



Evolução da Área de Cobertura de Esgotamento Sanitário da Bacia Hidrográfica do Rio Cotia – SP

Bruno Pereira Toniolo

Doutorando em Ciências Ambientais, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia – Câmpus de Sorocaba, São Paulo, SP, Brasil

bruperton.cad@gmail.com

Darllan Collins da Cunha e Silva

Professor Doutor, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia – Câmpus de Sorocaba, São Paulo, SP, Brasil

darllan.collins@unesp.br

Roberto Wagner Lourenço

Professor Doutor, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia – Câmpus de Sorocaba, São Paulo, SP, Brasil

roberto.lourenco@unesp.br

Resumo: As áreas de cobertura de esgotamento sanitário são fundamentais para que as Companhias de Saneamento planejem, de forma eficaz, suas demandas operacionais. Este estudo teve como objetivo analisar a dinâmica espacial e temporal das áreas de coleta e tratamento de esgoto na Bacia Hidrográfica do Rio Cotia (BHRC), na região metropolitana de São Paulo, sob responsabilidade da SABESP, Companhia de Saneamento Básico do Estado. A metodologia envolve o cálculo das áreas saneadas entre 2008 a 2024 com cruzamento de dados realizados por meio de análises gráficas, tabelas e mapas. Os resultados demonstraram uma expansão expressiva e contínua das áreas de coleta e tratamento, assim como as ligações em áreas urbanizadas e periféricas. Contudo, a área de tratamento possui um descompasso significativo em relação à área de coleta, evidenciando a priorização de universalização das áreas não tratadas. Conclui-se que o estudo cumpriu seu objetivo de maneira eficaz, destacando o avanço substancial da infraestrutura de saneamento em conformidade com as metas de universalização do novo marco legal. Recomenda-se uma atenção especial às áreas periféricas e à inclusão de considerações ambientais para fortalecer a sustentabilidade da expansão.

Palavras-chave: Geoprocessamento, Esgoto, Análise Espacial, Universalização, Saneamento Básico.



1. Introdução

A cobertura de saneamento básico é essencial para a saúde pública, a qualidade de vida da população e a preservação dos recursos ambientais. Em regiões altamente urbanizadas, como a Bacia Hidrográfica do Rio Cotia (BHRC), o crescimento populacional e a expansão urbana exercem uma pressão crescente sobre a infraestrutura de saneamento, exigindo uma ampliação constante das redes de coleta e tratamento de esgoto (SANTIAGO et al., 2024; INSTITUTO TRATA BRASIL, 2024).

Essas áreas, operadas pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp) desempenham um papel vital na mitigação dos impactos ambientais, uma vez que o esgoto não coletado e tratado representa uma fonte de poluição para os corpos d'água, além de aumentar a incidência de doenças de veiculação hídrica. Assim, a ampliação das áreas de cobertura de esgoto é fundamental para garantir a segurança ambiental e sanitária da população local (BRAATZ et al., 2023).

A universalização do saneamento básico tornou-se uma prioridade legal no Brasil com o novo marco do saneamento, que estabelece metas rigorosas para que todos os municípios alcancem 99% de cobertura de água potável e 90% de cobertura de esgoto até 2033. No estado de São Paulo, essa meta foi antecipada para 2029, reforçando a urgência de expandir as áreas de coleta e tratamento de esgoto. Essa obrigatoriedade cria um cenário em que a Sabesp e outras prestadoras devem planejar e executar obras de infraestrutura em um ritmo acelerado, buscando atender às exigências legais enquanto mantêm a qualidade dos serviços (BRASIL, 2023a).

Para a BHRC, o objetivo representa um desafio significativo, dado o crescimento urbano e a complexidade da cobertura sanitária em uma área ambientalmente sensível. A análise da evolução dessas áreas de cobertura é, portanto, fundamental para identificar lacunas, planejar a universalização com eficiência e avaliar o cumprimento (TONOLO, 2020).

O monitoramento da evolução da cobertura de saneamento ao longo dos anos fornece dados valiosos para o planejamento de infraestrutura e a alocação de recursos. No entanto, o crescimento das áreas de coleta e tratamento de esgoto nem sempre ocorre de forma sincronizada, o que pode resultar em áreas parcialmente atendidas e desafios para a universalização dos serviços de saneamento. Enquanto as redes de coleta podem avançar rapidamente, acompanhando a expansão urbana, áreas de tratamento, que exigem maiores investimentos e planejamento, continuam carentes de infraestrutura específica. A falta de uma expansão equilibrada entre coleta e tratamento pode, portanto, impactar a qualidade dos recursos (SABESP, 2023a; SABESP, 2023b).

Uma análise geoespacial das áreas de coleta e tratamento de esgoto permite visualizar a evolução dessas áreas de forma detalhada e sistemática, possibilitando a identificação de regiões críticas e a avaliação da eficácia das expansões. O uso de geoprocessamento para monitorar as transformações espaciais e temporais das áreas de cobertura torna-se uma ferramenta poderosa e essencial para o planejamento e a gestão de serviços de saneamento. Em um contexto de demanda crescente por infraestrutura sustentável e eficiente, esses dados geoespaciais permitem que gestores e planejadores tomem decisões determinantes (PAVÃO, 2017).

Assim este estudo tem como objetivo analisar a evolução das áreas de coleta e tratamento de esgoto na Bacia Hidrográfica do Rio Cotia (BHRC) entre 2008 e 2024, utilizando



geoprocessamento para realizar uma análise espacial e temporal da cobertura, por meio de mapas temáticos e métricas de cobertura.

2. Fundamentação teórica

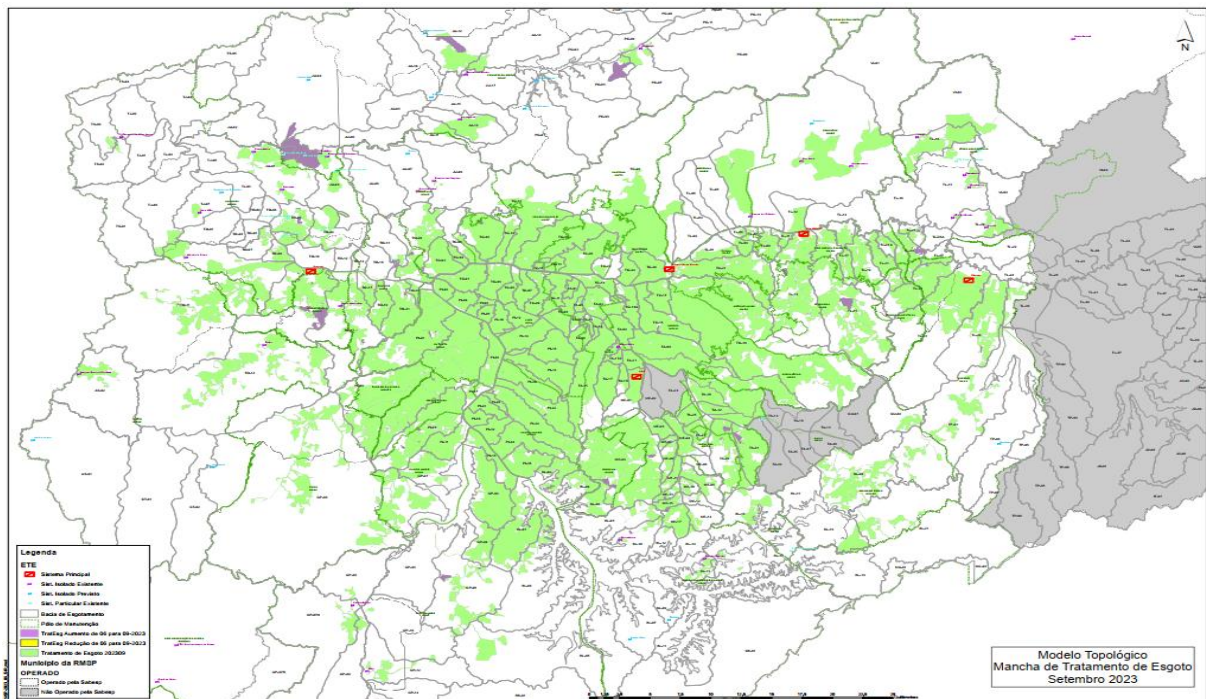
A área de cobertura de esgotamento sanitário refere-se ao espaço geográfico onde a infraestrutura de coleta e tratamento de esgoto está disponível para os imóveis, permitindo que eles possam se conectar ao sistema e destinar o esgoto para tratamento adequado (NOORI & SINGH, 2021).

A delimitação dessas áreas é realizada em Sistemas de Informações Geográficas (SIG) por meio de uma equidistância fixa, geralmente entre 50 e 100 metros a partir das redes coletoras, utilizando a ferramenta Buffer para criar um polígono ao redor das tubulações. Após a criação do Buffer, este é retificado manualmente com base nos limites das propriedades ocultas à rede, utilizando imagens de satélite para uma interpretação detalhada (QGIS, 2024; SABESP, 2023a).

Na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), essas áreas de cobertura são monitoradas e atualizadas mensalmente pelas unidades operacionais da SABESP, que verificam os lançamentos de efluentes conectados às tubulações, eliminando o descarte in natura. As áreas de cobertura de tratamento, por sua vez, são delimitadas com base na confirmação das redes que transportam o esgoto até as Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), o que torna geralmente menores que as áreas de coleta (SABESP; 2024; SABESP, 2023a).

A Figura 1 apresenta um exemplo de área de cobertura, referente ao tratamento de esgoto na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), destacada na cor verde, para setembro de 2023.

Figura 1. Área de cobertura de tratamento de esgoto da RMSP.



Fonte: Sabesp (2023a).



É fundamental que o cadastro técnico do sistema de esgotamento seja fidedigno à realidade para evitar inconsistências cadastrais que possam comprometer a precisão da delimitação das áreas de cobertura. Inconsistências como redes desconectadas, declividade negativa e redes posicionadas fora do arruamento são exemplos de problemas que podem interferir na delimitação e gerar erros no mapeamento das áreas (TONIOLO et al., 2021).

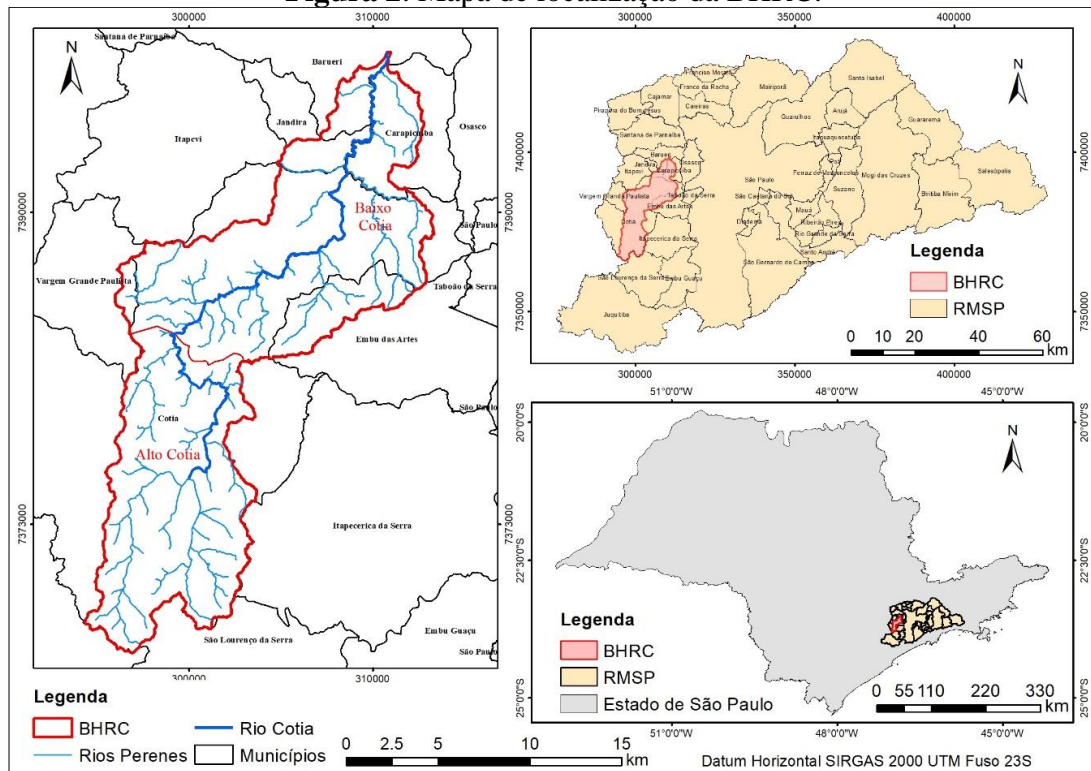
A expansão da área de cobertura é um objetivo central para a universalização de serviços públicos, principalmente em áreas onde a infraestrutura ainda não chegou ou é insuficiente. No caso do esgotamento sanitário, a universalização visa garantir que toda a população tenha acesso a redes coletoras e estações de tratamento, de modo a minimizar os impactos ambientais e sanitários (BRASIL, 2023b).

3. Metodologia

3.1. Caracterização da Área de Estudo

A área de estudo é a Bacia Hidrográfica do Rio Cotia (BHRC), localizada na zona oeste da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), abrangendo os municípios de Barueri (2,80%), Carapicuíba (6,92%), Cotia (79,32%), Embu das Artes (7,01%), Jandira (2,81%) e Vargem Grande Paulista (1,15%). Com uma extensão de 251,36 km², a BHRC divide-se em duas regiões distintas, Baixo Cotia e Alto Cotia, cada uma com características próprias relacionadas às condições físicas e de preservação ambiental (Figura 2) (SABESP, 2024). A Figura 2 exibe o mapa de localização da BHRC.

Figura 2. Mapa de localização da BHRC.



Fonte: Toniolo (2020).



A Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, por meio da Unidade de Negócio Oeste (Sabesp Oeste), é responsável pela operação dos sistemas de adução e abastecimento de água potável, bem como pelo sistema de coleta e remoção de esgoto na Bacia Hidrográfica do Rio Cotia (BHRC). Em 2023, a bacia apresentou os seguintes dados de saneamento: 68 km de adutoras, 1.287 km de redes de água em operação, 660 km de redes de esgoto em operação, 46.745 ligações de água (TL 0), 82.377 ligações de água e esgoto (TL 1), 278 ligações de esgoto (TL 2) e 276 pontos de lançamento de efluentes não tratados. Destes lançamentos, 268 são considerados "abandonados" – conectados à rede coletora, estado ocasional – enquanto 179 permanecem "em operação", situação indesejável que requer conexão à rede coletora (SABESP, 2024).

De acordo com Toniolo (2020), o Baixo Cotia é uma área intensamente antropizada, ou seja, com efetiva ação humana, residenciais ou industriais, no meio ambiente e seus impactos negativos como poluição da Água, ligações clandestinas, despejos de detritos em áreas inadequadas que, associados a ausência de infraestrutura de esgotamento e tratamento impactam a qualidade da água servida. (SÃO PAULO, 2007). O Alto Cotia corresponde à Reserva Florestal do Morro Grande (RFMG), um remanescente do Planalto Atlântico Paulista que abriga a nascente do Rio Cotia e as Represas Pedro Beicht e Cachoeira da Graça. Desde 1916, essa região compõe o Sistema Produtor do Alto Cotia, responsável pelo abastecimento de água para mais de 550 mil habitantes na RMSP (TONIOLO, 2020). No entanto, o Baixo Cotia não conta com a devida proteção ambiental, apresentando ocupação das várzeas, contaminação da água e assoreamento pelo uso irregular do solo.

3.2. Material e método

Foram usados os *shapefiles*, um formato de armazenamento de dados que permite agregar dados de posição, forma e atributos de feições geográficas das áreas de cobertura de coleta e tratamento de esgoto da RMSP, incorporada pela SABESP com atualização anual. O período analisado neste estudo, de 2008 a 2024, corresponde a 16 anos de trabalho na área de coleta e tratamento sanitário. As camadas foram projetadas em sistema de coordenadas espacial único, isto é, Sirgas 2000 UTM 23S (código 39183). O SIG usado foi o QGIS 3.28 (QGIS, 2024). Ressalta-se que o Buffer padrão na delimitação dessas áreas é de 100 metros a partir da rede coletora (SABESP, 2023a).

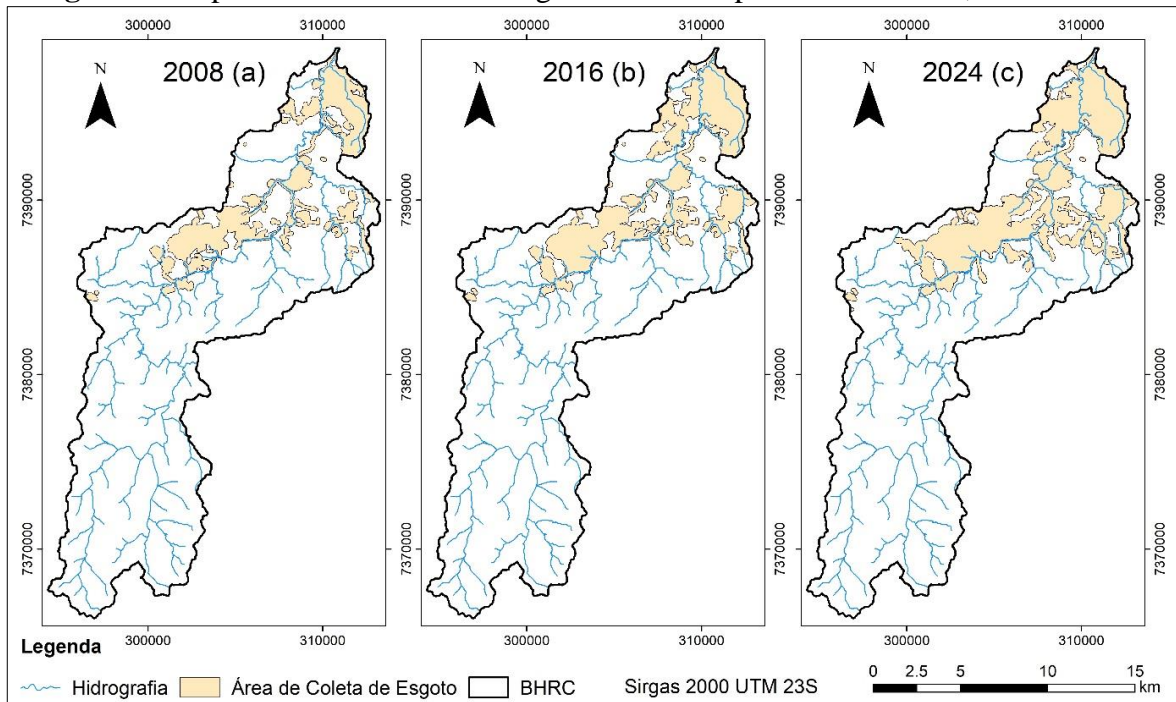
Os *shapefiles* foram cortados pela máscara da camada de estudo, ou seja, BHRC, excluindo-se porções de rede coletora ou cobertura fora do limite. Depois, as camadas das áreas de cobertura foram retificadas para corrigir erros topológicos e cadastrais para criação de mapas temáticos para os anos de 2008, 2016 e 2024.

A análise geoespacial compreendeu: a) cálculo da taxa de expansão das áreas de coleta e tratamento dentro da bacia, identificando o percentual de crescimento e as regiões específicas onde a expansão ocorreu; b) delimitação de áreas onde a expansão foi limitada ou inexistente, isto é regiões onde existam possíveis barreiras como restrições ambientais, falta de infraestrutura e topografia; c) comparação da diferença de crescimento entre as áreas de coleta e tratamento; e d) correlação Pearson entre os valores das áreas (em hectare) e contagem das ligações TL contidas dentro das áreas de cobertura (AYRES et al., 2007).

4. Resultados

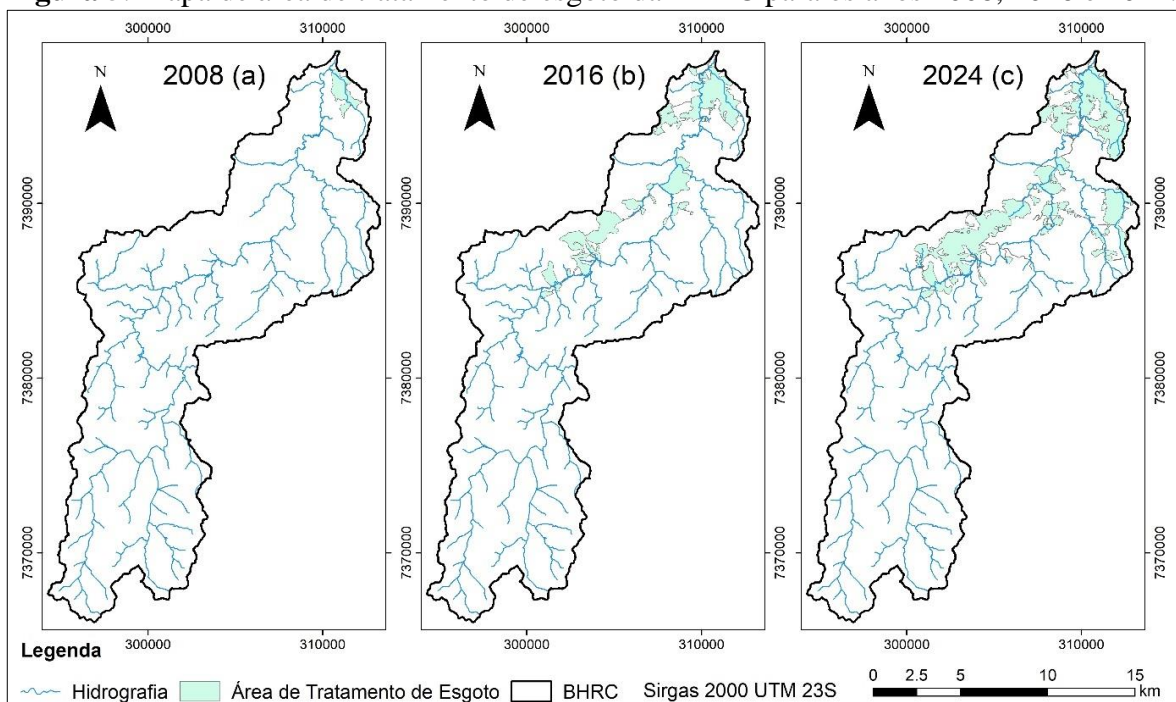
As Figuras 4 e 5 apresentam os mapas temáticos das áreas de cobertura de coleta e tratamento de esgoto para os anos 2008, 2016 e 2024, respectivamente.

Figura 4. Mapa de área de coleta de esgoto da BHRC para os anos 2008, 2016 e 2024.



Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 5. Mapa de área de tratamento de esgoto da BHRC para os anos 2008, 2016 e 2024.



Fonte: Autoria própria (2024).



As Figuras 4 e 5 apresentam uma relação dinâmica entre coleta e tratamento: enquanto a coleta cresceu de forma constante, o tratamento exigiu períodos de crescimento acelerados para tentar acompanhar a expansão da coleta. Essa redução na proporção entre coleta e tratamento é indicativo de avanços em direção à universalização do saneamento, mas ressalta a necessidade de manter o foco na expansão do tratamento para estruturar um sistema equilibrado, onde todo o esgoto coletado seja devidamente tratado a fim de reduzir o descompasso entre as áreas de coleta e tratamento de esgoto na BHRC.

Um esforço essencial para minimizar os impactos ambientais do esgoto coletado não tratado, despejado em áreas inadequadas, não é só prejudicial aos corpos hídricos, à qualidade de vida e saúde populacional como para os avanços rumo à universalização do saneamento, especialmente considerando as metas condicionais para o Estado de São Paulo até 2029.

A Figura 4 revela padrões claros de expansão da infraestrutura de coleta BHRC. Ao longo desse período, é possível observar uma tendência de crescimento orientada pelos pontos cardeais, com expansão inicial para leste e sul até 2016. Esse padrão indica que as áreas mais densamente povoadas ou de maior prioridade já possuíam rede coletora nesses quadrantes, devido ao crescimento urbano e presença de áreas com alta demanda de esgoto. Entre 2016 e 2024, a expansão se torna mais abrangente, estendendo-se também para o norte e oeste, o que sugere uma inclusão gradual de regiões periféricas da bacia ao sistema de coleta.

Ao analisar a Figura 4a, em termos de contiguidade, as áreas de coleta em 2008 apresentam uma fragmentação específica, com várias regiões cobertas de forma isolada e intercaladas por áreas sem coleta. Esse padrão inicial, com polígonos menores e menos conectados, reflete um sistema em desenvolvimento, com foco provável nas áreas mais críticas. Em 2016 (Figura 4b), há uma melhoria notável na contiguidade, com áreas de coleta conectadas em blocos mais amplos e menos fragmentados. Esse aumento na contiguidade sugere um esforço para consolidar a cobertura de coleta e facilitar a gestão e manutenção do sistema. Em 2024 (Figura 4c), a contiguidade atinge um nível ainda mais elevado, com grandes blocos contínuos de áreas cobertas, que refletem uma rede mais integrada e quase completa na BHRC, com poucos vazios entre as áreas atendidas.

Nota-se na Figura 4 que, além da contiguidade, o formato das áreas de coleta evolui de contornos mais irregulares em 2008 para polígonos mais compactos e bem definidos em 2016 e 2024. Esse formato inicial mais irregular desenha situações inapropriadas para o avanço do sistema de saneamento, como limitações topográficas e presença de barreiras urbanas, por exemplo, que dificultam a expansão. Em 2016 (Figura 4b), os contornos se revelam mais regulares, o que indica planejamento mais eficaz e uma expansão mais sistemática da cobertura. Em 2024 (Figura 4c), os polígonos são ainda mais compactos e geométricos, com simetria planejada que minimiza áreas vazias e complexidades na forma otimizando a rede de coleta.

A Figura 4 também ilustra a evolução notável do tamanho médio dos polígonos de cobertura ao longo dos anos. Em 2008 (Figura 4a), a área de coleta é composta por polígonos menores e mais fragmentados, já em 2024 (Figura 4c) predomina uma cobertura composta por grandes blocos conectados. Esse aumento no tamanho médio dos polígonos e a redução na fragmentação refletem uma rede consolidada, menos dispersa e mais eficaz para o atendimento à demanda da bacia. A análise do índice de forma mostra uma redução na complexidade dos contornos, com os polígonos se tornando mais compactos e próximos de formas geométricas regulares ao longo do tempo, o que facilita a gestão da infraestrutura.



Além disso, a conectividade entre as áreas de coleta melhorou de forma significativa, com evolução de áreas isoladas em 2008 para uma rede quase completamente integrada em 2024. Esse padrão crescente de conectividade sugere que o planejamento da expansão visa não apenas aumentar a cobertura, mas também criar uma infraestrutura coesa e interligada, que permita uma melhor distribuição de recursos, implantação e manutenção. Da fragmentação inicial observada em 2008 para a cobertura de saneamento implantada até 2024 se observa o acréscimo de blocos contínuos e integrados que minimizam a dispersão e otimizam a eficiência da rede.

Assim, a análise da Figura 4 exibe uma expansão bem-sucedida e planejada da área de coleta de esgoto na BHRC. O crescimento direcionado, com maior conectividade e formas mais compactas, reflete uma rede que se consolidou ao longo dos anos, que diminuiu vazios e áreas fragmentadas com aumento da eficiência da cobertura. Indicadores importantes para uma expansão coordenada em várias direções com avanço significativo para a universalização do saneamento na bacia e consequentes impactos positivos na sustentabilidade ambiental e na qualidade de vida da população local.

A análise Figura 5 revela um desenvolvimento significativo na cobertura de tratamento da BHRC, refletindo esforços para ampliar a capacidade de tratamento em resposta à expansão da coleta. Diferentemente das áreas de coleta, as áreas de tratamento apresentam um crescimento mais planejado e focado em regiões específicas, o que é visível nas mudanças nos contornos e na conectividade das áreas ao longo do tempo.

Em 2008 (Figura 5a), as áreas de tratamento são limitadas e apresentam fragmentação significativa, com polígonos isolados que atendem a regiões próximas às Estações de Tratamento (ETE). A localização e a configuração desses polígonos sugerem que o atendimento era restrito a locais onde a infraestrutura de transporte até a ETE estava plenamente implementada. Esse padrão inicial indica uma cobertura fragmentada, com a infraestrutura de tratamento ainda em desenvolvimento e focada em áreas urbanas prioritárias da bacia.

No mapa de 2016 (Figura 5b), observa-se uma expansão clara das áreas de tratamento em direção ao sul e leste, o que coincide com o crescimento urbano e a demanda crescente de saneamento nessas regiões. A contiguidade entre os polígonos também melhora, refletindo uma tentativa de integrar mais áreas ao sistema de tratamento, embora ainda persistam lacunas entre as regiões atendidas. O formato das áreas começa a se tornar mais compacto, sugerindo um planejamento mais eficiente e direcionado, e a cobertura se estende ao longo de corredores de alta densidade, otimizando a rede de tratamento em áreas de maior demanda.

Em 2024 (Figura 5c), o mapa revela uma cobertura bem mais abrangente, com grandes blocos contínuos de áreas tratadas que cobrem boa parte da bacia. A configuração dos polígonos se torna ainda mais compacta e geométrica, e a contiguidade aumenta consideravelmente, com poucas áreas fragmentadas ou isoladas. Essa configuração reflete um esforço para maximizar a cobertura de tratamento, minimizando vazios e integrando o máximo de áreas possíveis ao sistema. Observa-se também que o crescimento continua concentrado nos quadrantes sul e leste, mas há expansão para o norte e oeste, o que sugere um atendimento mais equitativo e inclusivo das áreas periféricas da bacia.

Essa evolução nas áreas de tratamento ao longo dos três anos analisados indica uma progressão consistente e planejada. A partir de 2016, a expansão indica a criação de tratamento mais coesa e eficaz, o que é reforçado pela compactação e conectividade das áreas em 2024. Essa tendência reflete a importância de um sistema de tratamento integrado e aponta para a



viabilidade de alcançar a universalização do saneamento, embora ainda existam pequenas lacunas que devem alvos de futuras expansões.

Por fim, a Figura 5 exibe uma transformação significativa das áreas de tratamento de esgoto na BHRC entre 2008 e 2024, com uma evolução que caminha de um sistema fragmentado e restrito para uma rede quase totalmente conectada e ampla. Esse padrão de crescimento reflete um planejamento direcionado para atender às metas de universalização, com esgoto coletado e tratado de forma correta, o que promove a sustentabilidade ambiental e a saúde pública na bacia do Rio Cotia.

A Tabela 1 apresenta os valores das áreas de cobertura de coleta e tratamento de esgoto da BHRC, em km², do período analisado.

Tabela 1. Valor das áreas de cobertura, em hectare, de 2008 a 2024.

Ano	Coleta (he)	Tratamento (he)	Ano	Coleta (he)	Tratamento (he)
2008	3.487,84	201,59	2017	4.538,26	1.580,41
2009	3.599,23	745,64	2018	4.681,08	1.741,71
2010	3.900,40	1.008,57	2019	4.962,12	2.051,17
2011	3.906,28	1.063,14	2020	5.190,26	2.436,86
2012	4.117,31	1.333,43	2021	5.225,62	2.485,58
2013	4.313,23	1.356,31	2022	5.261,25	2.545,63
2014	4.384,59	1.446,54	2023	5.274,42	2.732,18
2015	4.416,38	1.449,82	2024	5.567,93	2.909,55
2016	4.453,65	1.545,81			

Fonte: Autoria própria (2024).

A Tabela 1 apresenta a evolução das áreas de cobertura de coleta e tratamento de esgoto, medidas em hectares, na bacia hidrográfica do Rio Cotia (BHRC) ao longo de 2008 a 2024. Uma análise dos dados revela um crescimento contínuo em ambas as áreas que reflete uma maior cobertura de infraestrutura de saneamento para a região. Em 2008, a área de coleta era de 3.487,84 hectares, enquanto a de tratamento era significativamente menor, com apenas 201,59 hectares. Esse padrão inicial demonstra um grande descompasso entre as áreas atendidas pela rede coletora e aquelas tratadas.

Ainda analisando a Tabela 1, verifica-se que, no entanto, ao longo dos anos, a área de tratamento cresceu de forma acelerada, diminuindo a disparidade em relação à área de coleta. Entre 2009 e 2012, por exemplo, a área de tratamento quase dobrou: de 745,64 hectares para 1.333,43 hectares, fruto dos investimentos e intervenções específicas na expansão da infraestrutura de tratamento. Um segundo período de crescimento acelerado ocorre entre 2019 e 2024, quando a área de tratamento sobe de 2.051,17 hectares para 2.909,55 hectares, que destaca um foco renovador no aumento da capacidade de tratamento para acompanhar a expansão das áreas de coleta.

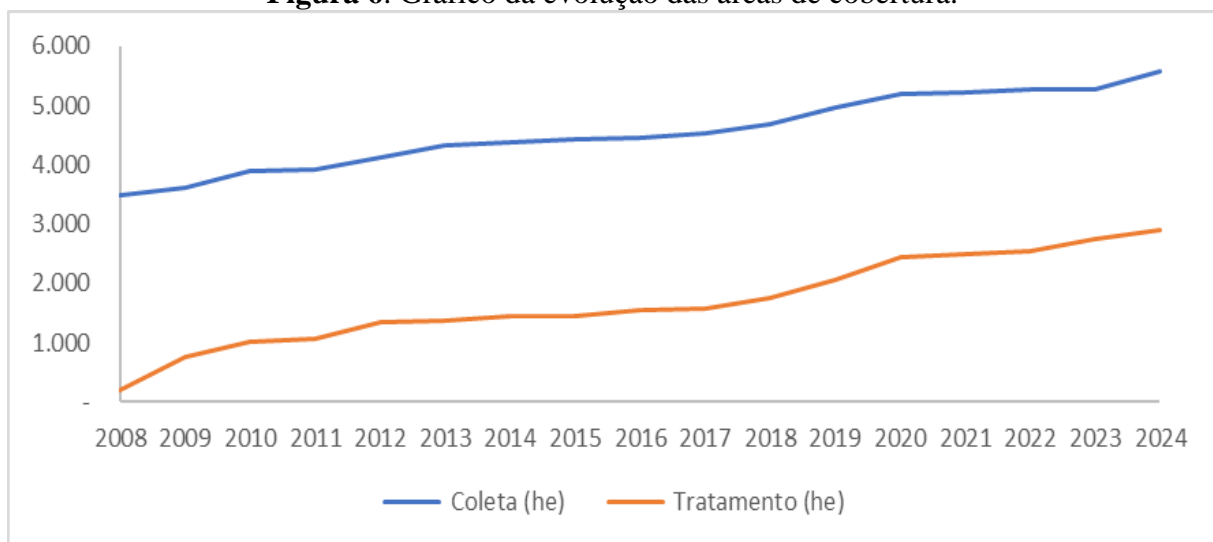
Apesar desse crescimento expressivo na área de tratamento, a área de coleta ainda apresenta deficiência ao longo de todo o período. Em 2024, a área de coleta alcança 5.567,93 hectares, enquanto a de tratamento chega a 2.909,55 hectares, o que representa uma diferença de



aproximadamente 2.658 hectares. Embora essa diferença ainda seja significativa, ela é consideravelmente menor do que a observada no início do período, quando em 2008 a área de coleta superava o de tratamento em cerca de 3.286 hectares.

A Figura 6 é o gráfico que apresenta a evolução das áreas de coleta e tratamento de esgoto (em hectares) na bacia hidrográfica do Rio Cotia (BHRC) entre os anos de 2008 e 2024. As linhas azul e laranja representam, respectivamente, as áreas de coleta e tratamento, e observar algumas tendências e padrões importantes no crescimento destas áreas.

Figura 6. Gráfico da evolução das áreas de cobertura.



Fonte: Autoria própria (2024).

Observa-se na Figura 6 que a partir de 2008, nota-se um crescimento contínuo nas áreas de coleta e de tratamento de esgoto, embora a área de coleta se mantenha sempre maior que a de tratamento ao longo de todo o período. Essa disparidade inicial é bastante acentuada, com uma diferença significativa entre as duas áreas em 2008.

Ainda se nota na Figura 6 que, ao longo dos anos, há um esforço para reduzir essa diferença. Entre 2009 e 2012, a área de tratamento apresenta um crescimento mais acelerado, com um aumento significativo demonstrada na especificidade mais peculiar da linha laranja. Esse período corresponde a um investimento substancial em infraestrutura de tratamento, com o objetivo de reduzir uma lacuna em relação à coleta. Outro período de crescimento expressivo na área de tratamento ocorre entre 2019 e 2024, com dados que indicam esforços para acompanhar o crescimento da área de coleta e minimizar os impactos ambientais do esgoto coletado não tratado.

A Figura 6 aponta que embora a área de tratamento tenha crescido consideravelmente, a diferença em relação à área de coleta persiste ao longo do tempo. Mesmo em 2024, a linha azul (coleta) ainda se mantém significativamente acima da linha laranja (tratamento), o que expressa que a expansão da infraestrutura de tratamento, embora visível, ainda não alcança totalmente o ritmo da coleta o que implica em não tratamento de parte do esgoto coletado e que ressalta a importância de investimentos em obras estruturantes como coletores tronco, redes coletoras e ligações.



A análise comparativa entre as áreas de coleta e tratamento de esgoto na BHRC destaca uma relação interessante sobre o desenvolvimento do saneamento na região entre 2008 e 2024. Em todos os anos analisados, a área de coleta permanece consistentemente maior do que a área de tratamento, num sistema de saneamento onde a coleta, apesar de robusta, ainda não acompanha plenamente a capacidade de tratamento.

Em 2008, a área de coleta era cerca de 17 vezes maior que a de tratamento. Nesse ano, a coleta cobria 3.487,84 hectares, enquanto a área de tratamento era de apenas 201,59 hectares. Essa grande diferença inicial indica que, apesar de um sistema de coleta considerável, a infraestrutura de tratamento era insuficiente para processar todo o esgoto coletado permitindo possíveis descartes in natura em áreas inadequadas com riscos ambientais.

À medida que se avança no período, observa-se um crescimento substancial na área de tratamento, o que diminui a relação desproporcional entre coleta e tratamento. Por exemplo, em 2012, a área de coleta, já expandida para 4.117,31 hectares, era ainda cerca de 3 vezes maior que a de tratamento, que, embora menor, deu um salto para cobertura de 1.333,43 hectares. Um descompasso que vem sendo alinhado ao longo do tempo para que a área de tratamento caminhe junto com a área de coleta para que a infraestrutura de saneamento básico tenha ação efetiva contra os impactos ambientais.

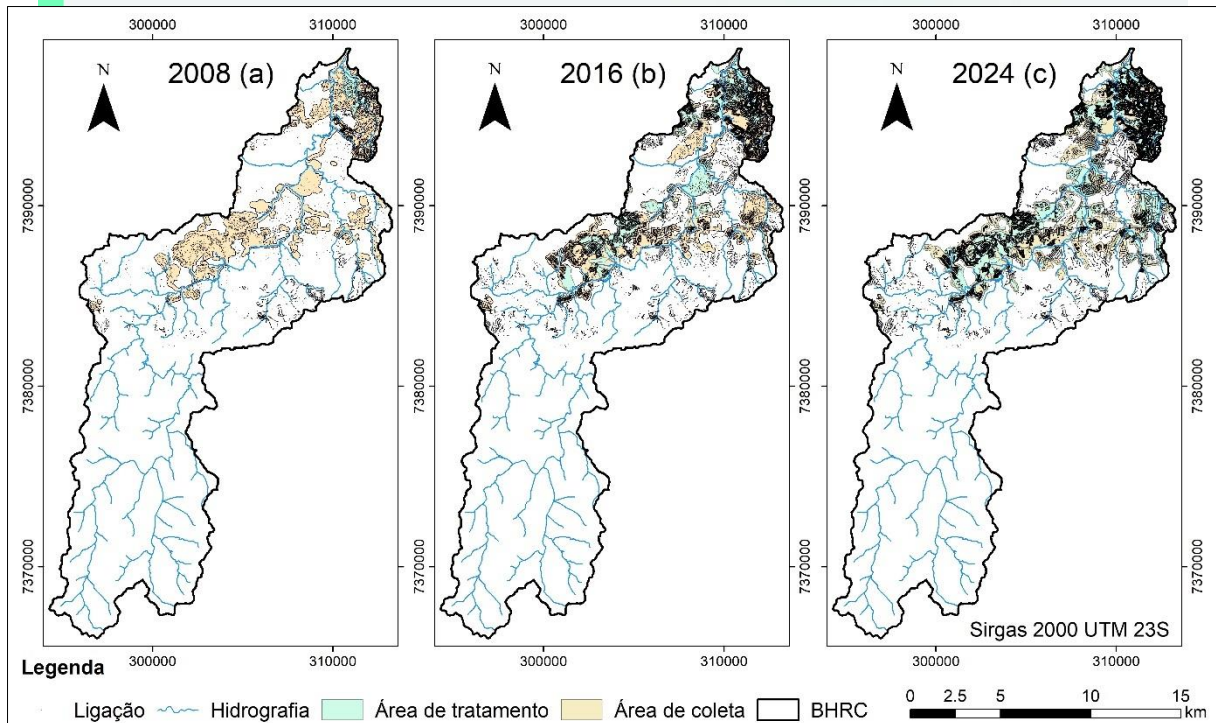
No final do período, em 2024, a área de coleta atinge 5.567,93 hectares, enquanto a de tratamento chega a 2.909,55 hectares, o que indica uma redução na diferença entre os dois serviços de aproximadamente 1,9 vezes. Se nota que a diferença, embora ainda significativa, representa uma melhoria considerável em relação à situação de 2008, com avanços na cobertura de tratamento. Essa proporção mais próxima reflete um esforço contínuo para alinhar a expansão da infraestrutura de tratamento com a coleta, mas ainda indica que cerca de metade do esgoto coletado pode não estar sendo tratado, o que mantém desafios ambientais e de saúde pública.

Assim, embora a diferença de proporção entre as áreas de coleta e tratamento tenha diminuído 17 vezes de 2008 para 2024 - em 2024 apresenta uma diferença de apenas 1,9 vezes menor - o estudo demonstra a necessidade urgente e crítica de ampliar a capacidade de tratamento. A continuidade dessa relação positiva é essencial para cumprir as metas de universalização e garantir a sustentabilidade e a proteção ambiental na bacia do Rio Cotia.

A Figura 7 apresenta a posição das ligações TL Sabesp dentro e fora das áreas de cobertura representadas pelos pontos pretos, com indicação clara de crescimento urbano da BHRC em função dos diversos aglomerados de ligação.

Ressalta-se que as ligações TL representadas nesta figura são os três tipos possíveis em relação à conexão: TL 0 somente água, TL 1 água e esgoto e TL 2 somente esgoto. De forma que as ligações dentro das áreas de cobertura são do tipo TL 1 e TL 2 e as ligações fora das áreas de cobertura são do tipo TL 0, ou seja, para estes imóveis geralmente não há disponibilidade de rede coletora para conexão.

Figura 7. Mapa das áreas de cobertura com ligações TL Sabesp para os anos 2008, 2016 e 2024.



Fonte: Autoria própria (2024).

Analisando a Figura 7a, em 2008, a maioria das ligações Sabesp dentro das áreas de cobertura corresponde aos tipos TL 1 e TL 2, indicando imóveis conectados tanto à rede de água quanto à rede de esgoto. Essas ligações estão concentradas nas áreas urbanas mais densas ao norte e centro da bacia, onde a infraestrutura de coleta e tratamento já havia sido parcialmente implantada. Fora dessas áreas de cobertura, observa-se um número significativo de ligações do tipo TL 0, ou seja, imóveis com acesso apenas à rede de água, sem disponibilidade de rede coletora de esgoto. Esses imóveis fora da área de cobertura representam um desafio, pois, sem acesso à coleta de esgoto, eles podem depender de soluções alternativas poluidoras, como fossas sépticas, com impactos ambientais indesejados na BHRC.

No mapa de 2016 (Figura 7b), a expansão das áreas de coleta e tratamento permite que mais ligações TL 1 e TL 2 sejam incluídas dentro da zona de cobertura, cobrindo uma porção maior da bacia. Essa expansão reflete avanço significativo na infraestrutura de esgoto, ampliação do serviço de coleta e tratamento e redução da quantidade de ligações do tipo TL 0 fora da área de cobertura. Ainda assim, há áreas periféricas onde predominam as ligações TL 0, com imóveis que não possuem disponibilidade de rede coletora de esgoto e que carecem de infraestrutura necessária de expansão do sistema de saneamento.

Em 2024 (Figura 7c), observa-se uma cobertura de coleta e tratamento ainda mais abrangente, com a maioria das ligações TL 1 e TL 2 posicionadas dentro das áreas de cobertura. Esse cenário sugere que a rede de coleta se expandiu de forma significativa, abrangendo quase todos os imóveis conectados à infraestrutura de esgoto. No entanto, ainda restam algumas ligações TL 0 fora das áreas de cobertura, concentradas principalmente nas áreas mais periféricas e de menor densidade. Essas ligações TL 0 representam imóveis que, até 2024, ainda não possuem acesso à rede coletora de esgoto, áreas onde a expansão futura da cobertura pode ser prioritária para alcançar a universalização do saneamento na BHRC.



A Figura 7 corrobora que, ao longo dos anos, a expansão da rede de esgoto buscou integrar o maior número possível de ligações TL 1 e TL 2 dentro das áreas de cobertura, para reduzir gradualmente o número de ligações TL 0. O avanço na cobertura significa um passo importante no compromisso com a universalização do saneamento e a redução dos impactos ambientais. Apesar do avanço o mapeamento revela ainda a necessidade de futuras intervenções em regiões periféricas para garantir acesso a infraestrutura completa de saneamento em todos os imóveis na BHRC.

A Tabela 2 apresenta a contagem de ligações TL Sabesp dentro e fora das áreas de cobertura.

Tabela 2. Contagem de ligações nas áreas de cobertura.

Ano	Área de Coleta			Área de Tratamento		
	Dentro	Fora	Total	Dentro	Fora	Total
2008	8.648	3.781	12.429	1.108	10.770	11.878
2009	11.892	4.436	16.328	4.903	11.976	16.879
2010	14.199	5.187	19.386	3.840	15.546	19.386
2011	17.878	6.017	23.895	5.225	18.670	23.895
2012	22.843	6.806	29.649	7.837	27.521	35.358
2013	30.231	7.687	37.918	10.397	29.649	40.046
2014	36.285	8.568	44.853	14.343	30.510	44.853
2015	44.782	10.690	55.472	17.635	37.837	55.472
2016	53.224	11.859	65.083	22.799	42.284	65.083
2017	61.929	12.868	74.797	26.565	48.232	74.797
2018	73.607	14.236	87.843	35.371	52.472	87.843
2019	97.064	15.788	112.852	50.235	62.617	112.852
2020	117.451	16.873	134.324	67.763	66.561	134.324
2021	125.692	17.584	143.276	71.383	71.893	143.276
2022	127.191	17.965	145.156	72.723	72.433	145.156
2023	129.087	18.176	147.263	79.353	60.953	140.306
2024	132.237	18.865	151.102	86.688	67.910	154.598

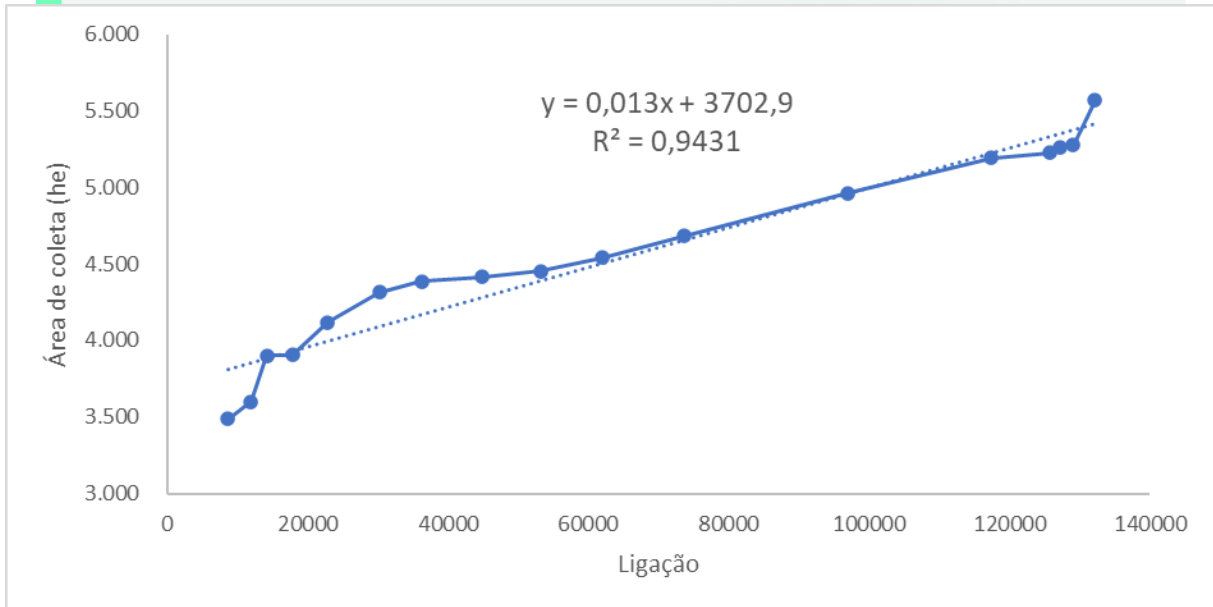
Fonte: Autoria própria (2024).

A Tabela 2 revela um progresso consistente na expansão das áreas de coleta e tratamento de esgoto na BHRC. A crescente concentração de ligações dentro das áreas de coleta e tratamento ao longo dos anos indica uma melhoria na cobertura do saneamento, especialmente nas áreas de coleta, onde a cobertura foi mais significativa.

Esses dados enfatizam a importância de manter os investimentos na infraestrutura de saneamento, com foco particular nas áreas de tratamento, para garantir que o esgoto coletado seja eficazmente tratado, reduzindo os impactos ambientais e atendendo às metas de universalização do saneamento na BHRC.

A Figura 8 apresenta o gráfico de dispersão entre as ligações dentro da área de coleta e os valores de área em hectare.

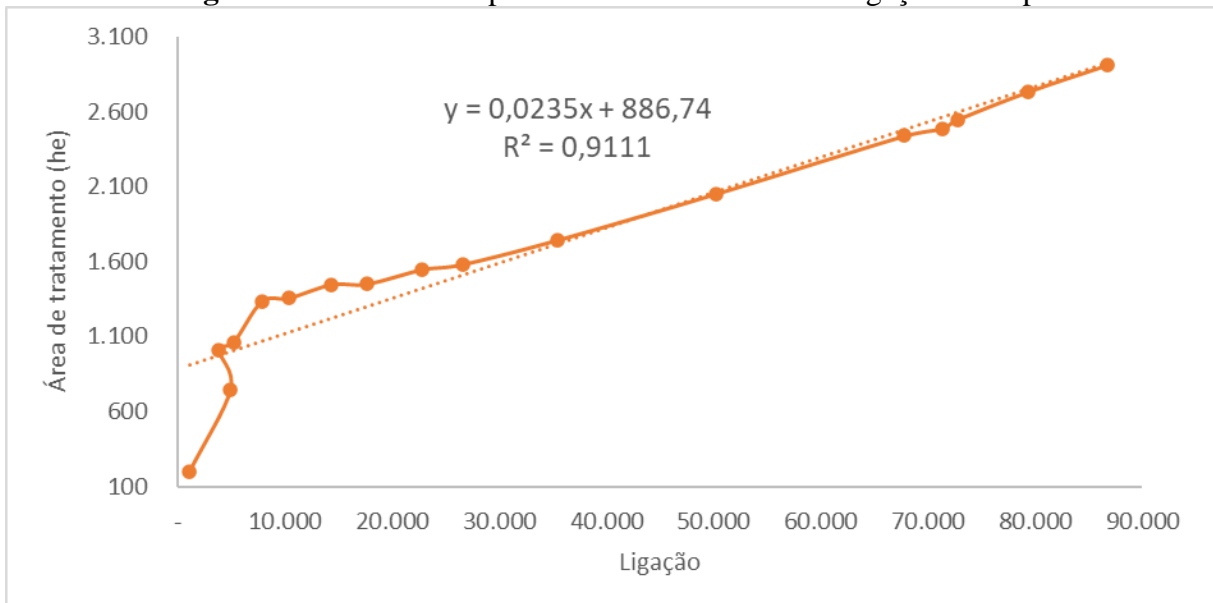
Figura 8. Gráfico de dispersão área de coleta x ligação Sabesp.



Fonte: Autoria própria (2024).

A Figura 9 apresenta o gráfico de dispersão entre as ligações dentro da área de tratamento e os valores de área em hectare.

Figura 9. Gráfico de dispersão área de tratamento x ligação Sabesp.



Fonte: Autoria própria (2024).

As Figura 8 e 9 revelam uma correlação linear forte e significativa. A regressão linear obtida entre essas variáveis possui um coeficiente de determinação de $R^2 = 0,9431$ e $0,9111$ respectivamente, indicando que mais de 90% da variação na área de cobertura pode ser explicada pelo aumento no número de ligações. A inclinação positiva da reta sugere que, à medida que mais imóveis são conectados ao sistema, as áreas se expandem proporcionalmente, refletindo um planejamento de saneamento alinhado com a demanda populacional crescente.



Analisando ainda as Figura 8 e 9, verifica-se que o valor de p obtido para as duas regressões, inferior a 0,0001, é extremamente baixo, reforçando a significância estatística da relação entre o número de ligações e a área de coleta. Esse p -value indica que há uma probabilidade muito baixa de que essa correlação tenha ocorrido ao acaso, o que confirma a importância do aumento das ligações para a expansão da cobertura de coleta.

Como simulação, aplicando-se as equações de regressões, seria necessário um acréscimo de 3.948,15 he à área de coleta e de 2.482,63 he à área de tratamento para se atingir a universalização, totalizando uma área de 9.516,07 he que representaria a plenitude de cobertura de esgotamento sanitário na BHRC.

Assim, os resultados sugerem que o crescimento nas ligações está diretamente ligado à expansão da área de coleta, evidenciando uma estratégia eficaz de universalização do saneamento na bacia hidrográfica do Rio Cotia (BHRC).

5. Conclusões

A análise da evolução das áreas de cobertura de coleta e tratamento de esgoto na bacia hidrográfica do Rio Cotia (BHRC) entre 2008 e 2024 demonstra que o estudo atingiu seu objetivo de forma eficaz, evidenciando o progresso substancial na expansão da infraestrutura de saneamento, alinhado com as metas de universalização estabelecidas pelo novo marco legal.

Observou-se que, em 16 anos, a área de coleta teve um crescimento consistente a fim de acompanhar o aumento do número de ligações. Já a área de tratamento, apesar de expansão significativa ainda mantém um descompasso em relação à área de coleta. Essas diferenças reforçam a necessidade de foco contínuo na ampliação da capacidade de tratamento para garantir que todo o esgoto coletado seja devidamente tratado.

A análise espacial revelou padrões de crescimento da cobertura de esgoto influenciados por características físicas e pela densidade populacional, com uma expansão inicial concentrada nas áreas mais urbanizadas e acessíveis, e que depois se estende gradualmente para as regiões periféricas. Esse padrão demonstra a importância de análises e estudos que adaptem as estratégias de expansão às condições geográficas e demográficas da BHRC a fim de contemplar áreas menos favorecidas com cobertura de saneamento.

As recomendações para uma análise mais aprofundada de áreas prioritárias e a integração de indicadores ambientais reforçam o valor prático deste trabalho para o planejamento estratégico e a gestão ambiental na região a fim de buscar a universalização do saneamento pretendida para o Estado de São Paulo até 2029.

6. Referências bibliográficas

AYRES, M., AYRES J. R. M.; AYRES, D. L.; SANTOS, A. A. S. **Bioestat 5.0 aplicações estatísticas nas áreas das ciências biológicas e médicas**. Belém: IDSM, 2007.364p.

BRAATZ, K. V.; SILVEIRA, A. O.; WOLFF, D. B.; FLACK, K. A. O hiato entre a universalização do esgotamento sanitário e o potencial de aproveitamento dos subprodutos do tratamento de esgoto de forma sustentável no Brasil. In: **Forum Internacional de Resíduos Sólidos-Anais**. 2023.



BRASIL. **Decreto nº 11.598, de 19 de janeiro de 2023.** 2023a. Estabelece normas para a comprovação da capacidade econômico-financeira dos prestadores de serviços públicos de saneamento básico e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 20 jan. 2023.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Modelo para cálculo de necessidades de investimentos – Caderno Temático 1.** 2023b. Plansab: Plano Nacional de Saneamento Básico, Brasília, DF, 2023.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Avanços do Novo Marco Legal do Saneamento Básico no Brasil – 2024 (SNIS 2022).** São Paulo: Instituto Trata Brasil, 2024. Disponível em: <<https://tratabrasil.org.br/avancos-do-novo-marco-legal-do-saneamento-basico-no-brasil-2024-snis-2022/>>. Acesso em: 8 set. 2024.

PAVÃO, M. **Modelagem e análise de mudanças do uso e cobertura da terra no entorno de áreas protegidas: o caso do Parque Estadual da Cantareira – São Paulo.** 2017. 125 f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

NOORI, A. R.; SINGH, S. K. Assessment and modeling of sewer network development utilizing Arc GIS and SewerGEMS in Kabul city of Afghanistan. **Journal of Engg. Research ICARI Special Issue pp**, v. 22, p. 31, 2021.

QGIS. QGIS Development Team. **QGIS Geographic Information System.** Open Source Geospatial Foundation Project, 2024. Disponível <<http://qgis.osgeo.org>>. Acessado em 24 set. 2024.

SABESP. Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. Servidor do Cadastro Oeste. **Mapas temáticos da Unidade Oeste – MO Sabesp.** São Paulo, 2024. Mapas diversos: 118,9 x 84,1 cm. Escala: 1:20.000.

SABESP. Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. Servidor do Planejamento de Expansão. **Mancha de Tratamento da Região Metropolitana – Modelo topológico setembro de 2023.** São Paulo, 2023a. 1 mapa: 118,9 x 84,1 cm. Escala: 1:50.000.

SABESP. Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **Relatório de Sustentabilidade 2023.** São Paulo, 2023b.

SANTIAGO, A. V. N.; TEIXEIRA, E. G.; da COSTA, E. E. F.; RIBEIRO, T. R. S.; LIMA, M. Q. C. Os desafios da universalização do saneamento básico em assentamentos precários. **Revista Interagir**, n. 125, p. 58-60, 2024.

SÃO PAULO (Estado). **Relatório nº 88 219-205 – Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental da Bacia do Rio Cotia: Caracterização Regional.** Drenatec Engenharia S/C Ltda & Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. São Paulo, 2007.

TONIOLO, B. P.; SIMAS, I. T. H. ; SANTOS, V. M. . Aplicação Corretiva de Inconsistência Topológica no Cadastro Técnico de uma Concessionária de Saneamento Básico. **Boletim Governnet de administração pública e gestão municipal**, v. 116, p. 676, 2021.

TONIOLO, B. P. **Metodologia de avaliação de degradação ambiental utilizando técnicas de geoprocessamento e Sensoriamento Remoto na Bacia Hidrográfica do Rio Cotia – SP.** Dissertação de Mestrado, 123 f. Universidade Estadual Paulista (Unesp), Sorocaba, SP, 2020.