



**VINICIUS GUIMARÃES DOS SANTOS**

**DIAGNÓSTICO E PROPOSTA DE MELHORIA DO  
SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DO MUNICÍPIO  
DE CARMO DE MINAS-MG.**

**LAVRAS –MG**

**2023**

**VINICIUS GUIMARÃES DOS SANTOS**

**DIAGNÓSTICO E PROPOSTA DE MELHORIA DO SISTEMA DE ESGOTAMENTO  
SANITÁRIO DO MUNICÍPIO DE CARMO DE MINAS-MG**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Mateus Pimentel de Matos

Orientador

**LAVRAS-MG**

**2023**

## RESUMO

A inadequação dos sistemas de coleta e tratamento de esgoto constitui um desafio que afeta diretamente áreas como a educação, saúde, economia, recursos hídricos e qualidade de vida da sociedade. Com a promulgação da Lei 14.026/2020, foram estabelecidas metas para aprimorar os serviços de saneamento básico em todo o país. No entanto, grande parte dos municípios de pequeno porte apresentam baixos índices de atendimento de coleta e tratamento de esgoto. Esse é o caso de Carmo de Minas, localizado no Sul de Minas Gerais, que conta com uma população inferior a 15.000 habitantes, e possui coleta de 90% do esgoto, porém 0% desse é tratado. Conseqüentemente, todo o esgoto gerado é diretamente lançado no Ribeirão do Carmo, sem qualquer tratamento, podendo causar diversos impactos ambientais negativos. Diante dessa realidade, com a realização do presente estudo, objetivou-se caracterizar o cenário de esgotamento sanitário do município, utilizando dados disponíveis do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), e propor alternativas econômicas e eficientes para o tratamento do esgoto na região urbana de Carmo de Minas. Para estimativa da população, bem como dos custos das concepções de tratamento, tabelas presentes em von Sperling (2014) foram consultadas. Além dos valores que seriam gastos nas alternativas propostas, foi feita a avaliação se a eficiência típica dos reatores seria suficiente para atender aos critérios do padrão de lançamento e a não alteração da classe de enquadramento, de acordo com a legislação estadual (Deliberação Normativa COPAM/CERH nº 08/2022). Para tal, empregou-se dados de vazão de referência do Atlas de Esgotos; qualidade do curso d'água disponível no Hidroweb, além de características típicas de literatura para o esgoto sanitário. Ao considerar critérios como demanda por área, custos e eficiência de tratamento, foram discutidas duas soluções como possíveis alternativas para o tratamento do efluente doméstico de Carmo de Minas, o sistema UASB+FBP e o sistema UASB+BFAS, que apresentam eficiências semelhantes e discutindo entre os custos totais de cada solução e área demandada, concluiu-se que num futuro próximo, a concepção UASB + FBP, mesmo demandando maior área, se torna mais econômica, uma vez que requer menor consumo energético e manutenção do que a concepção UASB+BFAS.

**Palavras-chave:** Esgotamento sanitário; Alternativas de tratamento de esgoto; Viabilidade econômica; Pequenos municípios.

## SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO .....	1
2. MATERIAIS E MÉTODOS .....	3
2.1 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO .....	3
2.1.1 USO E OCUPAÇÃO.....	5
2.1.2 CLIMA, UMIDADE E TEMPERATURA .....	6
2.2 CARACTERÍSTICAS HIDROGRAFICAS DO MUNICÍPIO .....	7
2.3 SITUAÇÃO DO SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DO MUNICÍPIO .....	9
2.4 SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO E GERAÇÃO DE ESGOTO EM CARMO DE MINAS.....	10
2.4.1 VAZÃO DO ESGOTO.....	10
2.4.2 COEFICIENTE DE RETORNO .....	11
2.4.2 PROJEÇÃO POPULACIONAL .....	12
2.4.3 CONTRIBUIÇÃO PER CAPITA DE ÁGUA .....	13
2.4.4 VAZÃO MÉDIA .....	14
2.4.5 VAZÕES MÁXIMA E MÍNIMA .....	15
2.5 CARACTERÍSTICAS DO ESGOTO DOMÉSTICO.....	15
2.6 CARACTERÍSTICAS DO CORPO HIDRICO RECEPTOR ADOTADO .....	17
2.7 PROPOSTA DE SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO PARA O MUNICÍPIO DE CARMO DE MINAS .....	20
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
3.1 CONTRIBUIÇÃO DE ESGOTO .....	22
3.2 EFICIÊNCIAS MINIMAS NECESSÁRIAS .....	23
3.3 DISCUSSÃO DOS CUSTOS DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO ..	24
4. CONCLUSÕES .....	26
5. REFERÊNCIAS.....	28

## 1.INTRODUÇÃO

Em 2021, um diagnóstico realizado pelo SNIS indicou que apenas 60,24% do esgoto gerado no Brasil é coletado, sendo que uma porcentagem ainda menor (51,17%) é coletada e tratada (SNIS,2021). Estes dados demonstram a distância e o desafio para a universalização do atendimento com serviços de saneamento no país. Como resultado, têm-se diversos prejuízos sociais, econômicos e ambientais, dentre eles, pode-se citar o aumento do número de internações por doenças de veiculação hídrica, a redução do potencial turístico e de postos de trabalho, o encarecimento do tratamento de água, a diminuição da renda e desvalorização imobiliária, a alteração da qualidade da água (através de fenômenos como eutrofização do corpo hídrico, diminuição da concentração de oxigênio dissolvido e presença de toxinas, metais pesados e organismos patogênicos) e os prejuízos aos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, dentre outros (VON SPERLING, 2014; MATOS E MATOS, 2017; TRATA BRASIL, 2022).

Segundo a OMS (2017), doenças de veiculação hídrica como diarreia, hepatite A e cólera, têm maior incidência em regiões com deficiências no saneamento. Estima-se que 2 milhões de pessoas morrem todos os anos devido a doenças relacionadas à água contaminada. Para exemplificar a causa-efeito, de acordo com o estudo realizado por Teixeira et al. (2014), houve uma média de 13.449 óbitos anuais no Brasil entre 2001 e 2009 (DATASUS, 2011), relacionados a doenças decorrentes de saneamento básico inadequado. Esses óbitos representaram aproximadamente 1,31% do total de óbitos registrados no país durante o período. Durante o período da pandemia do COVID-19, pessoas com menor acesso a serviços de saneamento também foram mais impactados pela doença (ALVES et al, 2021).

Como consequência direta, o aumento da incidência dessas doenças resulta em uma maior demanda por serviços de saúde, gerando impactos significativos nos sistemas de saúde e elevando os custos de tratamento médico (MENDONÇA; MOTTA, 2007). Estima-se que cada dólar investido em saneamento resulta em uma economia de 4,3 dólares gastos com saúde (OMS, 2014). No período compreendido entre 2001 e 2009, por exemplo, os gastos totais com consultas médicas e internações hospitalares relacionadas a doenças atribuíveis à falta de saneamento básico representaram 2,84% dos gastos totais do SUS (DATASUS, 2011). Essas condições agravadas resultaram em um custo total de R\$ 2,14 bilhões no ano de 2009 no país (TEIXEIRA et al, 2014).

Em razão desses e outros tantos impactos negativos, a atenção ao saneamento básico se trata de um assunto recorrente em nível nacional e internacional, carecendo a devida atenção. Por isso, para a Organização Mundial da Saúde (OMS) e o Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF), o acesso à água potável e ao saneamento básico são direitos humanos fundamentais, essenciais para a promoção da saúde, bem-estar e desenvolvimento sustentável das populações (OMS/UNICEF, 2017). Assim, reforça-se a necessidade de ampliar projetos e investimentos para melhorar os sistemas de esgotamento sanitário em todas as regiões, sobretudo em municípios de pequeno porte.

Dado que a situação geral no país é preocupante, a condição em localidades com menores arrecadações é ainda mais alarmante (IBGE, 2020). Em um estudo realizado por Petenusso et al. (2019), por exemplo, é possível observar que os 10 municípios com maior IDHM (índice de desenvolvimento humano municipal) e PIB de Minas Gerais possuem 54%

de coleta e tratamento de esgotos, enquanto nos 10 municípios de menor PIB, o índice cai para 33%.

De forma a incentivar e pressionar os municípios brasileiros, foi aprovado e publicado o Novo Marco Legal do Saneamento Básico (Lei nº 14.026/2020), que estabelece metas ambiciosas de atendimento de coleta e tratamento de 90% do esgoto gerado no país. Para alcançar esses números, o grande desafio passa por aumentar o número de cidades com presença de Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) e o índice de coleta e tratamento em municípios de pequeno porte que já possuem ETEs, comumente localidades de menor arrecadação (BRASIL, 2020).

Nesse contexto, destaca-se o município de Carmo de Minas-MG como um exemplo de cidade de pequeno porte e com baixos índices de tratamento de esgotos. Segundo dados da Agência Nacional de Águas (ANA), 89,7% da população composta por 13.750 habitantes têm seu esgoto coletado, porém sem o devido tratamento (ANA, 2017). Do total, 9,2% da população ainda é desprovida de coleta e tratamento, e 1,1% apresentam soluções individuais de saneamento. Em outras palavras, 98,9% do esgoto gerado no município não é tratado, podendo ocasionar grandes prejuízos para a qualidade de água do Ribeirão do Carmo, que se trata do corpo receptor dos efluentes gerados pelo município (ANA, 2017). Sendo Carmo de Minas, uma localidade de pequena população e reduzida capacidade de investimento em soluções sofisticadas de saneamento, torna-se importante fazer análises de diferentes concepções, sobretudo de configurações mais econômicas.

Diante desse cenário, com a realização deste trabalho, objetivou-se realizar um diagnóstico das condições de saneamento do município de Carmo de Minas e propor uma solução para o tratamento do esgoto doméstico da região urbana do município, sem considerar as dimensões da rede coletora municipal, pois o objetivo central deste diagnóstico e proposta de solução é direcionado especificamente para a eficiência do tratamento do esgoto doméstico, independentemente das dimensões da rede coletora municipal e dos custos associados à adução do esgoto. Buscar-se-á analisar alternativas eficientes para o tratamento do esgoto gerado, dentre os diversos métodos de tratamento de esgoto pertinentes, levando em consideração os desafios econômicos enfrentados por municípios de pequeno porte. Pretende-se, com o desenvolvimento da pesquisa, contribuir para as implementações de soluções economicamente viáveis em Carmo de Minas, visando a melhoria da qualidade de vida da população e a preservação do meio ambiente.

Nesse sentido, é fundamental considerar as diferentes etapas de tratamento de esgoto, como o tratamento preliminar, primário, secundário e, ocasionalmente, o terciário. A seleção do sistema de tratamento deve ser baseada em critérios específicos para cada localidade, incluindo eficiência, área demandada e disponibilidade de recursos financeiros.

Em cidades de pequeno porte, a simplicidade na construção e operação dos sistemas de tratamento é crucial para alcançar os resultados desejados, bem como o investimento adequado em materiais de qualidade. Nesse contexto, são comuns soluções mais econômicas, como sistemas anaeróbios, lagoas de estabilização e disposição controlada sobre o solo (PEREIRA, 2018).

A implementação de soluções eficientes de tratamento de esgoto em municípios de pequeno porte, como Carmo de Minas-MG, é essencial para mitigar os impactos negativos à

saúde pública e ao meio ambiente. Portanto, este estudo visa contribuir para a melhoria das condições de saneamento na região, buscando uma solução adequada e economicamente viável para o tratamento do esgoto doméstico, sem desconsiderar as limitações financeiras enfrentadas por essas localidades.

Nesse contexto, as principais formas de esgotamento sanitário em Minas Gerais são (PEREIRA, 2018):

- Reator anaeróbio;
- Reator anaeróbio seguido de filtro biológico;
- Reator anaeróbio seguido de filtro aerado e decantador;
- Reator anaeróbio seguido de lagoa de estabilização.

Essas informações são importantes para avaliar as opções viáveis de tratamento de esgoto em Carmo de Minas, considerando sua realidade de município de pequeno porte e limitações econômicas.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

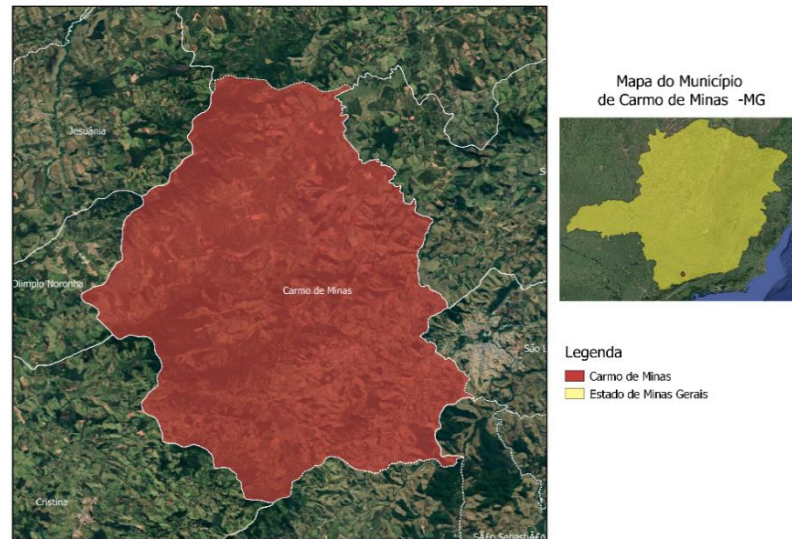
Para o desenvolvimento deste trabalho, preliminarmente foi empreendida a caracterização do objeto de estudo e o diagnóstico das condições sanitárias relacionadas ao tratamento de esgoto. O diagnóstico foi embasado em dados provenientes do Atlas de Esgotos (Agência Nacional das Águas - ANA, 2017), do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), bem como de informações adquiridas junto à órgãos públicos pertinentes. Concomitantemente, foram obtidos e analisados dados acerca da hidrografia, contemplando vazões, qualidade e enquadramento dos trechos, além de dados demográficos atuais e estimados para os próximos anos, área disponível para implementação de alternativas de tratamento, entre outras variáveis e informações relevantes.

Após essa etapa de levantamento inicial, foram apresentadas as diversas alternativas para proposição de solucionar os problemas de saneamento do município, mais especificamente o tratamento do esgoto sanitário não tratado no município. As propostas foram sustentadas com a elaboração de um memorial de cálculos, além de uma análise das informações coletadas, respaldada por referências bibliográficas cabíveis.

### **2.1 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO**

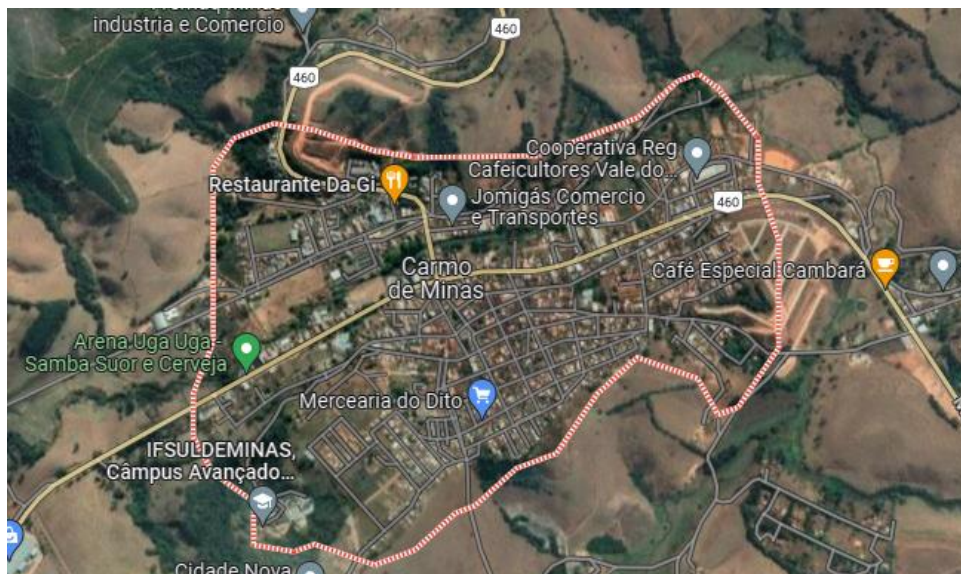
A área de estudo deste trabalho consiste no município de Carmo de Minas, que está localizado no sul do estado de Minas Gerais, a 420 km da capital Belo Horizonte (GOOGLE MAPS, 2022). O município apresenta uma área territorial de 322,285 km<sup>2</sup>, sendo 2,45 km<sup>2</sup> em perímetro urbano, possuindo, portanto, uma grande extensão de área rural (IBGE, 2019). Na Figura 1, é apresentado um mapa da cidade de Carmo de Minas e seus municípios adjacentes, enquanto na Figura 2 destaca-se o perímetro urbano do município de Carmo de Minas.

Figura 1- Mapa do Município de Carmo de Minas



Fonte: Do Autor (2023)

Figura 2- Perímetro Urbano de Carmo de Minas



Fonte: Google Maps (2023)

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2022, a população do município de Carmo de Minas era de 13.797 habitantes, sendo 78% domiciliados na região urbana do município, o que proporciona densidade demográfica de 42,81 hab./km<sup>2</sup>. Em relação ao Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), o valor calculado em 2010 foi de 0,682 (IBGE, 2010). Esse indicador considera diferentes dimensões, como longevidade, educação e renda, e serve como uma medida do desenvolvimento socioeconômico da região. Assim, a localidade não está nem entre os 10 municípios de menor IDHM (0,536-0,558) e nem



entre os 10 de maior índice (0,776-0,813) (PETENUSSO et al., 2019), sendo, no entanto, inferior ao valor médio do estado (0,731) registrado no censo (MINAS GERAIS, 2010).

No contexto econômico municipal de Carmo de Minas, é importante considerar que a cidade possui contingente populacional reduzido e o seu Produto Interno Bruto (PIB) ocupa uma posição modesta, estando em 530º lugar entre os 853 municípios do estado (IBGE, 2022). Ainda segundo dados do IBGE, o PIB per capita de Carmo de Minas em 2020 foi de R\$ 14.597,15. Essa informação aliada ao IDHM) e as receitas e despesas municipais, são igualmente relevantes para compreender o panorama econômico do município. Com base na avaliação dos indicadores, sugere-se que a disponibilidade financeira para investimentos, como na implantação de sistemas de tratamento de esgoto, seja limitada.

No que se refere a investimentos em saneamento, no caso de Carmo de Minas, embora haja uma média de coleta de tarifa de esgoto, que variou de R\$ 3,71/ m<sup>3</sup> em 2017, R\$ 1,18/m<sup>3</sup> em 2020 e R\$ 1,07/ m<sup>3</sup> em 2021, direcionada para as despesas da coleta, é preocupante constatar que não foram realizados investimentos significativos em esgotamento sanitário (SNIS, 2021). Essa ausência de aplicação dos recursos financeiros em esgotamento sanitário reflete a necessidade de priorizar e direcionar para o desenvolvimento de infraestrutura sanitária adequada. A falta de investimentos nessa área pode comprometer a qualidade de vida da população e dificultar o avanço socioeconômico do município.

Esses dados econômicos são fundamentais para uma análise abrangente do contexto econômico de Carmo de Minas e são essenciais para embasar as considerações econômicas relacionadas ao objeto de estudo deste trabalho. Eles fornecem informações sobre o desenvolvimento socioeconômico da região e ajudam a contextualizar as decisões financeiras e as limitações enfrentadas no âmbito municipal.

A fim de fornecer uma caracterização completa e abrangente do município de Carmo de Minas, serão caracterizados diferentes elementos que desempenham papéis importantes na elaboração deste trabalho. Dentre esses elementos, destacam-se a hidrografia, o clima e o uso e ocupação do solo.

### **2.1.1 USO E OCUPAÇÃO**

O uso e ocupação do solo em um município desempenha um papel crucial na dinâmica ambiental e na pressão exercida sobre os recursos naturais, assim como na demanda por serviços de saneamento básico. Portanto, o zoneamento e o parcelamento do solo são instrumentos essenciais para o ordenamento territorial municipal, geralmente definidos no plano diretor e na lei de uso e ocupação do solo.

Segundo o censo agropecuário do IBGE de 2017, o território de Carmo de Minas é utilizado para diferentes finalidades, como lavouras, pastagens, matas ou florestas. Além disso, com base no mapeamento anual da cobertura e uso da terra fornecido pelo MapBiomas (2019), que produz o mapeamento detalhado da cobertura e uso da terra, é possível obter uma visão proporcional dos diferentes usos do solo no município, como apresentado no Quadro 1.

Quadro 1- Distribuição proporcional dos diferentes usos da terra em Carmo de Minas

<b>Tipo de Uso</b>	<b>Área Ocupada (km<sup>2</sup>)</b>
Pastagem	11.323
Formação Florestal	8.423
Mosaico de Agricultura e Pastagem	7.418
Outras Lavouras Temporárias	2.694
Café (beta)	1.567
Silvicultura (monocultura)	403
Área Urbanizada	194
Soja	175
Rios	21
Área não vegetada	12

Fonte: MapBiomias (2019)

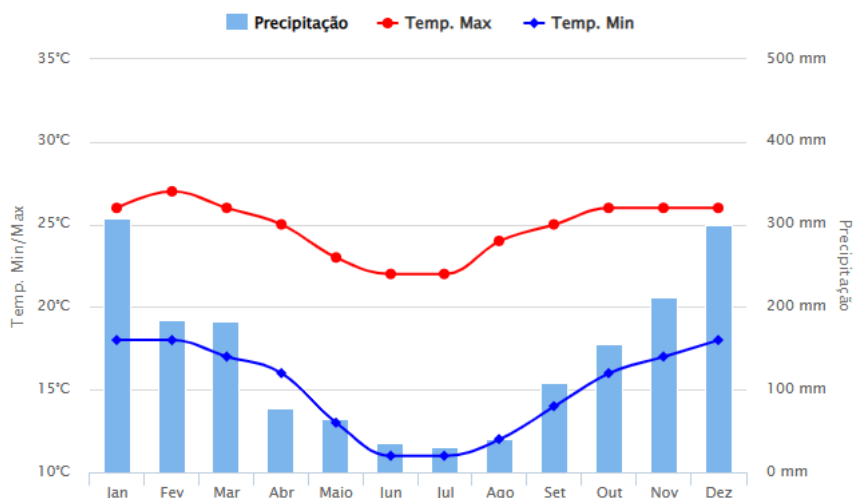
### **2.1.2 CLIMA, UMIDADE E TEMPERATURA**

O estudo da dinâmica climática, local e regional, possibilita compreender suas influências nos serviços de saneamento, tais como: abastecimento de água rural e urbano, lixiviação de resíduos durante o período de chuvas e depuração dos esgotos domésticos nos cursos d'água, sendo este último essencial para o presente trabalho.

Os Sistemas de Classificação Climática (SCC) têm como propósito resumir as características climáticas de determinada região, permitindo a identificação de áreas com condições climáticas semelhantes. No contexto brasileiro, o SCC de Köppen é adotado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) como referência para essa finalidade (MARTINS et al., 2018). Com base nesses sistemas, torna-se possível realizar análises espaciais e compreender as diferentes zonas climáticas presentes em Minas Gerais, contribuindo para uma melhor compreensão do cenário climático atual e projeções futuras no estado.

Na região de Carmo de Minas, um município com altitude média de 960 m, o padrão climático é classificado como Cwb – Subtropical de altitude, de acordo com a classificação de Köppen (1948). A estação chuvosa ocorre entre os meses de setembro e março, sendo responsável por cerca de 85% do total de precipitação (Clima Tempo, 2022). Já a estação seca normalmente ocorre de abril a agosto, conforme pode ser observado na Figura 3.

Figura 3- Climatologia do tempo em Carmo de Minas em 2022 – MG



Fonte: Clima Tempo (2022)

Em relação ao clima de Carmo de Minas, constata-se que o mês mais quente do ano é fevereiro, registrando uma temperatura média em torno de 27°C. Por outro lado, junho e julho são os meses mais frios, com temperaturas médias de aproximadamente 11°C.

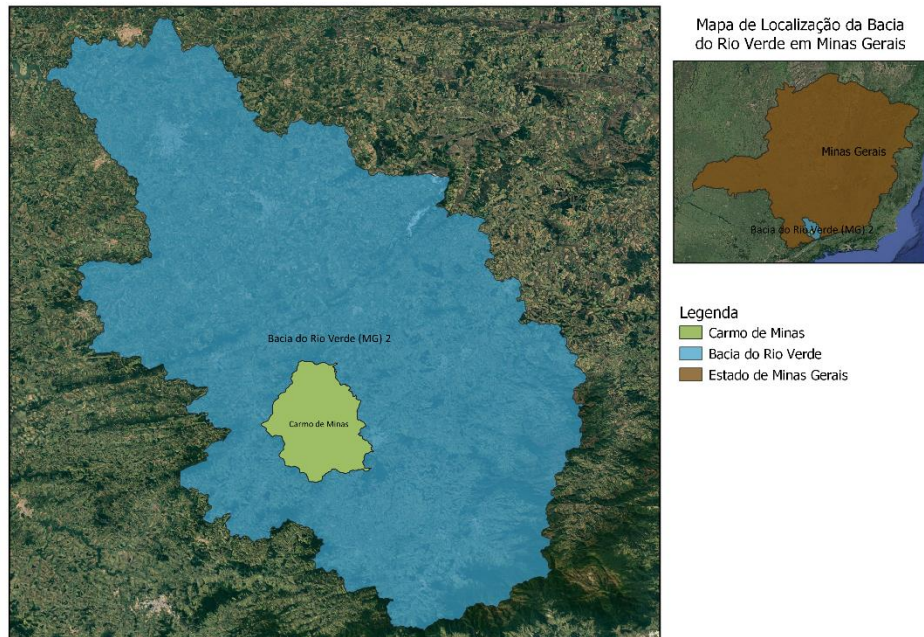
No que diz respeito à precipitação, merecem destaque os meses de dezembro e janeiro, com um volume de chuvas em torno de 300 mm. Com base nos dados de precipitação mensal fornecidos pelo Clima Tempo para o município de Carmo de Minas, foi possível calcular a média anual de precipitação, a qual alcançou aproximadamente 141,4 mm.

E no que se refere à umidade da região, de acordo com a classificação de Thornthwaite (MARTINS et al., 2018), o município de Carmo de Minas é categorizado como B2 - Úmido. Isso significa que o índice de umidade do município varia entre 40% e 60%, evidenciando a prevalência de um clima moderadamente úmido, sem a presença de grandes variações de umidade ao longo do ano.

## 2.2 CARACTERÍSTICAS HIDROGRÁFICAS DO MUNICÍPIO

O município de Carmo de Minas situa-se na Bacia Hidrográfica do Rio Verde, que corresponde a 4,25% da área total da Bacia Hidrográfica do Rio Grande, constituindo a Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos UPGRH GD4, na região Sul de Minas Gerais (CBH Grande, 2012), representada e destacada na Figura 4. Esta bacia de drenagem possui área de drenagem de 6.864 km<sup>2</sup>, onde estão inseridos 31 municípios com população total de cerca de 460 mil habitantes (IGAM, 2020).

Figura 4- Carmo de Minas e Bacia Hidrográfica do Rio Verde



Fonte: Do Autor (2023)

Cabe destacar, com base nas informações reveladas pelo Atlas Esgotos (2015), que o curso hídrico que recebe os efluentes oriundos do município de Carmo de Minas é o Ribeirão do Carmo, com vazão de referência de 771,9 L/s. Conforme estabelecido pelo órgão ambiental (IGAM, 2013), o trecho em que o mencionado corpo hídrico tangencia o município de Carmo de Minas está enquadrado na Classe 2.

No entanto, devido à ausência dos dados com os resultados de qualidade da água do corpo hídrico receptor, neste trabalho considerar-se-á inicialmente os dados do Rio Verde, enquadrado na mesma classe 2, e que recebe as águas do Ribeirão do Carmo. Dessa forma, foram utilizadas a vazão de referência do Ribeirão do Carmo e os dados de qualidade do Rio Verde, que serão apresentados no item 2.6. Esse artifício utilizado foi adotado para possibilitar a estimativa das eficiências necessárias, considerando também que pode haver certa similaridade das características entre os cursos d'água (um é tributário do outro). Ressalta-se que o mais adequado seria fazer uma consideração de instalação de um interceptor para lançar no Rio Verde ou a obtenção de dados de qualidade do Ribeirão do Carmo em campo.

De acordo com o estabelecido na Resolução CONAMA nº 430/2011 (BRASIL, 2011) e na Deliberação Normativa COPAM/CERH nº 08/2022 (MINAS GERAIS, 2022), é imprescindível que o lançamento de efluentes em corpos hídricos não comprometa a qualidade final da água, de acordo com os usos prioritários estabelecidos para a respectiva bacia, bem como sua integridade ambiental. Portanto, é essencial que o município de Carmo de Minas deva adotar medidas adequadas para tratar os efluentes, a fim de garantir que os impactos ocasionados pelo lançamento sejam amenizados e não alterem a classe de água do corpo receptor conforme as leis e regulamentos em vigor.

### 2.3 SITUAÇÃO DO SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DO MUNICÍPIO

A responsabilidade pelos serviços de água e esgoto em Carmo de Minas é da autarquia municipal conhecida como SAAE (Serviço Autônomo de Água e Esgoto) desde 2008. O SAAE tem se empenhado em implementar medidas para aprimorar o sistema de saneamento da região. No entanto, o município ainda não possui uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) e o sistema de coleta de esgoto não abrange toda a área, conforme evidenciado nos dados divulgados pelo Atlas Esgotos (ANA, 2017) e SNIS (2017).

Para a obtenção dos dados analisados neste trabalho, recorreu-se ao Relatório de Esgotamento Sanitário Municipal de Carmo de Minas, fornecido pelo Atlas Esgotos, uma fonte de referência da Agência Nacional das Águas (ANA, 2017). Com base na disponibilidade de dados do portal, coletou-se informações a respeito das proporções da população atendida com coleta de esgoto; coleta e tratamento; ausência de coleta; e adoção de soluções individuais (Tabela 1).

Tabela 1- – Dados do esgotamento sanitário em Carmo de Minas-MG (2013)

<b>Parcela dos esgotos</b>	<b>Índices de atendimento</b>	<b>Vazão (L/s)</b>	<b>Carga Gerada (kg DBO/ dia)</b>	<b>Carga Lançada (kg DBO/ dia)</b>
Sem coleta e sem tratamento	9,2%	1	53,1	53,1
Soluções individuais	1,1%	0,1	6,6	2,6
Com coleta e sem tratamento	89,7%	9,5	518,6	518,6
Com coleta e com tratamento	0,0%	0,0	0,0	0,0
Total		10,5	578,2	574,3

Fonte: Atlas Esgotos (ANA, 2017)

Na Tabela 2, estão apresentados valores absolutos das diferentes modalidades de esgotamento sanitário nas áreas urbanas e rurais do município de Carmo de Minas, levando em consideração os domicílios urbanos e rurais que possuem uma das sete formas de esgotamento sanitário definidas pelo IBGE (2010). Observa-se que os 1,1% de tratamento descentralizado são compostos por fossas sépticas, fossas rudimentares e valas.

Tabela 2- Formas de esgotamento sanitário no município de Carmo de Minas por domicílio.

<b>Forma de esgotamento sanitário</b>	<b>Urbano</b>	<b>Rural</b>
Rede Geral de Esgoto ou Pluvial	2.469	292
Fossa Séptica	8	230
Fossa Rudimentar	13	259
Vala	12	29
Rio	178	382
Outro Escadouro	3	26
Não tinham	1	1
Total	2.684	1.219

Fonte: Censo IBGE (2010)

No que diz respeito às fossas rudimentares (ou fossas negras), mencionadas na Tabela 2, trata-se de uma técnica obsoleta de disposição de efluentes, sendo comumente encontradas em áreas rurais e locais inacessíveis aos sistemas de coleta (DE OLIVEIRA, 2015). No entanto, essa realidade também é presente na zona urbana do município de Carmo de Minas, havendo, atualmente, 13 fossas negras coletivas distribuídas pela cidade. De acordo com informações obtidas junto à Prefeitura Municipal de Carmo de Minas, ocorrem frequentes extravasamentos dessas fossas devido à mistura com as águas pluviais e à sobrecarga do sistema, que se encontra subdimensionado, resultando no esgoto a céu aberto em algumas delas.

No tocante ao assunto de influência das águas pluviais, o Sistema de Esgotamento Sanitário (SES) é do tipo unitário (ou combinado), ou seja, a rede de saneamento foi projetada para coletar e transportar tanto as águas servidas quanto as águas pluviais. Essa concepção de SES, os condutos possuem dimensões consideráveis e estão mais sujeitas a transbordamentos, o que resulta em desconforto para a população local, além de problemas relacionados à limpeza pública e odores indesejáveis (KLÜSENER, 2004). Como agravante, o SAAE não possui informações relacionadas ao traçado e extensão da rede do SES.

## **2.4 SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO E GERAÇÃO DE ESGOTO EM CARMO DE MINAS**

As características quantitativas e qualitativas dos esgotos estão diretamente relacionadas aos diferentes usos a que a água foi submetida, que por sua vez, depende de fatores como clima, condições sociais e econômicas, bem como os hábitos da população (VON SPERLING, 2014). Para caracterizar os esgotos, ou águas residuárias, em termos de seu potencial poluente, são utilizados variáveis físicas, químicas, físico-químicas, bioquímicas e microbiológicas, além da vazão gerada.

### **2.4.1 VAZÃO DO ESGOTO**

A vazão de esgoto está relacionada ao consumo de água, podendo ser estimado a partir do coeficiente de retorno (CR), população contribuinte e demanda per capita de água. No entanto, é importante ressaltar que há outros interferentes que reduzem ou majoram a vazão coletada, como as ligações clandestinas dos esgotos na rede pluvial ou da água pluvial na rede de esgotos, além da vazão de infiltração, por meio de vazamentos nas tubulações ou por infiltração direta do solo (ALEM SOBRINHO; TSUTIYA, 1999). Portanto, é fundamental levar em consideração esses fatores ao realizar estimativas de produção de esgoto.

Ademais, ocorrem flutuações em determinados dias e horários, sendo essencial a consideração dos coeficientes nos cálculos da vazão máxima horária, vazão máxima diária e vazão mínimas (VON SPERLING, 2014). No dimensionamento das unidades de tratamento, leva-se em conta essas medidas além da vazão média, que por sua vez, dependem da projeção da população em cenários futuros de atendimento (como em 2040).

O estudo demográfico da área em questão é baseado em informações que podem influenciar a precisão das projeções populacionais. Além da qualidade dos dados, fatores como o tamanho da área estudada e o período de projeto desempenham um papel importante na acurácia do estudo. Geralmente, áreas menores e períodos mais longos podem contribuir para maiores erros nas estimativas populacionais (ALEM SOBRINHO; TSUTIYA, 1999).

#### 2.4.2 COEFICIENTE DE RETORNO

O coeficiente de retorno (C) refere-se à relação média entre o volume de esgoto produzido e o volume de água efetivamente consumida. O consumo efetivo é considerado como aquele registrado através da micromedição na rede de distribuição de água, excluindo-se as perdas no sistema de abastecimento. É importante ressaltar que parte desse volume efetivo não chega aos coletores de esgoto devido a fatores como evaporação, infiltração ou escoamento superficial, que afetam a natureza do consumo (TSUTIYA E SOBRINHO, 1999).

Adicionalmente, é essencial investigar a existência de outras fontes de abastecimento de água, como indústrias, hospitais e outros contribuintes singulares, que podem aumentar o volume de esgoto produzido além do registrado nos hidrômetros.

No contexto de pesquisas em locais onde dados locais específicos são inexistentes, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR 9649) recomenda a utilização de um coeficiente de retorno igual a 0,8 como valor padrão. Esta abordagem visa fornecer uma estimativa razoável até que dados locais sejam disponibilizados por meio de pesquisas apropriadas. São apresentados na Tabela 3 valores do coeficiente de retorno, compilados a partir de pesquisas realizadas (TSUTIYA E SOBRINHO, 1999).

Tabela 3: Coeficiente de retorno obtidas por medições ou recomendadas para projeto.

<b>Autor</b>	<b>Local</b>	<b>Ano</b>	<b>Coeficiente de Retorno</b>	<b>Condição de Obtenção dos Valores</b>
José A. Martins	São Paulo	1977	0,7 a 0,9	Recomendações de Projeto
Azevedo Neto	São Paulo	1981	0,7 a 0,8	Recomendações de Projeto
NBR 9649 - ABNT	Brasil	1986	0,8	Recomendações de Projeto
SABESP	São Paulo	1990	0,85	Recomendações de Projeto – Plano Diretor de Esgoto da Região Metropolitana de São Paulo

Fonte: Adaptado de Tsutiya e Sobrinho (1999)

Com base nessas considerações, o coeficiente de retorno adotado neste estudo será determinado de acordo com as orientações da NBR 9649, a fim de garantir a consistência e a comparabilidade dos resultados obtidos.

#### 2.4.2 PROJEÇÃO POPULACIONAL

Com o objetivo de obter uma estimativa precisa da vazão final de projeto, é fundamental realizar a projeção populacional da cidade. Carmo de Minas encontra-se em uma fase de crescimento econômico, o que exerce influência direta no aumento da sua população. A população da localidade é representativa de um típico município do interior brasileiro, com uma parcela significativa de moradores residindo em áreas rurais, havendo esperado aumento da população urbana nos próximos anos.

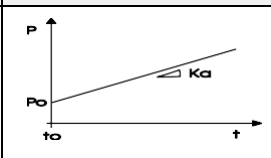
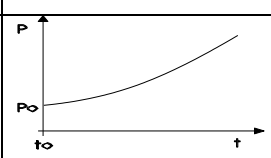
Por essa razão, foram utilizados dados referentes à população urbana para a estimativa do crescimento futuro. Com base nos censos demográficos realizados pelo IBGE nos anos de 1991, 2000 e 2010, apresentados na Tabela 4, foram aplicados 3 (três) métodos de projeção populacional para um período de 30 anos a partir do ano de 2010: Projeção Aritmética, Projeção Geométrica e Crescimento Logístico (VON SPERLING, 2014), com base em fórmulas matemáticas demonstradas no Quadro 2.

Tabela 2 - Dados Censitários de 1991 a 2010

Ano	Pop. Total (hab.)	Pop. Urbana (hab.)
1991	11.291	6.775
2000	12.545	7.527
2010	13.750	8.250

Fonte: IBGE (2010)

Quadro 2 - Projeção populacional

Método	Forma da curva	Fórmula da projeção	Coefficientes
Projeção aritmética		$P_t = P_0 + K_a \cdot (t - t_0)$	$K_a = \frac{P_2 - P_0}{t_2 - t_0}$
Projeção geométrica		$P_t = P_0 \cdot e^{K_g \cdot (t - t_0)}$	$K_g = \frac{\ln P_2 - \ln P_0}{t_2 - t_0}$



Crescimento logístico		$P_t = \frac{P_s}{1 + c \cdot e^{K_1 \cdot (t-t_0)}}$	$P_s = \frac{2 \cdot P_0 \cdot P_1 \cdot P_2 - P_1^2 \cdot (P_0 + P_2)}{P_0 \cdot P_2 - P_1^2}$ $c = (P_s - P_0) / P_0$ $K_1 = \frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \ln \left[ \frac{P_0 \cdot (P_s - P_1)}{P_1 \cdot (P_s - P_0)} \right]$
-----------------------	--	---	--

Sendo  $P_0$ ,  $P_1$ ,  $P_2$  = populações nos anos  $t_0$ ,  $t_1$ ,  $t_2$  (hab);  $P_t$  = população estimada no ano  $t$  (hab);  $K_a$ ,  $K_g$ ,  $K_l$ ,  $i$ ,  $c$  = coeficientes.

Fonte: Adaptado parcialmente de Qasim (1985)

Os resultados das projeções de População Urbana para o município de Carmo de Minas seguem conforme Tabela 5:

Tabela 3- Dados da População Urbana

Ano	Pop. Urbana (Censo - IBGE)	População Urbana Estimada		
		Projeção Aritmética	Projeção Geométrica	Curva Logística
1991	6.775	6.775	6.775	6.775
2000	7.527	7.527	7.527	7.527
2010	8.250	8.250	8.250	8.250
2020	-	9.026	9.151	8.861
2030	-	9.803	10.151	9.485
2040	-	10.579	11.260	10.044

Fonte: Do Autor (2023)

De acordo com os dados apresentados na Tabela 5, foi considerado o cenário mais crítico, ou seja, de maior população para o ano de 2040, e para isto foi utilizado o método geométrico, que leva em conta uma fase de crescimento acelerado, que acompanha a forma de uma curva exponencial (MARRA, Elisa Barbosa et al. 2023). Assim, utilizou-se o valor de 11.260 habitantes para proposição do sistema de esgotamento sanitário a ser implantado.

É importante ressaltar que a população flutuante não foi considerada, uma vez que Carmo de Minas não é uma localidade turística ou de veraneio, ao contrário, por exemplo, da cidade de Lavras, que possui o atrativo da universidade (UFLA), concentrando parcela significativa da população. Portanto, o acréscimo populacional desta modalidade flutuante não teria impacto relevante na sobrecarga do sistema de esgoto tratado por uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE).

### 2.4.3 CONTRIBUIÇÃO PER CAPITA DE ÁGUA

Para permitir estimar a vazão de esgotos gerada em 2040, com base na população, pode-se utilizar o consumo per capita de água ou a Quota Per Capita (QPC). Esse valor varia de acordo com vários fatores, como clima, hábitos de vida da população e o porte da cidade. A seguir apresenta-se a Tabela 6, com o consumo per capita de água, segundo von Sperling (2017).

Tabela 4- Consumo *per capita* de água

Porte da Comunidade	Faixa da População (hab.)	Consumo per capita (QPC) (L/hab.dia)
<b>Povoado Rural</b>	<5.000	90-140
<b>Vila</b>	5.000-10.000	100-160
<b>Pequena Localidade</b>	10.000-50.000	110-180
<b>Cidade média</b>	50.000-250.000	120-220
<b>Cidade grande</b>	>250.000	150-300

Fonte: von Sperling (2017)

Para o município de Carmo de Minas, com estimativa de população maior que 10.000, para o ano de 2040, foi adotada QPC de 180 (L/hab.dia), baseando-se em dados concretos e tendências observadas nos relatórios do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) referentes aos anos de 2019, 2020 e 2021.

De acordo com os dados do SNIS, o consumo de água no município apresentou variações ao longo dos anos. Em 2019, o consumo foi de 146,66 L/hab.dia para uma população atendida com abastecimento de água de 11.011 habitantes. Em 2020, o consumo diminuiu para 129,43 L/hab.dia com uma população atendida de 13.079 habitantes. Já em 2021, o consumo aumentou para 178,27 L/hab.dia com uma população atendida de 15.031 habitantes.

Ao analisar esses dados, percebe-se que o consumo de água teve oscilações nos últimos anos, indicando uma variação que pode continuar até o ano de 2040. Dessa forma, foi tomada a decisão de adotar o valor de 180 L/hab.dia para o QPC, que representa uma média conservadora, considerando tanto a possibilidade de aumento do consumo em anos futuros quanto a manutenção de um consumo moderado. Essa média busca garantir uma estimativa sólida e segura para o dimensionamento do sistema de tratamento de esgoto, levando em conta o crescimento populacional projetado.

#### 2.4.4 VAZÃO MÉDIA

Com os dados de população, contribuição per capita e coeficiente de retorno, fez-se o cálculo da vazão média de esgotos domésticos. No entanto, como a vazão tende a variar ao longo do dia, são empregados coeficientes de vazão para ajustá-la de acordo com sua utilização no projeto de sistemas de esgoto (VON SPERLING, 2014).

A determinação da vazão média de esgoto doméstico é calculada utilizando a equação 1:

$$\text{Equação 1: } Q_d \text{ médio} = (\text{Pop} \cdot \text{QPC} \cdot \text{R}) / 1000$$

Em que:

- Qd médio: Vazão Doméstica Média de esgoto (L/s)
- QPC: quota *per capita* consumo de água
- R: coeficiente de retorno de esgoto/água

### 2.4.5 VAZÕES MÁXIMA E MÍNIMA

Conforme discutido, a demanda de água e a produção de esgoto em uma localidade sofrem variações ao longo do dia, da semana e do ano. Essas variações são representadas no hidrograma da Figura 5, que ilustra o fluxo de entrada em uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) ao longo do dia.

O hidrograma exibe dois picos principais: o pico da manhã (mais pronunciado) e o pico da noite (mais distribuído e nem sempre perceptível). A vazão média diária é o valor no qual as áreas acima e abaixo da curva se igualam, representando a média entre os períodos de maior e menor demanda.

Figura 5- Hidrograma Típico de uma ETE



Fonte: Von Sperling (2005)

É comum utilizar os seguintes coeficientes de variação para estimar a vazão média de água (ALEM SOBRINHO, 1999):

K1: 1,20 (coeficiente para o dia de maior consumo)

K2: 1,50 (coeficiente para a hora de maior consumo)

K3: 0,50 (coeficiente para a hora de menor consumo)

Dessa forma, é possível determinar as vazões máxima e mínima de esgoto por meio das equações 2 e 3:

$$\text{Equação 2: } Q_{\text{máx inicial}} = Q_{\text{média inicial}} \cdot K1 \cdot K2$$

$$\text{Equação 3: } Q_{\text{min inicial}} = Q_{\text{média inicial}} \cdot K3$$

### 2.5 CARACTERÍSTICAS DO ESGOTO DOMÉSTICO

Dada à falta de dados específicos da água residuária doméstica do município, foi necessário recorrer a informações na literatura (Tabela 8), de forma proporcionar obtenção de informações para avaliação das eficiências necessárias.

Tabela 5 - Características típicas do esgoto sanitário com base em diferentes referências

Fonte	Variáveis Qualitativas do Esgoto Doméstico															
	DBO	DQO	NTK	Norg	Namon	PT	O&G	ST	SS	S	K	Na	pH	CT	Cterm	EC
						mg/L							-		NMP/100 mL	
(1)	100-400	200-800	0-85	10-35	10-50	5-20	-	370-1160	120-360	5-20	-	-	6,5-7,5	106 -109	105 -108	106
(2)	250-400	450-800	5- 60	15-25	20-35	4-15	-	700-1350	200-450	10-20	-	-	6,7-8,0	106 -1010	106 -109	106 -109
(3)	20-400	170-1000	0- 90	-	10-50	4-12	-	200-1200	100-500	5-20	<10-60	24-47	6,8-7,2	-	-	-
(4)	230	-	7,10	2,30	37	8,7	-	745	-	-	25,7	77,20	6,35	-	-	-

Em que, DBO, DQO, NTK, PT, O&G, ST, SS, S, K, Na, pH, CT, CTerm, EC, refere-se respectivamente à Demanda Bioquímica de Oxigênio, Demanda Química de Oxigênio, Nitrogênio Total Kjeldahl, Fósforo Total, Óleos e Graxas, Sólidos Totais, Sólidos Suspensos, Sedimentáveis, Potássio, Sódio, potencial hidrogeniônico, Coliformes Totais, Coliformes Termotolerantes e E. Coli.

Fonte: (1) - Jordão e Pessoa (2011); (2) - Von Sperling (2017); (3) - Matos e Matos (2017); (4) Guimarães et al. (2018)

Entretanto é essencial ressaltar que, devido à presença de águas pluviais misturadas ao esgoto nas redes coletoras do município, as características das águas residuárias podem diferir dos dados encontrados na literatura, especialmente durante períodos chuvosos. No entanto, para o propósito deste estudo, foram utilizados os valores adotados na literatura, com o intuito de buscar soluções específicas para o sistema de esgotamento sanitário da zona urbana do município. Nesse contexto, é necessário garantir que as contribuições das águas pluviais e residuárias sejam mantidas separadas, excluindo-se os valores pertinentes a águas pluviais e também qualquer lançamento de efluentes industriais.

## **2.6 CARACTERÍSTICAS DO CORPO HIDRICO RECEPTOR ADOTADO**

Na Tabela 8, são apresentados os valores médios obtidos através do portal HIDROWEB, referentes ao curso d'água Rio Verde, medidos pela estação fluviométrica de Conceição do Rio Verde, código 61232000, destaca-se que o Rio Verde se encontra a aproximadamente, 25 km do Ribeirão do Carmo. A série histórica abrange o período de 2008 a 2016, embora algumas variáveis possuam mais informações do que outras, o que afeta os desvios padrões. Ressalta-se que o mais adequado é contar com dados mais recentes, que permitam inferir sobre alterações quantitativas (vazão) e qualitativas, resultante de intervenções na bacia. No entanto, dada a escassez dessas informações, utilizou-se a base disponível no portal.

Tabela 9 – Média das principais variáveis qualitativas da água do Rio Verde de 2008 a 2016.

<b>Dados 2008 – 2016</b>											
<b>Variável</b>	<b>pH</b>	<b>DQO</b>	<b>DBO</b>	<b>OD</b>	<b>ST</b>	<b>SS</b>	<b>PT</b>	<b>Namon</b>	<b>Nitrato</b>	<b>CT</b>	<b>CTerm</b>
<b>Unidades</b>	-					mg/L					
<b>Média± desvio padrão</b>	6,48±0,3	8,43±0,3	2,0±0,4	7,53±0,7	157,89±7,5	53,7±5,0	-	0,06± 0,04	0,47±02	3,57E+0,9	3,91E+0,5
<b>Número de Dados</b>	10	2	12	12	12	2	0	10	12	2	8

Fonte: HIDROWEB (2023)

Ao considerar os dados hidrográficos do município de Carmo de Minas mencionados no item 2.4, juntamente com as informações qualitativas sobre a qualidade do corpo hídrico adotado como parâmetro para receber os efluentes, mencionadas anteriormente na Tabela 9, e levando em conta as diretrizes estabelecidas na DN COPAM/CERH-MG 08/2022 foram definidos os níveis de tratamento a serem alcançados para que seja permitido o lançamento no curso d'água. As condições necessárias para atendimento estão apresentadas na Quadro 3.

Quadro 3 – Eficiências mínimas e valores máximos permissíveis para o lançamento de efluente conforme DN COPAM/CERH-MG 08/2022 e Resolução CONAMA 430/2011

Padrão para Lançamento			Classe de enquadramento do curso d'água (Classe 2)
Variável	Valor Máximo Permissível	Eficiência Mínima para lançamento (%)	Valor Máximo Permissível
<b>DBO</b>	60 mg/L	60	5 mg/L
<b>DQO</b>	180 mg/L	65	-
<b>SS</b>	100 mg/L	69 (a)	100 mg/L
<b>Namon</b>	20 mg/L	58 (a)	3,7 mg/L (b)
<b>PT</b>	-	-	0,1 mg/L
<b>Ctem</b>	-	-	100 NMP/100 mL

a -Valores calculados com base na concentração máxima permissível; b - Para pH < 7,5.

Fonte: Brasil (2011) e Minas Gerais (2022)

Neste projeto, o foco principal é tratar o esgoto doméstico do município de Carmo de Minas, levando em consideração os parâmetros demonstrados e dados relevantes da literatura. Assim, almeja-se implementar um novo sistema de tratamento que será capaz de tratar o esgoto a níveis capazes de atender o lançamento em um córrego d'água próximo à localidade onde o sistema será instalado, no Ribeirão do Carmo.

Para realizar os cálculos necessários, foi considerada a média da variável de DBO, nos anos de 2008 a 2016, conforme apresentado anteriormente na tabela 6. A obtenção da eficiência desejada requer a determinação das concentrações máximas dessas variáveis que deverão ser alcançadas após o tratamento. Esse cálculo é realizado através da concentração de mistura, com a utilização da Equação 4:

$$\text{Equação 4: } C_m = \frac{(C_r \cdot Q_r + C_e \cdot Q_e)}{Q_r + Q_e}$$

Em que:

- $C_m$  = concentração de mistura no curso d'água, conforme o valor máximo permissível para classe 2, disposto na DN COPAM/CERH 08/2022 (mg/L);
- $C_r$  = concentração no curso d'água, mencionado na Tabela 9 (mg/L);
- $C_e$  = concentração efluente (mg/L);
- $Q_r$  = vazão de referência no curso d'água ( $Q_r = 771,9$  L/s) (Atlas Esgotos, 2017);
- $Q_e$  = vazão de esgoto a ser tratada (L/s).

Ordenando a Equação 4, é possível determinar o valor da concentração efluente ( $C_e$ ) pela Equação 5.

$$\text{Equação 5: } C_e = \frac{[C_m \cdot (Q_r + Q_e)] - (C_r \cdot Q_r)}{Q_e}$$

Com base nos cálculos realizados, é possível determinar a eficiência necessária para o lançamento dos efluentes, de forma a preservar a condição do curso d'água (classe 2), conforme indicado pela Equação 6.

$$\text{Equação 6: } E_{\text{necessária}} = \frac{(S_f - C_e)}{S_f} \cdot 100$$

Em que:

- $E_{\text{necessária}}$  (%) = eficiência necessária para não alteração da condição do curso d'água;
- $S_f$  = concentração das variáveis de acordo com os valores de literatura obtidos (mg/L) (Tabela 8)

Assim, considerando a importância ambiental desse processo, discutir-se-á entre as diversas propostas de sistemas de tratamento, o sistema de tratamento que garantirá a eficiência desejada. Este cálculo de eficiência será fundamental para a correta implementação do sistema e para assegurar a preservação da qualidade do córrego receptor após o lançamento do esgoto tratado.

## **2.7 PROPOSTA DE SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO PARA O MUNICÍPIO DE CARMO DE MINAS**

A seleção do sistema de tratamento de esgoto para o município foi realizada com base em uma análise dos diferentes tipos de sistemas disponíveis, levando em conta: a) A eficiência de remoção da demanda bioquímica de oxigênio (DBO); b) a área necessária para o projeto e c) o custo de implementação. Esses critérios foram avaliados de acordo com as condições de investimento em saneamento básico do município, seguindo indicadores do SNIS, considerando as particularidades e demandas específicas para municípios de pequeno porte em Minas Gerais, conforme estudos prévios realizados por Oliveira et al. (2005). Além disso, foram comparados com sistemas de tratamento adotados por prestadores de serviços municipais e autarquias, como é o caso de Carmo de Minas.

Diante das várias alternativas de sistemas de tratamento de esgoto mencionados por Oliveira et al (2005) e com dados da literatura, foi necessário agrupar configurações que se



assemelham, analisando inicialmente pelo critério de área demandada por habitante e posteriormente avaliar o critério de eficiência destes sistemas de tratamento. Com base nos dados presentes na Tabela 10, é possível estimar a demanda de área para cada sistema de tratamento e seus respectivos custos, com relação a construção, implantação, operação e manutenção do sistema. Observa-se que esses estão apresentados por habitante, então uma forma rápida de estimativa seria o emprego da população calculada anteriormente.

Tabela 10 – Sistemas de Tratamento de Esgoto por Área Demandada, Custos de implantação, operação e manutenção por habitante

<b>Sistema de Tratamento</b>	<b>Área demandada (m<sup>2</sup>/hab)</b>	<b>Construção/implantação (R\$ / hab)</b>	<b>Operação e manutenção (R\$ /hab/ano)</b>
<b>TS+FA</b>	0,20-0,35	16-300	12-20
<b>UASB</b>	0,03 – 0,10	40 - 120	6 -10
<b>LAN +LF</b>	1,50 – 3,00	90 - 140	5 – 8
<b>LF</b>	2,00 – 4,00	400 - 160	5 – 8
<b>LAF</b>	0,25 – 0,50	120 - 200	10 - 20
<b>LAMCS-LS</b>	0,20 - 0,40	120 - 200	10 - 20
<b>LAC</b>	0,12 – 0,25	240 - 300	20 - 40
<b>LAP</b>	0,12 – 0,25	200 - 270	20 - 40
<b>UASB+LAC</b>	0,08 – 0,20	120 - 250	15 - 30
<b>UASB+FBP</b>	0,10 – 0,20	150 - 250	12 - 18
<b>UASB+BFAS</b>	0,05 – 0,15	120 - 250	15 - 30

Em que, TS refere-se a Tanque Séptico, FA a Filtro Anaeróbio, LAN a Lagoas Anaeróbias, LF a Lagoas Facultativas, LAF a Lagoa Aerada Facultativa, LAMC a Lagoa Aerada de Mistura Completa, LS a Lagoa de Sedimentação, LAC a Lodos Ativados Convencional, LAP a Lodos Ativados de Aeração Prolongada, BFAS a Biofiltros Aerados Submersos, FBP a Filtro Biológico Percolador.

Fonte von Sperling (2017)

No processo de escolha do sistema de tratamento de esgoto mais adequado, é essencial considerar não apenas o aspecto econômico, mas também os aspectos técnicos, que se referem à eficiência de cada sistema de tratamento. O objetivo é analisar se a alternativa selecionada atenderá de forma positiva às demandas de tratamento de esgoto, garantindo o cumprimento dos requisitos estabelecidos pela legislação brasileira para a disposição dos efluentes no curso d'água, conforme a DN COPAM/CERH-MG 08/2022. Na Tabela 11, estão apresentados os sistemas de tratamento e suas respectivas eficiências típicas.

Tabela 11 – Sistemas de tratamento e suas eficiências típicas para esgoto doméstico.

<b>Sistema de Tratamento</b>	<b>DBO (%)</b>	<b>DQO (%)</b>	<b>SS (%)</b>	<b>NT (%)</b>	<b>PT (%)</b>	<b>Colif. (unid. Log)</b>
<b>UASB</b>	60-75	55-70	65-80	<60	<35	1
<b>LAN + LF</b>	75-85	65-80	70-80	<60	<35	1-2
<b>LF</b>	75-85	65-80	70-80	<60	<35	1-2
<b>LAF</b>	75-85	65-80	70-80	<30	<35	1-2
<b>LAMC –LS</b>	75-85	65-80	80-87	<30	<35	1-2
<b>LAC</b>	85-93	80-90	87-93	<60	<35	1-2
<b>LAP</b>	90-97	83-93	87-93	<60	<35	1-2
<b>UASB + LAC</b>	83-93	75-88	87-93	<60	<35	1-2
<b>UASB + BFAS</b>	83-93	75-88	87-93	<60	<35	1-2
<b>UASB + FBP</b>	80-93	73-88	87-93	<60	<35	1-2
<b>SAC</b>	80-90	75-85	87-93	<60	<35	3-4
<b>Fossa Séptica –</b>	70-90	-	-	10-25	10-20	60-90 (%)

Fonte: Von Sperling (2017)

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 CONTRIBUIÇÃO DE ESGOTO

Ao realizar o dimensionamento do sistema de tratamento de esgoto proposto para a área urbana de Carmo de Minas, levou-se em conta uma estimativa da população para o ano final do projeto, considerando um cenário mais crítico de maior população para o ano de 2040, utilizou-se o método geométrico, que segue uma fase de crescimento acelerado (MARRA, Elisa Barbosa et al., 2023), para estabelecer o valor de 11.260 habitantes como base para a proposição do sistema de esgotamento sanitário a ser implantado. Embora não tenha sido possível levantar o número exato de residências e prédios públicos atendidos pelo tratamento de esgoto doméstico, a adoção desse valor estimado proporcionou uma base para a determinação de uma solução de sistema de esgoto.

De forma, a estabelecer o Quociente Per Capita (QPC) com base nas informações do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) e nas tendências observadas no consumo de água do município nos últimos anos, citados do item 2.4.3, visando assegurar a adequação do projeto às necessidades futuras da população de Carmo de Minas, foi adotado um QPC em 180 L/hab.dia.

No que se refere ao coeficiente de retorno, a determinação adotada neste estudo seguiu as orientações da NBR 9649, conforme mencionado no item 2.4.2, garantindo a consistência e a comparabilidade dos resultados obtidos, que recomenda o uso de um coeficiente de retorno igual a 0,8 como valor padrão em pesquisas realizadas em locais onde dados locais específicos são inexistentes.

Nesse contexto, a ligação com as equações de vazão média, máxima e mínima, bem como os coeficientes de mistura e eficiência, que serão apresentados posteriormente, torna-se essencial para completar a análise do sistema de esgotamento sanitário proposto. Essas equações permitirão a determinação adequada das vazões de esgoto a serem tratadas, considerando a população estimada de Carmo de Minas, garantindo, assim, a eficiência do sistema de tratamento e sua capacidade para atender às demandas futuras do município.

A determinação da vazão média de esgoto doméstico foi calculada utilizando equação 1, demonstrando seus resultados a seguir:

I. Tempo Inicial de Projeto (2010):

$$Q_d \text{ médio} = (\text{Pop} \cdot \text{QPC} \cdot \text{R}) / 1000 = 8.250 \cdot 180 \cdot 0,80 / 86.400 = 13,75 \text{ (L/s)}$$

II. Tempo Final de Projeto (2040):

$$Q_d \text{ médio} = (\text{Pop} \cdot \text{QPC} \cdot \text{R}) / 1000 = 11.260 \cdot 180 \cdot 0,80 / 86.400 = 18,77 \text{ (L/s)}$$

E de forma, a demonstrar as vazões máxima e mínima de esgoto, para fins de levantamento de dados de dimensionamento de projeto, foram obtidas por meio das equações correspondentes, 2 e 3:

I. Tempo Inicial de Projeto (2010):

$$Q_{\text{máx inicial}} = Q_{\text{média inicial}} \cdot K_1 \cdot K_2 = 13,75 \cdot 1,2 \cdot 1,5 = 24,75 \text{ (L/s)}$$

$$Q_{\text{min inicial}} = Q_{\text{média inicial}} \cdot K_3 = 13,75 \cdot 0,5 = 6,875 \text{ (L/s)}$$

II. Tempo Final de Projeto (2040):

$$Q_{\text{máx final}} = Q_{\text{média final}} \cdot K_1 \cdot K_2 = 18,77 \cdot 1,2 \cdot 1,5 = 33,79 \text{ (L/s)}$$

$$Q_{\text{min final}} = Q_{\text{média final}} \cdot K_3 = 18,77 \cdot 0,5 = 9,385 \text{ (L/s)}$$

### 3.2 EFICIÊNCIAS MINIMAS NECESSÁRIAS

Para cálculo das eficiências necessária para não alteração da condição do curso d'água, conforme legislação estadual DN COPAM/CERH 08/2022, considerando a vazão média de 18,77 (L/s), e afim avaliar a eficiência necessária para remoção de DBO para o estudo, utilizou-se das Equações 5 e 6, citadas no item 2.6, e da vazão de referência do Ribeirão do Carmo e os dados de qualidade do Rio Verde, para determinar o valor da concentração efluente ( $C_e$ ):

$$C_e = \frac{[C_m \cdot (Q_r + Q_e)] - (C_r \cdot Q_r)}{Q_e} = C_e = \frac{[5 \text{ mg/L} \cdot (771,9 \text{ L/s} + 18,77 \text{ L/s})] - (2,0 \text{ mg/L} \cdot 771,9 \text{ L/s})}{18,77 \text{ L/s}} = 128,36 \text{ L/s}$$

De acordo com os cálculos realizados, foi possível determinar a eficiência necessária na remoção de DBO para o lançamento dos efluentes, utilizando da média dos valores típicos de DBO, apresentados por Von Sperling (2017).

$$E_{\text{necessária}} = \frac{(S_f - C_e)}{S_f} \cdot 100 = E_{\text{necessária}} = \frac{(325 \text{ mg/L} - 128,36 \text{ L/s})}{325 \text{ mg/L}} \cdot 100 = 60,504\%$$

Resultando numa eficiência mínima de 60,5%, todavia tal valor é correspondente à eficiência mínima relacionada na CONAMA 430/11, que tem como padrão de remoção mínima

de 60%. Diante disto para a definição das propostas aqui relacionadas, foi utilizado esse valor conforme a legislação (BRASIL, 2011).

### **3.3 DISCUSSÃO DOS CUSTOS DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO**

Utilizando os sistemas de tratamento mais adotados em Minas Gerais (PEREIRA, 2018), como ponto de partida na escolha, pode-se apresentar os prós e os contras de cada uma dessas concepções. Embora o sistema TS+FA seja uma alternativa mais utilizada em regiões cujo PIB é baixo, como é o caso de Carmo de Minas (BRASIL, 2005) este não apresenta uma eficiência suficiente na remoção de DBO para permitir o lançamento no curso d'água (OLIVEIRA et al, 2005). Ressalta-se que os reatores anaeróbios possuem vantagens como a compactação, a menor geração de lodo e o potencial de produção de energia, porém, isolados não oferecem eficiência suficiente para a disposição do esgoto em corpos d'água (VON SPERLING, 2014), e com isso é comumente seguido de um pós-tratamento, apresentando eficiências de remoção de DBO globais superiores (OLIVEIRA et al, 2005).

Excluindo a proposta de TS+FA, e levando em consideração a aplicabilidade por parte de prestadores de serviços municipais responsáveis por sistemas de tratamento de esgoto, como é o caso da SAAE, e tendo como solução uma modalidade de tratamentos de esgoto que demande uma área necessária para o projeto consideravelmente pequena, uma vez que a região urbana do município é pequena, discutiu-se 2 (duas) propostas como solução para o tratamento do efluente doméstico do município de Carmo de Minas, avaliando os resultados dos custos envolvidos na instalação do empreendimento e sua eficiência.

Como primeira solução tem-se o sistema UASB + FBP, que é composto por um reator anaeróbio, o UASB, seguido por um reator aeróbio, o filtro biológico percolador (FBP). No contexto deste projeto, foi adotado o sistema de alta carga para o FBP, devido à sua maior capacidade de lidar com variações de carga devido à recirculação da água residuária, o que garante uma nova oportunidade de remoção da matéria orgânica. Além disso, o FBP de alta carga possui menor requisito de área devido à sua alta relação alimento-microrganismo (ALMEIDA et al, 2011), além de eficiências compatíveis com as necessárias no presente trabalho.

Considerando uma maior eficiência dos sistemas aeróbios para a disposição do efluente tratado em corpos d'água, e remoção do DBO, bem como os aspectos econômicos do município, tem-se como segunda alternativa: o sistema UASB + BFAS, o qual consiste em um reator UASB seguido de um biofiltro aerado submerso. Segundo Gonçalves et al. (2001) e Jordão e Pessoa (2011), um biofiltro aerado submerso requer áreas menores em comparação com o FBP, devido à introdução forçada de oxigênio, o que também resulta em maiores gastos energéticos.

Com base na Tabela 10, foi possível determinar as áreas necessárias para cada sistema de tratamento com base na população estimada, e os resultados são demonstrados na Tabela 12. Os resultados são com base na média do dado disponível para cada tópico multiplicado pela população estimada.

Tabela 12. Sistemas de tratamento e seus respectivos custos de construção/implantação e operação/manutenção, além da demanda de área, considerando como equivale a população estimada em 2040

<b>Sistema de Tratamento</b>	<b>População (hab)</b>	<b>Área demandada (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Construção/ Implantação (R\$)</b>	<b>Operação e manutenção 1ºano (R\$)</b>	<b>Custo Total 1ºano (R\$)</b>
<b>UASB+FBP</b>	11.260	1.689	2.252.000,00	168.900,00	2.420.900,00
<b>UASB+BFAS</b>	11.260	1.126	2.083.100,00	253.350,00	2.336.450,00

Em que FBP refere-se à filtro biológico percolador e BFASa biofiltro aerado submerso. Os valores calculados, levaram em consideração a média aritmética dos valores dispostos nas tabelas 10.

Fonte: Do Autor (2023)

Ao comparar as áreas das duas alternativas, é evidente que o sistema de tratamento UASB + BFAS requer menos espaço, embora tenha custos operacionais mais altos. No entanto, em termos de custos totais, os valores são menores em comparação com o uso do FBP, o que pode estar relacionado à necessidade de área e preenchimento com meio suporte. Em relação aos aspectos técnicos, as eficiências de tratamento para as variáveis DBO, DQO, SS, NT, PT e coliformes são semelhantes nos dois sistemas de tratamento, conforme Tabela 8, diferindo apenas na demanda de área e nos custos.

Com base nos dados apresentados na Tabela 12, é possível observar que, no primeiro ano de tratamento, o sistema de tratamento UASB+BFAS se mostra mais econômico em comparação à concepção UASB+FBP. No entanto, ao realizar uma projeção dos custos, constatou-se que, no segundo ano, os custos totais desses sistemas de tratamento se igualam. Já no terceiro ano, a concepção UASB+FBP passa a ser mais viável economicamente. Essas informações destacam a importância de considerar o planejamento financeiro a longo prazo ao tomar decisões relacionadas à escolha do sistema de tratamento de esgoto. As projeções foram determinadas através da somatória acumulada através dos anos. Os resultados estão apresentados nas Tabela 13 e 14.

Tabela 13 – Projeção dos Custos de Operação e Manutenção para os 3 primeiros anos do sistema de tratamento

<b>Sistema de Tratamento</b>	<b>Construção / implantação (R\$)</b>	<b>Operação / Manutenção</b>		
		<b>1ºano (R\$)</b>	<b>2ºano (R\$)</b>	<b>3ºano (R\$)</b>
UASB+FBP	2.252.000,00	168.900,00	337.800,00	506.700,00
UASB+BFAS	2.083.100,00	253.350,00	506.700,00	760.050,00

Fonte: Do Autor (2023)

Tabela 14 – Projeção dos Custos Totais para os 3 primeiros anos do sistema de tratamento

Sistema de Tratamento	Construção / implantação (R\$)	Custo Total		
		1ºano (R\$)	2ºano (R\$)	3ºano (R\$)
UASB+FBP	2.252.000,00	2.420.900,00	2.589.800,00	2.758.700,00
UASB+BFAS	2.083.100,00	2.336.450,00	2.589.800,00	2.843.150,00

Com base nas análises das diferentes alternativas de sistemas de tratamento de esgoto adotadas em Minas Gerais (PEREIRA, 2018), as duas concepções discutidas como possíveis soluções para o tratamento do efluente doméstico de Carmo de Minas: sistema UASB + FBP e o sistema UASB + BFAS. A primeira opção apresenta eficiências compatíveis com os requisitos do projeto, enquanto a segunda demanda menor área, porém tem custos operacionais mais elevados. Analisando os dados de custos ao longo do tempo, a concepção UASB + FBP se mostra mais econômica a partir do terceiro ano, tornando-a a melhor escolha para atender às necessidades de tratamento de esgoto do município.

A escolha do sistema de tratamento UASB + FBP é fundamental para garantir a eficiência do tratamento do esgoto da área urbana de Carmo de Minas. A despeito de demandar maior área em comparação com o sistema UASB + BFAS, o sistema UASB + FBP apresenta eficiências semelhantes, conforme demonstrado na Tabela 11, além de custos equiparados ao sistema UASB + BFAS já no segundo ano. Essa concepção se mostra mais econômica a longo prazo, tornando-se a alternativa mais viável economicamente para o município. Ao optar pelo sistema UASB + FBP, espera-se garantir o tratamento adequado do esgoto gerado por uma população estimada de 11.260 habitantes em 2040, assegurando a eficiência do sistema em atender às demandas futuras do município e promovendo a preservação do meio ambiente.

#### 4. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos no trabalho, pode-se concluir:

- Carmo de Minas é um município que carece da instalação de uma Estação de Tratamento de Esgoto. Atualmente, somente há coleta e atendimento de 90% da população urbana;
- Para a região urbana de Carmo de Minas, em um horizonte de 2040, foi escolhido o sistema de tratamento UASB + FBP como o mais viável, levando em consideração o equilíbrio entre o aspecto econômico e técnico, além de que essa concepção se torna mais viável que a concepção UASB + BFAS em um prazo de 3 anos, visto que esse possui menores demandas energéticas e manutenção.

- Destaca-se a necessidade de monitoramento de dados de qualidade do corpo hídrico receptor dos efluentes domésticos, o Ribeirão do Carmo.
- A concepção determinada para o município é um sistema compacto que demonstra uma excelente eficiência na remoção de DQO e DBO no sistema de tratamento, atendendo aos padrões especificados na Resolução CONAMA N° 430/2011 e DN COPAM 08/2022, além de já ser muito adotado em municípios de mesmo porte no estado de Minas Gerais.

## 5. REFERÊNCIAS

ALEM SOBRINHO, P.; TSUTIYA, M. T. **Coleta e transporte de esgoto sanitário**. 1. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1999.

ALMEIDA, Paulo Gustavo Sertório de; OLIVEIRA, Sílvia Corrêa; CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos. **Operação de filtros biológicos percoladores pós-reatores UASB sem a etapa de decantação secundária**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 16, p. 271-280, 2011.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Programa de Despoluição das Bacias Hidrográficas**. Disponível em: < <http://atlasdegotos.ana.gov.br>> Acesso em: 15 mai. 2023

ANDRADE NETO, C. O. de. **Sistemas Simples para Tratamento de Esgotos Sanitários: experiência brasileira**. Rio de Janeiro: ABES, 1999.

BRASIL. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH (Conselho Estadual de Recursos Hídricos), n.º 08, de 21 de novembro de 2022. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências**. Diário do Executivo – Minas Gerais.

BRASIL. **Lei nº 11.445 de 5 de janeiro de 2007**. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis n os 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. (Redação pela Lei nº 14.026, de 2020). Disponível em: < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/11445.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/11445.htm)>. Acesso em: 15 mai. 2023.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 430 de 13 de maio de 2011. **Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA**. Disponível em: < <https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/CONAMA/RE0430-130511.PDF>>. Acesso em 22 mai. 2023.

CLIMATEMPO. Carmo de Minas – BR. Disponível em: < <https://www.climatempo.com.br/climatologia/2754/carmodeminas-br>>. Acesso em: 15 mai. 2023

DE OLIVEIRA, Souza Karyne Francielle. **Fossas negras: um problema para o meio ambiente e para a saúde pública**. 2015.

DE SOUZA, Robert Schiaveto. **Avaliação do coeficiente de retorno esgoto/água numa rede de esgoto sanitário**. ARGAMASSA-Revista das Engenharias, Arquitetura e Urbanismo, Geografia, Gestão, Decisão e Memória, n. 001, p. 6-14, 2018.

GONÇALVES, R. F. et al. **Pós-Tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios**. Rio de Janeiro: ABES/RiMa, (Projeto Prosab), 82 p., 2001.

HIDROWEB. **Séries Históricas**. Disponível em: < <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>>. Acesso em: 15 mai. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário. 2019**. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/carmo-de-minas/>>. Acesso em: 15 mai. 2023.



INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Panorama Carmo de Minas, 2021**. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/carmo-de-minas>>., Acesso em: 15 mai. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produto Interno Bruto dos Municípios Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/carmo-de-minas>>., Acesso em: 15 mai. 2023.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 6. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011, 969 p.

KLÜSENER, João Júlio. Adaptação de redes coletoras de águas pluviais para sistemas coletores unitários utilizando o Sistema de Coleta, Transporte e Tratamento de Esgotos Sanitários de Rosário do Sul-RS como objeto de pesquisa. 2004.

MARRA, Elisa Barbosa et al. **Análise temporal de projetos de esgotamento sanitário baseada na projeção populacional e no índice de qualidade de água para o município de Barra do Pirai-RJ**. 2023.

MARTINS, Fabrina Bolzan et al. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite para Minas Gerais: cenário atual e projeções futuras. **Revista Brasileira de Climatologia**, 2018.

MATOS, A. T. de; MATOS, M. P. de. **Disposição de águas residuárias no solo e em sistemas alagados construídos**. 1. ed. Viçosa: UFV, 371 p., 2017.

MENDONÇA, M. J. C.; MOTTA, R. S. **Saúde e saneamento no Brasil. Planejamento e Políticas Públicas**, v. 30, p. 15-30, jun./dez. 2007.

OLIVEIRA, Sílvia; CORRÊA, M. A.; VON SPERLING, Marcos. Avaliação de 166 ETES em operação no país, compreendendo diversas tecnologias. Parte 1: análise de desempenho. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 10, p. 347-357, 2005.

PETENUSSO, M. et al. (2019). **Saneamento básico, pobreza e sustentabilidade: um olhar sobre Minas Gerais**. In: V Seminário dos Estudantes de Pós-Graduação (SEP), 2019, Instituto Federal Minas Gerais - Campus Bambuí, 2019.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico dos serviços de Água e Esgotos-2021**. Disponível em: < <http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-agua-e-esgotos/diagnostico-dos-servicos-deagua-e-esgotos-2021>>. Acesso em: 15 mai. 2023.

TRATA BRASIL. **Benefícios econômicos do saneamento no Brasil**. São Paulo: Trata Brasil, 2022. Disponível em: <<https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2022/11/Beneficios-economicos-do-saneamento-no-Brasil.pdf>> Acesso em: 17 de julho de 2023.

VON SPERLING, M. **Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. v.1. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - DESA; Universidade Federal de Minas Gerais, 2011

VON SPERLING, M. **Lagoas de estabilização: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. 3.ed. Belo Horizonte: Setor de Tratamento da Informação - DITTI; Universidade Federal de Minas Gerais, 2017

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Vol. 1. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG. 4a ed, 2014.