualidade estabelecida para cada tipo de uso através da aplicação de processos de múltiplas barreiras, juntamente com o monitoramento operacional on-line ou frequente, para garantir uma operação consistente e confiável (WHO, 2017).

A reutilização potável envolve o uso indireto ou direto de águas residuais como fonte de água potável (EPA, 2018). Embora as definições variem, em geral, nos sistemas de reutilização potável indireta (RPI) a água tratada é introduzida ou armazenada no meio ambiente, capta e tratada novamente para distribuição à população (Figura 7). Já na reutilização direta potável (RPD), a água não volta ao meio ambiente, após um extenso tratamento para garantir que requisitos de qualidades sejam atendidos, a água tratada é introduzida diretamente em um sistema de abastecimento para distribuição (Figura 8) (TORTAJADA; SAMBIAR, 2019).

Figura 7 – Exemplo de sistema de reutilização potável indireto

Fonte: EPA, 2018, p. 3

Aumentar o suprimento de água potável com água recuperada – reutilização potável – pode ajudar as comunidades a atender demandas críticas. A reutilização potável indireta tem o objetivo de aumentar o volume de uma fonte de água potável com água recuperada tratada, fornecendo um amortecedor ambiental antes do uso subsequente (EPA, 2018).

Figura 8 – Exemplo de sistema de reutilização potável direto

Fonte: EPA, 2018, p. 3

Os sistemas para reutilização de águas residuais geralmente usam a combinação de processos físicos e químicos para remover contaminantes dos efluentes tratados das estações, dependendo do tipo e concentração de contaminantes e da aplicação final da água (YERUSHALMI; SEYHI, 2020). A qualidade final da água determina o uso referente ao RDI e ao RPD – Quadro 6 (DAIGGER et al., 2019).

Quadro 6 – Reutilização potável

Categoria	Aplicação	Pontos de atenção	Lições Aprendidas
Reuso potável indireto	Aumento de volume de reservatórios naturais; mistura de água em reservatórios utilizados para abastecimento de água	Preocupações com a qualidade de água e a saúde humana; aceitação do público; eutrofização	Prática de sucesso desde 1970; O tratamento de múltiplas barreiras garante a produção segura de água potável; melhoria da qualidade de água
Reuso potável direto	Mistura de tubulações de água.	Preocupações com a qualidade de água e a saúde humana. Aceitação do público. Economicamente atraente para reutilização em larga escala.	O tratamento de múltiplas barreiras garante a produção segura de água potável.

Fonte: Daigger et al., 2019, p. 23

Em Singapura, a reutilização de águas residuais é uma das fontes de abastecimento, atendendo até 40% da demanda atual de água do país. Embora seja principalmente para o uso direto não potável, o programa de água de Singapura – NeWater – também complementa o suprimento de água potável por meio da recarga de reservatórios durante os meses mais secos. Para garantir que a água reciclada atenda aos padrões internacionais de água potável, geralmente é introduzido um processo de oxidação avançada ultravioleta após uma osmose reversa para quebrar micro poluentes orgânicos e fornecer uma barreira de proteção adicional contra patógenos (CHIEF et al., 2018).

Na Califórnia, no Condado de Orange, o reuso de água começou em 1976 quando a *Water Factory 21* começou a descartar água reciclada altamente tratada no meio ambiente. Atualmente, o distrito decidiu reutilizar a água potável reciclada como a principal fonte de suprimento para seus reservatórios naturais e enfatiza o papel da tecnologia para a produção de água com qualidade (TORTAJADA; SAMBIAR, 2019).

Na prática, esquemas de reutilização potável em larga escala incluem uma combinação de processos de tratamento. A Figura 9 mostra exemplos de esquemas de reutilização de água potável direta e indireta que já estão em operação em alguns países (WHO, 2017).

Figura 9 – Exemplos de países que reutilizam água potável de forma direta ou indireta.

Fonte: WHO, 2017, p. 18

Em comparação com as estações de tratamento de água potável convencional que usam água de fontes de reservatórios naturais, lagos e rios, nas estações de tratamento de águas para a reutilização potável direta e indireta, deve ser incluído pelo menos dois ou três processos de tratamento adicionais que servem como barreiras de patógenos e vestígios orgânicos, e permitem alcançar o consumo de água com qualidade (DAIGGER et al., 2019).

O aspecto que exige maior atenção no caso da reutilização da água é variação da qualidade da água. Um sistema de tratamento com baixo desempenho pode levar a qualidade da água a um nível não confiável para fins de utilização, impossibilitando seu reuso. (VOULVOULIS, 2018).

2.3.2.3 Princípio 3 – Externalidades

A água é um elemento disponível no ambiente e atua como transportador de produtos químicos, partículas e gotículas, portando, ela pode ser vista como um recurso poluente ou potencial (SIRAJ; STEICHEN; SHUOLER, 2018). Assim, a projeção das externalidades que envolve o uso da água depende do tipo de ações em torno de seu gerenciamento.

2.3.2.3.1 Externalidades negativas

A falta de disponibilidade dos recursos hídricos acaba com a capacidade da natureza em restabelecer seu próprio ciclo natural, além de prejudicar as atividades sociais e econômicas. A produção de esgoto também tem impacto no ciclo da água - aumentando a poluição de fontes hídricas e reduzindo a biodiversidade – além de diminuir a qualidade de vida do ser humano (EKINS et al., 2003).

As atividades industriais que poluem a água são múltiplas, incluindo mineração, indústria de couro e têxtil, indústria de eletrônicos, indústria química produção de energia e transporte. Inúmeras fontes antropogênicas, como indústrias de metais, processos de galvanoplastia, operações de extração de mineração, indústrias têxteis e usinas nucleares, bem como a erosão dos solos, escoamento urbano e aerossóis contribuem para a deposição de metais ou elementos metálicos nos corpos hídricos (BOELEE et al., 2019).

A diminuição da qualidade da água não apenas reduz expectativa de vida dos seres humanos, mas também contribui para impactos negativos sobre a vida aquática, flora, fauna e o ecossistema (RENE; SHU; JEGGATHEESAN, 2019). Os problemas de descargas de esgotos não tratados ou parcialmente tratados podem comprometer fontes naturais de água e causar degradação ambiental (DAIGGER et al., 2019), além de comprometer a saúde pública (SEIFERT; KRANNICH; GUENTHER, 2019).

O estado ambiental resultante da poluição química da água depende do estágio de desenvolvimento do país ou da região. Os países de baixa e média renda geralmente têm qualidade da água refletida em altas cargas orgânicas o que leva a altos índices de nutrientes e baixos níveis de oxigênio que podem prejudicar os sistemas ecológicos. O resultado é a geração de redução nos serviços ecossistêmicos, no fornecimento seguro de água e nas oportunidades de lazer (BOELEE et al., 2019).

Em contrapartida o aumento de tratamento de esgoto também produz resultados negativos como poluição sonora, mau cheiro e emissão de gases estufas. As fontes de ruídos devem ser combatidas com medidas que objetivam sua redução. Já, para o mau cheiro, podem ser instalados filtros que visam proteção de moradores do entorno e o gás pode ser utilizado como combustível para veículos (SEIFERT; KRANNICH; GUENTHER, 2019).

Em geral, dentro da lógica da EC, existem três principais metas e oportunidades na utilização de água – Quadro 7 - que devem ser buscadas por meio das inovações tecnológicas para mitigação de externalidades negativas e que abrangem desde os processos biofísicos no

campo disciplinar das ciências e engenharia até as decisões de política social e de gestão que influenciam o uso da terra e da água (SANTELMANN et al., 2019).

Quadro 7 - Oportunidades do uso da água

Setor	Objetivo	Elementos Chaves para um sistema com boa performance	Oportunidades
Água Potável	Saúde Pública; abastecimento de água adequado para a população; sistema confiável de tratamento e entrega	Proteção adequada da fonte de água; instalações de tratamento; rede de distribuição. Capacidade para atender demandas futuras. Infraestrutura e fontes resilientes a interrupções de desastres naturais Atender às necessidades sociais de maneira justa equitativa	Águas reutilizáveis necessitam de menores suprimentos e podem reduzir os custos de tratamento e transporte, além de minimizar impactos ambientais
Águas Residuais	Saúde pública; melhoria no tratamento de águas residuais humanas e industriais antes da liberação para corpos de água naturais.	Transporta esgoto e lixo para longe das residências; recicla sólidos de esgoto e minimiza os impactos de quantidade/qualidade da água de descarga no meio ambiente; Minimiza transbordamento combinado de esgoto	Alguns componentes da água residual podem se tornar recursos; Água cinza destinada a reutilização – adequando a finalidade. Reduzir o volume de águas residuais para reduzir custos de tratamento ou fornecer capacidade adicional
Corpos de água Naturais	Saúde pública; proteger as comunidades das inundações; minimizar os impactos do desenvolvimento em áreas ribeirinhas e corpo d'água.	Gerenciar o regime/hidrologia de sedimentos para minimizar o impacto no habitat natural e na qualidade da água.	Redução de ilhas de calor; promoção de habitat natural da vida selvagem; tratamento terciário de águas residuais.

Fonte: Santelmann et al., 2019, p. 5

O tratamento e disposição de lodo do esgoto em aterro sanitários também é um assunto ambiental de grande preocupação pois sua produção é crescente no mundo todo, uma vez que que o número de estações de esgoto tendem a aumentar (GUERRA-RODRÍGUEZ et al., 2020). A disposição em aterros gera grandes emissões de gases estufas (HU; TIAN; CHEN, 2019).

Dentro de um modelo circular, o reconhecimento do lodo como recurso e não como desperdício, tem levado os pesquisadores a considerarem cada vez mais a reciclagem e recuperação de componentes valiosos como carbono e nutrientes (GHERGHEL; TEODOSIU; GISI, 2019). Essas novas estratégias de lodo de esgoto devem ser projetadas de forma coerente com a hierarquia de resíduos que propõem ações de reduzir, gerenciar resíduos, reutilização, reciclagem, recuperação de energia e, como opção final e indesejada, aos aterros sanitários (GUERRA-RODRÍGUEZ et al., 2020).

2.3.2.3.2 Externalidades positivas

Estão cada vez mais disponíveis tecnologias de tratamento para água contaminada com altos padrões de qualidade para o uso potável (DAIGGER et al., 2019). A utilização de combinações de tecnologias para a recuperação das águas residuais minimiza os problemas associados a descarga descontrolada das águas poluídas e ajuda a fechar o ciclo por meio do reuso da água reciclada, reduzindo a retirada de recursos hídricos do meio ambiente (GUERRA-RODRÍGUEZ et al., 2020).

A capacidade de reutilizar a água traz benefícios positivos como melhor produção agrícola, consumo de energia reduzido, melhor controle no tratamento e distribuição da água e benefícios ambientais significativos com a redução de carga de nutrientes nas águas (VOULVOULIS, 2018).

A reutilização fornece uma fonte importante de água doce, e influencia diretamente o estresse hídrico existente (YERUSHALMI; SEYHI, 2020). As principais vantagens do reuso são o fato de ser uma fonte de água independente do clima, além de reduzir os impactos negativos ao meio ambiente por meio de um planejamento voltado para a qualidade dessa água (WHO, 2017). A tecnologia está desempenhando um papel fundamental como facilitadora da recuperação e reutilização das águas residuais (DAIGGER et al., 2019).

Algumas cidades já estão aproveitando as oportunidades da reciclagem e reutilização de todos os recursos oferecidos pela água residual em uma economia circular. Um exemplo é Pequim, capital da República Popular da China, enfrenta preocupações ambientais como resultado intenso do seu crescimento populacional e de sua industrialização. A cidade está adotando novos modelos de negócios e investindo em infraestrutura para reduzir a poluição da água. Foi adotada diferentes tecnologias para promover o reuso de águas residuais e com uma nova infraestrutura, a cidade reciclou um quarto de suas águas residuais domésticas e melhorou a qualidade de até 85% da descarga de águas residuais industriais (IWA, 2018).

O controle e redução das emissões de gases estufas podem ser realizadas por meio de ações como: utilizar tecnologias que reduzam a matéria orgânica não biodegradável; escolher tratamento biológicos como principais processos para diminuir consumo de energia e custos operacionais; coletar e utilizar adequadamente o biogás gerado da unidade de tratamento biológico anaeróbico; evitar aterros sanitários para disposição do lodo; e incentivar a utilização de bioenergia (HU; TIAN; CHEN, 2019).

A recuperação de energia a partir do lodo pode ajudar as estações a reduzir seus custos operacionais e sua pegada de carbono, podendo provocar o aumento dos fluxos de receitas por

meio de créditos de carbono, por exemplo. Além disso, o uso do lodo como fertilizantes, quando utilizado de maneira controlada e segura, também é uma iniciativa que colabora com o meio ambiente que pode evitar a contaminação de solos (CONNOR et al., 2017).

Pensar em preservação e impactos no setor de água é um problema desafiador e deve ser enfrentado em diferentes níveis, recorrendo a ações como aumentar a sustentabilidade da captação de água, a fim de preservar os recursos naturais; garantir a confiabilidade dos sistemas de abastecimento de água, para a diminuição de desperdício; e aprimorar estratégias de reutilização da água através da avaliação das melhores soluções tecnológicas (BONOLI et al., 2019).

É preciso dar prioridade a abordagens de controle da poluição em fluxos hídricos que tenham como foco a prevenção e a redução das águas residuais ao mínimo possível, e que isso prevaleça a forma tradicional de tratamento de efluentes. Essas abordagens incluem a proibição e/ou o controle do uso de certas substâncias poluidoras, para eliminar ou limitar sua entrada nos fluxos de água, por meio de medidas regulatórias, técnicas ou outros (CONNOR et al., 2017).

É vital desenvolver sistemas de gerenciamento de água residuais capazes de reciclar e reutilizar seus subprodutos e aumentar a qualidade das fontes de água. O desenvolvimento e aplicação desses sistemas colaboram para resolução de fatores como a escassez de água que, combinada às atividades econômicas, exerce grande pressão sobre recursos hídricos existentes (CONNOR et al., 2017).

Para resolver o problema da alta demanda de abastecimento de água com serviços de qualidade para o consumo humano é preciso investir em desenvolvimento tecnológico, econômico, político e social para a promoção de pesquisa e inovação (GIL-MESEGUER; BERNABÉ-CRESPO, 2019).

O gerenciamento eficaz dos sistemas urbanos de água é fundamental para a saúde e o bem-estar das pessoas e para os ecossistemas que as envolvem. As demandas do crescimento da população humana, o envelhecimento da infraestrutura e as mudanças climáticas aumentam a pressão sobre esses sistemas e exigem mais inovações futuras no gerenciamento da água. (SANTELMANN et al., 2019).

2.4 MODELO DE ANÁLISE

A partir da síntese da revisão da literatura foi elaborado um modelo de análise para identificar as oportunidades de aplicação dos princípios de uma economia circular em uma

empresa de saneamento por meio de tecnologias ambientais e verificar como fatores externos influenciam na seleção dessas tecnologias. Esse modelo é representado pela Figura 10.

Figura 10 - Modelo de Análise

Fonte: Autora

A Figura 10 apresenta os três princípios da economia circular considerando o ciclo técnico da água que é influenciado pelas ações humanas. Assim, é representado a captação de água, tratamento, distribuição para os clientes, tratamento de esgoto e disposição final das águas residuais.

No ciclo técnico da água, o Princípio 1 possui o objetivo de preservar e aprimorar o capital natural (SIRAJ; STEICHEN; SHUOLER, 2018), neste caso, a água. A escassez de água tem um impacto nas funções de suporte à vida, reduzindo a biodiversidade, e nas atividades humanas ligadas ao consumo, atividades econômicas e de lazer (EKINS et al., 2003). Em uma empresa de saneamento, a oportunidade está em investir em tecnologias para garantir segurança hídrica, preservar fluxos hídricos e utilizar fontes alternativas como a eólica e a solar. Mudanças na gestão com foco na utilização ecológica da água pode promover a redução de demandas por água doce dos ecossistemas, com ênfase na proteção do meio ambiente (WANG; WU; TORTAJADA, 2020).

O Princípio 2 prioriza a manutenção dos recursos por meio de ações como evitar, reduzir, reciclar e reutilizar a água (SIRAJ; STEICHEN; SHUOLER, 2018; SMOL; ADAM;

PREISNER, 2020). Os processos de captação, distribuição, coleta e tratamento de esgoto podem ser pensados de forma a garantir a confiabilidade do sistema para reduzir desperdícios e aprimorar estratégias de reciclagem e reutilização dos subprodutos das águas residuais (BONOLI et al., 2019).

As principais oportunidades estão em evitar o consumo desnecessário da água durante as atividades humanas (IWA, 2016; SIRAJ; STEICHEN; SHUOLER, 2018), utilizar tecnologias para redução de perdas de água durante a distribuição e coleta (R2PI PROJECT, 2019; DAIGGER et al., 2019), recuperação de nutrientes para produção de fertilizantes; utilização do lodo como fonte de energia e reciclagem de águas residuais para reuso potável direto ou indireto (GUERRA-RODRÍGUEZ et al., 2020).

O Princípio 3 se refere ao controle de externalidades (SIRAJ; STEICHEN; SHUOLER, 2018). Nesse sentido, busca-se ações com o foco no controle da qualidade da água que volta aos fluxos hídricos após a utilização humana, redução de emissão dos gases de efeito estufa durante os processos de tratamento de água e esgoto e redução da disposição de lodo para aterros sanitários (HU; TIAN; CHEN, 2019).

Nessa pesquisa, as tecnologias ambientais são entendida como um fator que permite e acelera a transição para o modelo circular (COSTANTINI et al., 2017; JAWAHIR; BRADLEY, 2016; JESUS et al., 2017; LIAO, 2018b; LIAO, 2018a). Assim, as inovações tecnológicas são fundamentais para permitir que o setor de água se adapte aos principais problemas ambientais, como mudanças climáticas, degradação do solo e poluição da água potável (SPILLER et al., 2015; DAIGGER et al., 2019). Dentro da lógica da EC, a valorização dos subprodutos da água e a implementação de um modelo circular ajudam a diminuir a pressão sobre os recursos naturais (GUERRA-RODRÍGUEZ et al., 2020).

Os principais fatores que habilitam ou restringem a transição de um modelo linear para um modelo circular são tecnológicos (JAWAHIR; BRADLEY, 2016; EPA, 2018; JESUS et al., 2017) econômicos/financeiros; institucional/regulatório; social/cultural (GENG et al., 2012; SU et al., 2013; SPILLER et al., 2015; EMF, 2015; IWA, 2016; SARR; NOAILLY, 2017; COSTANTINI et al., 2017; LIAO, 2018b; JESUS; MENDONÇA, 2018; RANTA et al., 2018; VELEVA; BODKIN, 2018; VOULVOULIS, 2018; CAVALCANTI; ABREU; CEGLIA, 2018; MAKROPOULOS et al., 2018; LEITÃO; BRITO; CUBICO, 2019; TURA et al., 2019; KUMAR et al., 2019; R2PI PROJECT, 2019; TORTAJADA; SAMBIAR, 2019; GIL-MESEGUER; BERNABÉ-CRESPO, 2019; SANTELMANN et al., 2019; BOELEE et al., 2019; GUERRA-RODRÍGUEZ et al., 2020); fatores organizacionais (BIANCHINI; ROSSI; PELLEGRINI, 2019; ARRANZ et al., 2019); fatores associados a cadeia de

suprimento (TURA et al., 2019) e meio ambiente (GENG et al., 2012; KUMAR et al., 2019; TURA et al., 2019) .

Observa-se que os fatores tecnológicos, econômicos/financeiros, institucional e social/cultural são os mais citados no referencial teórico. Assim, para esse modelo, eles foram considerados os principais fatores influenciam a implementação de um modelo de economia circular (Quadro 8).

Quadro 8 – Fatores que influenciam a implementação de um modelo de economia circular

Fatores	Descrição	Autores
Tecnológico	Capacitação Técnica, P&D, compartilhamento de informações; Universidades	Tura et.al., 2019; Leitão; Brito; Cubico, 2019; Daigger et al., 2019, Kumar et al., 2019; Arranz et al., 2019; R2PI Project, 2019; Valela; Bodkin, 2018; IWA, 2016; De Jesus; Mendonça, 2018; Pucci et al., 2018; EPA, 2018; SU et al., 2013; Jawahir; Bradley, 2016; De Jesus et al., 2017; Santelmann et al., 2019; Guerra-Rodríguez et al., 2020; Gil-Meseguer; Bernabé-Crespo, 2019; Makropoulos et al., 2018; Tortajada; Sambiar, 2019; Boelee et Al., 2019; EPA, 2018.
Econômico/Financeiro	Incentivos de mercado; acesso a financiamentos; incentivos fiscais	Tura et. al.,2019; Kumar et al., 2019, Leitão; Brito; Cubico, 2019; Arranz et al., 2019; Seifert; Krannich; Guenther, 2019; IWA, 2016; Valela; Bodkin,2018; De Jesus; Mendonça, 2018; Sarr e Noailly 2017; SU et al., 2013; Geng et al., 2012; Santelmann et al., 2019; Guerra-Rodríguez et al., 2020; Voulvoulis, 2018 ; Gil-Meseguer; Bernabé-Crespo, 2019; Makropoulos et al., 2018; Tortajada; Sambiar, 2019; Boelee et Al., 2019.
Institucional/Regulatório	Governo, Empresas, Agências Reguladoras	Vargo; Akaka; Wieland, 2020; Tura et. al.,2019; Kumar et al., 2019; Leitão; Brito; Cubico, 2019; Arranz et al., 2019; Seifert; Krannich; Guenther, 2019; R2PI Project, 2019; Valela; Bodkin, 2018; IWA, 2016; De Jesus; Mendonça, 2018; Pucci et al., 2018; ; Sarr e Noailly 2017; SU et al., 2013 Geng et al., 2012; Santelmann et al., 2019; Guerra-Rodríguez et al., 2020; Gil-Meseguer; Bernabé-Crespo, 2019; Makropoulos et al., 2018; Tortajada; Sambiar, 2019; Boelee et Al., 2019.

Continua...

Conclusão.		
Social/Cultural	Percepção da sociedade, conscientização	Tura et. al., 2019; Kumar et al., 2019; Seifert; Krannich; Guenther, 2019; R2PI Project, 2019; Valela; Gil-Meseguer; Bernabé-Crespo, 2019; Bodkin, 2018; Voulvoulis, 2018; Ranta et.al., 2018; De Jesus; Mendonça, 2018; Santelmann et al., 2019; Gil-Meseguer; Bernabé-Crespo, 2019; Makropoulos et al., 2018; Tortajada; Sambiar, 2019; Boelee et Al., 2019.

Fonte: Autora

A sociedade é formada por pessoas com culturas diferentes, que pertencem a várias regiões geográficas e que possuem necessidades particulares além de diversos interesses socioeconômicos e políticos (EPA, 2018). O comportamento da sociedade desempenha papel significativo na prestação de serviços e implica na escolha do modelo de negócios (IWA, 2016). No geral, o público está cada vez mais preocupado com o meio ambiente e consciente de suas ações, porém, a percepção da sociedade em relação ao reuso dos subprodutos do esgoto está relacionada a promoção de diálogo público e confiança nas tomadas de decisões dos governos (IWA, 2016; VOULVOULIS, 2018).

Para facilitar o fechamento do circuito de água e aproveitá-la ao máximo leis e regulamentos podem aumentar os incentivos para a reciclagem e reuso (VOULVOULIS, 2018; TORTAJADA; SAMBIAR, 2019; DAIGGER et al., 2019; GUERRA-RODRÍGUEZ et al., 2020). Ainda, a implementação de inovações pode ser facilitada com parcerias entre setor privado e agências governamentais (IWA, 2018).

Para superar os desafios promovidos por essas questões tecnológicas, institucionais, econômicas e culturais na transição para um modelo circular, as mudanças podem ser fortalecidas por uma rede de atores (CAVALCANTI; ABREU; CEGLIA, 2018; ARRANZ et al., 2019; NAVARRO et al., 2020). Existe uma grande importância na participação do poder público em criar apoios adequados por meio de políticas, legislação ambiental e instrumentos econômicos e de mercado. Parcerias públicas e privadas são um caminho para o fortalecimento das capacidades institucionais na construção da EC (CAVALCANTI; ABREU; CEGLIA, 2018).

A interação entre universidades, indústria e governo é essencial para um ambiente inovador (PUCCI et al., 2018). Acredita-se que a formação de um ecossistema de inovação influencia fatores que podem contribuir ou dificultar na aplicação de tecnologias ambientais para a implementação de um modelo circular em uma empresa de saneamento.

O sistema de água pode ser organizado para criar oportunidades de circularidade por meio de soluções inovadoras, tecnologias ambientais e interação entre diversos agentes responsáveis pela sua manutenção e a distribuição para o uso da água (R2PI PROJECT, 2019). As empresas de saneamento têm a oportunidade de começar a enxergar a água como um meio recursos valiosos e possuem papel essencial como administradores desses recursos (IWA, 2016).

3 MÉTODO DE PESQUISA

Esse capítulo está dividido em quatro subcapítulos. O primeiro caracteriza a natureza de pesquisa a ser desenvolvida; o segundo define a amostra teórica; o terceiro aborda os principais instrumentos de coleta de dados que serão utilizados; e o quarto define a forma de tratamento dos dados e como foi realizada a análise dos resultados.

3.1 NATUREZA DA PESQUISA

A metodologia empregada é classificada como qualitativa, fundamentalmente interpretativa, que é aplicável a essa pesquisa pela amostragem intencional, pela coleta de dados aberta, análise de textos, representações de informações em quadro ou figuras e interpretação pessoal dos achados (CRESWELL, 2010).

Uma pesquisa qualitativa envolve a coleta de dados descritivos sobre pessoas, lugares, processos e interação entre pesquisador com a situação estudada, de forma a tentar compreender fenômenos segundo a perspectivas de quem participa da situação do estudo (GODOY, 1995).

De acordo com Yin (2010), existem três tipos de estudo: exploratório, descritivo e explanatório. O exploratório estuda situações em que o fenômeno avaliado não possui um único conjunto de dado, o descritivo descreve o fenômeno estudado e o explanatório estabelece relações entre variáveis para explicar o fenômeno (YIN, 2010). Dessa forma, o estudo é classificado como explanatórios pois propõem verificar como os fatores externos influenciam na seleção de tecnologias ambientais para a implementação de um modelo circular na empresa estudada.

Um estudo de caso é adequado quando se busca investigar o “como” e o “porque” de uma situação. Além disso, é uma investigação empírica que permite o estudo de um fenômeno contemporâneo em profundidade dentro de um contexto real (YIN, 2010).

O estudo de caso pode ser único ou múltiplo. O que justifica a opção pelo estudo de caso único é quando ele representa um caso crítico de uma teoria bem formulada, ou um caso raro, que valha a pena documentar. Ele pode ser utilizado para determinar se as proposições de uma teoria são corretas ou se algum conjunto de explicações pode ser mais relevante (YIN, 2010).

Assim, o procedimento utilizado é o estudo de caso único, com múltiplas unidades de análise, e se justifica por ser um caso representativo (YIN, 2010). O estudo de caso é uma

estratégia que se concentra na compreensão da dinâmica presente em cenários únicos (EISENHARDT, 1989) e seu método é dividido em três etapas: definição e elaboração do projeto; coleta e análise de dados; análise final e conclusão (YIN, 2010).

Figura 11 – Método do estudo de caso.

Fonte: Autora “adaptado de” Yin, 2010, p. 82

Para estudos de casos, é essencial o desenvolvimento da teoria como parte da fase do projeto para proporcionar orientação da determinação de dados a serem coletados e nas estratégias de análise desses dados (YIN, 2010).

A primeira etapa do trabalho consistiu na definição e desenvolvimento do referencial teórico, que contextualiza os principais conceitos utilizados para essa pesquisa: economia circular, inovação e tecnologias ambientais, ecossistemas de inovação e as oportunidades de circularidade que existem no setor de saneamento. O referencial teórico possibilitou a delimitação das unidades de análise, cumprindo com os objetivos propostos.

Na etapa seguinte de preparação, coleta e análise do conteúdo, foi realizada a coleta de dados por meio de instrumentos qualitativos – análise documental, registros de arquivos, e entrevista semiestruturadas.

A última etapa consistiu em análise dos dados e conclusão. Para isso foi realizado quadros sínteses dos resultados da pesquisa, por meio de categorização e triangulação das informações coletadas.

3.2 AMOSTRA TEÓRICA

A empresa de saneamento selecionada para esse estudo de caso único é a Companhia Estadual de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, classificada no setor de utilidade

pública na área de água e saneamento no novo mercado da B3. A empresa é responsável pelo fornecimento de água, coleta e tratamento de esgotos, sendo a maior empresa de saneamento das Américas, e a quarta maior do mundo em população atendida.

No Brasil, 83,62% dos brasileiros são atendidos com abastecimento de água tratada. A região Sudeste abastece 91,03% da população com água tratada. Em relação ao esgoto, apenas 53% dos brasileiros têm acesso a coleta de esgoto e 46% do esgoto é tratado. A região sudeste apresenta 79,21% dos moradores com acesso a coleta de esgoto e 50,09% de esgoto tratado (SNIS, 2020).

O estado de São Paulo possui 96,2% da população tem atendimento com rede de água, sendo que do total de água distribuída 34,1% não é contabilizada ou é perdida durante a distribuição. Em relação ao esgoto, 89,8% da população possui rede de esgoto. Do esgoto gerado, 65,5% são tratados (SNIS, 2020).

No estado de São Paulo, a empresa de saneamento selecionada conta com 247 estações de tratamento de água que juntas permitem a produção de 119 mil litros de água por segundo. São, aproximadamente, 73,4 mil quilômetros de redes de água e 8,9 milhões de ligações de água. Existem 565 estações de tratamento de esgoto, sendo aproximadamente 50,5 mil quilômetros de redes coletoras, 2,3 mil quilômetros de emissários e interceptores e 7,9 milhões de ligações cadastradas de esgoto. A sua área de atuação possui 98% da população atendida com rede de água, 91% de cobertura com coleta de esgoto enquanto 78% dela está conectada ao tratamento de esgoto (SABESP, 2019b).

Em 1998, a companhia estatual de saneamento básico do Estado de São Paulo alcançou a universalização da distribuição de água tratada e, gradativamente, aumentou os serviços de coleta e tratamento de esgoto. Fundada em 1973, atualmente é responsável pelo fornecimento de água, coleta e tratamento de esgotos de 371 municípios (SABESP, 2020h).

Essa companhia iniciou de forma pioneira a prática de reuso em 1998 e atualmente são produzidos, em média, 502 litros de água por segundo por meio do Aquapolo Ambiental. O Aquapolo Ambiental é um empreendimento, parceria da companhia estadual de saneamento com o setor privado, que utiliza esgotos tratados da estação de tratamento ABC, e após processo adicional. Produz água de reuso para utilização no polo petroquímico da região do Grande ABC (SABESP, 2020c).

Ainda, a companhia implementou um modelo de economia circular em uma estação de tratamento de esgoto na cidade de Franca – ETE Franca. Esse caso de economia circular é único no Brasil e representa uma possibilidade de estudo sobre os processos, dificuldades e

fatores determinantes para seleção de tecnologias e aplicação dos princípios de economia circular em uma estação de tratamento de águas residuais.

Além disso, a empresa selecionada está desenvolvendo uma política de novos negócios com diversas parcerias para atuar em diferentes segmentos com soluções sustentáveis para o desenvolvimento de novos produtos como o biogás, energia eólica, energia fotovoltaica, e produção de fertilizantes a partir do lodo (SABESP, 2020d).

Para o estudo de caso, foi selecionada a atuação da companhia estadual de saneamento na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) que é uma das regiões mais populosas e que possui uma baixa disponibilidade crítica. É o maior e mais populoso aglomerado urbano do país e um dos cinco maiores do mundo, abrange 39 municípios e concentra, aproximadamente, 20 milhões de habitantes. Desses 39 municípios, 31 pertencem ao Sistema Integrado de Abastecimento de Água comandado pela companhia (ANA, 2020).

A RMSP localiza-se na cabeceira do rio Tietê, uma região de baixa disponibilidade hídrica e quase a totalidade de suas demandas atuais são abastecidas por 10 sistemas produtores de água. Durante o enfrentamento da crise hídrica de São Paulo que se iniciou em 2014, a empresa de saneamento tomou uma série de medidas emergenciais para se proteger contra ameaça da escassez (MILLINGTON, 2018) que resultou na queda de 30% da retirada de água dos mananciais da Grande São Paulo (SABESP, 2015). As principais medidas para contenção da crise foram gestão do consumo dos clientes, transferência de água tratada de outros sistemas produtores, intensificação do programa de combate as perdas, utilização de reservas técnicas de água e aplicação de várias ações institucionais relacionadas ao incentivo de economia de água (SABESP, 2015).

Assim, o estudo de caso está relacionado ao fechamento do ciclo técnico da água na RMSP e analisa a aplicação dos princípios da economia circular no setor de saneamento e envolve a captação, distribuição, coleta e tratamento da água. Para isso foram delimitados os seguintes processos para o estudo de caso único: sistema de abastecimento de água, esgotamento sanitário e programas da companhia, conforme Quadro 9.

Quadro 9 – Unidades de análise - RMSP

Unidades de Análise	Elementos	Descrição
Sistema de Abastecimento RMSP	Preservação de recursos hídricos - mananciais	Captação de água bruta e tratamento da água realizados por meio de 10 sistemas produtores localizados estrategicamente em diferentes pontos da metrópole e posterior distribuição para clientes
	Segurança hídrica; distribuição e uso	
Esgotamento Sanitário RMSP	Estações de tratamento de esgoto	Coleta e transporte do esgoto para as estações de tratamento para posterior disposição de fluentes

Fonte: Autora

As unidades de análise apresentadas no Quadro 9 foram escolhidas considerando o objetivo da pesquisa. A análise dessas unidades ajudará no entendimento das principais barreiras e oportunidades que existem no setor e que influenciam a seleção das tecnologias ambientais para aplicação dos princípios de uma economia circular em uma empresa de saneamento.

3.3 INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS

As fontes de evidências utilizadas como instrumentos de coleta de dados podem ser documentações, registros em arquivos, entrevistas, observações diretas, observações do participante e artefatos físicos (YIN, 2010). Para esse estudo, foi desenvolvido um Diagrama Ishikawa, também conhecido como espinha de peixe, conforme Figura 12. Tal método é uma ferramenta qualitativa para estudar as causas potenciais e os efeitos de determinada situação (GWIAZDA, 2006).

Figura 12 – Fontes de evidência para coleta de dados

Fonte: Autora

Dentre as seis fontes de evidências que existem, para essa pesquisa foram utilizadas: documentação, registro em arquivos e entrevistas. Essas várias fontes são complementares (YIN, 2010) e por isso, foram utilizadas as fontes pertinentes para esse estudo de caso, levando em consideração que qualquer fonte de evidência pode ser considerada base única (YIN, 2010).

Para essa pesquisa foram definidas etapas para organização das informações e coleta de dados conforme o Quadro 10.

Quadro 10 – Etapas da coleta de dados

Etapa de Coleta de Dados	Procedimento
Etapa 1 – Coleta de dados: Documentação e Registro em arquivos	- Levantar todas as documentações com aspectos relevantes considerando os processos envolvendo as unidades de análise, incluindo vídeos divulgados na internet e relatórios de sustentabilidade; - Estudar os processos.
Etapa 2 – Entrevistas	- Preparar as entrevistas semiestruturadas - Agendar entrevistas com os envolvidos - Transcrição das entrevistas
Etapa 4 – Dados para análise	- Triangulação de dados

Fonte: Autora.

A documentação envolve anúncios, recortes de notícias e outros artigos que aparecem na mídia de massa ou em jornais. Para esse estudo também foi utilizado vídeos temáticos divulgados em plataformas abertas, publicações em revistas ou jornais e notícias relacionadas com os processos divulgados pela empresa. Para os registros em arquivos, foram considerados os arquivos públicos como o relatório de sustentabilidade da empresa, relatórios administrativos e outros documentos sobre aspectos ambientais disponibilizados para consulta pública e chamadas de editais.

A análise documental é uma forma de obter uma linguagem comum da delimitação de pesquisa e criar confiabilidade para a fase de triangulação de informações, isso porque ajuda na verificação de informações coletadas nas entrevistas (CRESWELL, 2010; YIN, 2010).

As entrevistas são uma das fontes mais importantes para o estudo de caso, e foram feitas conforme um guia pré-definido (APÊNDICE A). O principal objetivo com esse instrumento é reunir informações sobre o relacionamento da empresa com outros atores e entender como esse contexto influencia na seleção de tecnologias ambientais para aplicação dos princípios de uma EC.

As entrevistas (APÊNDICE B) foram realizadas com especialistas envolvidos no setor de saneamento da RMSP. O principal objetivo com esse instrumento é adquirir informações sobre parcerias e tecnologias ambientais utilizadas na RMSP que contribuem para aplicação de princípios da economia circular no setor de água para entender a influência que um ecossistema de inovação possui na seleção de tecnologias. Para isso, optou-se por categorizar as perguntas de acordo com os princípios da economia circular para, posteriormente, direcioná-las aos especialistas de acordo com a respectiva área de atuação.

A elaboração de protocolos é importante para aumentar a confiabilidade da pesquisa de estudo de caso e se destina a orientar o investigador na realização da coleta de dados (YIN, 2010). Assim, o guia para condução das entrevistas e o roteiro da entrevista se encontram no Apêndice A e B respectivamente.

Para assegurar o anonimato dos entrevistados, atribui-se códigos de referência para cada um, conforme apresentado no Quadro 11.

Quadro 11 Quadro de entrevistados

Entrevistado	Código	Tempo de duração
Especialista em recursos hídricos da RMSP	ESP-1	29'45s
Especialista em inovação e tecnologia	ESP-2	54'00s
Especialista em tratamento de água da RMSP	ESP-3	42'00s
Especialista em inovação e tecnologia	ESP-4	48'00s
Especialista em uso racional de água na RMSP	ESP-5	23'00s
Especialista em gestão de energia	ESP-6	11'00s

Fonte: Autora

As entrevistas foram realizadas via plataforma online - *Google Meets* – com duração variáveis. Ao longo das entrevistas algumas perguntas foram suprimidas ou acrescentadas, dependendo do conteúdo das respostas, mas sempre seguindo o guia pré-definido.

3.4 FORMA DE TRATAMENTO E ANÁLISE DE DADOS

As evidências que foram obtidas por meio dos instrumentos de coleta de dados seguiram três princípios para garantir a validade do constructo e a confiabilidade da pesquisa: utilização de múltiplas fontes de evidência, a criação de uma base de dados e o encadeamento das informações (YIN, 2010).

Por meio do uso de múltiplas fontes de evidência é possível realizar a triangulação de dados. A triangulação busca, a partir das informações das múltiplas fontes, corroborar o mesmo fato ou fenômeno. Com a triangulação de dados, os problemas de validade do constructo podem ser abordados porque múltiplas fontes de evidência proporcionam várias avaliações do mesmo fenômeno (YIN, 2010). Assim, foi aplicada a triangulação dos dados de pesquisa da documentação, dos registros, das entrevistas e da observação.

Na pesquisa foi utilizada a análise de conteúdo definida como um conjunto de técnica de análise das comunicações, que utiliza procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens. A análise de conteúdo foi organizada em três principais fases cronológicas: pré-análise; exploração do material e tratamento dos resultados, inferência e interpretação. A pré-análise envolveu a escolha dos documentos a serem submetidos para análise, a formulação dos objetivos e a elaboração dos indicadores que fundamentam a interpretação final. Antes da análise propriamente dita, o material escolhido foi organizado, as entrevistas foram gravadas e transcritas (BARDIN, 2011).

A partir disso, para garantir credibilidade para a pesquisa, foi utilizada a convergência das diversas fontes de evidência – triangulação – pois auxilia na reflexão e uma análise mais profunda do conteúdo (YIN, 2010). Foi utilizada a abordagem da teoria fundamentada com o intuito de gerar de forma indutiva ideias teóricas a partir dos dados e, numa etapa posterior, essas ideias foram relacionadas à teoria existente (GIBBS, 2009).

A categorização é uma operação de classificação de elementos constituídos de um conjunto, com critérios previamente definidos (BARDIN, 2011). Neste estudo, foi definida uma categorização considerando os princípios da economia circular e suas categorias teóricas aplicadas ao ciclo técnico de água como fundamento para conduzir as entrevistas, selecionar os casos incorporados e organizar a análise de dados – Quadro 12.

Quadro 12 – Categorização dos princípios de economia circular

Categoria	Subcategoria	Elementos
Princípio1:	Segurança hídrica	- Garantir oferta de água para a demanda crescente
	Preservação dos recursos hídricos	- Ações para preservação dos recursos hídricos
	Eficiência energética	- Ações para garantir menores consumos e busca por fontes alternativas
Princípio 2:	Evitar	- Programas de conscientização para consumidores - Substituição ou aquisição de equipamentos mais eficiente nos próprios processos
	Reduzir	- Novas tecnologias para controle de perdas de água
	Reciclar/Recuperar	- Tecnologias para recuperação de subprodutos das águas residuais - Destinação dos subprodutos (agricultura; construção civil, geração de energia etc.)
	Reutilizar	- Reuso não potável - Reuso potável
Princípio 3:	Externalidades dos processos	- Controle da qualidade do efluente que retorna ao meio ambiente - Emissão de gases de efeito estufa

Fonte: Autora

O tratamento do material foi realizado por meio de codificação (BARDIN, 2011), que consiste em identificar uma ou mais passagens do texto que exemplifiquem uma ideia temática, ligando-a a um código (GIBBS, 2009). Assim, os principais fatores observados no conteúdo da análise de dados foram os estabelecidos no Quadro 13.

Quadro 13 – Fatores que dificultam ou facilitam o processo de inovação tecnológica

Categoria	Subcategoria	Elementos
Potencial Econômico	Recursos/investimentos	- Aquisição de novas tecnologias - Investimento no Setor de Saneamento
	Mercado	- Geração de valor - Desenvolvimento baseado em oferta/demanda
Potencial Institucional	Governos/ agências reguladoras	- Desenvolvimento de políticas públicas - Ambiente regulatório
	Indústrias/empresas	- Desenvolvimento de novos processos - Início de novos esforços baseado na demanda
Potencial Tecnológico	Atualização de tecnologias	- Como a empresa escolhe suas tecnologias - Quais as dificuldades na aquisição de nova tecnologias
	Universidades	- Compartilhamento de novos conhecimentos e experiências - Promoção e aplicação de novas ideias - Criação de novos produtos
	Capacitação técnica	- Treinamento/Capacitação de funcionários
Potencial Cultural	Cooperação da sociedade	- Como a sociedade influencia as decisões da empresa - Como a sociedade colabora para as mudanças nas estratégias da empresa - Mudança de cultura na gestão da água

Fonte: Autora

Os dados foram analisados em conjunto para melhor compreensão de como os ecossistemas influenciam na aplicação de tecnologias ambientais para aplicação dos princípios da EC.

4 RESULTADOS DA PESQUISA

Este capítulo apresenta os resultados da pesquisa realizada a partir de documentos, registro em arquivo arquivos e entrevistas semiestruturada. Os resultados estão apresentados de acordo com os princípios da economia circular aplicados no setor de saneamento. Foram observados como fatores culturais, institucionais, econômicos e tecnológicos influenciam na seleção de tecnologias ambientais para aplicação dos princípios da EC no ciclo técnico da água na RMSP.

4.1 PRINCÍPIO 1: PRESERVAÇÃO DA ÁGUA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Este item apresenta as principais ações da empresa de saneamento selecionada que envolvem disponibilidade de água, segurança hídrica, a conservação dos recursos hídricos, e a utilização de energias renováveis não convencionais na busca de maior eficiência energética.

4.1.1 Segurança hídrica

A região metropolitana de São Paulo (RMSP) é composta por 21 milhões de habitantes, o que corresponde a quase 50% do Estado de São Paulo. A concentração populacional somada à localização geográfica resulta em baixa disponibilidade hídrica (SABESP, 2019b). Soma-se a esse quadro o fato de mudanças climáticas interferirem no ciclo de água e agravarem a falta de disponibilidade de água da região (SABESP, 2020e).

A principal fonte utilizada para o abastecimento público na RMSP é a água armazenada em barragens e represas (SABESP, 2020a). O abastecimento é feito por 10 sistemas produtores com 10 estações de tratamento de água (ETAs) junto aos mananciais que formam o Sistema Integrado Metropolitano (SIM) operado pela empresa de saneamento selecionada. Observa-se que, em comparação com cenários internacionais que possuem sistemas mais descentralizados, a RMSP possui poucas unidades para abastecimento de água e com grandes dimensões, o que torna inviável mudanças radicais. A disponibilidade hídrica local precisa ser reforçada muitas vezes por obras de reservação e por transferências de vazões entre bacias vizinhas, para garantir a oferta de água. A Figura 13 ilustra o SIM e suas respectivas vazões de outorga, ou seja, vazões já cadastradas para uso (SABESP, 2020e).

Figura 13 – Sistema Integrado Metropolitano (SIM)

Fonte: Sabesp, 2020e, p. 48

É essencial conhecer o balanço hídrico de cada sistema produtor, visto que a quantidade de chuva que se transforma em vazão varia de um manancial para o outro. É importante ressaltar que o reabastecimento dos mananciais depende da água da chuva e ela, quando ocorre, não se transforma necessariamente em água armazenada para ser tratada e distribuída, apenas parte dela é redirecionada para os mananciais (SABESP, 2020e). Assim, o aproveitamento de água da chuva acontece quando ela cai nas bacias da RMSP sendo direcionadas aos mananciais. A empresa de saneamento atua nos mananciais e nas transferências de volume de água entre eles (ESP-3).

O padrão de chuva, as temperaturas, radiação solar e umidade interferem na água disponível. Isso faz com que seja essencial para a gestão dos recursos hídricos a análise constante e interdisciplinar que envolva profissionais ligados ao abastecimento de água, análises meteorológicas e climáticas. Além desses fatores, ocupação do solo e existência de grandes consumidores de água interferem na disponibilidade hídrica (SABESP, 2020e).

Em 2014, a RMSP enfrentou o início de uma grande crise hídrica que causou o esvaziamento dos principais reservatórios. De acordo com o relatório do Centro de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais – CEMADEN, ocorreu a formação de zona de alta pressão atmosférica a 6.000 metros de altitude que bloqueou a chegada de frentes da Amazônia, da zona de Convergência do Atlântico Sul e das frentes frias do Polo Sul, alterando a dinâmica da Região Sudeste que não foi prevista no final de 2013. Mesmo com a dissipação desse fenômeno, a condição climatológica em 2014 continuou crítica com as precipitações pluviométricas bem abaixo das médias. Assim, como consequência direta da falta de chuva, todos os sistemas produtores operados pela companhia de saneamento na RMSP tiveram afluência abaixo da média prejudicando a recarga dos mananciais. Como se observa na Figura 14, as médias de chuvas no ano hidrológico de 2013/14 ficaram abaixo das médias históricas, com exceção do Sistema Produtor Rio Claro (SABESP, 2015).

Figura 14 – Médias de Chuvas

Fonte: Sabesp, 2015, p. 10

O fenômeno não foi previsto com antecedência de semanas ou meses, em função das limitações na previsão climática sazonal na região sudeste. As previsões de 2013 não indicaram a escassez de chuva, assim o sistema de alta pressão só foi previsto a partir de modelos numéricos poucos dias antes do seu estabelecimento (SABESP, 2015).

O Programa Metropolitano de São Paulo (PMA) foi elaborado pela companhia de saneamento da RMSP na década de 90 e possui o objetivo de antecipar a ocorrência de possíveis impactos e mudanças climáticas, considerando o regime de chuva, vazões e disponibilidades dos mananciais. Baseado no planejamento a longo prazo, as ações do PMA dão sequências as inúmeras intervenções implementadas pela empresa durante a crise hídrica de 2014, marcando um salto na infraestrutura do sistema metropolitano (SABESP, 2019b). Entre as diversas ações da empresa que envolvem obras como a construção de adutoras, redes de distribuição e reservação para aumentar a segurança hídrica, destacam-se o início da utilização de membranas ultra filtrantes, o Sistema Produtor São Lourenço (SPSL) e a Interligação Jaguari – Atibainha, sendo que essas últimas duas obras entraram em operação no primeiro semestre de 2018 (SABESP, 2019b).

O principal motivo para a empresa de saneamento selecionada escolher a utilização de membranas ultra filtrantes durante a crise-hídrica foi a agilidade para instalação e produção de água. Essa tecnologia foi instalada nas ETAs Alto da Boa Vista e Rio Grande, e é formada por um equipamento que trabalha com pressão alta e faz a água passar por uma membrana bem fina que retém todas as partículas. Ela faz o trabalho da ETA só que sem a utilização de produtos químicos. Apesar de ser um tratamento bom, de alta eficiência e que não demanda

de muita gente na operação, ela é uma tecnologia cara, e existe muita dificuldade com sua manutenção (ESP-2). Sobre essa tecnologia, a Sabesp lançou em cooperação com a FAPESP chamada de propostas de pesquisa nº 13985/2020 com tema que buscava soluções para aumentar a longevidade das membranas.

Já a execução das obras do Sistema Produtor São Lourenço (SPSL) é resultado da parceria público privada (PPP) entre a empresa de saneamento e o grupo chinês China Gezhouba Group Corporation (CGCG). O sistema é responsável por abastecer com água tratada regiões antes atendidas pelo Cantareira, e leva água da represa Cachoeira do França, em Ibiúna/SP, para a estação de Tratamento de Água de Vargem Grande Paulista, percorrendo 83km de tubulação em município atendido. O SPSL está interligado aos demais sistemas que abastecem a RMSP ampliando a capacidade de produção de água tratada para a RMSP (SPSL, 2020). Já, a Interligação Jaguari – Atibainha permitiu o aporte de água bruta proveniente da bacia do Paraíba do Sul (SABESP, 2019b). A interligação consiste em um conjunto de instalações para captação de água da represa Jaguari, e posterior transporte para a represa de Atibainha, pertencente ao Sistema Cantareira (SABESP, 2020f). Foi necessário um acordo entre os governos de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais para acertarem o uso da água da bacia do Paraíba do Sul, já que ela abrange três Estados (GOV-SP, 2018).

Essas duas obras de captação já agregaram 445 bilhões de litros de água para a RMSP, o correspondente a 45% do volume total do Sistema Cantareira, aumentando a oferta da RMSP. Ao longo de 2019, a baixa recarga do Cantareira teria levado o Sistema ao esvaziamento se não fossem as contribuições feitas por essas duas grandes obras estruturantes que passaram a “importar” água de outras bacias para o rio Tietê, onde está inserida RMSP (SABESP, 2019b).

A Figura 15 mostra a contribuição do volume útil de cada sistema produtor de água na RMSP antes e depois da crise hídrica.

Figura 15 – Contribuição do volume útil de cada sistema produtor

Fonte: Sabesp, 2020e, p. 45

O Sistema São Lourenço aporta, aproximadamente, 6,4 m³/s à capacidade de produção do SIM, aliviando a demanda sobre outros sistemas como o Guarapiranga, Alto Tietê e o Sistema Cantareira (SABESP, 2017). Já a interligação Jaguari-Atibainha possibilita a transferência de 5,13m³/s de água para o sistema Cantareira, aumentando o volume armazenado nas represas (SABESP, 2015). Os dois sistemas colaboram para a produção da vazão de outorga da companhia.

É importante ressaltar que o SIM é vital para o abastecimento dos municípios da RMSP, porém a flexibilidade dos sistemas é limitada porque soluções que envolvem interligações e transferências de bacias passam por questões físicas como as grandes distâncias e áreas densamente ocupadas (SABESP, 2019b). Ainda, quando se fala de abastecimento de água em grandes metrópoles, fica difícil falar de uma solução que não tenha impacto. Para execução de barragens ou transferência de água são necessárias obras de engenharia que geram impactos. Esse impacto é avaliado em conformidade com as licenças ambientais de acordo com as agências responsáveis. Os impactos são todos mitigados e fazem parte do desenvolvimento (ESP-1).

A Figura 16 e 17 apresentam, respectivamente, o histórico do volume operacional armazenado na RMSP e no Sistema Cantareira – principal sistema produtor da RMSP que abastece quase 50% da população da região. Pelas figuras é possível visualizar os níveis de água nos reservatórios dos sistemas produtores no período de 2013 até 2020, onde o valor negativo representa a utilização de volume morto.

Figura 16 – Volume operacional armazenado na RMSP

Fonte: Autora

Figura 17 - Volume operacional armazenado somente no sistema Cantareira

Fonte: Autora

Nos últimos 10 anos, os volumes de chuvas foram baixos. Em setembro, outubro e novembro de 2020 as chuvas ficaram abaixo da média. Em 2020, só foi possível garantir disponibilidade de água na RMSP por causa dessas duas obras estruturantes que conseguiram fazer a transferência de água para o Sistema Cantareira (ESP-4).

Diante das adversidades relacionadas a gestão da água, a empresa busca ações para minimizar os desafios climáticos, e para isso investe em tecnologia, análises e simulações de cenários futuros voltados para a tomada de decisão. São seis os principais desafios climáticos impostos por variabilidades e mudanças climáticas: riscos climáticos desconhecidos, poluição hídrica, escassez de água, água em excesso, elevação do nível do mar e grandes desastres. Por

exemplo, no caso de escassez hídrica, essa falha pode ser combatida com ampliação da oferta – proteção de água da nascente, recarga de aquífero gerenciada, coleta de água da chuva para infiltração etc. – e gestão da demanda (SABESP, 2020e).

Para o mapeamento das diversas situações de riscos, faz parte da estrutura da empresa de saneamento que comanda o abastecimento de RMSP, os Centros de Controle de Mananciais Metropolitanos (CCM), inaugurado em 2018, que agiliza as informações sobre os reservatórios para as tomadas de decisões. Além das equipes obterem informações sobre os níveis, vazões e volumes em tempo real, qualquer cidadão pode consultar os boletins periódicos. Dentro do CCM, uma das principais tecnologias de apoio é o Sistema de Suporte à Decisão (SSD). O SSD foi desenvolvido em conjunto com o Laboratório de Sistemas de Suporte em Engenharia Ambiental e de Recursos Hídricos da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - LabSid/USP (SABESP, 2020e), resultado de uma tese de Doutorado de um colaborador da companhia (ESP-1). Esse sistema armazena um enorme volume de dados que, depois de passarem por uma modelagem computacional, são transformados em informações em forma de mapas, tabelas e indicadores para cada um dos mananciais e para os sistemas produtores (SABESP, 2020e).

Apesar do CCM ser recente, O SSD teve sua primeira versão desenvolvida em 1998, e já está em sua terceira versão. No início, a coleta de dados se baseava apenas no monitoramento dos mananciais, e agora envolve também informações sobre o clima, por meio de dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), com medidas de curto, médio e longo prazo, que são associadas a modelos hidrológicos para traçar cenários de longo prazo (SABESP, 2020e).

O Sistema SSD está em sua terceira geração e reúne informações da rede telemétrica online de monitoramento dos mananciais como níveis, volumes, pluviometria e vazões (SABESP, 2020l). A Figura 18 ilustra a evolução da tecnologia SSD utilizada nos mananciais. Com a utilização da tecnologia SSD nos mananciais é possível que a empresa simule todos os cenários possíveis para prever as eventuais variações dos reservatórios (SABESP, 2020e).

Figura 18 – Evolução da tecnologia SSD

Fonte: Sabesp, 2020e, p. 79

O SSD é alimentado por estações telemétricas a cada 10 minutos. Assim, todos os dados coletados por medidores de chuva, nível de vazão são transmitidos para uma unidade remota de armazenamento que faz transmissão dos dados para os sistemas de recepção localizado no centro de dados que é o SSD. A transmissão de dados coletados nas estações telemétricas é realizada por meio de rede de telefonia que utiliza ou a tecnologia GSM/GPRS ou os satélites, dependendo da região e sinal do local (SABESP, 2017). Foi feita uma visita a Agência Nacional de Águas - ANA para entender como eles faziam os controles pelas redes telemétricas para aprimorar as práticas já existentes na companhia (ESP-1).

A rede meteorológica possui foco em volume de água. Existe a intenção de adicionar ao CCM uma ferramenta para monitorar a qualidade da água. A criação de um centro com todas as informações necessárias para simulações e projeções é essencial para identificar rápido o problema, e para isso, a USP continua sendo principal parceiro (ESP-1).

O Quadro 14 abaixo identifica as principais soluções tecnológicas apresentadas pela companhia de saneamento para garantir a segurança hídrica da RMSP.

Quadro 14 – Soluções tecnológicas para garantir a segurança hídrica

Soluções	Objetivo	Parceiros	Resultados
Membrana Ultra Filtrantes	Baixo tempo para instalação e agilidade no processo.	Fornecedores da companhia/ FAPESP	Instalação no ABV e no Rio Grande para aumentar a produção de água e cooperação para o aprimoramento da técnica/ conhecimento.
Sistema Produtos São Lourenço	Atender com água tratada a população atendida pelo sistema Cantareira.	Parceria público privada (PPP) entre a companhia de saneamento/ e o grupo chinês China Gezhouba Group Corporation (CGCG)	Parceria público -privada (PPP) que garante financiamento. Permite o abastecimento de água, suprimindo a demanda da RMSP.
Interligação Jaguari – Atibainha	Retira água da Bacia do Paraíba do Sul e incorpora volume de água bruta ao sistema Cantareira.	Governo SP-MG-RJ.	Transferência de água para o sistema Cantareira contribuindo para o aumento do volume de água nos reservatórios – Acréscimo de 182,5 milhões de m ³ na reserva técnica 1 do Sistema Cantareira
SSD	Sistema de gestão de recursos hídricos e permite tomada de decisões rápidas para garantir o abastecimento da população	Universidade/ INPE	Tecnologia desenvolvida junto com a USP que reúne informações de dados hidrológicos utilizada para gestão dos recursos hídricos. Cooperação com outras instituições
Redes Telemétricas	Equipamentos que registram níveis e vazões de represas, rios, canais	Universidade	Todos os dados coletados de 10 em 10 minutos são consolidados no SSD. Cooperação com outras instituições.

Fonte: Autora

Um grande desafio para a companhia de saneamento é aumentar a oferta de água. A utilização de dessalinização, que em muitos lugares é vista como alternativa, não é viável para implantar na RMSP devido ao desnível em relação ao litoral que tornaria a implantação muito cara. A utilização de água da chuva em edificações para fins não potáveis colabora para diminuir a demanda de água e recebe o incentivo da companhia através de políticas tarifárias, no qual não é cobrado o tratamento de esgoto (ESP-1). Uma alternativa para aumentar a oferta de água, seria despoluir os rios que cortam a RMSP.

4.1.2 Preservação dos recursos hídricos

Existem dois grandes projetos da empresa de saneamento na RMSP que possuem o objetivo de revitalização dos principais rios que cortam a cidade de São Paulo, o Projeto Tietê

e o Novo Pinheiros comandados pela empresa. Para recuperação e preservação desses fluxos estão sendo utilizadas duas tecnologias emergentes. Uma delas é a nano bolha que ajuda na depuração das águas poluídas dos rios por meio da digestão da matéria orgânica e está sendo testada em um dos canais do rio Pinheiros. Essa tecnologia foi testada por universidades e já tem algumas empresas ofertando no mercado. Outra tecnologia que está sendo testada é a injeção de oxigênio supersaturado e dissolvido em uma grande seção do rio Pinheiros. Ela é uma tecnologia compacta que injeta uma grande quantidade de oxigênio no rio, gastando pouca energia e fazendo com que o rio se auto depure mais rápido. Para o rio Pinheiros, essa tecnologia de injeção de oxigênio é mais eficiente e deve entrar em operação para testes em escala real em 2021. É importante ressaltar que cada tecnologia tem uma utilização específica em cada ponto do rio (SABESP, 2020m).

A RMSP possui 18 mananciais, dentre eles mananciais urbanos e mananciais protegidos. As ações da companhia para manter os mananciais protegidos são bem diferentes do que é utilizado em mananciais urbanos. Os mananciais protegidos são de propriedade da empresa de saneamento e encontram-se em reservas preservadas com pouca interferência do homem, e são protegidas por um cinturão verde. Já os mananciais urbanos, a propriedade não é da companhia e existem muitos problemas como ocupações irregulares e disposição de esgoto (ESP-1).

Aproximadamente 40% da água tratada em estações de tratamento de água (ETA) são de mananciais vulneráveis. A Billings, por exemplo, já é pouco utilizada no abastecimento (ESP-1). O Guarapiranga é outro exemplo significativo pois recebe lixo e esgoto que são lançados indiscriminadamente (SABESP, 2020e). A companhia atua no programa Nossa Guarapiranga recuperando esse manancial que é um dos mais importantes mananciais da região junto com a prefeitura de SP. Utilizando barcos coletores e eco barreiras – bloqueios formados por boias em telas metálicas instalados na desembocadura dos afluentes das represas – são retirados materiais como sofás, plásticos, televisores, entre outros resíduos que contaminam os mananciais (SABESP, 2019b). Este serviço é realizado por embarcações específicas com capacidade de transportar até 40 mil litros de resíduos auxiliados por 2 barcos “transformers” que foram desenvolvidos pela companhia em parceria com a Fundação de Pesquisas Agrícolas e Florestais (FEPAF) da Unesp. Uma das embarcações possui um braço metálico capaz de retirar resíduos em até 6 m de profundidade (SABESP, 2018).

Os cuidados com as margens das represas refletem na qualidade da água bruta que será capitada para abastecimento. Por esse motivo, as estações de tratamento de água (ETA's) estão adaptadas para receber diferentes tipos de qualidade de água. O foco de uma ETA é a

qualidade, assim, os processos dentro dessas estações de tratamento já estão calibrados com as dosagens necessárias e torná-las ideais para o consumo. Quanto mais poluída a água mais complexo é o processo. Nessa linha, a água do Sistema Rio Claro sai mais barata na produção do que a água do Guarapiranga que utiliza a tecnologia de membranas ultra filtrantes para tratamento da água e que possui maior grau de poluição. No entanto, existe um limite de poluição para garantir a eficiência das tecnologias aplicadas nas ETA's e por isso a qualidade da água dos mananciais necessita grande controle. Se a qualidade do manancial baixar muito o tratamento não irá ser suficiente para garantir água com qualidade para a população (SABESP, 2020e).

Além disso, a poluição dos corpos hídricos causa outro problema para as ETA's que é a floração de algas. Elas se alimentam de matéria orgânica e crescem muito rápido. A companhia realiza um controle diário para evitar a multiplicação de algas que impedem o tratamento de água (SABESP, 2020e). As algas podem entupir filtros e reduzir a vazão de água tratada (ESP-1). Geralmente é utilizado produtos químicos e algicidas nos mananciais que são produtos que impedem a proliferação acelerada das cianobactérias (ESP-1; ESP-2). As algas que permanecem na água bruta podem causar gosto e odor na água que são combatidos com carvão ativado, que absorve os compostos na ETA. O problema é que o carvão ativado possui um limite de eficiência, e quando a carga de matéria orgânica é muito alta nem todos os compostos são adsorvidos (ESP-2). Existe outra tecnologia que já foi testada pela empresa e utilizada para substituir o uso de produtos químicos que é a aeração, utilizada no rio Itaquaquecetuba e se mostrou eficiente. Quanto menos produto químico, melhor a qualidade final da água (ESP-1). Outras tecnologias como oxidação avançada com a utilização do ozônio ou de peróxido de hidrogênio junto com ultravioleta existem para tratar odor e gosto sem a utilização de produtos químicos, mas não são viáveis para a RMSP, isso porque as tecnologias são muito caras e os volumes da região são imensas, tornando a alternativa inviável economicamente. Se o manancial está preservado não existe a necessidade de gastar com esse pré-tratamento pois a água não vai conter carga orgânica em excesso, e, conseqüentemente, não haverá proliferação de alga. O Cantareira e o Alto Tietê são exemplos de sistema que não precisam utilizar produtos químicos (ESP-2). Um dos temas da chamada pública de pesquisa FAPESP nº 13985 de 2020, em cooperação com a companhia de saneamento, foi voltado para soluções que visam minimizar a floração de algas dos corpos hídricos, e, por consequência, diminuir os impactos negativos da água e para desenvolvimento de soluções para tratamento de água que removam substâncias que causam gosto e odor (FAPESP, 2020).

O programa Cinturão Verde dos Mananciais Metropolitanos é uma iniciativa da empresa com foco na preservação dos mananciais e reúne ações de recuperação da cobertura vegetal e da preservação da mata nativa do entorno das represas (SABESP, 2020e). Assim, o programa colabora com a mata ciliar e reflorestamento de regiões perto de represas, e possui como parceiro o Governo do Estado de São Paulo que atua por meio do Programa Nascentes do Governo do Estado de SP (SABESP, 2019b).

No ano de 2020 foi aprovado o Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental (APA) do Sistema Cantareira com a colaboração da companhia. O plano é um documento que projete os recursos hídricos da região, especialmente os reservatórios que compõem o sistema e seus rios formadores (SABESP, 2020g). O plano teve início em 2012 e foi finalizado em meados de 2015 com a participação do Instituto de Pesquisas Ecológicas, porém não chegou a ser submetido à aprovação do CONSEMA (SABESP, 2020g). Em 2019 o estudo foi retomado com atualização dos dados da equipe da Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente, consultas públicas e com a participação dos conselhos municipais de defesa do meio ambiente – CONDEMAS – dos municípios envolvidos. O zoneamento da APA do sistema Cantareira está dividido em três zonas distintas com objetivos e diretrizes próprias: zona de uso sustentável (ZUS) – que visa compatibilizar os diferentes usos existentes no território e minimizar impactos negativos sobre recursos ambientais; zona de proteção de atributos (ZPA) – proteger áreas de alta relevância social e ambiental visando a conservação de biodiversidade e recursos hídricos; e zona de uso especial (ZPE) – reconhecer e fortalecer os territórios protegidos que visam preservar a natureza, sendo admitidos somente o uso indireto de recursos naturais observando regramentos específicos (SABESP, 2020g).

As soluções baseadas na preservação da natureza colaboram com a segurança hídrica e complementam as obras cinzas – obras de infraestrutura. A companhia realiza vigília constante em 44,53 mil hectares distribuídos nos sistemas Cantareira, Rio Claro, Alto Cotia e Capivari. A Figura 19 ilustra as obras verdes relacionadas a conservação e recuperação florestal (SABESP, 2020e).

Figura 19 – Obras cinzas e obras verdes relacionadas a conservação e recuperação florestal

Fonte: Sabesp, 2020e, p. 95

Existe grande dificuldade em monitorar as áreas do entorno dos mananciais e por isso existe a intenção de tentar realizar essa fiscalização por meio de drones (ESP-1).

O Quadro 15 sintetiza as principais tecnologias utilizadas na RMSP para garantir a preservação dos recursos hídricos.

Quadro 15 – Tecnologias utilizadas para preservação de fluxos hídricos

Tecnologia	Objetivo	Parcerias	Resultados
Eco barreiras	Filtrar materiais grosseiros do rio	Companhia de saneamento/Universidade/Prefeitura de SP	Retirada de lixo do Sistema Guarapiranga, aumentando a qualidade da água dos mananciais. Universidade com papel central no desenvolvimento de novas soluções e da capacidade tecnológica
Nano bolhas/ Injeção de oxigênio	Aumentar o nível de oxigênio nos rios e diminuir a carga de matéria orgânica	Companhia de saneamento / Universidades	Menor carga de matéria orgânica presentes nos rios. Universidade com papel central no desenvolvimento de novas soluções e da capacidade tecnológica
Produtos Químicos e Algicidas	Combate as algas	Fornecedores da companhia / FAPESP	Diminuir a presença de algas na água bruta
Carvão Ativado	Combater gosto e odor na água	Fornecedores da companhia	Produção de água sem gosto e odor
Drones	Conservação da área verde do entorno dos mananciais	Fornecedores da companhia	Fiscalização. Tecnologia obtida no mercado.

Fonte: Autora

Cada vez mais, a companhia busca por tecnologias novas que melhore a qualidade da água tratada, no entanto, a poluição torna o processo mais caro. No fim, o mais barato sempre vai ser preservar o manancial (ESP-3).

Os recursos hídricos disponíveis nas bacias hidrográficas que atendem a RMSP também fazem parte de outras atividades além do abastecimento, como geração de energia, recreação e até mesmo turismo. A gestão da água precisa contemplar essas diversas finalidades, e para isso é importante a integração das partes interessadas como órgãos de instâncias federais, estaduais e municipais, entidades acadêmicas, institutos de pesquisas, empresas de saneamento e a sociedade civil, que inclui empreendedores, proprietários rurais e cidadãos (SABESP, 2020e).

4.1.3 Busca por eficiência energética

Em 2019, o consumo total de eletricidade da companhia foi de 9.123 TJ, sendo que o consumo de eletricidade por água produzida e esgoto tratado foram, respectivamente, 0,72kwh/m³ e 0,47kwh/m³. O Quadro 16 mostra a evolução do consumo de eletricidade desde 2015 (SABESP, 2019b).

Quadro 16 – Consumo de eletricidade da companhia

Indicadores	Unidade	2015	2016	2017	2018	2019
Consumo total de eletricidade	TJ	7.726	7.895	8.341	8.940	9.123
Consumo de eletricidade/m ³ de água produzida	KwH	0,72	0,67	0,68	0,73	0,72
Consumo de eletricidade/m ³ de esgoto tratado	KwH	0,47	0,43	0,46	0,45	0,47

Fonte: Autora “adaptado de” Sabesp, 2019b, p. 12

O quadro mostra que o consumo total de eletricidade aumentou ao longo dos anos, o que se justifica pelo aumento de infraestrutura. A companhia iniciou em 2019 a estruturação de um Programa de Geração Distribuída que integra o Plano de Gestão de Energia. A primeira etapa do programa consistiu na identificação de 30 localidades para implantação de Usinas Fotovoltaicas (UFVs), totalizando capacidade de instalação de 60 MW ou 65% do consumo de energia da própria Companhia (SABESP, 2019b). No entanto, esse programa não é direcionado para a RMSP, isso porque o custo das áreas/terrenos é muito elevado e a radiação solar média não é alta, fatores que contribuem para a não viabilidade econômica da implantação dessas usinas na região (ESP-6).

A energia que a empresa compra no mercado livre é mais barata que a energia produzida por uma usina fotovoltaica. A viabilidade econômica só existe quando você consegue utilizar a energia fotovoltaica em escritórios e outras instalações de baixa tensão (ESP-2).

Por isso, existe o investimento em energia fotovoltaica para geração distribuída, utilizando o dispositivo de autoconsumo remoto, com o objetivo de promover maior eficiência econômica pois ele permite que se abata o consumo de instalações de baixa tensão. As tarifas de baixa tensão são as mais caras, então acaba resultando em vantajosidade econômica para a empresa. Hoje, não existe uma usina fotovoltaica na RMSP, existe a intenção de implantar uma usina na ETE Suzano e outra flutuante na ETA Taiacupeba, mas ambas com o objetivo de abater energia das instalações de baixa tensão (ESP-6).

Para um consumo mais eficiente, a companhia desenvolveu um novo conceito de contratação de equipamentos que considera o valor de consumo de energia projetado para os

três primeiros anos de operação. Isso possibilita que os novos equipamentos adquiridos sejam mais eficientes e consumam menos energia elétrica (SABESP, 2019b). Assim, por meio de um novo dispositivo de contratação, a companhia busca, desde a fase do projeto, selecionar equipamentos com maior eficiência. Isso porque o investimento no equipamento em si equivale a 5% do valor total da vida útil, portanto, gastar energia com equipamento ineficiente é muito oneroso para a companhia (ESP-6).

Existe uma grande dificuldade em se avaliar a eficiência energética na área de saneamento. Os equipamentos de grande porte, são exclusivos e projetados para uma determinada operação, ou seja, a eficiência dos equipamentos já é acima da média. Existe uma auditoria de avaliação que é responsável por avaliar o rendimento dos equipamentos, mas existe a falta de padrão de referência para realizar as avaliações energéticas para calcular a eficiência do conjunto. Foi com a agência reguladora de Portugal e, em paralelo, com o antigo Ministério das Cidades que fez uma parceria com uma empresa alemã de fomento – GIZ, que se definiu um padrão para avaliação da eficiência das estações elevatórias de água. Cerca de 20% do gasto com energia é nos processos de água. Não existe uma metodologia para estações de esgoto (ESP-6). Atualmente, tenta-se localizar os principais pontos de gasto de energia e procura-se as melhores tecnologias para poder reduzir o consumo de energia (ESP-2; ESP-6). Porém, existe dificuldade em encontrar onde existe potencial nos processos para reduzir o consumo de energia para investir em novos equipamentos. As empresas de serviços de energias – ESCOs – são parceiros da companhia no sentido de contribuir para o desenvolvimento de ações de eficiência energética. Como o processo público é muito complexo para a contratação de serviços, existe um esforço para desenvolver o mercado para que essas empresas, além do serviço de conservação de energia, estejam preparadas para realização de diagnóstico prévio (ESP-6).

Existem pequenas iniciativas da empresa como a utilização de painéis solares nas redes telemétricas da RMSP (ESP-1). Outra alternativa que está sendo estudada envolve a colocação de turbinas em adutoras para geração de energia (ESP-2). Ainda, existem pesquisas considerando a utilização do biogás gerado no tratamento de esgoto para utilização no próprio processo ou como combustível de carros. O biogás é equivalente ao GNV – Gás Natural Veicular – o que facilita sua utilização e adaptações nos veículos (SABESP, 2020m).

O Quadro 17 sintetiza as principais tecnologias ambientais discutidas nesse capítulo.

Quadro 17 – Tecnologias que visam eficiência energética.

Tecnologia	Objetivo	Parcerias	Resultados
Usinas Fotovoltaicas	Energia alternativa	Fornecedores da companhia de saneamento	Intuito de utilizar energia renovável e limpa. Inviável economicamente na RMSP.
Equipamentos mais eficientes	Maior eficiência energética	Agência Reguladora de Portugal; Ministério das Cidades e GIZ; ESCOs	Mapear atividades na busca por menor consumo de energia e maior produtividade. Cooperação entre instituições
Soluções em estudos (biogás, turbinas em adutoras)	Buscar novas fontes de energia	Companhia de saneamento/ Instituições/ Universidades	Soluções em estudos em busca de energias alternativas.

Fonte: Autora

De modo geral, não existe uma diretriz na empresa a respeito de utilização de energia de fontes renováveis. É preciso que essa questão entre na pauta de discussões da companhia como uma empresa de saneamento, responsável e amiga do meio ambiente (ESP-6). A chamada de pesquisa FAPESP 2020 em cooperação com a companhia de saneamento lançou um tema esperando soluções que busquem eficiência energética no setor (FAPESP, 2020).

4.2 PRINCÍPIO 2: MANTER A ÁGUA EM USO

Este capítulo apresenta as principais ações da empresa de saneamento na RMSP que envolvem evitar o consumo de água, reduzir perdas, reciclar e reutilizar a água residual, viabilizando os loops que caracterizam um modelo de Economia Circular e que otimizam o sistema municipal de distribuição, uso, coleta e tratamento da água.

4.2.1 Evitar o consumo desnecessário de água

Aproximadamente 85% do volume de água produzido pela companhia vai para as residências. O restante abastece indústrias, comércios e áreas públicas. A soma de desperdício é alta e por isso é importante a ação conjunta da população. Após a crise hídrica, novos hábitos foram consolidados (SABESP, 2019b), e o consumo diário per capita hoje é menor que o consumo anterior a 2014. O Quadro 18 ilustra o consumo diário per capita dos usuários da RMSP.

Quadro 18- Consumo diário per capita as RMSP

FEV/2014	162 litros/hab.dia
MAIO/2014	141 litros/hab.dia
MAIO/2015	116 litros/hab.dia
MAIO/2016	123 litros/hab.dia
MAIO/2020	128 litros/hab.dia

Fonte: Sabesp, 2020e, p. 105

O Programa de Uso Racional de Água (PURA) é uma iniciativa da empresa de saneamento pela promoção do consumo consciente da água por meio de readequação da estrutura hidráulica em parceria com instituições públicas. O objetivo é evitar o desperdício da água, diminuir despesas operacionais e promover a conscientização (SABESP, 2019b). Após a adesão – municipal, estadual ou federal – as escolas, hospitais, banheiros públicos, creches ou penitenciárias recebem equipamentos de baixo consumo, novos encanamentos e manutenção de vazamentos localizados. Paralelamente são realizadas palestras sobre o uso consciente da água, com o objetivo de formar multiplicadores da mensagem de uso consciente. Se atingida a meta de redução do consumo previamente estabelecida, os entes públicos participantes recebem desconto de 25% nas tarifas (SABESP, 2019b). A companhia oferece ações para evitar o uso desnecessário da água e o participante da repartição é responsável por elaborar um plano de ação. O PURA tem como principal parceiro a Associação Brasileira dos Fabricantes de Materiais para Saneamento – ASFAMAS – que, por meio de um processo de auditoria e avaliação - garante a qualidade e modernização dos equipamentos utilizados nas instalações hidráulicas encontrados em lojas de varejo. A principal dificuldade desse programa está na burocracia dos processos e a alta rotatividade de colaboradores da entidade pública (ESP-5). A participação das partes interessadas é condição básica para uma gestão adaptativa dos recursos hídricos e a melhor estratégia no sentido de envolver os usuários é por meio de tecnologia (SABESP, 2020e).

Os canais de comunicação, como aplicativos de celular, aproximam os clientes da atuação da empresa, como no caso dos mananciais que são a fonte de água que é utilizada para os mais diversos tipos de atividades. Entre as plataformas desenvolvidas, destaca-se o Portal dos Mananciais. A empresa acredita que quando os usuários reconhecem a existência e vulnerabilidade desses recursos, o engajamento aumenta (SABESP, 2020e). O Quadro 19 apresenta a relação das soluções existentes para estimular o consumo consciente na RMSP.

Quadro 19 – Soluções tecnológicas para evitar o consumo desnecessário

Tecnologia	Objetivo	Parcerias	Resultados
Materiais hidráulicos eficientes	Modernizar as instalações hidráulicas prediais	Asfamas/ Instituições públicas	Evitar desperdício de água. Cooperação entre instituições
Canais de comunicação/ Aplicativos	conscientização	Clientes	População com hábitos sustentáveis.

Fonte: Autora

Apesar de não fazer parte dos processos da companhia, o reaproveitamento doméstico e industrial da água para fins não nobres e a utilização de água da chuva de acordo com as normas vigentes são vistos como práticas essenciais para colaborar com a preservação desse recurso. Após a crise hídrica de 2014/2015, é possível perceber uma mudança de hábito na população por meio dos valores do consumo médio diário que vem caindo significativamente (ESP-5).

4.2.2 Reduzir as perdas de água durante o abastecimento

Um pilar fundamental para a promoção da segurança hídrica e de abastecimento é a redução das perdas. Há mais de duas décadas, o combate às perdas de água faz parte da rotina operacional da empresa de saneamento. Existem dois tipos de perdas: comerciais e reais. As perdas comerciais são as consumidas, mas não contabilizadas e decorrem de fraudes, falhas em cadastro, envelhecimento de equipamentos e submedição de hidrômetros. Já as perdas reais correspondem aos vazamentos (SABESP, 2019b).

Em 2009, este trabalho foi intensificado com a criação do Programa Corporativo de Redução de Perdas. E em 2012 passou a ter a parceria financeira e tecnológica da *Japan International Cooperation Agency* - JICA , Agência de Fomento do Japão. O financiamento do JICA disponibilizou recursos para melhoria de infraestrutura relacionada à rede de abastecimento e serviços de consultoria visando atender a demanda de água. O financiamento é destinado à renovação e medidas contra vazamentos (JICA, 2012). Os resultados alcançados são transformados em índices de perda de água por domicílio por dia (IPDt). A Figura 20 mostra o valor das perdas de água na RMSP nos últimos 10 anos (SABESP, 2020e).

Figura 20 – Perdas de água nos últimos 10 anos

Fonte: Sabesp, 2020e, p. 99.

A redução de perdas pode ser feita por meio de tecnologias de redução de pressão que é recomendada pela Comissão Europeia e praticada rotineiramente pela companhia. Os valores de pressão são controlados durante 24 horas do dia e intensifica no período noturno, quando há menor consumo, como uma forma de evitar perdas de água por vazamento e rompimento de tubulações. Essa prática é aplicada por meio de equipamentos instalados na rede de abastecimento da RMSP (SABESP, 2020b).

Para identificação de vazamentos, a tecnologia que se utiliza hoje é a escuta (ESP-2). Esse tipo de detecção depende de o operador escutar o tipo de som que existe em um local por meio de uma haste ou um sensor e, pelo ruído, o vazamento é localizado. Esse tipo de serviço, geralmente, é feito a noite e pode gerar muita imprecisão (SABESP, 2020m).

Por causa dessas imprecisões, a companhia buscou desenvolver outras tecnologias em parcerias com Universidades (ESP-2, ESP-4). Uma tecnologia são os correlacionadores de ruídos nacionais. O correlacionador de ruídos é uma das tecnologias mais eficientes para redução de perdas (ESP-4) e já existem no hemisfério norte, porém eles não são feitos para o solo brasileiro e para utilizá-los seria necessário tropicalizá-los, processo que seria muito caro (ESP-2). Além disso, o próprio equipamento é muito caro, o que torna difícil sua utilização em larga escala (ESP-4). Por meio de uma chamada pública em cooperação com a FAPESP, foi proposto um correlacionador nacional, com as especificações do solo brasileiro, direcionado para as características e demandas do Brasil e que representa de 10% a 15% do valor do correlacionador importado (ESP-2; ESP-4). Essa tecnologia possui um sensor que se autocalibra e que emite ondas que fazem com que seja possível determinar o coeficiente do solo, ela ainda é um protótipo, porém muito mais barato que o equipamento do exterior e que se for lançada no mercado, pode ter seu valor ainda mais reduzido (SABESP, 2020m). A

companhia está em fase de jogar essa ideia para *startups* ou microempresas para desenvolver a tecnologia no mercado brasileiro e expandir sua utilização. Outra tecnologia desenvolvida foi baseada nos tipos de ruídos de um vazamento, e a partir disso foi montado um banco de dados padronizado para relacionar o ruído ao vazamento de fato (ESP-4). Assim, a companhia desenvolveu junto com a Universidade um processo de escuta que o som vai para um sistema e passa a fazer parte de um banco de dados. O banco de dados é composto por diversos sons relacionados a vazamentos. Esse banco de dados é acoplado por um GPS e vai detectar sons relativos a vazamento automaticamente e encaminhar para uma central de acompanhamento. É um sistema muito mais preciso (SABESP, 2020m). Existem mais tecnologias no mercado que são boas, mas se tornam inviáveis devido ao alto custo, como os *smart grids*. Não é viável utilizar essa tecnologia pois além de ser facilmente roubada, ela é muito cara e o investimento não é absorvido pelas tarifas reguladas da empresa (ESP-4).

Em 2019 foram investidos R\$ 930 milhões para a troca de redes, substituições de ramais e hidrômetros, e execução de redes. Foi iniciada na RMSP a instalação de hidrômetros inteligentes – um tipo de *smarts grids* – somente nos maiores clientes, que passaram a ter o consumo medido de maneira remota por meio da tecnologia IoT. Essa tecnologia permite que sejam identificadas com maior rapidez as anomalias de consumo no período noturno, indicando vazamentos (SABESP, 2019b) e são ótimos instrumentos para identificação de fraudes (ESP-4). No entanto, ainda não é possível para empresa utilizar os hidrômetros inteligentes em larga escala pois os preços unitários são elevados (ESP-4).

A utilização da tecnologia de tubos em PEAD também contribui para diminuição de perdas (ESP-2; ESP-4). No início, a companhia teve dificuldades com a utilização de tubos nesse material pois, além de ser mais caro, o PEAD na cor preta podia conter impurezas, ocasionando vazamentos. Após estudos, reuniões com fornecedores e regulamentação feita pela companhia, é exigido PEAD na cor azul que garante um material de qualidade sem impurezas (ESP-4). Com o compromisso da empresa em utilizar o tubo em PEAD (ESP-4) e o compromisso dos fornecedores em se qualificarem, hoje o material é amplamente utilizado para combate às perdas na companhia (ESP-2).

O Quadro 20 relaciona as principais soluções tecnológicas consideradas pela companhia para redução de perdas na RMSP.

Quadro 20- Tecnologias para redução de perdas de água

Tecnologia	Objetivo	Parcerias	Resultados
Correlacionadores de ruídos	Identificação de vazamentos	Universidade	Protótipo desenvolvido com Universidade com o intuito de jogar a ideia para o mercado
Banco de dados para identificação de ruídos	Identificação de vazamentos e controlar consumo	Universidade	Estudos e testes em cooperação com Universidades.
Hidrômetros inteligentes	Consumo medido de maneira remota por meio de tecnologia IoT	Grandes clientes	Controle maior do consumo, perdas e fraudes.
Tubos PEAD	Diminuir as perdas de água ao longo do percurso da água	Fornecedores da companhia	Menos vazamentos ao longo da distribuição de água.

Fonte: Autora

Somado ao uso de tecnologias, destaca-se que a maioria dos contratos que envolve combate a perda são de terceiros, feitos por meio de licitação. Esses contratos, muitas vezes não trazem mão de obra especializada e a qualidade do serviço fica abaixo do esperado. Investimento em mão de obra é um fator essencial para melhorar os serviços (ESP-2).

4.2.3 Reciclar os subprodutos provenientes do esgoto

O sistema principal de esgoto da RMSP é formado por 5 ETEs: ETE Barueri, ETE ABC, ETE Parque Novo Mundo (PNM), ETE São Miguel e ETE Suzano. Todas elas utilizam o tratamento por lodos ativados, sendo que o principal resíduo gerado é o lodo (SABESP, 2007). O sistema de lodos ativados tem como objetivo degradação da matéria orgânica em que a eficiência atinge 90% e consiste em duas fases líquida (efluente) e sólida (lodo). O efluente é devolvido ao meio ambiente após passar pelos tanques de aeração e processo de sedimentação. Já a fase sólida – lodo gerado durante o tratamento – passa por um tratamento que gera um volume reduzido de lodo e biogás. Posteriormente, o lodo é depositado em aterros sanitários (SABESP, 2020j) e o biogás é queimado e transformado em CO₂ (ESP-4).

As linhas dos projetos desenvolvidos pela empresa procuram alternativas para o tratamento do efluente para diversos fins e destinação alternativa para o lodo, principal resíduo sólido proveniente do tratamento de água e de esgoto (SABESP, 2019b). As tecnologias para tratamentos de efluentes envolvem desde o uso de membranas ultra filtrantes até a utilização de osmose reversa, dióxidos de cloro e peróxido de hidrogênio (ESP-3). Já para o tratamento de lodo, a companhia tem realizado uma série de estudos e projetos dentro do conceito de economia circular voltados a destinação final desse resíduo, em busca de soluções economicamente viáveis e ambientalmente amigáveis (SABESP, 2019b).

Os lodos produzidos nas estações de tratamento de água e esgoto são diferentes. O lodo produzido em ETAs não possuem matéria orgânica, ele é mais mineral. É mais difícil fazer algum uso desse lodo com valor agregado, mas existem estudos no sentido de utilizar esse tipo de lodo em indústrias cimenteiras ou em indústrias cerâmicas como insumo para produção de blocos. Essa utilização depende de licenciamento da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB. Já a destinação do lodo do esgoto é mais fácil e conhecida. Quando o esgoto é doméstico, geralmente não apresentam patógenos e são classificados como Classe B. Esse tipo de lodo pode ser tratado e utilizado na agricultura. Como esse lodo proveniente do esgoto possui alta carga orgânica, ele também pode ser utilizado como energia (ESP-2).

Houve um convênio entre a companhia e a ESALQ-USP, formado nos anos 2000, para estudar a aplicação de torta e pallets em florestas plantadas de eucaliptos. Como resultados, houve ganho na produtividade em relação ao fertilizante comercial de cerca de 10 a 20% sem ocorrência de danos ambientais (SABESP, 2007). O departamento de Ciências Florestais coordenou a pesquisa patrocinada pela companhia de saneamento, FABESP, FINEP/PROSAB e CNPq, incluindo também uma rede experimental constituída por empresas florestais que integravam o Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF). Os principais experimentos envolviam a aplicação crescente de biossólidos ao solo em plantações de eucaliptos na forma de tortas ou *pallets* produzidos na ETE Barueri. No final do primeiro semestre de 2005 foram testados novos biossólidos provenientes das ETE's PNM, e São Miguel. Esses primeiros estudos despertaram os interesses da aplicação de biossólidos em cultura agrícola em função da economia de fertilizantes minerais (POGGIANI; SILVA, 2005).

As características dos efluentes influenciam nas opções de destino do lodo, e hoje, na RMSP, não é viável transformar o lodo em fertilizantes para utilização na agricultura pois você tem efluentes industriais, mas é possível utilizar esse lodo e transformá-lo em energia (SABESP, 2020m). Atualmente, todo o lodo gerado na RMSP é destinado para aterros sanitários (ESP-2). A região concentra somente estudos que visam o melhor gerenciamento de lodo e ainda não existe a solução mais apropriada, existem pesquisas. O lodo deve ser pensado de forma sistêmica, o processo da parte sólida e gasosa devem ser estudados a fim de reduzir o volume desse resíduo (ESP-2).

A ETE Barueri é a maior planta de tratamento de esgotos da América do Sul e responsável por mais da metade de todo volume de esgoto tratado na RMSP (SABESP, 2019b). Em 2016 foi lançada uma chamada pública para contratação de empresa privada para

destinar o lodo gerado e gerar energia a partir do biogás, durante 30 anos. Hoje, a ETE Barueri concentra importantes iniciativas da empresa de saneamento como o tratamento térmico do lodo com a tecnologia do plasma, financiado pela Financiadora de Estudos e Projetos – Ministério da Ciência e Tecnologia - Finep. O processo é feito num gaseificador por plasma que recebe o lodo que passa, inicialmente, por uma secagem a baixa temperatura (200°C), antes de ser gaseificado e inertizado nas tochas de plasma à uma temperatura de 1400°C. Assim, parte do resíduo é transformado em gás que pode ser utilizado como energia, e parte é transformado em material vítreo (DAE, 2016). Em 2019, junto com a Cetesb, foi iniciado o processo de licenciamento para utilização desse resíduo vítreo para reaproveitamento na construção civil dentre outros usos. A ETE Barueri também foi escolhida para implantação do *Waste to Energy*, projeto que promoverá o tratamento térmico e destinação ambientalmente adequada associada a geração de energia a partir do biogás produzido na estação (SABESP, 2019b). Em 2016 foi realizado um workshop entre técnicos da companhia de saneamento e da Dinamarca para trocas de conhecimentos a respeito da geração de biogás e utilização do resíduo lodo como energia. Por representar 55% do volume de esgoto tratado pela companhia, a ETE Barueri foi escolhida para ser a primeira a testar essa operação (DAE, 2016).

Outra solução para o tratamento de lodo que pode ser utilizada na RMSP é a hidrólise para poder melhorar a digestão do lodo, e esse processo permitiria uma redução no volume de lodo e maior produção de biogás que poderia ser reutilizado o próprio processo de hidrólise (ESP-2; ESP-04). A hidrólise associada ao biodigestor é uma tecnologia que está sendo utilizada em larga escala no mundo. Ela reduz o volume do lodo em quase 30% e aumenta a produção de biogás em 15% que pode ser utilizado para cogeração. No entanto, existe uma resistência da empresa de saneamento em relação a mudanças de processos devido ao alto custo de implantação que pensa em um retorno a curto prazo. A um longo prazo, em 4 ou 5 anos você possui um retorno somente com redução de custo operacional (ESP-4).

De forma geral, nas ETEs que utilizam a tecnologia de lodos ativados e que possuem biodigestores, é possível produzir o biometano, a partir do biogás por meio de um sistema de beneficiamento, de modo mais fácil e conhecido, a partir de adequações mais simples. Só que existem outras estações que utilizam outras técnicas para o tratamento de esgoto, como a técnica de oásis, em que a captação do biogás se torna complexa e, nesses casos, as alterações são menos viáveis. Existe uma linha de estudo que é sobre como captar metano de estações de tratamento que utilizam processos de lagoas e oásis (ESP-4).

A chamada da FAPESP nº 13983 de 2020, em continuidade com acordo de cooperação para o desenvolvimento tecnológico junto com a companhia de saneamento, tiveram como um dos temas o desenvolvimento de estudos e pesquisas sobre a hidrólise com o objetivo de melhorar a digestão anaeróbica do lodo, contribuindo para uma melhor gestão desse resíduo sólido nas estações de tratamento de esgoto. Além disso, essa chamada FAPESP, junto com a empresa de saneamento, lançou outros temas com o intuito de buscar soluções para a empresa utilizando membranas ultra filtrantes e osmose reversa para atender a qualidade requerida para o tratamento de efluente, para posterior reuso. A osmose reversa é uma das tecnologias mais promissoras pois são capazes de remover patógenos microbiológicos e produtos químicos orgânicos, estes últimos incluem contaminantes regulamentados e de preocupação emergente, como hormônios, produtos farmacêuticos, disruptores endócrinos e produtos para cuidados pessoais (FAPESP, 2020).

O Quadro 21 apresenta as soluções tecnológicas utilizadas para reciclagem do esgoto na RMSP.

Quadro 21 – Soluções tecnológicas para reciclagem do esgoto

Tecnologia	Objetivo	Parcerias	Resultados
Membranas ultra filtrantes	Tratamento do efluente	Fornecedores da companhia/FAPESP	Permite o reuso do efluente para outros fins
Membranas (ultra filtrantes, osmose reversa)	Tratamento do efluente	Fornecedores da companhia/FAPESP	Permite o reuso do efluente para outros fins
Hidrólise associada a biodigestor	Tratamento de lodo e produção de biogás	Pitch/FAPESP	Diminui a produção de lodo e maximiza a produção de biogás
Plasma	Tratamento do lodo	Dinamarca/FINEP/CETESB	Utilização do lodo como material vítreo e energia

Fonte: Autora

A crise hídrica de São Paulo impulsionou as discussões sobre as possibilidades de reuso da água, a partir da reciclagem do efluente, e uma das tecnologias mais utilizadas para a produção de água de reuso é a membrana de osmose reversa Osmose Reversa. A chamada FAPESP junto com a companhia possui como objetivo expandir a discussão no âmbito técnico, econômico, regulatório, para definição de critério específicos mínimos de atendimento para que o processo de osmose reversa seja considerado aceitável como fonte alternativa para o abastecimento (FAPESP, 2020).

4.2.4 Reutilização de água residual

A água de reuso é produzida dentro das estações de tratamento de esgoto e pode ser utilizada para as mais diversas finalidades como a geração de energia, refrigeração de equipamentos, aproveitamento em processos industriais e limpeza das ruas (SABESP, 2020c). A companhia oferece mais de 468 milhões de litros de água de reuso na RMSP, nas Estações Parque novo mundo, São Miguel, Barueri, Jesus Netto e ABC (SABESP, 2020c).

A ETE Jesus Netto localizada no Ipiranga é a mais antiga da companhia – inaugurada em 1935 - e é pioneira em produção de água de reuso para fins industriais – desde 1998. Até 1980, a ETE funcionou como centro de pesquisas e desenvolvimento de novas tecnologias e se tornou uma estação-escola para formações profissionalizantes em processos de tratamento (PSB, 2016). Para a produção de água de reuso, houve a necessidade de adaptar as tecnologias de tratamento para atender as necessidades de qualidade da região (SABESP, 2020c).

Outra iniciativa de produção de água de reuso industrial é o Aquapolo Ambiental que foi criado em 2010 pela Foz do Brasil – empresa de soluções ambientais da Organização Odebrecht – e companhia de saneamento do Estado de São Paulo. O projeto entrou em operação em 2012 e inclui uma estação de produção de água de reuso (SABESP, 2012) para o setor petroquímico da região do ABC Paulista. O volume produzido poupa o consumo diário equivalente a uma cidade de 500 mil habitantes (SABESP, 2020c). Para o uso industrial o efluente passa por um tratamento com tecnologia de ponta. Ele é captado e bombeado para filtros de discos onde ocorre filtração. A partir daí, segue para o tanque com biorreator que permite o tratamento terciário a partir de membranas ultra filtrantes que retém sólidos e até bactérias. A osmose reversa é o próximo passo que tem como objetivo baixar a salinidade e outros elementos tornando o produto próprio para a utilização (SABESP, 2012). O que permitiu o sucesso do Aquapolo foi a existência de uma demanda do polo petroquímico de Mauá (ESP – 2; ESP – 3).

Em relação a ETE São Miguel, algumas indústrias estavam interessadas em utilizar a água de reuso em seus processos, no entanto, o preço final da água de reuso não atendeu as expectativas das indústrias e o projeto não foi viabilizado. Assim, no caso do reuso industrial, é importante primeiro buscar os clientes para depois viabilizar o uso (ESP-2). A tecnologia para o reuso já existe, basta você acertar a tecnologia para atender as necessidades da qualidade de água utilizada nos processos industriais (ESP – 2; ESP - 3). A utilização de grandes volumes de água de reuso, que é significativo para aliviar a demanda da RMSP, é das

grandes empresas (ESP – 3). No caso do abastecimento público, depende da aceitação da população (ESP – 2).

Quadro 22 – Tecnologias para produção de água de reuso industrial

Tecnologia	Objetivo	Parcerias	Resultados
Combinação de tecnologias (filtração, membranas ultra filtrantes, osmose reversa ; peróxido de hidrogênio)	Tratamento do efluente	Indústrias/ Usuários/FAPESP	Utilização de água de reuso para diversos fins. Depende da existência de demanda.

Fonte: Autora

A companhia de saneamento está começando a considerar o reuso potável indireto (RPI). O primeiro projeto de RPI foi apresentado no último plano diretor que fez uma avaliação das possíveis localizações de água para poder utilizar como reuso e aumentar o volume dos mananciais. No entanto, as últimas obras garantem disponibilidade hídrica e o sistema está mais robusto e menos dependente desse tipo de solução. Já o reuso potável direto é um sistema muito mais complexo, que exige um monitoramento bem consolidado para controle de uma água com qualidade. Além de ultrafiltração, osmose reversa, deve existir um monitoramento biológico dessa água. Esse monitoramento precisa de um sistema de *clusters* que não podem ter problema com qualidade da água, pois caso exista problemas, essa água deve ser totalmente descartada. Atualmente, não há viabilidade para o reuso potável direto na RMSP (ESP-3). As tecnologias existem, mas o alto controle de qualidade e o “*tabu*” que existe em relação ao reuso da água de esgoto é muito grande (ESP-2).

4.3 PRINCÍPIO 3: EXTERNALIDADES

A oferta de infraestrutura de saneamento reflete diretamente na redução de mortalidade infantil, na queda de doenças por veiculação hídrica, na melhor qualidade de rios e mananciais e na valorização do setor imobiliário e do turismo. A RMSP possui características como superpopulação, grande extensão territorial e ocupação desordenada e por isso a companhia de saneamento desenvolve diversas ações que contribuem para a expansão da infraestrutura de saneamento (SABESP, 2019b).

O Projeto Tietê, programa de saneamento da companhia, tem como objetivo a realização de obras estruturantes para coletar e transportar o esgoto da metrópole até as estações de tratamento, e configura o maior programa de saneamento ambiental do país. Ao todo foram realizadas 1,8 milhões de ligações domiciliares de esgoto e a instalação de 4,5 mil

quilômetros de interceptores, coletores tronco e rede para coletar e transportar o esgoto da metrópole até as estações de tratamento, cuja capacidade instalada de tratamento foi triplicada de 805 mil litros por segundo de 1992 para os 26 mil litros por segundo em 2019. Faz parte do Projeto a ampliação da infraestrutura do município de Guarulhos, assumido em 2019 pela companhia, onde os índices de saneamento são muito baixos e estão sendo projetadas obras necessárias para avançar no tratamento de esgoto e diminuir a carga poluidora que chega no rio Tietê. Em 2019 foi investido R\$ 454 milhões nesse Projeto, com destaque para execução de empreendimentos do Interceptor Tietê, Estação Elevatória de Esgoto Piqueri, novo Coletor Tronco Anhangabaú e o Interceptor Tamanduateí. Na década de 1990, a poluição do Rio Tietê podia ser percebida por mais de 530 quilômetros e hoje existe um recuo de 70%, chegando em 163km (SABESP, 2019b).

Em 2019, as ações do Projeto Tietê pela ampliação do saneamento básico e melhoria dos corpos hídricos na RMSP ganharam apoio do Programa Novo Rio Pinheiros, considerado um dos principais afluentes do rio Tietê. O objetivo desse Programa consiste em integrar o rio Pinheiros à rotina da cidade de São Paulo por meio da ampliação da infraestrutura sanitária com novas ligações domiciliares e implantação de redes para encaminhar para tratamento quase todo o esgoto da bacia do Pinheiros. Para isso, as obras foram divididas em 16 pacotes e somam um investimento de 1,6 bilhão em investimento para ampliar os índices de saneamento e diminuir a carga organiza no rio (SABESP, 2019b). Para as regiões do Pinheiros que enfrentam ocupações precárias, onde existe restrição legal para infraestrutura de saneamento, serão instaladas as estações compactas conhecidas como Unidades Recuperadoras de Qualidade de Águas - URQs (SABESP, 2019b). Ao todo estão previstas 5 unidades que serão responsáveis pelo tratamento de esgoto que iriam para os córregos do rio Pinheiros. Essas unidades foram previstas para serem utilizadas em um curto período, até que a prefeitura cuide da realocação das famílias que estão em áreas irregulares (SABESP, 2020n).

Para expandir o acesso ao saneamento básico e contribuir para uma melhor qualidade de vida, foi criado pela empresa de saneamento na RMSP o chamado Programa de Participação Comunitária (PPC). As ações do PPC estão estruturadas dentro de outros programas como Córrego Limpo, Se liga na Rede e Água Legal. O programa córrego limpo promove a despoluição de rios e mananciais e utiliza técnicas de abordagem social construída em conjunto com o Centro Brasileiro de Análise e Planejamento - Cebrap. Para atender aos clientes sem condições econômicas para ligar suas instalações sanitárias as redes da empresa, foi desenvolvido o Programa Se Liga na Rede, existente desde 2011. Realizada pela empresa

em parceria com o Governo do Estado, a iniciativa é voltada para as famílias de baixa renda – que recebem até três salários-mínimos - e busca evitar descarte irregular de esgoto do meio ambiente. Como parte do programa, os custos de instalações das interligações são pagos pelo governo que arca com 80% dos custos da obra. O programa Água Legal também é voltado para pessoas vulneráveis e foca na conexão dessa parcela da população nas redes de abastecimento da empresa (SABESP, 2019b).

Em contrapartida, as atividades de coleta e tratamento de esgoto são as maiores fontes de emissões de gases de efeito estufa (GEE), responsáveis por aproximadamente 90,4% das emissões da empresa. Assim, a ampliação da coleta e tratamento de esgoto aumenta diretamente essas emissões. O monitoramento realizado pela companhia mostra que as tendências de GEE são as mesmas registradas em anos anteriores e, pela natureza da atividade e constante evolução nos serviços de universalização do saneamento, essa tendência é dos resultados do inventário da empresa é de crescimento. A companhia criou o Programa Corporativo de Gestão de Emissões de Gases Estufas com o objetivo de redução das emissões de GEE nas operações (SABESP, 2019b).

Além disso, todo tratamento de esgoto gera o gás e esse gás é composto pelo gás sulfídrico, que possui um cheiro ruim e resulta em um transtorno no entorno, para a população. No mercado existe o que é chamado de lavadores de gás que é utilizado em algumas instalações, mas se degradam muito rápido pois estão em um ambiente corrosivo. Para solucionar esse problema, os colaboradores da área de pesquisa da companhia desenvolveram os chamados biofiltros de casca de coco, que são filtros naturais onde os microrganismos irão fazer a limpeza desse gás, do enxofre, e de todas as impurezas que causam o odor desagradável. Esse biofiltro é formado por pedra, brita, uma camada de casca de coco e restos de madeira. Essas camadas ficam dentro de containers, que podem ser containers já usados como os marítimos, e eles possuem uma vida maior que os lavadores tradicionais. Foram realizados testes na estação de tratamento de São Miguel, e o resultado foi positivo. A partir disso, a empresa conseguiu um financiamento de agências de inovação para poder disseminar esse processo de biofiltração para outras estações de São Paulo. Na estação de Pinheiros e na estação perto do metrô Vila Olimpia (SABESP, 2020m).

Outro problema da ampliação das estações de tratamento é a geração de lodo. O lodo proveniente dos sistemas de tratamento de água e de esgoto é, convencionalmente, destinado a aterros. Como forma de mitigar os impactos na RMSP, a companhia trata o chorume gerado a fim de reduzir o impacto ambiental (SABESP, 2019b). Além disso, a companhia tem realizado uma série de estudos e projetos dentro do conceito de economia circular e voltados

para a destinação final do lodo para achar soluções viáveis e ambientalmente sustentáveis (SABESP, 2019b).

Um desses estudos envolve o projeto de Economia Circular da ETE de Franca que foi reconhecido em 2019 com o “*Prêmio Convocatoria Ideas em Acción para Empresas Innovadoras en Aqua y Saneamiento*” organizado pelo Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) e pela “*International Water Association*” (IWA), (SABESP, 2019b). A estação de tratamento de Franca serviu como um laboratório para que a companhia se especializasse na produção de biogás e tivesse condições de validar as tecnologias e expandir a solução para outras regiões, como a RMSP. Assim, a experiência da companhia com o biogás em Franca, a partir do convênio com a Alemanha, é importante pois hoje existe uma adaptação consolidada e que funciona. O Instituto Fraunhofer fez a doação do equipamento e a companhia ficou responsável pelas adequações da planta, capacitação de pessoa e transferência de conhecimento (ESP-4). O projeto consiste na implantação de ações com o objetivo de transformar a planta da estação de uma geradora de resíduos para uma estação recuperadora de recursos (SABESP, 2019b). Em Franca, destaca-se a otimização da fase sólida, buscando minimizar resíduos e maximizar a produção de biogás gerado no processo de tratamento de esgoto em grandes tanques chamados de biodigestores. O biogás gerado no processo de tratamento de esgoto é um gás com alto potencial energético (SABESP, 2019a) e em Franca, é utilizado para abastecer uma frota local com 38 veículos leves. A partir do acordo de cooperação entre o Instituto Fraunhofer IGB da Alemanha, o biogás gerado no tratamento de esgoto passa por um sistema de remoção de impurezas, umidade e aumento da concentração de metano – beneficiamento do biogás. O resultado é o biometano, combustível que é sustentável e que pode ser utilizado no lugar do GNV. O biometano também foi testado em ônibus de passageiro em evento promovido pela Embaixada da Suécia e a *Business Sweden* (SABESP, 2019b). Apesar de utilizar o biogás em toda a frota de carros da companhia em Franca, sobra muito biogás. Foram realizados vários testes em parcerias com fabricantes de carros e ônibus, e ele é excelente como combustível, com alto rendimento. O Biogás também pode ser utilizado em redes de gás. As concessionárias de eletricidade procuraram a companhia para entender se poderiam utilizar esse biogás em geradores para transformá-lo em energia elétrica (SABESP, 2020m) assim como alguns setores da cidade como prefeitura, a polícia e a CPFL que procuraram a companhia para tratativas e melhor entendimento a respeito da utilização desse produto (ESP-4).

Na RMSP não existe uma solução definitiva para o lodo. A região concentra as maiores estações de tratamento, e a previsão de produção de lodo para os próximos anos é de

aproximadamente 2 mil toneladas por dia. O transporte do lodo para os aterros sanitários é muito caro, e os procedimentos para a disposição do lodo nessas áreas estão ficando cada vez mais rígidos, como, por exemplo, possuir no mínimo 30% de sólido em sua composição fazendo com que a companhia gaste mais energia para a secagem desse subproduto. Existem algumas soluções alternativas para o tratamento e utilização do lodo e, utilizando o contexto de economia circular, a companhia está investindo em estudos e pesquisas voltados para a estação de tratamento de esgoto, considerando todos os seus processos. Nessa linha, a melhor tecnologia para a RMSP é a hidrólise associada aos biodigestores. Essa tecnologia permite redução de volume de lodo e otimização da produção de biogás. O biogás produzido pode ser utilizado como energia na própria estação, inclusive para a secagem de lodo. No fim, o lodo fica tão seco que pode ser utilizado como energia em outros processos (ESP-4).

O biogás pode ser transformado em biometano e utilizado como energia elétrica, combustível para carros, pode ser colocado na distribuição de rede de gás etc. Com o sucesso da experiência com a ETE Franca, a discussão está atingindo outro patamar e estimulando o interesse de diversos setores. Na RMSP, o resultado obtido em Franca gerou um projeto junto com a Secretaria de Infraestrutura - SIMA e com a *business Sweden* - Conselho de Comércio e Investimento da Embaixada da Suécia – para elaborar um programa de mobilidade na utilizando o biometano (ESP-2; ESP – 4) que envolve, além de empresas de saneamento, usinas sucroalcooleiras e aterros sanitários (ESP4). Porém, existem algumas barreiras em relação a utilização do biogás para comercialização na RMSP. A regulamentação da Agência Reguladora de Saneamento e Energia do Estado de São Paulo (ARSESP), baseada nas diretrizes da Agência Nacional do Petróleo (ANP), estabeleceram limites muito rígidos para a utilização do biogás. Um exemplo é em relação a presença de um componente que chama siloxanos, a base de sílica, onde na Suécia o limite é 5mg e aqui no Brasil é 0,3mg (ESP-2; ESP-4). Na Alemanha, onde o biogás já é super difundido e utilizado, se é atingido um nível de 96% de purificação para produção de biometano, o percentual de siloxano já não é um problema (ESP-4). Outro exemplo é a exigência de utilização de um cromatógrafo para a realização de testes para atender diversos parâmetros estabelecidos. Esse equipamento é importado e representa aproximadamente 20% do investimento total do projeto (ESP-2; ESP-4). Outro ponto é que não existe laboratório especializado para fazer exames de siloxanos. Todos os laboratórios já utilizados pela companhia chegaram em resultados diferentes em relação ao siloxano, e um erro nesses laboratórios inviabiliza o investimento de todo o projeto (ESP-4). Todas essas questões tornam a comercialização do biogás impossível (ESP-4). A forma como a norma foi elaborada impede o fomento e a expansão do uso do biogás no

mercado (ESP-2). A companhia faz parte do grupo de discussões para tentar adequar as normas as necessidades da região, como já foi feito em relação a utilização do lodo como fertilizantes e condicionadores de solo na agricultura, em que o Conama 375 passou a aceitar lodo de categoria B para utilização em solos (ESP-4).

O Quadro 23 sintetiza as principais soluções tecnológicas discutidas nesse capítulo.

Quadro 23 – Soluções que visam planejar as externalidades

Tecnologia	Objetivo	Parcerias	Resultados
Aumento de infraestrutura	Abastecimento de água e coleta de esgoto	Governo de SP	Menos disposição de esgoto no meio ambiente
URQ's	Tratar localmente o esgoto direcionados aos córregos	Fornecedores da companhia/ Governo de SP	Tratamento de esgoto em áreas informais com o apoio do governo.
Bio filtros	Acabar com o mau cheiro das ETEs	Agências de inovações	Acabar com o odor do esgoto por meio de cooperação com agências de inovação
Beneficiamento e compressão do biogás	Biometano	Instituto Fraunhofer/ Business Sweden	Fonte de energia alternativa. Compartilhamento de conhecimento, capacitação técnica

Fonte: Autora

Para avaliar as melhores alternativas para a RMSP, é preciso ter uma visão sistêmica do processo todo, é preciso pensar nos custos, no retorno financeiro, em maximizar a quantidade de energia gerada e minimizar a quantidade de energia consumida, É preciso aproveitar tudo que a planta tem a oferecer (ESP-2). O grande desafio do setor do saneamento é que aumentar o tratamento de esgoto significa aumentar a produção de lodo e de biogás, no entanto, hoje existem tecnologias disponíveis que permitem a utilização desses subprodutos. Para cada fim escolhido para os subprodutos do tratamento, existe a tecnologia. O gargalo não é mais tecnológico, o gargalo está nas questões institucionais, políticas e regulatórias. É um grande desafio para o setor público a contratação de inovações e tecnologias (ESP-4).

5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados da pesquisa foram utilizados para identificar como fatores externos contribuem para a seleção de tecnologias ambientais nos sistemas de água e esgoto de uma empresa de saneamento. O Quadro 24 apresenta uma síntese das principais soluções tecnológicas utilizadas para mitigar problemas ambientais, os parceiros e os fatores relacionados com a aplicação dessas soluções que podem influenciar na expansão do uso dessas inovações.

Quadro 24 – Síntese das principais tecnologias ambientais utilizadas na RMSP

Economia Circular	Elementos	Tecnologias Ambientais	Parceiros	Características	Fatores
Princípio 1	Segurança Hídrica	SSD/Redes Telemétricas	Universidade	Focada em controle de quantidade de água	Tecnológico/ Institucional
		Obras Estruturantes	Empresas Privadas/ Estado de SP	Impactos ambientais/ limitações físicas	Econômico/ Institucional
		Membranas ultra filtrantes	Fornecedores da companhia/ FAPESP	Tecnologia cara e pouca mão de obra especializada	Tecnológico/ Econômico
	Preservação dos Recursos Hídricos	Eco barreiras	Universidade	Encarece o processo de abastecimento	Tecnológico
		Injeção de oxigênio/ Nano bolhas	Universidade	Estão sendo ofertados no mercado	Econômico/ Tecnológico
	Energias Alternativas	Usinas fotovoltaicas	Fornecedores da companhia	Maiores Custos/ Baixa incidência solar/ instabilidade legal/ Falta de diretrizes da CIA	Tecnológico/ Econômico/ Institucional
		Equipamentos mais eficientes	Agência Reguladora de Portugal; Ministério das Cidades e GIZ; ESCOs	Dificuldade em avaliar eficiência dos equipamentos	Institucional/ Tecnológico/ Econômico

Continua...

Conclusão.					
Princípio 2	Evitar	Materiais Hidráulicos	Asfamas / Instituições públicas	Burocracia/ alta rotatividade de pessoal	Institucional/ Econômico
		Canais de comunicação/ Aplicativos	Clientes da companhia de saneamento	Plataformas de conhecimento/ Questão Cultural	Tecnológico/ Cultural
	Reduzir	Correlacionadores de Ruídos	Universidades	Estão sendo ofertados no mercado/ menor custos	Institucional/ Tecnológico/ Econômico
		Banco de dados de sons	Universidade	Maior eficiência	Institucional/ Tecnológico/ Econômico
		Hidrômetros Inteligentes	Grandes Consumidores	Custo alto	Institucional/ Econômico
		Tubos PEAD	Fornecedores da companhia	Oferta no mercado/normas	Institucional/ Tecnológico/ Econômico
	Reciclar	Osmose reversa/ Membranas ultra filtrantes	Fornecedores da companhia/ FAPESP	Oferta no mercado/ tecnologias de alto custo	Institucional/ Tecnológico/ Econômico
		Hidrólise	Fornecedores da companhia/ FAPESP	Necessárias adequações nas ETEs	Tecnológico/ Econômico/ Cultural
		Plasma	FINEP/ Dinamarca/ CETESB	Ambiente regulatório desfavorável	Institucional/ Tecnológico/ Econômico
	Reuso	Combinação de tecnologias	Indústrias/ Clientes da companhia de saneamento/ FAPESP	Demanda/ Alto custo	Institucional/ Econômico/ Cultural
Princípio 3	Redução de impactos ambientais	URQ's	Fornecedores da companhia/ Estado de SP	Solução pontual para córregos vulneráveis	Institucional
		Biofiltros	Agências de inovações	Estão sendo ofertados no mercado	Tecnológico/ Econômico
		Beneficiamento e compressão do biogás	Instituto Fraunhofer/ Business Sweden/ SIMA	Ambiente regulatório desfavorável	Institucional/ Tecnológico/ Econômico

Fonte: Autora

A seguir, é feita a análise e discussão dos dados coletados dos resultados com as principais argumentações encontradas na literatura.

5.1 PRINCÍPIO 1 – CONSERVAÇÃO DO CAPITAL NATURAL NO SETOR DE SANEAMENTO NA RMSP

Nesse capítulo, são discutidas as principais alternativas existentes na empresa de saneamento que, junto com uma rede de relacionamentos, contribuem para garantir disponibilidade de água e segurança hídrica, preservação da água e eficiência energética por meio da utilização de tecnologias ambientais.

5.1.1 Soluções e parcerias para garantir a segurança hídrica na RMSP

Para contornar a variabilidade climática e manter a segurança hídrica, a companhia investiu em soluções tecnológicas como o SSD que é alimentado por 80 estações telemétricas que fornecem em tempo real informações relacionadas aos volumes dos mananciais, vazões e dados climáticos. Esse sistema controlado pelo CCM foi desenvolvido em parceria com a Universidade de São Paulo - USP, inicialmente como projeto de pesquisa de um colaborador da empresa cuja tese foi a criação de um sistema de suporte a decisões (ESP-1). Os dados climáticos são fornecidos pelo INPE, com informações de curto, médio e longo prazo. Para o aprimoramento da rede hidro meteorológica utilizada no SSD, foram realizadas visitas na ANA e a USP continua sendo o principal parceiro no desenvolvimento do sistema (ESP-1). Percebe-se que para garantir a oferta de água existe uma busca para aprimorar a capacidade tecnologia e a cooperação para inovação (ARRANZ et al., 2019) no qual a Universidade possui papel central no avanço da tecnologia e participa como parceira para desenvolvimento de novas soluções (HEATON; SIEGEL; TEECE, 2019). A atuação do INPE cumpre a função de facilitar a implementação da tecnologia ambiental (VARGO; AKAKA; WIELAND, 2020) e a visita à ANA realizada com o objetivo de conhecer quais são as tecnologias utilizadas para controle da variação climática caracteriza as relações interativas mútuas, no qual a relação complementar colabora com novos conhecimentos em termos tecnológicos (WEI et al., 2020). A universidade possui a função de apoiar uma nova proposta para garantir a segurança hídrica, e a interação com outras instituições promove o compartilhamento de ideias e conhecimentos, tornando a solução tecnológica mais robusta e eficiente.

Para garantir a disponibilidade hídrica é importante que sejam consideradas obras de infraestrutura do lado da oferta (GREEN et al., 2015) e para isso a companhia realizou obras estruturantes. As duas obras mais importantes realizadas pela empresa para manter a segurança hídrica da RMSP foram o Sistema Produtor São Lourenço e a Interligação Jaguari

– Atibainha. O ideal seria evitar soluções tecnológicas que causem grandes impactos ao meio ambiente (ARAÚJO; OLIVEIRA ESQUERRE; SAHIN, 2019), no entanto quando se fala em abastecimento de grandes metrópoles é difícil desenvolver soluções sem consequências ambientais (ESP-1; ESP-3). O SPSL é fruto de uma parceria público-privada e nesse caso a empresa privada cumpriu seu papel de patrocinador e facilitador na criação do empreendimento, como mostra a literatura (DEDEHAYIR; MÄKINEN; ORTT, 2018).

A crise hídrica de São Paulo que iniciou em 2014 e durou até início de 2016 estimulou a busca por novas tecnologias. Nesse contexto, a empresa de saneamento optou pela utilização de membranas filtrantes para tratar água em uma maior velocidade (ESP-1, ESP3). A implementação dessa tecnologia pela companhia ocorreu a partir de uma identificação do problema e da busca por uma solução para lidar com o novo cenário, evento que faz parte do processo de inovação (ROGERS, 2003). Ela é de fácil instalação e operação, no entanto a manutenção ainda é um problema, além de ser uma tecnologia muito cara (ESP-3). Atualmente, o tratamento com membranas são considerados um dos melhores do mundo e é utilizado não só para tratar água, mas também efluentes para uma ampla variedade de aplicações (DAIGGER et al., 2019), o que poderia aumentar a oferta de água na RMSP. Foi identificado que custo e falta de mão de obra especializada para a manutenção são gargalos que impedem um amplo uso da tecnologia pela empresa e por isso, investimentos em capacitação técnica poderia estimular o acesso a essa nova tecnologia (LEITÃO; BRITO; CUBICO, 2019) já que este é um problema após a instalação e operação. Ainda, o desenvolvimento do mercado poderia colaborar com a implantação das membranas (JESUS; MENDONÇA, 2018), aumentando a viabilidade econômica na RMSP. Lançar tema na chamada pública junto com a FAPESP nº 13985 de 2020 com o objetivo de buscar soluções para investigar processos e tecnologias que aumentem a longevidade da membrana mostra que a companhia busca plataformas para promover novas conexões para desenvolvimento de novas soluções tecnológicas e para o aprimoramento técnico de seus processos. Aqui, a definição dos parceiros é crucial para a transferência de conhecimentos (PUCCI et al., 2018) para a empresa selecionar tecnologias.

5.1.2 Soluções e parcerias para a preservação dos recursos hídricos na RMSP.

Para tentar conter a poluição causada pelo lançamento de resíduos em um dos principais mananciais da RMSP, o Guarapiranga, foram criadas em parceria com a UNESP as ecobarreiras, que já são amplamente utilizadas pela companhia. Já, para a revitalização dos

rios Tietê e Pinheiros, estão sendo testadas duas novas tecnologias, as nano bolhas e a injeção de oxigênio. Assim como as ecobarreiras, as nanobolhas também tiveram o apoio de uma universidade, no caso, a USP. Novamente, as universidades entram com um papel central no avanço da tecnologia, participando do desenvolvimento de novas soluções e contribuindo para atrair o capital necessário para a inovação, situação que corrobora o referencial teórico (HEATON; SIEGEL; TEECE, 2019). Algumas empresas já estão ofertando as nano bolhas no mercado e isso é um passo importante para divulgar a tecnologia e tentar expandir o conceito, já que parcerias com atores do sistema são essenciais para a criação de novos valores, como foi visto na literatura (VELEVA; BODKIN, 2018). Já a injeção de oxigênio é uma tecnologia compacta, que não utiliza muita energia e que já é conhecida, foi utilizada pelos EUA para revitalização de rios após a passagem do furacão Sandy (SABESP, 2020m). Nesse cenário, o conhecimento sobre a utilização de novas tecnologias e informações de seus resultados forneceram os recursos necessários para colocar a solução em prática, situação que pode levar ao desenvolvimento do uso da tecnologia (LEITÃO; BRITO; CUBICO, 2019) para replicar a técnica em outras regiões da RMSP, como aconteceu no Rio Pinheiros.

A companhia possui ações para conter a presença de algas causada pela matéria orgânica presente nos mananciais mais vulneráveis, chamados de urbanos. Para isso, são utilizadas algicidas e produtos químicos para impedir a proliferação das algas, e posteriormente é utilizado carvão ativado para tratamento de gosto e odor da água tratada. Essas tecnologias não são novas e fazem parte da rotina da companhia de saneamento para garantir uma água aceitável para o usuário final. Existe um esforço para diminuir a quantidade desses produtos químicos, isso porque diminuir a utilização de produtos químicos significa diminuir os custos e aumentar a qualidade final da água (ESP-1). Existem tecnologias mais novas como ozônio, peróxido de hidrogênio e ultravioleta que podem ser utilizadas para tratamento de gosto e odor, porém elas se tornam inviáveis por causa do alto custo, ainda mais considerando a RMSP onde os volumes necessários de água tratada são enormes (ESP-3). Dessa forma, a questão econômica é uma barreira (TURA et. al., 2019; KUMAR et al., 2019, LEITÃO; BRITO; CUBICO, 2019; ARRANZ et al., 2019; SEIFERT; KRANNICH; GUENTHER, 2019; IWA, 2016; VELEVA; BODKIN, 2018; JESUS; MENDONÇA, 2018; SARR; NOAILLY 2017; SU et al., 2013; GENG et al., 2012; SANTELMANN et al., 2019; GUERRA-RODRÍGUEZ et al., 2020; VOULVOULIS, 2018 ; GIL-MESEGUER; BERNABÉ-CRESPO, 2019; MAKROPOULOS et al., 2018; TORTAJADA; SAMBIAR, 2019; BOELEE et al., 2019), para a aquisição dessas novas tecnologias que utilizam menos produtos químicos, e o estímulo do mercado poderia incentivar fabricantes a iniciar uma

relação comercial mais sustentáveis para investimentos em novas tecnologias (JESUS; MENDONÇA, 2018). A chamada FAPESP nº 13985 de 2020, em cooperação com a companhia de saneamento, também lançou tema para incentivar estudos que visassem minimizar gosto e odor da água e a presença de algas nos mananciais como uma forma de promover discussão para desenvolvimento de novas soluções para esse cenário.

Mananciais protegidos não possuem problemas com algas e por isso o gasto com produtos químicos não é um problema. Dessa forma, é perceptível que existe um esforço da companhia em manter seus mananciais protegidos por meio de ações baseadas na preservação da natureza, cinturões verdes e definição de APAs. Essas ações não são tecnológicas, mas mitigam danos ambientais (JESUS et al., 2017) e contribuem para a conservação dos ecossistemas, controlando estoques (EMF, 2015) e, conseqüentemente, reestabelecem os fluxos hídricos (GREEN et al., 2015; EMF, 2015).

5.1.3 Soluções e parcerias para alcançar a eficiência energética na RMSP

A empresa de saneamento possui alto consumo de energia, principalmente nos processos relacionados a produção de água. A utilização de energias alternativas pode contribuir com o *nexus* água x energia (YU; ZHENG; LI, 2019), porém, na RMSP, o alto custo para implantação de usinas fotovoltaicas e a baixa incidência solar inviabilizam o uso de energia solar para as operações relacionadas a captação de água, distribuição, tratamento e disposição final. Somada a isso, existe um receio em ampliar o uso da energia fotovoltaica em função da instabilidade legal relacionada a sua legislação (ESP-2). Existe uma iniciativa de implementação de usinas solares para geração distribuída com o objetivo de abater os custos das instalações de baixa tensão. Assim, as questões econômicas e regulatória (JESUS; MENDONÇA, 2018) acabam influenciando nas decisões da empresa de saneamento. Mesmo assim, existem ações que se traduzem em um esforço da companhia em utilizar a infraestrutura como fonte alternativa, exemplificado pela utilização de turbinas em adutoras de água para geração de energia, e iniciativas de utilização de painéis solares nas redes telemétricas.

A compreensão de fatores que influenciam no consumo de energia (NIU et.al., 2019) se traduz em duas principais ações: o novo dispositivo de contratação e as atividades da auditoria de avaliação responsável pelo rendimento dos equipamentos. O novo dispositivo de contratação permite acordos com fornecedores que possuem os equipamentos mais eficientes e que causem menos custos para companhia ao longo do tempo. Além disso, estimula o

mercado motivando as empresas a buscarem as melhores tecnologias, como visto na literatura (JESUS; MENDONÇA, 2018). Diante dessa nova demanda, os fornecedores podem apresentar grande capacidade de introduzir novas tecnologias que podem vir a apresentar melhores resultados, além de criarem benefícios ambientais e econômicos (VELEVA; BODKIN, 2018). Ainda, em relação as atividades de auditoria de avaliação do rendimento dos equipamentos, é visível a importância da participação da agência reguladora de Portugal e do antigo Ministério da Cidade, em parceria com a empresa da Alemanha, como facilitadores de transferência de conhecimento, mudança de cultura e maturidade de desenvolvimento de projeto (MA et al., 2019; TOLSTYKH; SHMELEVA; GAMIDULLAEVA, 2020) que resultou na elaboração de uma metodologia baseada em um padrão para avaliação de eficiência energética em estações elevatórias de água. Existe uma barreira relacionada a necessidade de desenvolver o mercado para que existam empresas no mercado capacitadas para realizar diagnósticos prévios nos equipamentos da companhia, por isso a parceria com as empresas de serviços de energia - ESCOs - é crucial para criação e captura de novos valores (VELEVA; BODKIN, 2018) para utilização de técnicas que busquem índices adequados para os limites do planeta (SUÁREZ-EIROA et al., 2019).

5.2 PRINCÍPIO 2 – FECHAMENTO DO CICLO TÉCNICO DA ÁGUA NA RMSP

Aqui são discutidas soluções propostas pela empresa de saneamento para manter a água dentro do seu fluxo de utilização, estimulando a recirculação desse recurso no ciclo técnico (SUÁREZ-EIROA et al., 2019) considerando o abastecimento, consumo, tratamento do esgoto e disposição do efluente final.

5.2.1 Soluções e parcerias para evitar o uso de água na RMSP

A busca por alternativas que eliminem grandes volume de água é um caminho para melhorar o gerenciamento do consumo (BOGUNIEWICZ-ZABLOCKA; KLOSOK-BAZAN; NADDEO, 2019), e nesse sentido, o programa da companhia PURA atua junto com instituições públicas para a readequação da estrutura hidráulica predial evitando que a água seja desperdiçada por meio da instalação de equipamento mais modernos e eficientes. Para garantir a qualidade das tecnologias hidráulicas, o ASFAMAS realiza auditorias em equipamentos hidráulicos de lojas de varejo e os resultados são divulgados por meio de um relatório aberto ao público. A seleção de parcerias é crucial para o sucesso da colaboração

(WEI et al., 2020) e, nesse caso, a participação de instituições públicas é condição necessária para garantir a gestão dos recursos hídricos e definir estratégias para envolver os usuários por meio da utilização das novas tecnologias que evitam o desperdício de água. A sensibilidade das instituições para o problema da água e o envolvimento dos colaboradores estimulam mudanças para práticas ambientalmente amigáveis, como visto na literatura (JESUS; MENDONÇA, 2018).

Os aplicativos e canais de comunicação com os clientes também estimulam o uso consciente da água. Essa rede de relacionamento (TSUJIMOTO et al., 2018) é responsável por fornecer e compartilhar informações (TOLSTYKH; SHMELEVA; GAMIDULLAEVA, 2020) com o cliente para atingir objetivos de evitar o consumo. Os dados divulgados pela empresa mostram que existe uma mudança de hábito na população, principalmente após a crise de 2014. Mesmo sendo menores consumidores, os hábitos domiciliares possuem impactos potenciais pois influenciam práticas de economia de água aplicadas diariamente (SMOL, 2020) e que influenciam na demanda por água.

Outras iniciativas são apoiadas pela companhia como o reaproveitamento de água industrial e doméstico para fins não nobres, e utilização de água da chuva que já possui normas vigentes para aplicação (ESP-5). Em relação a utilização de água de chuva, a companhia estimula sua aplicação por meio de incentivos relacionados a conta final de água (ESP-2). O comportamento da população somado aos incentivos para o reaproveitamento e utilização de água da chuva para fins não potáveis facilitam a gestão da água, contribuindo para o fechamento do ciclo técnico (EPA, 2018; VOULVOULIS, 2018).

5.2.2 Soluções e parcerias para reduzir perdas de água na RMSP

Para o combate de perdas, uma parceira importante é a JICA, Agência de Fomento do Japão, que é responsável pelo financiamento das principais iniciativas do Programa de Combate as Perdas. Assim, essa parceria abre possibilidades para aprimorar a capacidade tecnológica e aumentar a troca de informações, além de colaborar com o estabelecimento de acordo entre empresas facilitando a cooperação para inovação (ARRANZ et al., 2019). Como resultados tem-se a implantação de melhores sistemas de gestão (ESP-2), melhor infraestrutura, utilização de novas tecnologias e ampla capacitação de pessoal (ESP-4).

Procedimentos como redução de pressão e utilização de escuta são os métodos convencionais utilizados pela empresa de saneamento para diminuir perdas de água provenientes de vazamentos. Em busca de aprimorar tecnologias para que soluções mais

eficientes pudessem colaborar com resultados mais precisos no programa de redução de perdas, foram realizados investimentos em P&D e parcerias com Universidades (HEATON; SIEGEL; TEECE, 2019) e foram desenvolvidos os correlacionadores de ruídos e o banco de dados para identificação de sons de vazamentos. Com isso, foi possível avançar em pesquisas que colaborassem com o desenvolvimento da indústria de saneamento para a questão das perdas, por meio de conhecimento com valor agregado (CARAYANNIS et al., 2018).

Os correlacionadores de ruídos já existem no mercado internacional, porém são tecnologias caras não adaptadas para o solo brasileiro. Através de uma chamada da FAPESP em parceria com a companhia, foi proposto um correlacionador nacional, adaptado para o solo brasileiro e mais barato (ESP-4). O passo de lançar protótipo existente para startups e microempresas para desenvolver a tecnologia no mercado é crucial para expandir sua utilização já que as empresas possuem capacidade de criar valor e introduzir novos produtos no mercado (VELEVA; BODKIN, 2018). O banco de dados criado também com apoio de uma Universidade encaminha informações diretamente para uma central, e é muito mais preciso que a escuta tradicional. Esses dois casos de desenvolvimento de tecnologias mostram, novamente, como as universidades possuem potencial transformador por possuírem requisitos para promoção tecnológica, em acordo com o que mostra a literatura (PEREIRA; MARQUES; GAVA, 2016).

Tecnologias já existentes, mas que possuem alto custo não são viáveis economicamente, principalmente, porque a empresa possui a tarifa regulada. Os *smart grids* (redes inteligentes) são um exemplo de tecnologia eficiente que são inviáveis economicamente se utilizados amplamente. A companhia já utiliza os hidrômetros inteligentes, um tipo de *smart grids*, em parceria com grandes clientes na RMSP. A cooperação entre grandes clientes e a companhia é importante para atingir o objetivo (TOLSTYKH; SHMELEVA; GAMIDULLAEVA, 2020) de estimular o mercado para tornar a tecnologia mais barata economicamente no futuro e ampliar sua utilização. Compartilhar novas soluções tecnológicas é importante para começar a construir novos processos (CAVALCANTI; ABREU; CEGLIA, 2018).

Para a adoção da tecnologia de PEAD, hoje material amplamente utilizada pela companhia, foram necessárias tratativas entre empresa de saneamento, indústrias, instituições regulatórias e mudança cultural para que esse novo material entrasse no mercado e se sustentasse por longo prazo (VARGO; AKAKA; WIELAND, 2020). Foi necessário o aumento de interesse por parte da companhia para motivar os fabricantes a iniciar esforços de uma produção de tecnologias de maior qualidade (OH et al., 2016; JESUS; MENDONÇA,

2018). Para atingir o objetivo de buscar uma solução mais eficiente para combater os vazamentos durante a distribuição de água foi importante que houvesse transferência de conhecimento, capacitação, produção e maturidade do projeto (TOLSTYKH; SHMELEVA; GAMIDULLAEVA, 2020), por meio de ações que envolveram estudos de casos que já utilizavam o PEAD, reuniões com fornecedores para garantir qualidade e compromisso, e a elaboração de novas regulamentações.

5.2.3 Soluções e parcerias para viabilizar a reciclar dos subprodutos do esgoto na RMSP

Nas grandes estações de tratamento de esgoto é utilizado o processo por lodo ativados que é composto pela fase líquida, que gera o efluente, e a fase sólida, que gera o lodo e biogás. Para reciclar o efluente e poder reutilizá-lo para diversos fins é preciso uma combinação de várias tecnologias (WHO, 2017) e a empresa já conhece e utiliza tecnologias como osmose reversa, membranas ultra filtrantes, dióxidos de cloro e peróxido de hidrogênio. No entanto, essas tecnologias são caras e é imprescindível que exista uma demanda (JESUS; MENDONÇA, 2018) para reuso que justifique a implantação. Além disso, é preciso mão de obra especializada para garantir operação e manutenção eficiente.

Já em relação ao lodo, a companhia possui estudos que visam tratamento e destino alternativo aos aterros para o lodo, no entanto, todo lodo da RMSP ainda é destinado para aterros. A chamada FAPESP n° 13985 de 2020 é uma maneira que a companhia tem de estabelecer novas conexões para desenvolvimento de soluções e conhecimento sobre tratamento de efluente e de lodo, com o objetivo de promover maior domínio sobre uma tecnologia ambiental. Essa interação entre atores ocorre como uma resposta aos desafio e tendencias, inclusive para viabilizar ações relacionadas aos princípios de uma EC (TOLSTYKH; SHMELEVA; GAMIDULLAEVA, 2020) dentro de uma estação de tratamento.

O lodo proveniente das estações de tratamento de água, por possuírem características mais minerais podem ser tratado e utilizado para a produção de materiais da construção civil (GHERGHEL; TEODOSIU; GISI, 2019). No entanto, ainda não existe licenciamento por parte do órgão ambiental que possibilite esse uso, nem a movimentação por parte de indústrias do ramo para pressionar esse tipo de regulação o que mostra que a complexidade institucional que envolve normas, práticas culturais e arranjos de mercado dificultam práticas de geração de valor (SILTALOPPI; KOSKELA-HUOTARI; VARGO, 2016).

A parceria nos anos 2000 entre a empresa junto com, FABESP, FINEP/PROSAB, CNPq e USP para realização de estudos sobre a utilização de biossólidos de lodo provenientes de ETEs da RMSP em florestas de Eucaliptos foi responsável pelo interesse da utilização do lodo em culturas agrícolas em função da economia com fertilizantes. Isso mostra como parcerias com universidades podem ajudar a divulgar novos campos promissores que podem ter potencial em outras regiões (HEATON; SIEGEL; TEECE, 2019), aumentando o nível tecnológico das indústrias e propondo possíveis medidas econômicas (CARAYANNIS et al., 2018), no caso economia ao evitar o uso de fertilizantes químicos. Para a RMSP, a destinação para agricultura não é a melhor alternativa pois o lodo proveniente das estações de tratamento de esgoto possui grande carga industrial, o que aumenta elementos perigosos em sua composição (NASCIMENTO et al., 2020). O tratamento para utilização desse lodo para uso agrícola, de acordo com as normas existentes, ficaria muito caro e por isso essa é uma solução considerada inviável.

A melhor opção para o lodo da RMSP seria sua utilização como energia. O maior centro de estudo para tratamento e destinação do lodo da RMSP acontece na ETE Barueri. Ela é um exemplo de cooperação entre atores para criação de valor de produtos através da aplicação de tecnologias inovadoras (SILTALOPPI; KOSKELA-HUOTARI; VARGO, 2016). Foi aberto edital para contratação de empresa para destinar o lodo gerado pela Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) Barueri e gerar energia através do Biogás. Em Barueri, o lodo também recebe tratamento térmico através da tecnologia de plasma. Para a seleção da tecnologia de plasma, houve interação de conhecimento e de habilidades para inovação (ARRANZ et al., 2019) entre: a companhia de saneamento da RMSP e a companhia de saneamento da Dinamarca, para estudos voltados para essa tecnologia que transforma parte do lodo em energia e outra parte em material vítreo. A Cetesb é responsável pelo licenciamento desse material vítreo que pode ser utilizado na construção civil e, por meio da elaboração de uma legislação favorável, pode estimular que essa solução ambiental para destinação do lodo entre no mercado (SILTALOPPI; KOSKELA-HUOTARI; VARGO, 2016; VARGO; AKAKA; WIELAND, 2020). A organização formada na ETE Barueri é uma resposta aos desafios ambientais (TOLSTYKH; SHMELEVA; GAMIDULLAEVA, 2020) em que o potencial inovador é favorecido pela interação entre empresas, governo e universidade (PUCCI et al., 2018).

Os estudos também apontam a hidrólise como sendo a melhor tecnologia para gestão do lodo que poderia ser utilizada em RMSP (ESP-4) pois existe redução do volume de sólidos (lodo) e maximização da produção de biogás que pode passar por um processo de

beneficiamento e ser utilizado para diversos fins (DAIGGER et al., 2019). Assim, essa tecnologia apresenta menores impactos ambientais (AWAD; GAR ALALM; EL-ETRIBY, 2019), além de abrir possibilidade da utilização do próprio biogás como energia, gás e combustíveis (GUERRA-RODRÍGUEZ et al., 2020). Como a tecnologia é cara e não existe um trabalho comprovando o custo-benefício a longo prazo, ela não é aplicada na região, mas a mudança de cultura na gestão de água em direção a um modelo circular pode colaborar para que a tecnologia entre no mercado e se sustente (VARGO; AKAKA; WIELAND, 2020) devido aos benefícios econômicos e ambientais proporcionados a longo prazo.

Na RMSP, o sistema principal formado por 5 estações de tratamento de esgoto utiliza a tecnologia de lodos ativados. Essa característica é um ponto positivo pois facilita a implantação de processos para produção e captação de biogás por meio de tecnologias de hidrólise, com uma adequação mais simples (ESP-4). Esse cenário pode facilitar a transição para um modelo circular (JESUS; MENDONÇA, 2018) nas estações de tratamento de esgoto de grande porte da RMSP, para o fechamento do ciclo de água (KISELEV et al., 2019). A realização do PITCH 2018 e da chamada da FAPESP 2020 demonstram que a companhia está interessada em buscar soluções inovadoras por meio de parcerias (TOLSTYKH; SHMELEVA; GAMIDULLAEVA, 2020) para tratamento e destinação do lodo, mapeando oportunidades para a geração de valor (SIRAJ; STEICHEN; SHUOLER, 2018). Para isso, é preciso que benefícios não financeiros sejam medidos pois altas despesas em um curto prazo, que levam a uma economia a longo prazo, podem ser entendidas como uma barreira (VELEVA; BODKIN, 2018) na companhia, e isso fica claro quando um dos especialistas afirma que é comum, em um sistema de hidrólise com cogeração de energia, os envolvidos só considerarem os investimentos iniciais e não percebem que em um longo prazo, ganha-se com redução nos custos operacionais e ambientais (ESP-4).

Percebe-se que existem soluções para o gerenciamento do lodo na RMSP, no entanto, essas soluções estão sendo aplicadas em poucas unidades de tratamento, ou seja, estão em estágio inicial e dependem de pesquisas com universidades e agências de fomento para divulgar os campos que possuem oportunidades promissoras (HEATON; SIEGEL; TEECE, 2019), e de instituições do governo para criar um ambiente de estímulo para facilitar a aplicações dessas soluções no mercado (MA et al., 2019).

5.2.4 Soluções e parcerias para estimular e ampliar o reuso de água

Na RMSP, são oferecidos mais de 468 milhões de litros de água de reuso produzidos em estações de tratamento de esgoto que podem ser destinados para fins não potáveis ou fins industriais, a depender da tecnologia escolhida para o tratamento (DAIGGER et al., 2019), o que reduz a demanda por água potável (EPA, 2018). Aqui, as tecnologias são essenciais para proporcionar o reuso do efluente (DAIGGER et al., 2019).

Foi por meio da iniciativa da ETE Jesus Neto, que a companhia começou os primeiros estudos para produção de água de reuso. A ETE funcionou como um laboratório com apoio de universidades e colaboradores para formularem uma compreensão mais adequada (TOLSTYKH; SHMELEVA; GAMIDULLAEVA, 2020) para a utilização de águas residuais.

O volume mais significativo de água de reuso é produzido na ETE ABC, por meio do chamado Aquapolo Ambiental. Fruto de uma parceria entre o polo industrial de Capuava, Foz do Brasil e companhia de saneamento do Estado de São Paulo, foi preciso adaptar os sistemas de tratamento da estação para atender a qualidade requerida pelo polo industrial por meio de uma seleção adequada de tecnologias que atuam como barreiras para contaminantes (WHO, 2017). Na ETE ABC é utilizada uma combinação de filtração, tanque com biorreator, ultrafiltração e osmose reversa, tecnologias que estão se tornando populares para o tratamento de efluente (DAIGGER et al., 2019). Assim, a parceria com empresas privadas permitiu que a companhia investisse em uma planta utilizando tecnologias avançadas para garantir a qualidade, em acordo com aspectos legais, atribuindo valor ao efluente tratado. O complexo formado para a produção de reuso com fins industriais que envolve normas, práticas e arranjos de mercado, funcionaram como *driver* para uma iniciativa (SILTALOPPI; KOSKELA-HUOTARI; VARGO, 2016) que desafoga a demanda por água potável.

Os sistemas de reutilização consideram tecnologias diferentes para remover contaminantes em acordo com a definição de aplicação final do efluente tratado (YERUSHALMI; SEYHI, 2020) e essa qualidade determina a possibilidade (DAIGGER et al., 2019) de RPI e RPD. O RPI e o RPD são opções que podem proporcionar maior oferta de água e ajudar a atender demandas críticas (EPA, 2018) como na RMSP. Estudos para um possível RPI na RMSP entrou pela primeira no plano diretor como opção para aumentar os volumes dos mananciais. Já o RPD, apesar de existirem tecnologias conhecidas para esse tipo de reuso, ainda é preciso criar uma cadeia de regulamentações e processo pois o tratamento com baixo desempenho pode levar a produção de uma água não confiável (VOULVOULIS,

2018), além de ser necessário conscientizar que a população que efluente tratado pode possuir uma qualidade tão boa quanto água tratada proveniente de mananciais.

5.3 PRINCÍPIO 3 – GERENCIAMENTO DAS EXTERNALIDADES NEGATIVAS DO SETOR DE ÁGUA NA RMSP

A empresa de saneamento, com apoio de parceiros, investe em soluções para expansão e manutenção dos sistemas de infraestrutura que fazem distribuição de água potável e coleta e tratamento de esgoto. Investimentos em infraestrutura e Programas como Córrego Limpo, Se Liga na Rede e Água legal são exemplo de ações que buscam resiliência a interrupções, proteção da fonte de água, rede de distribuição e instalações de tratamento que possuem apoio das prefeituras locais e contribuem com o meio ambiente e melhora a saúde pública da população (SANTELMANN et al., 2019).

As oportunidades que existem na indústria do saneamento da RMSP e que influenciam o ciclo técnico da água como proteção de corpos hídricos, segurança hídrica, consumo consciente, redução de perdas e melhoria no tratamento de água residuais (SANTELMANN et al., 2019) estão sendo mapeadas pela companhia que busca soluções para melhorar o gerenciamento desse recurso com o apoio de parcerias. A proteção de corpos hídricos por meio de obras verdes e instalação de URQs em áreas vulneráveis restabelece as funções naturais do ecossistema além de garantir maior disponibilidade no meio ambiente; a busca por segurança hídrica por meio de novas infraestruturas garante a oferta de água para a população (GREEN et al., 2015); evitar o consumo e reduzir perdas são ações que existem na companhia e que buscam melhor eficiência do uso de água, colaborando para um melhor gerenciamento de água e diminuindo a demanda por esse recurso, ou seja, essas ações colaboram para o controle e gerenciamento de estoques na natureza (SIRAJ; STEICHEN; SHUOLER, 2018). A reciclagem do efluente, por meio de combinação de tecnologias, permite altos padrões de sua qualidade final o que contribui para diminuir os problemas de disposição de água poluída no meio ambiente (GUERRA-RODRÍGUEZ et al., 2020). A reutilização da água tratada, principalmente para fins industriais, fornece uma importante fonte de água doce (YERUSHALMI; SEYHI, 2020) e desafoga o sistema de oferta de água da RMSP. Com o intuito de resolver o problema de alta demanda na RMSP e garantir a oferta de água necessária para o desenvolvimento da região, a empresa busca investir em desenvolvimento tecnológico e promoção de pesquisa e inovação (GIL-MESEGUER; BERNABÉ-CRESPO, 2019). Planejar o caminho do efluente tratado em direção aos mananciais da RMSP também é

uma solução para manter os níveis dos reservatórios adequados, já que a RPI possui a função de aumentar o volume das fontes de água (EPA, 2018).

Em contrapartida, investimentos em tratamento de esgoto também produzem alguns resultados negativos como o mau cheiro, emissão de gases de efeito estufa e geração de lodo (SEIFERT; KRANNICH; GUENTHER, 2019), cenário que vem motivando a companhia a buscar soluções junto com o governo, universidades, empresas de fomentos e parcerias privadas para criar um ambiente de cooperação que possuem atributos diferentes (TSUJIMOTO et al., 2018) com o objetivo de inteirar capacidade e conhecimento em termos de tecnologias (WEI et al., 2020) para buscar soluções que mitiguem impactos ambientais negativos.

Os lavadores de gás são tecnologias padrão utilizadas pela companhia para tentar contornar o mau cheiro. Essa tecnologia se degrada muito rapidamente, e para solucionar esse problema foram criados os biofiltros de casca de coco que tiveram seu primeiro teste na ETE São Miguel. Com o resultado positivo, empresas de inovação estão investindo nessa solução para criar valor do produto e expandir sua utilização no mercado (GOMES et al., 2018) de saneamento.

O Programa Corporativo de Gestão de Emissões Estufas não mostra uma meta objetiva para redução da emissão de GEE, no entanto mostra uma preocupação da companhia em buscar a redução dessas emissões. Diminuir o consumo de energia e investir em soluções de destinação do lodo podem contribuir para diminuir a emissão de gases de efeito estufa (HU; TIAN; CHEN, 2019).

A utilização da tecnologia de lodos ativados associado a hidrólise e biodigestores possui potencial para iniciativas que diminuem o volume de lodo e potencializam a produção do biogás (HU; TIAN; CHEN, 2019). Em relação ao volume remanescente de lodo, ele pode ser reciclado por meio da tecnologia de plasma, e se tornar matéria prima para outras indústrias e energia. Menor geração de lodo significa diminuição da utilização de aterros sanitários, menos emissão de GEEs e menos chance de poluição do solo por causa do chorume (SABESP, 2019b).

Em relação ao biogás, o modelo de economia circular implantado na ETE de Franca com utilização de hidrólise e biodigestores serviu como um laboratório para o domínio de tecnologias para a gestão de lodo e a produção de biogás, e isso contribuiu para capacitação de operadores e transferência de conhecimento em relação a novas tecnologias para beneficiamento do biometano através da parceria com o instituto alemão Fraunhofer e que permitiu a realização da primeira experiência significativa da utilização desse gás como

combustível. Isso significa que a aprimoração da capacidade tecnologia, a cooperação para a inovação e a troca de informações por meio de convênio (ARRANZ et al., 2019) criou um ambiente de conhecimento e domínio de novas tecnologias incentivando novos projetos na RMSP, como o projeto de mobilidade urbana que visa a utilização do biogás como combustível em parceria com a SIMA e com a *business Sweden*.

O biogás possui alto poder calorífero e pode ser transformado em biometano e ser utilizado para geração de eletricidade, produção de calor e combustível para veículos (GUERRA-RODRÍGUEZ et al., 2020), substituindo as fontes tradicionais de energia. O biogás abre possibilidade para as estações deixarem de ser grandes consumidoras de energia e se tornem autossuficientes (CONNOR et. al., 2017). No entanto, utilizar esse gás no mercado ainda enfrenta desafios regulatórios. O alto nível de rigor da regulação brasileira para a utilização do biogás em comparação a outras regulações existentes em outros países que já o utilizam dificultam as condições para que a solução tecnológica ocorra em larga escala (ESP-4), como visto na literatura (FORD et al., 2020). O processo de produção e beneficiamento de biogás acaba ficando muito caro, inviabilizando a expansão de possibilidades de uso do biometano (ESP-2, ESP-4). Aqui é possível entender o quanto a política governamental é importante para o estágio inicial de formação de uma solução nova, corroborando a literatura (MA et al., 2019), e como as instituições reguladoras possuem o poder de facilitar ou dificultar a implementação de tecnologias para que elas entrem no mercado e se sustentem (SILTALOPPI; KOSKELA-HUOTARI; VARGO, 2016). A companhia participa de grupos de discussões com diversos atores – universidades, empresas, formuladores de políticas – para tentar realizar adequações as normas vigentes às necessidades de hoje e tenta provocar mudanças no meio regulatório (ESP-4). O aumento de conhecimento e novas informações podem fornecer uma compreensão mais adequada sobre a situação (TOLSTYKH; SHMELEVA; GAMIDULLAEVA, 2020).

Segundo especialistas da área, o grande desafio do saneamento, principalmente na RMSP, é otimizar os processos e viabilizar a utilização dos subprodutos proveniente as estações de tratamento de esgoto. Para isso é preciso que exista uma visão sistêmica do processo todo, pensando em custos, retorno financeiros, regulamentações, maximizar quantidade de energia gerada e minimizar consumo de energia (ESP-2; ESP-4). Assim, para resolver o problema de alta demanda de água, é necessário investir em desenvolvimento tecnológico, político e social, além da promoção de redução e consumo consciente, é preciso reciclar e reutilizar os subprodutos gerados a partir do esgoto (GIL-MESEGUER; BERNABÉ-CRESPO, 2019). Mapear e identificar as oportunidades colaboram a criação de

valor do produto e levam a diminuição de consumo de matérias primas, geração de resíduos e melhora a eficiência energética (GUERRA-RODRÍGUEZ et al., 2020) e a organização de um ambiente formado entre diversos atores ocorre como uma resposta ao desafio ambientais e colaboram para viabilizar as ações ligadas aos princípios de uma economia circular (TOLSTYKH; SHMELEVA; GAMIDULLAEVA, 2020).

5.4 RESULTADOS APLICADOS NO MODELO ANÁLISE

Os resultados obtidos nessa pesquisa permitiram identificar as principais soluções tecnológicas que existem para o setor de saneamento na RMSP e que contribuem para preservar e controlar os fluxos de água, evitar, reduzir, reciclar e reutilizar a água, que levam a diminuição de consumo de água, redução de resíduos e melhoria na eficiência energética (GUERRA-RODRÍGUEZ et al., 2020), favorecendo o fechamento do ciclo técnico da água. Essas soluções foram aplicadas ao modelo de análise e apresentado na Figura 21.

Figura 21 – Resultados aplicados no modelo de análise

Fonte: Autora

No Princípio 1 são representadas ações que visam garantir disponibilidade de água, regenerar (DAIGGER et al., 2019) e preservar fluxos e assim, garantir segurança hídrica e combater a escassez de água com o objetivo de alinhar o ciclo natural de água com o ciclo

humano (SIRAJ; STEICHEN; SHUOLER, 2018). A principal tecnologia utilizada na RMSP para garantir segurança hídrica é o SSD, tecnologia desenvolvida com apoio de universidade em cooperação com a companhia. O SSD permite o controle em relação aos possíveis cenários relacionados a quantidade de água na RMSP. Já a poluição de fontes hídrica leva a um maior consumo de produtos químicos no processo de tratamento, refletindo em um maior custo operacional, além de influenciar no consumo de energia, dessa forma, a preservação de mananciais reflete diretamente no menor consumo energético a companhia (PLAPPALLY; LIENHARD, 2012; SEIFERT; KRANNICH; GUENTHER, 2019; NIU et al., 2019). As obras verdes contribuem no sentido de restabelecer os ecossistemas.

As ecobarreiras, desenvolvidas em parceria com a Universidade Estadual Paulista, são responsáveis pela retirada de resíduos sólidos dos mananciais. As nanobolhas também foram desenvolvidas com apoio de universidades e estão sendo testadas e ofertadas para agências de fomentos, uma tentativa de desenvolver o mercado para estimular a utilização dessas tecnologias ambientais, que contribuem para revitalização dos rios da RMSP. Para essas duas soluções, as universidades surgem criando campos promissores com potencial de expansão e contribuem criando valor e atraindo capital (HEATON; SIEGEL; TEECE, 2019) para a indústria do saneamento.

Já a injeção de oxigênio, também utilizada para revitalização de rios, foi utilizada baseada no compartilhamento de experiências com outras empresas de outros países, a partir de casos de sucesso, ou seja, houve uma interação de capacidades e conhecimento para o uso da tecnologia (WEI et al., 2020). Ainda, investimento em melhores equipamentos que utilizam menos energia durante os processos, como as membranas filtrantes, levam a eficiência energética e, consequentemente, reduzem os custos operacionais da empresa. A utilização de energia proveniente de lodo de esgoto é uma alternativa promissora que poderia tornar as estações de esgoto autônomas em produção de energia (UN WATER, 2017).

No Princípio 2, as atividades de evitar o uso da água e reduzir perdas colaboram para diminuir a demanda por água doce (BOGUNIEWICZ-ZABLOCKA; KLOSOK-BAZAN; NADDEO, 2019; SMOL; ADAM; PREISNER, 2020). Evitar o uso, depende principalmente da adesão dos clientes da companhia que podem buscar apoio em uma rede de comunicações voltada para conscientizar a população. A adesão de instituições públicas no programa PURA reforça a conscientização para o uso racional e para gestão sustentável da água.

A redução de perdas sempre foi objetivo da empresa, e ganhou reforço com o financiamento de uma agência de fomento japonesa – JICA para expandir a manutenção da infraestrutura hídrica. Além do JICA, as universidades tiveram papel crucial ao colaborar com

desenvolvimento de novas soluções tecnológicas para detecção de perdas como correlacionadores de ruídos e elaboração de banco de dados. Existem outras tecnologias eficientes no mercado que colaboram com o controle de vazamentos, mas que ainda são muito caras e por isso pouco viáveis, que é o caso dos hidrômetros inteligentes. Como os custos são altos, seria necessário aumentar a demanda por esse tipo de tecnologia e desenvolver o mercado para a criação de um ambiente favorável para a expansão do seu uso, fato que ocorreu com os tubos de PEAD, que atualmente, são utilizados em larga escala pela companhia.

A água poluída é conduzida para as estações de tratamento de esgoto, onde os subprodutos do esgoto – lodo, gás e efluente - são tratados. Existem várias opções disponíveis para tratamento do lodo de esgoto (BOLOGNESI, 2019). Para a RMSP, ele pode ser submetido a tocha de plasma, sendo transformado em energia e material vítreo, e o biogás pode ser transformado em biometano. Apesar das soluções existentes para tratamento e utilização do lodo estarem em fase inicial na RMSP, o potencial que existe a partir das parcerias entre companhia, governo, universidades e empresas privadas pode gerar facilidades de acesso de recursos, produção e investimentos, além de desenvolver um ambiente regulatório favorável, que criam condições para que estas tecnologias sejam utilizadas em larga escala na região, como mostra a literatura (TOLSTYKH; SHMELEVA; GAMIDULLAEVA, 2020; FORD et al., 2020).

O tratamento do efluente com uma combinação de tecnologias – membranas ultra filtrantes, osmose reversa - possibilita o reuso da água que pode ser utilizada para diversas finalidades (YERUSHALMI; SEYHI, 2020), dependendo da adesão da população e de grandes empresas/indústrias (VOULVOULIS, 2018). Na RMSP, a participação de polos industriais é fator determinante para viabilizar economicamente a seleção dessas tecnologias para produção de água de reuso. Ainda, a expansão da prática do reuso planejado indireto (RPI), colocado pela primeira vez no plano diretor da RMSP, também é uma opção que pode contribuir para controlar os estoques de água nas bacias da região. A prática de reuso potável direto (RPD), que seria outra alternativa para garantir oferta, no entanto, ainda não é vista como uma possibilidade na RMSP pois exige controles rigorosos e aceitação dos usuários (ESP-2).

No Princípio 3 é possível verificar a utilização do lodo como energia ou como material vítreo, soluções que contribuem para gestão de resíduos sólidos, evitando sua disposição em aterros sanitários, aumentando as opções para uso de energias alternativas e diminuindo as emissões de gases estufas (AWAD; GAR ALALM; EL-ETRIBY, 2019;

GUERRA-RODRÍGUEZ et al., 2020). A energia que pode ser produzida a partir do lodo diminui a utilização de combustíveis fósseis (BOLOGNESI, 2019) e pode ser utilizada na própria estação de tratamento tornando-a uma unidade autossuficiente em energia e também como produção de calor e combustíveis para carros (GUERRA-RODRÍGUEZ et al., 2020).

No âmbito tecnológico, a companhia de saneamento investe em P&D e promove chamadas públicas para buscar a capacitação e conhecimento de novas soluções tecnológicas para aplicar no setor de saneamento. As universidades possuem papel central para desenvolvimento de tecnologias (HEATON; SIEGEL; TEECE, 2019) ambientais e acabam atraindo investimentos para o setor.

No âmbito econômico, é possível verificar que a viabilidade econômica é importante para a tomada de decisão de empresa, e influencia na escolha de se ampliar ou não o uso da tecnologia. O estímulo pode incentivar fabricantes a iniciar uma relação comercial mais sustentável para investimentos em novas tecnologias (JESUS; MENDONÇA, 2018), tornando o mercado mais competitivo. Nessa linha, a companhia busca agências de fomento, startups e outras empresas para introduzirem novos produtos no mercado, como os correlacionadores de ruídos e as nano bolhas, com o objetivo de viabilizar o acesso a essas tecnologias ambientais.

Em relação ao fator institucional, a cooperação entre a companhia e outros parceiros como institutos de fomentos e governo foram importantes para compartilhamento de informações e a seleção da melhor solução (CAVALCANTI; ABREU; CEGLIA, 2018) tecnológica para ser utilizada na RMSP. No caso do tratamento do lodo e do biogás, as agências reguladoras podem facilitar a aplicação de novas tecnologias promovendo um ambiente regulatório favorável para a utilização dos subprodutos da água residual. Aqui, o ecossistema de inovação formado pela interação de diversos atores comandado pela empresa de saneamento é importante para a geração de valor dos subprodutos de uma estação de tratamento de esgoto. A formação de uma rede de relacionamento organizada (TSUJIMOTO et al., 2018) colabora com o desenvolvimento de novos produtos.

Por fim, é preciso modificar práticas culturais (VARGO; AKAKA; WIELAND, 2020) da gestão de água, entendendo os benefícios econômicos e ambientais que existem a partir da seleção de novas tecnologias a longo prazo. O modelo de negócio voltado para uma economia circular cria um novo valor para a água por meio de ações circulares.

Nem todas as soluções discutidas são amplamente utilizadas na RMSP. As oportunidades de circularidade nos processos de abastecimento de água e esgotamento sanitário para RMSP, principalmente em questão a gestão de lodo e biogás, enfrentam problemas econômicos e regulatórios, e podem ser viabilizadas pela interação de atores por

meio de parcerias entre governo-empresas-universidades para inovação ao longo de uma cadeia de valor circular que se estende desde as fontes naturais de água, até o abastecimento, coleta e tratamento de esgoto (R2PI PROJECT, 2019).

Aumentar a interação entre dos atores com diversas capacidades, envolvendo novos participantes (TOLSTYKH; SHMELEVA; GAMIDULLAEVA, 2020), comandados pela empresa de saneamento – empresa focal - pode favorecer a formação de ecossistemas de inovação que é entendido como um instrumento para facilitar a seleção de tecnologias ambientais que favorecem uma gestão circular da água.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo geral foi analisar como fatores externos influenciam a seleção de tecnologias ambientais para aplicação dos princípios da economia circular no setor de saneamento. Os resultados mostram que (a) as tecnologias são selecionadas baseadas na capacidade tecnológica da companhia - que abrange investimento em pesquisa com universidades, conhecimento de novas tecnologias e capacitação da equipe; e na viabilidade econômica que, além de questões financeira, envolve o desenvolvimento de um mercado competitivo para motivar a busca por soluções ambientalmente amigáveis; (b) as universidades apoiam novas propostas de circularidade e ajudam a criar novo valor no mercado; (c) o desenvolvimento do mercado, por sua vez, é influenciado pelo interesse de empresas/indústrias/clientes e pela legislação ambiental vigente; (d) o ambiente regulatório impede a inovação e a adesão a novos produtos; (e) e a parceria entre setor privado, universidade e governo promove o compartilhamento de conhecimento para mudar o ambiente regulatório.

Em resposta à pergunta de pesquisa, os resultados mostram que a empresa está se organizando por meio de uma rede de relacionamentos para enfrentar questões culturais, institucionais, econômicas e tecnológicas e criar um contexto favorável para seleção de tecnologias ambientais que proporcionem a circularidade da água. O aumento de conhecimento incentiva a busca por um novo modelo de negócios voltado para soluções circulares dentro do saneamento e o papel das interações entre os diversos parceiros contribuem para a formação de um ecossistema para inovação que suporta as decisões da empresa de saneamento para seleção de tecnologias.

Com os resultados é possível identificar as principais tecnologias ambientais utilizadas em cada um dos processos envolvidos e entender os fatores que influenciam na seleção ou não dessas tecnologias. Nesse trabalho, a água é vista como um produto que possui alto valor agregado, no qual é necessário estabelecer estratégias de circularidades que altere o antigo modelo linear de produção relacionado aos processos de abastecimento e esgotamento sanitário.

O Princípio 1 está relacionado com medidas para garantir a disponibilidade do recurso natural água, preservar os fluxos hídricos garantindo a manutenção dos ecossistemas e utilizar energias alternativas. O maior controle em relação a variabilidade de quantidade de água na RMSP foi possível a partir da capacidade tecnológica desenvolvida entre empresa e universidade. Ainda, para aumentar a quantidade de água potável produzida existem

tecnologias muito mais compactas e eficientes como a membrana ultra filtrante, porém o alto custo associado a uma baixa demanda por sua utilização acaba refletindo em baixa utilização dessa solução pela empresa. A busca pela preservação dos fluxos hídricos e garantia de disponibilidade de água é um dos objetivos da companhia, e por isso investe-se em obras cinzas e obras verdes. Para a produção de água potável, quanto mais poluída a fonte hídrica, maiores os custos operacionais relacionados ao tratamento dessa água. Então, para a preservação e recuperação dos fluxos hídricos, investe-se em soluções junto com universidades e agências de pesquisas para viabilizar a ampla utilização de tecnologias que visam diminuir a carga orgânica dos rios e mananciais.

O Princípio 2 estabelece o cenário existente na companhia em relação a medidas que visam evitar o consumo desnecessário, reduzir as perdas de água, reciclar e reutilizar os subprodutos do esgoto. Em relação a evitar o uso desnecessário de água, a presença de empresas especializadas em avaliar a qualidade de equipamentos hidráulicos somado a adesão de instituição públicas e a uma política de consumo consciente junto ao governo resultaram em consumidores mais conscientes e preocupados com as atividades cotidianas. Para a redução das perdas, foram desenvolvidas tecnologias nacionais com a colaboração de universidades e instituições de pesquisa para criar soluções mais precisas com valor para o mercado. Já o interesse da companhia de saneamento pela utilização de tecnologias IoT pode promover um aumento na demanda pelo equipamento e um incentivo para tornar a tecnologia mais barata no mercado. Em relação a tecnologias de tubos de PEAD, ela só foi possível após compartilhamento de conhecimento, mudanças de normas e amplo interesse de companhias de saneamento para incentivar a produção desse tubo no mercado. Toda essa interação tornou a utilização do PEAD economicamente viável para a realidade da companhia na RMSP. Evitar e reduzir são ações já consolidadas na companhia e os resultados mostram que as perdas de água diminuíram ao longo dos anos, e que a sociedade adota uma postura mais consciente perante a economia de água.

Já a prática de reciclagem dos subprodutos do esgoto está em estágio inicial na RMSP, e depende de ações de incentivo de governo, empresas e universidades. Os estudos que existem na ETE Barueri mostram que é possível utilizar o lodo como energia e como material vítreo. Ainda, o biogás proveniente do tratamento de lodo pode ser utilizado como combustível, injeção em redes de gás natural, eletricidade e cogeração. O que viabilizará a ampla utilização dessas soluções na RMSP é a formação de um ambiente regulatório favorável que pode ser alcançado por meio de compartilhamento de estudos e informações, e da adesão de empresas para o desenvolvimento de um mercado atrativo para utilização desses

subprodutos. O reuso da água tratada já é utilizado na RMSP, sendo o exemplo mais significativo o Aquapolo Ambiental. A ampla adesão de empresas e indústrias para a utilização de água de reuso é fator essencial para viabilizar a implantação de tecnologias que garantam a qualidade requerida para o uso do efluente tratado.

Em relação ao Princípio 3, o tratamento de esgoto gera externalidades negativas como disposição de lodo em aterros sanitários e emissão de gases estufas. As soluções existentes possibilitam que o lodo seja utilizado como matéria prima para outras atividades e como energia, diminuindo a utilização de combustíveis fósseis e, conseqüentemente, a emissão de GEE's. A possibilidade de utilizar a energia proveniente do lodo em estações de tratamento também traz maior eficiência energética e autonomia para o setor e evitam a utilização de aterros sanitários. Assim, confirma-se que a organização formada por diversos atores é uma resposta para os desafios ambientais que existem em relação a escassez de água e que a seleção de tecnologias ambientais que possibilitam ações relacionadas a circularidade do ciclo técnico da água é facilitada pela interação entre empresas, universidades e governo capaz de promover um ambiente social, regulatório, técnico e economicamente favorável. A falta de tecnologias ambientais não é mais um obstáculo, e sim as condições culturais, técnicas, regulatórias e econômicas.

Do ponto de vista empresarial, a pesquisa contribui ao proporcionar uma visão sistêmica do processo de produção de água potável, uso e direcionamento de esgoto ao identificar oportunidades do setor de saneamento para implantação de um novo modelo para a produção de água, desde sua captação até disposição final. É apresentado soluções tecnológicas possíveis para a RMSP que podem ser aplicadas nos processos de abastecimento e esgotamento sanitário e que visam mitigar danos ambientais e preservar o recurso mais valioso da sociedade: a água. O conhecimento dos processos circulares é necessário para fornecer novos conhecimentos que dão suporte a formuladores de políticas, empresas e indivíduos. Ao levantar o papel de diversos parceiros, o estudo mostra a importância da interação para o ensino, aprendizagem e desenvolvimento de tecnologias por meio de um ecossistema comandado pela empresa de saneamento

Assim, colabora ao mostrar as possibilidades viáveis em uma região metropolitana com baixa disponibilidade hídrica para o gerenciamento das atividades de captação, distribuição e tratamento de esgoto com uma visão circular que garante maior oferta de água doce para a sociedade e meio ambiente, menores demandas de água bruta tratada, menor produção de resíduos depositados em aterros sanitários e produção de energia alternativa limpa. E mostra, através do exemplo da RMSP, como a formação de parcerias com atores

chaves pode proporcionar um ambiente favorável para reduzir as barreiras e facilitar a aplicação de tecnologias ambientais que favorecem a circularidade do setor. Dessa forma, cria valor para os produtos provenientes do esgoto e expande as soluções tecnológicas voltadas para uma economia circular.

No âmbito teórico, contribui ao relacionar economia circular, tecnologias ambientais e fatores que habilitam ou restringem a inovação em um modelo de análise, proporcionando uma visão sistêmica sobre o tema que auxilia na compreensão das principais oportunidades para aplicação dos princípios da Economia Circular no setor de saneamento. O estudo de caso mostra que a tecnologia em si não é um gargalo para o setor de saneamento, e sim barreiras relacionadas a custos elevados, ambiente regulatório e falta de capacitação técnica que podem ser superadas com a interação de diversos atores para a expansão das soluções tecnológicas existentes. O modelo de análise desenvolvido a partir dos resultados mostra as oportunidades existentes que promovem o fechamento do ciclo técnico da água integradas à um ecossistema formado por diversos parceiros que atuam para facilitar o acesso a novas tecnologias ambientais por meio de compartilhamento de conhecimento e informações, criação de novos produtos, desenvolvimento do mercado e políticas para adesão da sociedade. Assim, uma rede de relacionamentos comandada por uma empresa focal e orientada para inovação tecnológica ambiental é essencial para a aplicação de um modelo de economia circular dentro do setor de água.

6.1 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

No desenvolvimento desse trabalho, as principais limitações encontradas estão relacionadas a falta de indicadores ambientais referentes aos resultados da implantação de uma infraestrutura robusta para garantir a disponibilidade hídrica, à eficiência energética e aos benefícios oriundos da utilização do lodo como matéria prima e energia na RMSP, o que impossibilita quantificar os benefícios ambientais e sociais que as adaptações nas estações de tratamento de esgoto podem trazer ao investirem em processos circulares em seus processos.

6.2 RECOMENDAÇÕES

O trabalho trouxe elementos para que futuras pesquisas estudem o processo de aplicação dos princípios da economia circular em outras empresas de saneamento, principalmente em estações de tratamento de esgoto que proporciona os *loops* do ciclo técnico

da água com a utilização do lodo com recurso e com o reuso do efluente tratado. A visão sistêmica e circular do setor de saneamento também contribui para novos estudos na área de políticas públicas. Ainda, sugere-se verificar a influência de um ecossistema de inovação na implementação de um modelo circular no setor.

Em termos econômicos, recomenda-se estudar a relação dos benefícios a longo prazo para a implantação de tecnologias que permitem a circularidade no setor, fazendo uma relação entre Capex (*capital expenditure*) – investimento em bens e capitais - e Opex (*operational expenditure*) – despesas operacionais. A visualização do benefício econômico ao longo do tempo pode estimular mais ações circulares dentro das empresas de saneamento.

REFERÊNCIAS

- ABU-GHUNMI, D. et al. Circular economy and the opportunity cost of not ‘closing the loop’ of water industry: the case of Jordan. **Journal of Cleaner Production**, Virginia, v. 131, p. 228–236, 2016.
- ANA. **Conjuntura dos Recursos: Hídricos no Brasil**. 2019. Disponível em: <<http://conjuntura.ana.gov.br/static/media/conjuntura-completo.bb39ac07.pdf>>. Acesso em: 20 maio 2020.
- ANA. **Atlas Brasil**. 2020. Disponível em: <<http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/analise/RegiaoMetropolitana.aspx?rme=24>>. Acesso em: 13 fev. 2021.
- ARAUJO, W. C. de; OLIVEIRA ESQUERRE, K. P.; SAHIN, O. Building a system dynamics model to support water management: A case study of the semiarid region in the Brazilian northeast. **Water (Switzerland)**, [s. l.], v. 11, n. 12, 2019.
- ARRANZ, N. et al. Incentives and inhibiting factors of eco-innovation in the Spanish firms. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 220, p. 167–176, 2019.
- AWAD, H.; GAR ALALM, M.; EL-ETRIBY, H. K. Environmental and cost life cycle assessment of different alternatives for improvement of wastewater treatment plants in developing countries. **Science of The Total Environment**, Mansoura, v. 660, p. 57–68, 2019.
- BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2011.
- BIANCHINI, A.; ROSSI, J.; PELLEGRINI, M. Overcoming the main barriers of circular economy implementation through a new visualization tool for circular business models. **Sustainability (Switzerland)**, Bologna, v. 11, n. 23, p. 1-33, 2019.
- BOELEE, E. et al. Water and health : From environmental pressures to integrated responses. **Acta Tropica**, Delft, v. 193, n. 2, p. 217–226, 2019.
- BOGUNIEWICZ-ZABLOCKA, J.; KLOSOK-BAZAN, I.; NADDEO, V. Water quality and resource management in the dairy industry. **Environmental Science and Pollution Research**, Opole, v. 26, n. 2, p. 1208–1216, 2019.
- BOLOGNESI, S. Biochar production from sewage sludge and microalgae mixtures : properties , sustainability and possible role in circular economy. **Biomass Conversion and Biorefinery**, Alemanha, v. 10, n. 2, p. 1–11, 2019.
- BONOLI, A. et al. Green smart technology for water (GST4Water): Life cycle analysis of urban water consumption. **Water**, Bologna, v. 11, n. 2, p. 1–12, 2019.
- BRUEL, A. et al. Linking industrial ecology and ecological economics: a theoretical and empirical Foundation for the Circular Economy. **Journal of Industrial Ecology**, Troyes, v. 23, n. 1, p. 12–21, 2019.

CAINELLI, G.; AMATO, A. D.; MAZZANTI, M. Resource efficient eco-innovations for a circular economy. **Evidence from EU firms**, [s. l.], v. 49, n. October, 2020.

CARAYANNIS, E. G. et al. “Mode 3” universities and academic firms: Thinking beyond the box trans-disciplinarity and nonlinear innovation dynamics within cooperative entrepreneurial ecosystems. **International Journal of Technology Management**, [s. l.], v. 77, n. 1–3, p. 145–185, 2018.

CARTER, J. T. et al. A Framework for driving innovation in your water and wastewater utility. **American Water Works Association**, [s. l.], v. 109, n. 12, p. 32–39, 2017.

CASTIGLIONI, S. et al. Mass balance of emerging contaminants in the water cycle of a highly urbanized and industrialized area of Italy. **Water Research**, Milan, v. 131, p. 287–298, 2018.

CASTIGLIONI, S. et al. Micropollutants in Lake Como water in the context of circular economy: A snapshot of water cycle contamination in a changing pollution scenario. **Journal of Hazardous Materials**, Milan, v. 384, p. 121441, 2020.

CAVALCANTI, M.; ABREU, S. de; CEGLIA, D. On the implementation of a circular economy : The role of institutional capacity-building through industrial symbiosis. **Resources, Conservation & Recycling**, Fortaleza, v. 138, p. 99–109, 2018.

CONNOR, R. et al. **Águas residuais: o recurso inexplorado**. 2017. Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247552_por. Acesso em: 20 maio de 2020.

CHENG, W. N. et al. Biorefining waste sludge from water and sewage treatment plants into eco-construction material. **Frontiers in Energy Research**, Hong Kong, v. 7, p. 1–9, 2019.

CHIEF, P. U. B. et al. **Innovation in water Singapore**. 2018. Disponível em: <https://www.pub.gov.sg/resources/publications>. Acesso em: 10 maio 2020.

COLBY, B.; ISAACS, R. Water trading: innovations, modeling prices, data concerns. **Journal of contemporary water research and education**, Arizona, v. 165, n. 1, p. 76–88, 2018.

COSTANTINI, V. et al. Eco-innovation, sustainable supply chains and environmental performance in European industries. **Journal of Cleaner Production**, Roma, v. 155, p. 141–154, 2017.

CRESWELL, J. W. **Projeto de pesquisa: método qualitativo, quantitativo e misto**. Porto Alegre: Artmed, 2010.

CRINI, G. et al. Conventional and non-conventional adsorbents for wastewater treatment. **Environmental Chemistry Letters**, Besançon, v. 17, n. 1, p. 195–213, 2019.

DAE. **Sabesp inova na destinação do lodo**. 2016. Disponível em: <http://revistadae.com.br/site/noticia/12100-Sabesp-inova-na-destinacao-do-lodo>. Acesso em: 20 nov. 2020.

DAIGGER, G. T. et al. The future of water. **Water and Sanitation Division**, [s. l.], v. IDB-DP-657, n. May, p. 756–759, 2019.

DEDEHAYIR, O.; MÄKINEN, S. J.; ORTT, J. R. Technological forecasting & social change roles during innovation ecosystem genesis: A literature review. **Technological Forecasting & Social Change**, [s. l.], v. 136, p. 18–29, 2018.

EC – EUROPEAN COMMISSION. **Guidelines on integrating water reuse into water planning and management in the context of the WFD**. 2016. Disponível em: <https://ec.europa.eu/environment/water/pdf/Guidelines_on_water_reuse.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2020.

EISENHARDT, Kathleen M. Building theories from case study research. **Academy of Management Review**, New York, v. 14, n. 4, p. 532–550, out. 1989.

EKINS, P. et al. A framework for the practical application of the concepts of critical natural capital and strong sustainability. **Ecological Economics**, [s. l.], v. 44, n. 2–3, p. 165–185, 2003.

ELIA, V.; GNONI, M. G.; TORNESE, F. Measuring circular economy strategies through index methods: A critical analysis. **Journal of Cleaner Production**, Salento, v. 142, p. 2741–2751, 2017.

EMF - ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Towards the circular economy: Business rationale for an accelerated transition**. Isle of Wight: EMF, 2015.

EPA. **Potable reuse compendium**. 2018. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2018-01/documents/potablereusecompendium_3.pdf>. Acesso em: 17 maio 2020.

FAPESP. **Notícias**. 2020. Disponível em: <<https://fapesp.br/13996/fapesp-e-sabesp-lancam-chamada-de-propostas>>. Acesso em: 20 nov. 2020.

FORD, R. C. et al. The government 's role in creating an innovation ecosystem: the Springfield Armory as hub in the Connecticut River Valley. **Journal of management history**, Florida, v. 26, n. 4, p. 557–579, 2020.

GEISSDOERFER, M. et al. Business models and supply chains for the circular economy. **Journal of Cleaner Production**, Cambridge, v. 190, p. 712–721, 2018.

GENG, Y. et al. Towards a national circular economy indicator system in China: An evaluation and critical analysis. **Journal of Cleaner Production**, Liaoning Province, v. 23, n. 1, p. 216–224, 2012.

GHERGHEL, A.; TEODOSIU, C.; GISI, S. de. A review on wastewater sludge valorisation and its challenges in the context of circular economy. **Journal of Cleaner Production**, Lasi, v. 228, p. 244–263, 2019.

GHISELLINI, P.; CIALANI, C.; ULGIATI, S. A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. **Journal of Cleaner Production**, Bologna, v. 114, p. 11–32, 2016.

GIBBS, G. **Análise de dados qualitativos**: coleção pesquisa qualitativa. São Paulo: Bookman Editora, 2009.

GIEZEN, M. Shifting infrastructure landscapes in a circular economy: An institutional work analysis of the water and energy sector. **Sustainability (Switzerland)**, Amsterdam, v. 10, n. 10, p. 3487, 2018.

GIL-MESEGUER, E.; BERNABÉ-CRESPO, M. B. Recycled sewage - A water resource for dry regions of Southeastern Spain. **Water Resources Management**, Murcia, v. 33, n. 2, p. 725–737, 2019.

GODOY, A. S. Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades. **Revista de administração de empresas**, v. 35, n. 2, p. 57–63, 1995.

GOMES, L. et al. Technological forecasting & social change unpacking the innovation ecosystem construct: Evolution, gaps and trends. **Technological Forecasting and Social Change**, São Paulo, v. 136, p. 30–48, 2018.

GOV-SP. **Últimas notícias**. 2018. Disponível em: <<https://www.saopaulo.sp.gov.br/ultimas-noticias/interligacao-jaguari-atibainha-beneficios-para-moradores-de-sp-e-rj/>>. Acesso em: 15 ago. 2020.

GOVINDAN, K.; HASANAGIC, M. A systematic review on drivers, barriers, and practices towards circular economy: a supply chain perspective. **International Journal of Production Research**, Odense, v. 56, n. 1–2, p. 278–311, 2018.

GREEN, P. A. et al. Freshwater ecosystem services supporting humans: Pivoting from water crisis to water solutions. **Global Environmental Change**, New York, v. 34, p. 108–118, 2015.

GUERRA-RODRÍGUEZ, S. et al. Towards the implementation of circular economy in the wastewater sector: Challenges and opportunities. **Water (Switzerland)**, Madrid, v. 12, n. 5, p. 1431, 2020.

GWIAZDA, A. Quality tools in a process of technical project management. **Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering**, Gliwice, v. 18, n. 1–2, p. 439–442, set. 2006.

HEATON, S.; SIEGEL, D. S.; TEECE, D. J. Universities and innovation ecosystems: A dynamic capabilities perspective. **Industrial and Corporate Change**, [s. l.], v. 28, n. 4, p. 921–939, 2019.

HOMRICH, A. S. et al. The circular economy umbrella: Trends and gaps on integrating pathways. **Journal of Cleaner Production**, São Paulo, v. 175, p. 525–543, 2018.

HU, W.; TIAN, J.; CHEN, L. Greenhouse gas emission by centralized wastewater treatment plants in Chinese industrial parks: Inventory and mitigation measures. **Journal of Cleaner Production**, Beijing, v. 225, p. 883–897, 2019.

IWA - INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION. **Water utility pathways in a circular economy**. 2016.

IWA - INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION. **The wastewater report 2017 reuse opportunity**. 2018. Disponível em: <<https://www.waterdevelopmentcongress.org/wp-content/uploads/2017/12/OFID-Wastewater-report-2017.pdf>>. Acesso em: 17 maio 2020.

JARAMILLO, M. F.; RESTREPO, I. Wastewater reuse in agriculture: A review about its limitations and benefits. **Sustainability (Switzerland)**, Valle del Cauca, v. 9, n. 10, p. 1734, 2017.

JAWAHIR, I. S.; BRADLEY, R. Technological elements of circular economy and the principles of 6R-Based closed-loop material flow in sustainable manufacturing. **Procedia CIRP**, Lexington, v. 40, n. 1, p. 103–108, 2016.

JESUS, A. de et al. Eco-innovation in the transition to a circular economy: An analytical literature review. **Journal of Cleaner Production**, Lisboa, v. 172, p. 2999–3018, 2017.

JESUS, A. de; MENDONÇA, S. Lost in transition? Drivers and barriers in the eco-innovation road to the circular economy. **Ecological Economics**, Lisboa, v. 145, p. 75–89, 2018.

JICA. **Notícias**. 2012. Disponível em: <<https://www.jica.go.jp/brazil/portuguese/office/news/2011/230212.html>>. Acesso em: 13 set. 2020.

KIRCHHERR, J.; REIKE, D.; HEKKERT, M. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. **Resources, Conservation and Recycling**, Utrecht, v. 127, p. 221–232, 2017.

KISELEV, A. et al. Towards circular economy: evaluation of sewage sludge biogas solutions. **Resources**, [s. l.], v. 8, n. 2, p. 1–19, 2019.

KONIETZKO, J.; BOCKEN, N.; JAN, E. Circular ecosystem innovation: an initial set of principles. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 253, p. 119942, 2020.

KUMAR, V. et al. Circular economy in the manufacturing sector: benefits, opportunities and barriers. **Management Decision**, Bristol, v. 57, n. 4, p. 1067–1086, 2019.

LEITÃO, J.; BRITO, S. de; CUBICO, S. Eco-innovation influencers: unveiling the role of lean management principles adoption. **Sustainability (Switzerland)**, Covilhã, v. 11, p. 1–27, 2019.

LIAO, Z. Environmental policy instruments , environmental innovation and the reputation of enterprises. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 171, p. 1111–1117, 2018a.

LIAO, Z. Institutional pressure , knowledge acquisition and a firm ' s environmental innovation. **Business and Society**, [s. l.], v. 27, n. December, p. 1–9, 2018b.

MA, L. E. I. et al. The impact of local government policy on innovation ecosystem in knowledge resource scarce region: case study of Changzhou, China. **Science, Technology & Society**, Nanjing, v. 1, n. 24, p. 29–52, 2019.

MAKROPOULOS, C. et al. Sewer-mining: A water reuse option supporting circular economy, public service provision and entrepreneurship. **Journal of Environmental Management**, [s. l.], v. 216, p. 285–298, 2018.

MANJU, S.; SAGAR, N. Renewable energy integrated desalination : A sustainable solution to overcome future fresh-water scarcity in India. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Telangana, v. 73, p. 594–609, 2017.

MILLINGTON, N. Producing water scarcity in São Paulo, Brazil: The 2014-2015 water crisis and the binding politics of infrastructure. **Political Geography**, Cape Town, v. 65, p. 26–34, 2018.

MURRAY, A.; SKENE, K.; HAYNES, K. The circular economy: an interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context. **Journal of Business Ethics**, Winchester, v. 140, n. 3, p. 369–380, 2017.

NASCIMENTO, A. L. et al. Chemical attributes of sewage sludges: Relationships to sources and treatments, and implications for sludge usage in agriculture. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 258, p. 1-12, 2020.

NAVARRO, D. et al. Circular economy: The case of a shared wastewater treatment plant and its adaptation to changes of the industrial zone over time. **Journal of Cleaner Production**, Barcelona, v. 261, p. 121242, 2020.

NCI. **Circular economy opportunities and challenges for the brazilian industry**. 2018. Disponível em: <<https://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2018/4/economia-circular-oportunidades-e-desafios-para-industria-brasileira/#circular-economy-opportunities-and-challenges-for-the-brazilian-industry>>. Acesso em: 19 jan. 2020.

NIU, K. et al. Energy intensity of wastewater treatment plants and influencing factors in China. **Science of the total environment**, China, v. 670, p. 961-970, 2019.

OECD. **Oslo Manual 2018**: Guidelines for collecting, reporting and using data on innovation. 4th ed. 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1787/9789264304604-en>>https://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/oslo-manual-2018_9789264304604-en>https://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/oslo-manual-2018_9789264304604-en>. Acesso em: 05 abr. 2020.

OH, D. S. et al. Innovation ecosystems: A critical examination. **Technovation**, [s. l.], v. 54, p. 1–6, 2016.

OKHRAVI, S.; ESLAMIAN, S.; DALEZIOS, N. R. Reducing water shortage crisis through rainwater reuse : lessons learned from ancient toward integrated technology Saeid Okhravi *

Saeid Eslamian. **International Journal of Hydrology and Technology**, Hamadan, v. 9, n. 6, p. 587–602, 2019.

ONU. **Desenvolvimento Econômico**. 2019. Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2019/06/1676601#:~:text=A%20popula%C3%A7%C3%A3o%20mundial%20deve%20aumentar,9%2C7%20bilh%C3%B5es%20em%202050>>. Acesso em: 15 dez. 2020.

OZUSAGLAM, S. Environmental innovation: a concise review of the literature. **Vie & sciences de l'entreprise**, Strasbourg, v. 191/192, n. 2, p. 15, 2012.

PAES, L. A. B. et al. Organic solid waste management in a circular economy perspective – A systematic review and SWOT analysis. **Journal of Cleaner Production**, Bauru, v. 239, p. 118086, 2019.

PEREIRA, R. M.; MARQUES, H. R.; GAVA, R. Innovation ecosystems of Brazilian Federal Universities: A mapping of technological innovation centers, incubators of technology-based companies and technological parks. **International Journal of Innovation Studies**, São Paulo, v. 7, n. 3, p. 341–358, 2016.

PLAPPALLY, A. K.; LIENHARD, J. H. V. Energy requirements for water production, treatment, end use, reclamation, and disposal. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 16, n. 7, p. 4818–4848, 2012.

POGGIANI, F.; SILVA, P. Biossólido aumenta produtividade de eucaliptos. **Revista Visão Agrícola**, São Paulo, v. 4, p. 105-107, 2005.

PSB - PORTAL SANEAMENTO BÁSICO. **ETE mais antiga também é pioneira em inovação**. 2016. Disponível em: <<https://saneamentobasico.com.br/estacao-de-tratamento-de-esgoto-mais-antiga-tambem-e-a-pioneira-em-inovacao/>>. Acesso em: 15 dez. 2020.

PUCCI, T. et al. The role of actors in interactions between “innovation ecosystems”: drivers and implications. **IMP Journal**, [s. l.], v. 12, n. 2, p. 333–345, 2018.

R2PI PROJECT. **A circular economy business model case Israeli Water System**. Jerusalem, 2019. Disponível em: <<http://www.r2piproject.eu/wp-content/uploads/2019/05/Water-Case-Study.pdf>>. Acesso em: 05 abr. 2020.

RANTA, V. et al. Exploring institutional drivers and barriers of the circular economy: A cross-regional comparison of China, the US, and Europe. **Resources, Conservation and Recycling**, Tampere, v. 135, n. August, p. 70–82, 2018.

RENE, E. R.; SHU, L.; JEGGATHEESAN, V. Editorial: Sustainable eco-technologies for water and wastewater treatment. **Journal of water supply: Research and Technology - AQUA**, Melbourne, v. 8, n. 68, p. 617–622, 2019.

ROGERS, E. M. **Diffusion of innovations**. 3. ed. New York: The American Center Library, 2003.

SABESP. **Água, de onde vem?** 2020a. Disponível em:

<<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=31#:~:text=A%20%C3%A1gua%20armazenada%20passa%20por,2%20mil%20litros%20por%20segundo>>. Acesso em: 13 set. 2020.

SABESP. **A questão dos lodos produzidos nas ETES na RMSP.** 2007. Disponível em:

<<https://www.cetesb.sp.gov.br/noticentro/2007/10/sabesp.pdf>>. Acesso em: 15 ago. 2020.

SABESP. **Controle de perdas.** 2020b. Disponível em:

<<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=37>>. Acesso em: 15 ago. 2020.

SABESP. **Crise hídrica, estratégia e soluções da SABESP.** 2015. Disponível em:

<http://site.sabesp.com.br/site/uploads/file/crisehidrica/chess_crise_hidrica.pdf>. Acesso em: 07 abr. 2020.

SABESP. **Água de Reuso.** 2020c. Disponível em:

<<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=569>>. Acesso em: 15 ago. 2020.

SABESP. **Estratégia.** 2020d. Disponível em:

<<http://www.sabesp.com.br/novosnegocios/estrategia.html>>. Acesso em: 15 ago. 2020.

SABESP. **Estratégias Resilientes.** 2020e. Disponível em:

<http://site.sabesp.com.br/site/uploads/file/asabesp_doctos/livro_estrategias_resilientes.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2020.

SABESP. **Interligação Jaguari/Atibainha.** 2020f. Disponível em:

<<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=548#:~:text=A%20Interliga%C3%A7%C3%A3o%20consiste%20em%20um,Atibainha%2C%20pertencente%20ao%20Sistema%20Cantareira>>. Acesso em: 15 ago. 2020.

SABESP. **Notícias.** 2017. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/imprensa/noticias-detalle.aspx?secaoId=65&id=7576>>. Acesso em: 13 set. 2020.

SABESP. **Notícias.** 2018. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/imprensa/noticias-detalle.aspx?secaoId=65&id=7892>>. Acesso em: 13 set. 2020.

SABESP. **Notícias.** 2020g. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/imprensa/noticias-detalle.aspx?secaoId=65&id=8427>>. Acesso em: 13 set. 2020.

SABESP. **Perfil.** 2020h. Disponível em:

<<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=505>>. Acesso em: 13 set. 2020.

SABESP. **Redução de Pressão.** 2020i. Disponível em:

<<http://www.sabesp.com.br/reducaopressao/>>. Acesso em: 13 set. 2020.

SABESP. **Releases.** 2012. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/imprensa/Releases-Detalhes.aspx?secaoId=192&id=4893>>. Acesso em: 15 ago. 2020.

SABESP. **Releases.** 2019a. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/imprensa/Releases-Detalhes.aspx?secaoId=65&id=8155#:~:text=Em%20Franca%2C%20destaca%2Dse%20a,g>>

%C3%A1s%20com%20alto%20potencial%20energ%C3%A9tico>. Acesso em: 15 ago. 2020.

SABESP. **Relatório de Sustentabilidade, Sabesp**. 2019b. Disponível em: <http://site.sabesp.com.br/site/uploads/file/asabesp_doctos/RS2019_PORTUGUES.pdf>. Acesso em: 07 abr. 2020.

SABESP. **Tratamento de Esgotos**. 2020j. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=49>>. Acesso em: 15 dez. 2020.

SABESP. **Portal dos Mananciais**. 2020l. Disponível em: <<http://mananciais.sabesp.com.br/Situacao>>. Acesso em: 15 dez. 2020.

SABESP. **Curiosidades Técnicas no Trabalho da Sabesp**. 2020m. Disponível em: <<https://www.facebook.com/399621800073/videos/753518308820521>>. Acesso em: 20 ago. 2020.

SABESP. **Um panorama sobre tecnologias**. 2020n. Disponível em: <https://www.instagram.com/tv/CFh7_MynRuD/?igshid=1b9bqvhdsea0f>. Acesso em: 24 set. 2020.

SANTELMANN, M. et al. Designing and modeling innovation across scales for urban water systems. **Urban Ecosystems**, [s. l.], v. 22, n. 6, p. 1149–1164, 2019.

SARR, M.; NOAILLY, J. Innovation, diffusion, growth and the environment: Taking stock and charting new directions. **Environmental and Resource Economics**, Rondebosch, v. 66, n. 3, p. 393–407, 2017.

SEIFERT, C.; KRANNICH, T.; GUENTHER, E. Gearing up sustainability thinking and reducing the bystander effect – A case study of wastewater treatment plants. **Journal of Environmental Management**, Dresden, v. 231, n. August, p. 155–165, 2019.

SHERRY, J. et al. Perceptions of Water Services and Innovations to Improve Water Services in Tanzania. **Public Works Management and Policy**, Virginia, v. 24, n. 3, p. 260–283, 2019.

SILTALOPPI, J.; KOSKELA-HUOTARI, K.; VARGO, S. L. Institutional complexity as a driver for innovation in service ecosystems. **Service Science**, [s. l.], v. 8, n. 3, p. 333–343, 2016.

SIRAJ, T.; STEICHEN, T.; SHUOLER, M. **Water and circular economy**: white PapArarup Group. Antea Group & Ellen Macarthur Foundation. [s.l: s.n.], 2018.

SMOL, M. Inventory of wastes generated in polish sewage sludge incineration plants and their possible circular management directions. **Resouces**, Cracow, v. 9, n. 8, p. 1-23, 2020.

SMOL, M.; ADAM, C.; PREISNER, M. Circular economy model framework in the European water and wastewater sector. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, Cracow, v. 22, p. 682–697, 2020.

- SNIS. **Painel de informações sobre saneamento**. 2020. Disponível em: <<http://snis.gov.br/painel-informacoes-saneamento-brasil/web/>>. Acesso em: 07 abr. 2020.
- SOUSA, J. M. et al. Ozonation and UV254 radiation for the removal of microorganisms and antibiotic resistance genes from urban wastewater. **Journal of Hazardous Materials**, [s. l.], v. 323, p. 1–8, 2017.
- SPILLER, M. et al. Integrating process and factor understanding of environmental innovation by water utilities. **Water Resources Management**, Wageningen, v. 29, n. 6, p. 1979–1993, 2015.
- STEWART, R.; NIERO, M. Circular economy in corporate sustainability strategies: A review of corporate sustainability reports in the fast-moving consumer goods sector. **Business Strategy and the Environment**, [s. l.], v. 27, n. 7, p. 1005–1022, 2018.
- SU, B. et al. A review of the circular economy in China: Moving from rhetoric to implementation. **Journal of Cleaner Production**, Seoul, v. 42, p. 215–227, 2013.
- SUÁREZ-EIROA, B. et al. Operational principles of circular economy for sustainable development: Linking theory and practice. **Journal of Cleaner Production**, Vigo, v. 214, p. 952–961, 2019.
- TALMAR, M. et al. Mapping, analyzing and designing innovation ecosystems: The Ecosystem Pie Model. **Long Range Planning**, [s. l.], v. 53, n. 4, p. 101850, 2020.
- TOLSTYKH, T.; SHMELEVA, N.; GAMIDULLAEVA, L. Evaluation of circular and integration potentials of innovation ecosystems for industrial sustainability. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], v. 12, n. 11, p. 1–17, 2020.
- TORTAJADA, C.; SAMBIAR, S. Communications on Technological Innovations: Potable Water Reuse. **WATER**, Singapore, v. 11, n. 251, p. 1–29, 2019.
- TSUJIMOTO, M. et al. A review of the ecosystem concept — Towards coherent ecosystem design. **Technological Forecasting and Social Change**, [s. l.], v. 136, n. December, p. 49–58, 2018.
- TURA, N. et al. Unlocking circular business: A framework of barriers and drivers. **Journal of Cleaner Production**, Lappeenranta, v. 212, p. 90–98, 2019.
- UN WATER. **Águas residuais: o recurso inexplorado**. 2017. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247552_por>. Acesso em: 20 maio 2020.
- VAN DER LEER, J.; VAN TIMMEREN, A.; WANDL, A. Social-Ecological-Technical systems in urban planning for a circular economy: an opportunity for horizontal integration. **Architectural Science Review**, Delf, v. 61, n. 5, p. 298–304, 2018.
- VARGO, S. L.; AKAKA, M. A.; WIELAND, H. Rethinking the process of diffusion in innovation: A service-ecosystems and institutional perspective. **Journal of Business Research**, Honolulu, v. 116, n. January, p. 526–534, 2020.

VELEVA, V.; BODKIN, G. Corporate-entrepreneur collaborations to advance a circular economy. **Journal of Cleaner Production**, Boston, v. 188, p. 20–37, 2018.

VOULVOULIS, N. Water reuse from a circular economy perspective and potential risks from an unregulated approach. **Current Opinion in Environmental Science and Health**, Londres, v. 2, p. 32–45, 2018.

WANG, Y.; WU, X.; TORTAJADA, C. Innovative and transformative water policy and management in China. **International Journal of Water Resources Development**, Beijing, v. 36, n. 4, p. 1–8, 2020.

WEI, F. et al. A conceptual framework of two-stage partner selection in platform- based innovation ecosystems for servitization. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 262, p. 121431, 2020.

WERLE, S.; SOBEK, S. Gasification of sewage sludge within a circular economy perspective : a Polish case study. **Environmental Science and Pollution Research**, Gliwice, v. 26, n. 35, p. 35422–35432, 2019.

WHO. **Guidance for producing safe drinking-water**. 2017. Disponível em: <https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/potable-reuse-guidelines/en/>. Acesso em: 17 maio 2020.

WINANS, K.; KENDALL, A.; DENG, H. The history and current applications of the circular economy concept. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Davis, v. 68, p. 825–833, 2017.

WWDR. **Water and climate change**. 2020. Disponível em: <<https://environmentalmigration.iom.int/world-water-development-report-2020#:~:text=The%202020%20edition%20of%20the,in%20terms%20of%20adaptation%20and>>. Acesso em: 05 abr. 2020.

YERUSHALMI, L.; SEYHI, B. Development of a full-cycle water remediation process. **Water Practice & Technology**, Montreal, v. 15, n. 1, p. 66–76, 2020.

YIN, R. K. **Estudo de caso - planejamento e métodos**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

YU, S.; ZHENG, Y.; LI, L. A comprehensive evaluation of the development and utilization of China's regional renewable energy. **Energy Policy**, Wuhan, v. 127, n. November, p. 73–86, 2019.

APÊNDICE A - Guia para entrevistas

Etapas da entrevista	
1	Apresentação do projeto de pesquisa
2	Agradecimento da disponibilidade para a entrevista
3	Explicar que a pesquisa possui cunho acadêmico e que servirá de base para o desenvolvimento de dissertação sobre Economia Circular
4	Explicar que as respostas serão tabuladas em conjunto e não existirá a possibilidade de identificação
5	Explicar que haverá sigilo da pesquisa quanto a identidade dos entrevistados
6	Explicar o objetivo da entrevista
7	Explicar as etapas da pesquisa e como será feita a análise dos dados coletados
8	Início do questionário (não interromper)
9	Finalização do questionário – Será informado que após a transcrição o material será encaminhado para validação
10	Agradecimentos Finais

APÊNDICE B – Roteiro para entrevistas

CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI - CAMPUS SÃO PAULO
PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO - MESTRADO

INSTITUIÇÃO/EMPRESA: COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO

NOME: _____

FUNÇÃO: _____

	ECONOMIA CIRCULAR
	PRINCÍPIO 1
ÁGUA	<p>Como surgiu a parceria com a LabSid/USP para o desenvolvimento do SSD? Com o SSD e o CCM é possível prever situações similares ao cenário da crise hídrica que se iniciou em 2014?</p> <p>Além do SSD, existem outras tecnologias que são utilizadas para monitorar a oferta de água na RMSP? Quais os critérios considerados para seleção dessas tecnologias e qual o papel dos parceiros envolvidos?</p> <p>Na RMSP, quais as principais dificuldades envolvidas na preservação dos mananciais? Quais as soluções tecnológicas utilizadas para manter a qualidade de água bruta e como os parceiros atuam e colaboram para aplicação dessas soluções?</p> <p>A qualidade dos mananciais reflete na escolha das tecnologias utilizadas nas estações de tratamento. Quais as principais tecnologias utilizadas no tratamento de água para combater problemas como gosto e odor associados a floração algas? Quais as dificuldades na busca da atualização de tecnologias para acompanhar as mudanças de qualidade da água bruta? Comente sobre os atores que colaboram para tornar o combate as algas e o tratamento de água mais eficientes.</p> <p>Durante a crise hídrica houve a opção de utilização de membranas ultra filtrantes. Quais fatores contribuíram para a escolha dessa nova tecnologia e quais foram as principais dificuldades relacionadas a implantação e operação? Comente sobre os atores envolvidos nessa implementação.</p> <p>A companhia desenvolve inúmeras obras de interligações e transferências de vazões visando a segurança hídrica da RMSP. Além dessas soluções, são utilizadas tecnológicas de baixo impacto ambiental para aumentar a oferta de água para a população? Quais as maiores dificuldades para implementar soluções de baixo impactos e como a companhia se organiza para superá-las? Existem parcerias?</p> <p>A dessalinização ou a captação e utilização de água da chuva são vistas como alternativas viáveis pela companhia para ajudar a suprir a demanda de água na RMSP? Se sim, existem parceiros? Quais as principais barreiras relacionadas a essas alternativas e como a companhia se organiza para buscar novas soluções tecnológicas?</p> <p>A companhia executa diversas ações para preservação de áreas verdes e de áreas de proteção no entorno de mananciais. Comente sobre as principais dificuldades em monitorar essas áreas e quais as soluções tecnológicas e atores envolvidos nessa atividade?</p> <p>Sobre segurança hídrica e preservação dos mananciais, há outros aspectos que você gostaria de destacar?</p>

ENERGIA	<p>De que forma esse Programa Geração Distribuída atinge a RMSP para o uso de energia fotovoltaica nos processos de abastecimento e esgotamento sanitário? Quais as principais dificuldades para implementar energia fotovoltaica na RMSP? Quais atores são importantes para essa implementação e por quê?</p> <p>Na RMSP, já existe alguma estação de tratamento que está utilizando energia alternativa em suas operações? Quais as dificuldades, ações e metas da companhia para a substituição do uso convencional de energia elétrica pelo consumo de energias alternativas nas estações de tratamento?</p> <p>Como a companhia busca minimizar o consumo de energia e adaptar os processos já existentes de captação, distribuição e tratamento de água e esgoto na RMSP? Quais as principais dificuldades nesse processo e como a empresa busca superá-los? Quais atores colaboram para a redução no consumo de energia?</p> <p>Na RMSP, existem metas para produzir energia na própria estação de tratamento de esgoto? O que é preciso para expandir essa proposta nas estações da região?</p> <p>Sobre energia alternativa e redução de consumo de energia, há outros aspectos que você gostaria de destacar?</p>
PRINCÍPIO 2	
EVITAR	<p>Quais são tecnologias que estão sendo desenvolvidas ou que já são utilizadas na RMSP objetivando redução do consumo de água por parte do usuário? A companhia possui parceiros que colaboram para disseminar a utilização dessas tecnologias?</p> <p>Na RMSP, quais as principais dificuldades em implementar soluções tecnológicas que colaborem para redução do consumo de água do consumidor e como parcerias podem contribuir para disseminar o uso dessas tecnologias?</p> <p>Quais os principais resultados, que você enxerga, desde a implantação do PURA até hoje?</p> <p>Sobre tecnologias e consumo consciente de água, há outros aspectos que você gostaria de destacar?</p>
REDUÇÃO	<p>Quais as principais mudanças tecnológicas e resultados obtidos que ocorreram no Programa de Combate as Perdas com a entrada da parceria do JICA em 2012?</p> <p>Existem diversas soluções para redução de perdas como por acústica, inteligência artificial e resposta por frequência. Qual a principal tecnologia utilizada pela companhia? Quais as dificuldades em selecionar e implementar novas tecnologias para combate de perdas na RMSP e como superá-las?</p> <p>Quais as principais tecnologias utilizadas para redução de perdas na RMSP? Como parcerias e outros atores podem colaborar para a ampliação de novas soluções para redução de perdas mais eficiente?</p> <p>Sobre o combate as perdas, há outros aspectos que você gostaria de destacar?</p>

RECICLAGEM	<p>Quais as principais tecnologias que a companhia utiliza para otimizar a fase sólida e aproveitar o potencial do lodo como fonte de matéria orgânica ou como fonte de energia? Como a companhia busca aprimorar e encontrar novas soluções tecnológicas?</p> <p>Quais das soluções tecnológicas citadas na questão anterior possuem maior viabilidade de implementação na RMSP e por quê? Quais ETEs utilizam essas tecnologias? Existem parceiros atuando para realizar expansão dessas tecnologias na RMSP?</p> <p>Quais são as soluções mais viáveis para o tratamento e utilização do lodo na RMSP e quais já são aplicadas na região? O que dificulta a utilização do lodo como recurso em outros processos na RMSP e como parcerias colaboram para ampliar a aplicação dessas soluções? Existem metas?</p> <p>A ETE Barueri concentra estudos importantes relacionados ao tratamento do lodo, utilização do biogás e reuso da água. Quais fatores foram levados em consideração para que essa estação fosse a escolhida para realização desses estudos? Quais as principais parcerias, tecnologias envolvidas e resultados obtidos?</p> <p>O biogás pode ser utilizado como combustível, em rede de gás ou pode ser transformado em energia elétrica. Existe planejamento e parcerias para a comercialização do biogás na RMSP? Quais as principais barreiras para expansão do uso comercial desse produto?</p> <p>Quais as dificuldades em expandir a produção e o uso de biogás na RMSP? Existem atores atuando em conjunto para viabilizar a utilização desse gás? Comente sobre as principais metas envolvendo o uso de biogás?</p> <p>Considerando a RMSP, quais são os produtos provenientes do lodo do esgoto que são utilizados ou internamente ou pela população? Quais as principais dificuldades em ampliar o uso desses produtos e como a companhia busca superar essas dificuldades?</p> <p>Sobre tecnologias utilizadas para reciclagem do lodo e tratamento de esgotos, há outros aspectos que você gostaria de destacar.</p>
REUSO	<p>O Aquapolo Ambiental é o maior projeto de utilização de água de reuso para fins industriais. Como surgiu a iniciativa de implantação desse projeto? Quais fatores foram essenciais para sua conclusão e operação?</p> <p>Como a companhia se organiza para buscar as melhores soluções tecnológicas para produção de água de reuso e garantir a qualidade final do produto?</p> <p>Quais as principais barreiras que a produção de água de reuso enfrenta e como a companhia busca superá-las? Como gerar valor para esse produto e aumentar o reuso urbano e industrial?</p> <p>Como viabilizar o reuso indireto planejado na RMSP? A companhia busca aplicar e ampliar essa prática na RMSP? Quais as principais dificuldades e atores envolvidos?</p> <p>As tecnologias que a companhia utiliza hoje nas ETEs possibilitam o RDP? Essa prática é considerada uma opção para garantir oferta de água? Quais as mudanças que precisariam ocorrer para viabilizar essa alternativa?</p> <p>Sobre reuso, há outros aspectos que você gostaria de destacar?</p>

	PRINCÍPIO 3
EXTERNALIDADES	<p>A ETE FRANCA é um exemplo completo de uma planta de tratamento de esgoto que aproveita todos os subprodutos gerados a partir do tratamento de esgoto. Como surgiu a ideia de aplicar os conceitos de economia circular em Franca e quais fatores foram essenciais para o sucesso do projeto?</p> <p>Qual a grande contribuição do projeto de Franca para a RMSP? Quais as principais dificuldades em replicar o modelo de Franca na região e como a companhia busca superá-los? Existem parceiros atuando para viabilizar a implementação de soluções que aproveitem lodo e biogás?</p> <p>O Programa ETEs sustentáveis é uma iniciativa que busca adaptar as ETE e transformá-las em estações com maior eficiência. Existem metas para realizar essas adaptações nas ETEs da região de RMSP? Como a companhia se organiza para ampliar essas ações? Quais atores estão contribuindo com as ações desse programa?</p> <p>Como o Pitch promovido pela companhia colabora para geração de valor da água e dos produtos do esgoto? Comente sobre soluções que já são aplicadas na RMSP e os fatores que contribuíram para essa implementação?</p> <p>Ao mesmo tempo que o aumento da coleta de esgoto traz benefícios, o tratamento do esgoto traz grandes desafios como alto consumo de energia e emissão de gases estufas. Quais ações existem para mitigar essas externalidades? Existem parcerias atuando em conjunto para implantação de tecnologias mais eficientes?</p> <p>Sobre as consequências provenientes dos processos de abastecimento e esgotamento sanitário e suas soluções, há outros aspectos que você gostaria de destacar?</p>