



**FRANCISCO RIBEIRO ROSA**

**CARACTERIZAÇÃO DO ESGOTO DOMÉSTICO DE CRISTAIS-MG E  
EFICIÊNCIA DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DO  
MUNICÍPIO**

**LAVRAS-MG  
2022**

FRANCISCO RIBEIRO ROSA

CARACTERIZAÇÃO DO ESGOTO DOMÉSTICO DE CRISTAIS-MG E  
EFICIÊNCIA DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DO  
MUNICÍPIO

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. Ronaldo Fia

Orientador

LAVRAS-MG  
2022

FRANCISCO RIBEIRO ROSA

CARACTERIZAÇÃO DO ESGOTO DOMÉSTICO DE CRISTAIS-MG E  
EFICIÊNCIA DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DO  
MUNICÍPIO

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.

APROVADO em 28 de abril de 2022.

Prof. Ronaldo Fia	DAM/UFLA
Profª Camila Silva Franco	DAM/UFLA
Mestranda Karla Danielle Rodrigues Pinheiro	DAM/UFLA

Prof. Dr. Ronaldo Fia  
Orientador

LAVRAS-MG  
2022

## AGRADECIMENTOS

Agradeço-Vos, Deus, por todas as graças com que me cumulais sem cessar, que desde sempre me iluminam e pelas quais me indicais o caminho a ser seguido.

Obrigado, ó Deus, pela minha saúde e por não deixar-me esmaecer nos momentos mais aflitos!

Ao meu pai, Edson, agradeço pelo exemplo de garra e trabalho. À minha mãe, Ana Maria, agradeço pela ternura e por seu amor incondicional.

Aos meus irmãos; Edson Filho e Paulo Neto, agradeço pelas lições que levarei comigo por toda minha vida!

Aos meus sobrinhos; Maria Vitória, Edson Neto e Maria Clara; agradeço pelo carinho e amizade!

Aos meus avós (*in memoriam*); Francisco, Alzira, Paulo e Ruth; agradeço pelos inúmeros ensinamentos virtuosos.

Aos meus tios, tias e primos; agradeço pelo apoio e por acreditarem comigo que este dia chegaria.

Aos meus amigos e àqueles que comigo estiveram, agradeço por tornarem esta caminhada possível e menos árdua.

Aos meus professores, agradeço por me transmitirem seus valores e conhecimentos, e em especial ao professor Ronaldo Fia, que atendeu prontamente a minha solicitação de convite para me orientar ao longo do presente trabalho de conclusão de curso.

Estendo estes agradecimentos a professora Camila Silva Franco e a Mestranda Karla Danielle Rodrigues Pinheiro, por aceitarem o convite para compor a banca julgadora deste trabalho.

À Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade a mim ofertada de poder cursar um ensino superior de excelência.

À Prefeitura Municipal de Cristais -MG, através do Secretário Municipal de Agricultura e Meio Ambiente Sr. Paulo Ribeiro Neto, do Fiscal Municipal o Sr. Antônio Marcos Ribeiro e do Operador da Estação de Tratamento de Esgoto Municipal o Sr. Danilo Silva França, pela magnanimidade com que me disponibilizaram todas as informações e dados para que a realização deste trabalho fosse possível.

A todos vocês que estiveram comigo ao longo desta jornada, dedico-lhes esta importante conquista em minha vida, tornar-me um engenheiro! Pois, se eu vi mais longe, foi por estar de pé sobre ombros de gigantes.

Muito obrigado!

## RESUMO

A geração de esgotos domésticos é proporcional ao aumento da população, e devido às características que apresenta deve ser tratado para minimizar os impactos quando disposto no ambiente. O excesso de matéria orgânica, nutrientes e organismos patogênicos presentes nos esgotos quando dispostos nos cursos d'água causam a degradação do meio e podem trazer problemas ambientais, econômicos e de saúde pública. No Brasil, a coleta e o tratamento dos esgotos ainda se dão de forma desproporcional no território brasileiro, e com percentuais reduzidos quando comparados às outras vertentes do saneamento básico. Apesar de a imposição legal do tratamento de esgoto para disposição em cursos d'água datar de meados dos anos de 1980, em âmbito nacional, muitas cidades têm implementado recentemente as estações de tratamento de esgotos (ETEs), como acontece com a cidade de Cristais em Minas Gerais. A ETE de Cristais começou a operar em junho de 2019, e o objetivo do presente trabalho será caracterizar o esgoto gerado na cidade, bem como a eficiência de tratamento do sistema recém implantado, por meio de duas campanhas amostrais realizadas no afluente e efluente da estação de tratamento de esgotos em outubro de 2020 e setembro de 2021. A ETE é composta por gradeamento, desarenador, medidor de vazão; estação elevatória; dois decantadores primários; dois reatores UASB e dois filtros biológicos percoladores, além de dois decantadores secundários. Apesar da limitação da quantidade de dados para estudo, foi possível constatar que entre as características analisadas do esgoto doméstico produzido em Cristais, algumas destas diferem dos valores estabelecidos na literatura, com destaque para as elevadas concentrações de DBO, DQO e nitrogênio amoniacal. Embora ainda recente, a Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) do município de Cristais atendeu em média, dentre as variáveis analisadas, os padrões de lançamento de efluentes estabelecidos em âmbito estadual, pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH n° 01/2008, atingindo em média 87% de eficiência na remoção de DBO e DQO.

**Palavras-chave:** Esgotos sanitários. ETE. Padrão de lançamento. Saneamento básico. Cristais-MG.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	8
2. OBJETIVOS.....	9
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	10
3.1 Saneamento Básico.....	10
3.2 Legislação sobre saneamento básico.....	12
3.3 Caracterização do esgoto doméstico.....	15
3.4 Unidades de tratamento de esgoto.....	17
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	21
4.1 Localização e caracterização da Área de Estudo.....	21
4.2 Serviços de esgotamento sanitário.....	23
4.2.1 Estruturação organizacional responsável pela prestação dos serviços de esgotamento sanitário.....	23
4.2.2 Descrição dos serviços de esgotamento sanitário na área urbana (sistema coletivo).....	23
4.2.3 Descrição dos serviços de esgotamento sanitário na área rural (soluções individuais).....	24
4.3 A Estação de tratamento de esgoto (ETE).....	24
4.4 Aquisição dos dados da ETE Cristais.....	29
4.5 Estatística descritiva.....	29
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
6. CONCLUSÃO.....	34
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	34

## 1. INTRODUÇÃO

O saneamento básico é um importante pilar na prevenção de inúmeras doenças, sobretudo, aquelas cujos contágios se dão por meio da veiculação hídrica, designando-se em um problema de saúde pública ainda muito comum em países em desenvolvimento, como o Brasil, onde este tipo de serviço não é igualitário. Predominantemente, os mais impactados são crianças, jovens e de modo geral a população mais vulnerável. Estes, sofrem com o comprometimento de seu desenvolvimento físico e intelectual em decorrência de endemias tais como diarreia crônica e desnutrição (LEIVAS et al., 2015; MENDONÇA; SEROA DA MOTTA, 2009; ARAÚJO et al., 2009).

Atrelada ao saneamento básico está a geração de esgotos, que se não gerenciados adequadamente, podem acarretar sérios problemas de saúde para a população local, isso quando estes efluentes não são lançados em corpos hídricos com potencial de afetar outras populações à jusante.

A geração de esgoto é uma consequência do uso da água. O esgoto de origem doméstica pode ser estabelecido como o despejo oriundo principalmente de residências, instituições, edifícios comerciais ou quaisquer edificações que possuam instalações de banheiros, cozinhas, lavanderias ou qualquer dispositivo cuja utilização da água é destinada para fins domésticos. É composto basicamente por água de banho, urina, fezes, papel, restos de comida, sabão, detergentes e águas de lavagem (JORDÃO; PESSOA, 2011).

Conforme a Lei nº 11445 que estabelece as Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico (LDNSB) (BRASIL, 2007), o saneamento no Brasil, pode ser definido como o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas.

Apesar da Lei de 2007, e do Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab), instrumento de operacionalização da Lei, o qual estabelece, os procedimentos detalhados quanto à execução e às metas de curto, médio e longo prazo para o avanço do serviço de saneamento no Brasil para os 20 anos subsequentes (2014- 2033) (PLANSAB, 2019), o saneamento básico no Brasil ainda apresenta percentuais de cobertura relativamente pequenos, principalmente quanto aos esgotos sanitários.

Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, 55% da população tem rede de esgoto e 50,8% dos esgotos do país são tratados (SNIS, 2020). Válido ressaltar, ainda, que a evolução quanto a acessibilidade de redes de esgoto para



a população anda a passos lentos, dado que no Brasil, a proporção de municípios com rede de esgoto passou de 47,3% em 1989 para 60,3% em 2017 (IBGE, 2017).

Estes números são ainda piores quando comparadas as regiões brasileiras. Nas regiões sudeste e centro oeste, quase 60% dos esgotos são tratados, enquanto na região sul este número não chega a 50%. Mas, a condição mais crítica está nas regiões nordeste com 34% e na Norte com 21% dos esgotos tratados (SNIS, 2020).

Em Minas Gérias a situação não é diferente do restante do país. Mesmo com o lançamento do Programa Minas Trata Esgoto nos anos de 2006 e 2008, pela Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM), com o objetivo de realizar a gestão estratégica da implantação de sistemas de tratamento de esgotos, não foram verificados grandes avanços. Em 2019, Minas tinha 48% da população urbana atendida por tratamento de esgoto. Em 2020, o índice chegou a 53,7%, o que corresponde a cerca de 10,1 milhões de mineiros (MINAS GERAIS, 2021).

No município de Cristais, objeto do presente estudo, de acordo com os dados mais recentes da Agência Nacional de Água e Saneamento Básico (ANA), datados do ano de 2017, 98,7% do esgoto é coletado, mas não tratado, 0,9% não é coletado e nem tratado e 0,4% do esgoto gerado no município possui solução individual (ANA, 2017). É importante salientar que neste levantamento, a Estação de Tratamento de Esgoto do município ainda estava em fase de construção, passando a operar apenas a partir do ano de 2020.

Por ser uma estação de tratamento de esgotos recém implantada torna-se importante caracterizar os esgotos gerados na cidade, avaliar a adequabilidade das unidades de tratamento, bem como avaliar a efetividade inicial da ETE quanto à eficiência de tratamento dos esgotos domésticos de Cristais-MG.

## **2. OBJETIVOS**

Este trabalho teve por obtivo avaliar a eficiência da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) recém instalada no município de Cristais, e o atendimento à legislação para disposição no ambiente.

Como objetivos específicos destaca-se:

Caracterizar os efluentes domésticos gerados na cidade de Cristais-MG, e comparar os resultados de caracterização obtidos com a literatura;

Avaliar a composição da ETE em termos de unidades instaladas, sua eficiência de tratamento em relação à legislação, e apontar possíveis falhas e deficiências do processo.

### **3. REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1 Saneamento Básico**

Conforme definido na legislação brasileira, o saneamento básico é estabelecido por quatro componentes de serviços essenciais à saúde humana: o abastecimento de água para consumo humano; o esgotamento sanitário; o manejo e a disposição final dos resíduos sólidos; e a drenagem das águas pluviais (BRASIL, 2020).

O reconhecimento da relação entre o saneamento e a saúde remonta a milênios, tendo ela sido vastamente caracterizada por historiadores da saúde (FIOCRUZ, 2018), sendo que cada um de seus componentes guarda relações específicas com a saúde pública e com a qualidade de vida. A água, quando não apropriada para o consumo humano, e a ausência dos serviços de esgotamento sanitário são fatores associados à transmissão de doenças como cólera, diarreia, disenteria, hepatite A, febre tifoide e poliomielite, dentre outras (TEIXEIRA et al., 2014).

A Organização Mundial da Saúde (OMS) estima que anualmente há em torno de 485 mil mortes causadas por doenças diarreicas associadas à ingestão de águas contaminadas (WHO, 2019a). Também avalia que a insuficiência e a inadequação dos serviços de esgotamento sanitário causem anualmente aproximadamente 432 mil mortes por diarreia (WHO, 2019b).

A recente pandemia da Covid-19, para a qual a higiene frequente das mãos foi identificada como uma das mais importantes barreiras para a prevenção do contágio, trouxe à luz a estreita relação entre água e saúde e, mais importante, a constatação de que a segurança sanitária de qualquer indivíduo guarda dependência com a oferta do acesso à água potável a todos (FIOCRUZ, 2021).

Dessa forma, a disposição e o acúmulo de resíduos sólidos de forma inadequada podem liberar no ambiente diversas substâncias potencialmente tóxicas com evidências de contaminação do solo e da água subterrânea, e efeitos deletérios à saúde humana, além do potencial de geração de gases de efeito estufa (GOUVEIA, 2012). Musmeci et al. (2010) apontam dois principais impactos à saúde estatisticamente associados à exposição das pessoas a ambientes contaminados por resíduos sólidos: câncer e má-formação congênita. A inadequação dos serviços de drenagem urbana e do manejo das águas pluviais também está associada à transmissão de doenças tais como leptospirose, dengue, shigelose, meningites e tétano acidental (FATIMA; CABRAL, 2013; CHRISTOFIDIS et al., 2020).

Os diagnósticos temáticos do saneamento básico elaborados em 2020 pelo Serviço Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) e referentes ao ano de 2019 desenharam um cenário do déficit de atendimento da população brasileira pelos serviços de saneamento básico.

No âmbito dos resíduos sólidos, as informações obtidas de 3.712 municípios (66,6% do total do país) apontam que a coleta domiciliar regular dos resíduos sólidos não alcança cerca de 8% de sua população total (FIOCRUZ, 2021).

Ademais, quase 25% da massa total dos resíduos coletados não tem disposição final adequada em aterros sanitários (BRASIL, 2020a), o que levou a minuta de revisão do Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab), divulgada em 2019, e aprovada recentemente (BRASIL, 2022), a estimar que o atendimento adequado por limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos em 2017 era de apenas 65% (BRASIL, 2019).

O diagnóstico do SNIS 2019 referente aos serviços de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, com informações originadas a partir de 5.191 municípios (93,2% do total do país) sobre abastecimento de água e de 4.226 (75,9% do total do país) sobre esgotamento sanitário, aponta cerca de 7% da população urbana sem abastecimento de água e quase 40% sem os serviços de coleta e tratamento de esgotos (SNIS, 2019).

Além disso, o tratamento dos esgotos alcançou a média nacional de apenas 49,1% dos esgotos gerados, apesar de representar um crescimento desse índice de 5,1 pontos percentuais com relação ao ano de 2018 (BRASIL, 2020b). Já a revisão do Plano Nacional de Saneamento Básico estimou que o atendimento adequado por abastecimento de água em 2017 era de apenas 60% da população brasileira – e por esgotamento sanitário, de 55% (SNIS, 2019). Note-se que os valores de atendimento e cobertura são muito sensíveis à definição adotada para cobertura ou acesso aos serviços; em particular para o abastecimento de água, cujos valores declinam significativamente quando se adota uma definição mais estrita para esse conceito (SNIS, 2019).

Para Lisboa et al. (2013), os maiores desafios encontrados por municípios de pequeno porte, para a elaboração do plano de saneamento são principalmente a indisponibilidade de recursos financeiros e a limitação quanto à qualificação profissional e capacidade técnica municipal. Porém, ainda segundo Lisboa et al. (2013), uma vez vencida esta primeira etapa, a qualificação profissional pode ser parcialmente resolvida mediante realização de capacitação e contratação de profissionais, o que pode igualmente superar as dificuldades metodológicas.

### **3.2 Legislação sobre saneamento básico**

A Lei 14.026, promulgada pela Presidência da República (BRASIL, 2020), trouxe alterações importantes a um conjunto de leis, particularmente à Lei 11.445/2007, conhecida como a Lei Nacional do Saneamento Básico. As alterações trazidas pela Lei 14.026/2020 podem ser sintetizadas em duas diretrizes principais: 1) a limitação da diversidade de alternativas então existentes possíveis de serem adotadas pelos municípios, titulares constitucionais dos serviços de saneamento básico, para sua prestação; e 2) o incentivo à ascensão do setor privado na prestação desses serviços, em detrimento das empresas públicas e/ou de caráter público com atuação de âmbito local ou regional.

Uma questão central que se apresenta é se essas alterações irão efetivamente promover a universalização dos serviços no país, ou se ao menos serão capazes de produzir melhorias ante os atuais déficits de acesso a esses serviços.

É evidente e de longa data a necessidade de investimento no setor de saneamento básico. O saneamento básico é um setor de infraestrutura econômica e social que traz inúmeros benefícios econômicos que não são passíveis de serem capturados nas receitas dos prestadores de serviço. Os serviços de água e esgoto, por exemplo, agregam benefícios à saúde, ao meio ambiente, à produtividade do trabalho, à educação infantil, ao turismo dentre outros setores econômicos, agindo diretamente na diminuição das desigualdades sociais (PIMENTEL; MITERHOF, 2021). Entretanto, nem sempre o setor público tem condições de financiamento para o setor, e intensifica as discussões sobre a privatização (SOUSA; GOMES, 2019).

Em contra partida, as experiências internacionais de privatização no setor de saneamento no mundo têm caminhado na direção de reverter a prestação desses serviços para o setor público, por meio de sua reestatização ou remunicipalização. São conhecidos os casos de remunicipalização do serviço de abastecimento de água de Paris, em 2010, ante evidências de fraudes na apropriação de custos de operação e de desvios de lucros da prestadora privada (BARRAQUÉ, 2012), e de Buenos Aires, em 2006, onde o descumprimento de metas de investimento e os aumentos das tarifas levaram o governo a reverter a concessão (LOBINA; KISHIMOTO; PETIJEAN, 2014).

Com base nessas questões, procura-se aqui discutir o futuro do acesso ao saneamento básico nas cidades brasileiras, especificamente com um recorte setorial aos serviços de abastecimento de água e ao esgotamento sanitário, serviços cujo acesso foi reconhecido pela Organização das Nações Unidas (ONU), em 2010, como direitos humanos essenciais ao usufruto da vida e de todos os demais direitos humanos (ONU,

2010).

É importante destacar que a Lei 11.445/2007 emergiu em um contexto no qual “o setor de saneamento configurava-se como um dos que experimentaram a trajetória mais acanhada e o que exhibe um dos quadros mais atrasados” (HELLER, 2018, p. 134). Com isso, as inovações trazidas por essa lei ampliaram sobremaneira o olhar sobre o saneamento básico, criando uma base para ancorar esses serviços no país bastante diversa das limitações até então observadas, inclusive sem um claro amparo da Constituição Federal de 1988.

Uma característica do texto da publicação original da Lei 11.445/2007 é o reconhecimento e a admissão da prestação dos serviços de saneamento por prestadores de quaisquer naturezas jurídicas – públicos, privados e híbridos. Assim, a exigência de que a delegação da prestação dos serviços fosse, necessariamente, vinculada à celebração de contrato não apresentava naquela lei qualquer caráter excludente, embora ao isentar de licitação os contratos entre entes federativos, como entre as companhias estaduais e os municípios, que poderiam ser firmados por meio de contratos de programa, pudesse parecer favorecer os prestadores públicos. Assim, a Lei 11.445/2007 abordou todos os aspectos relevantes relacionados aos serviços de saneamento básico no país, norteadas pela premissa do respeito à decisão dos titulares desses serviços quanto ao modelo de prestação mais conveniente.

Destaca-se aqui que, infelizmente, a atual conjuntura e a consequente retomada do paradigma liberal para a provisão dos serviços públicos no Brasil têm reduzido todo o debate no setor à privatização dos prestadores, sem atentar para o fato de que uma estrutura mínima e eficaz de governança setorial precisa ser desenvolvida em todos os níveis da federação previamente. Diante da experiência observada no mundo, a opção de privatizar parece ser a mais precipitada, e não a mais adequada para lidar com os desafios de uma política pública de natureza social que trata de um direito humano, como o acesso ao saneamento (SOUSA; GOMES, 2019).

A partir de 2016, a ascensão de uma agenda econômica liberal às instâncias decisórias das políticas públicas no país trouxe a mudança da estrutura orgânica do aparelho administrativo de governo, particularmente no que se refere aos formatos jurídico-institucionais adotados e às tecnologias de coordenação político-administrativa, de delegação de competências, de descentralização, de terceirização e de privatização da ação estatal (CARDOSO Jr. et al., 2019). Essa tendência trouxe consequências à prestação dos serviços de saneamento básico no país, tendo seu ápice a partir da publicação da Lei 14.026, em 15 de julho de 2020. Essa lei vem sendo tratada como o Novo Marco do

Saneamento no país, embora ela se restrinja à introdução de alterações a outras leis, em especial à Lei 11.445/2007 (SOUSA, 2020).

Em linhas gerais, pode-se dizer que as mudanças propostas pela Lei 14.026/2020 se assentam em três elementos centrais: a) a busca pela universalização dos serviços; b) a indução à privatização (por meio da forte redução da atuação das companhias estaduais, da regionalização da prestação dos serviços e pela redefinição de titularidade dos serviços); e c) a harmonização das práticas regulatórias (FIOCRUZ, 2021).

Além das legislações gerais sobre a gestão do saneamento, destaca-se ainda aquelas normativas específicas referentes à disposição de efluentes tratados em cursos d'água, diante do potencial poluidor dos esgotos. Assim, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), em âmbito nacional, e o Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) e o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH) no contexto do Estado de Minas Gerais estabeleceram critérios para proteção da qualidade das águas superficiais para os diferentes usos (Tabela 1).

Tabela 1. Comparativo das variáveis de qualidade e dos padrões de lançamento de efluentes sanitários em cursos d'água estabelecidos pela Resolução CONAMA n°430/2011 e pela DN Conjunta COPAM/CERH n°1/2008.

Variável	Resolução	
	CONAMA n°430	DN Conjunta COPAM/CERH n° 1
pH	5 a 9	6 a 9
Temperatura (°C)	≤ 40	≤ 40
Óleos minerais (mL L <sup>-1</sup> )	100	20
Óleos animais (mL L <sup>-1</sup> )	-	50
Sólidos Totais (mL L <sup>-1</sup> )	≤ 1	≤ 1
DBO (mL L <sup>-1</sup> )DQO (mL L <sup>-1</sup> )	≤ 120	≤ 60
Nitrogênio	-	≤ 180
Detergentes (mL L <sup>-1</sup> )	-	≤ 2

Fonte: Adaptado de Brasil (2011) e Minas Gerais (2008).

Embora a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH n°1 esteja atrelada às Resoluções CONAMA n° 357 e n° 430, nota-se que a legislação deliberada pelo Estado de Minas Gerais é igual ou mais restritiva em relação às normas federais. Ambas impõem ao gerador de efluentes, seja doméstico ou industrial, o dever de tratá-los antes de dispor em cursos d'água.

### 3.3 Caracterização do esgoto doméstico

O esgoto doméstico é aquele que provém principalmente de residências, estabelecimentos comerciais, instituições ou quaisquer edificações que dispõem de instalações de banheiros, lavanderias e cozinhas, compondo-se essencialmente da água de banho, excretas, papel higiênico, restos de comida, sabão, detergentes e águas de lavagem (JORDÃO; PESSÔA, 2011).

Como um dos elementos presentes em efluentes domésticos, as fezes humanas compõem-se de restos alimentares ou dos próprios alimentos não transformados pela digestão, integrando-se as gorduras, os carboidratos, as proteínas, os sais e uma grande quantidade de microrganismos também estão presentes. Na urina são eliminadas algumas substâncias, como a ureia com potencial de contaminação. Além de matéria orgânica e inorgânica, as fezes e principalmente a urina contêm grande percentagem de água. Nas fezes contém cerca de 20% de matéria orgânica, enquanto na urina 2,5% (FUNASA, 2007).

Os microrganismos eliminados nas fezes humanas são de diversos tipos, sendo que os coliformes (*Escherichia coli*, *Aerobacter aerogenes* e o *Aerobacter cloacae*) estão presentes em grande quantidade, podendo atingir um bilhão por grama de fezes (FUNASA, 2007).

Os esgotos domésticos contêm aproximadamente 99,9% de água, e apenas 0,1% de sólidos. É devido a esse percentual de 0,1% de sólidos que ocorrem os problemas de poluição das águas, trazendo a necessidade de se tratar os esgotos.

O lançamento de efluentes líquidos não tratados, provenientes das indústrias e esgotos domésticos, em rios, lagos e córregos provocam desequilíbrio no ecossistema aquático. O esgoto doméstico, proveniente de cozinhas, lavanderias e banheiros, possuem elevada carga de matéria orgânica e nutrientes (fósforo e nitrogênio). Quando lançados sem tratamento adequado nos cursos d'água, podem causar entre outros danos a queda da disponibilidade de oxigênio dissolvido, mortalidade de organismos aquáticos, e proliferação descontrolada de plantas e algas no curso d'água. Ao passo que o efluente industrial, por apresentar ampla variabilidade em função da atividade industrial, é caracterizado, de forma geral, pela presença de matéria orgânica, de elementos químicos e metais pesados. Quando lançados no ambiente, provocam um efeito tóxico em animais e plantas, podendo se acumular em seus organismos, além dos impactos já descritos pelo lançamento de matéria orgânica e nutrientes.

Outro problema consequente da falta de tratamento dos efluentes é o risco à saúde pública. Uma vez que a água poluída aumenta o risco de disseminação de doenças de

veiculação hídrica, tais como: diarreia, amebíase, ascaridíase, esquistossomose, cólera, giardíase, teníase e hepatites A e B (NGOWI, 2020). Os efluentes industriais podem causar contaminação por metais pesados, provocando tumores hepáticos e de tireoide, rinites alérgicas, dermatoses e alterações neurológicas (KIM; KIM; SEO, 2015).

Além das características poluentes, a vazão de esgotos domésticos é elevada, e é função dos costumes dos habitantes. Ainda, a vazão doméstica do esgoto é calculada em função do consumo médio diário de água de um indivíduo. Segundo dados do SNIS de 2020 (SNIS, 2021) o consumo médio de água no Brasil foi de 152,1 L por habitante por dia, uma redução de 1,2% em relação à 2019. Estima-se que para cada 100 litros de água consumida, são lançados aproximadamente 80 litros de esgoto na rede coletora, ou seja 80% (VON SPERLING, 2014).

Em relação à vazão dos esgotos, destaca-se ainda que esta sofre variação ao longo do dia e do ano. Por esse motivo são adotados coeficientes padronizados que estimam os valores de vazão máxima de forma a não prejudicar as estações de tratamento. Considera-se que a vazão máxima corresponda a 80% a mais que a vazão média (ABNT, 1986).

As características físicas e químicas dos esgotos domésticos pode sofrer alterações em diferentes estações do ano, dias da semana e horas do dia, por estar relacionada ao consumo de água. Estas alterações geralmente, são mais evidentes em pequenas comunidades do que em grandes comunidades e mais elevadas em períodos curtos do que em longos períodos (MACKENZIE, 2010).

As principais características químicas dos esgotos domésticos estão apresentadas na Tabela 2.

Dentre as características dos esgotos domésticos que causam mais preocupação quando da concepção de uma estação de tratamento de esgotos é a presença da matéria orgânica e dos impactos causados por esta quando da disposição em cursos d'água.

A matéria orgânica, quantificada como demanda química de oxigênio - DQO e demanda bioquímica de oxigênio – DBO são importantes variáveis de referência para a avaliação dos esgotos a serem tratados, pois refletem o quantitativo a ser removido para adequação para disposição no ambiente, além da relação entre elas estabelecerem a biodegradabilidade dos esgotos e o seu potencial de tratamento por meios biológicos (METCALF; EDDY, 2016), a forma mais usual de tratar esgotos domésticos.

Assim, a grande maioria das estações de tratamento tem como foco a remoção de matéria orgânica (CHERNICHARO et al., 2018). As normativas ambientais estabelecem diferentes padrões para o lançamento de esgotos domésticos, mas alguns destes são mais permissivos, como é o caso da matéria orgânica, que se não alcançada a concentração



máxima permissível, pode-se estabelecer a eficiência do tratamento como critério, desde que não altere a qualidade do corpo receptor. Ainda, há outros poluentes, como nitrogênio, fósforo e coliformes termotolerantes para os quais não há padrão de lançamento para os efluentes tratados em cursos d'água (BRASIL, 2005; MINAS GERAIS, 2008).

Tabela 2. Valores médios das principais características dos esgotos domésticos.

Variáveis	Von Sperling (2014)		Metcalf e Eddy (2016)	
	Variação	Média	Variação	Média
pH	6,7 a 8,0	7,0	6,5 – 8,5	-
DBO (mg L <sup>-1</sup> )	250 - 400	300	133 - 400	200
DQO (mg L <sup>-1</sup> )	450 – 800	600	339 – 1.016	508
Sólidos totais (mg L <sup>-1</sup> )	700 – 1.350	1.100	537 – 1.612	806
Sólidos sedimentáveis (mL L <sup>-1</sup> )	10 - 20	15	8 - 23	12
Sólidos suspensos totais (mg L <sup>-1</sup> )	200 – 450	350	130 - 389	195
Óleos e graxas (mg L <sup>-1</sup> )	-	-	51 - 153	76
Nitrogênio total (mg L <sup>-1</sup> )	35 – 60	45	23 – 69	35
Fósforo total (mg L <sup>-1</sup> )	4 – 15	7	3,7 – 11	5,6
Coliformes termotolerantes (NMP 100 mL <sup>-1</sup> )	10 <sup>6</sup> - 10 <sup>9</sup>	-	10 <sup>3</sup> - 10 <sup>8</sup>	10 <sup>5</sup>

Apesar de alguns valores médios das principais características dos esgotos domésticos serem bastante conhecidos, destaca-se que estes podem ser alterados em função dos despejos clandestinos, ou não, de efluentes industriais (NUVOLARI, 2011).

Algumas indústrias como metalúrgicas, de tintas, de cloro e de plástico PVC, por exemplo, utilizam metais pesados em sua produção, outras ainda podem gerar efluentes com fenóis e pesticidas, e conseqüentemente, precisam ser tratados para o descarte adequado (AGORO et al., 2020; DROZDOVA et al., 2018). Entretanto, principalmente em cidades de maior porte, estes efluentes podem ser lançados clandestinamente nas redes de coleta de esgoto doméstico, vindo a mudar suas características, sendo necessário a inserção de outros tipos de tratamento para adequação ambiental do efluente tratado.

### 3.4 Unidades de tratamento de esgoto

No contexto de tecnologias para o tratamento de esgotos sanitários, há à disposição uma ampla variedade de alternativas. Sua escolha está atrelada a diversos fatores, como: área disponível para implantação da estação de tratamento de esgotos; topografia dos possíveis locais de implantação e das bacias de drenagem e esgotamento sanitário; vazão

a ser tratada; características do corpo receptor de esgotos tratados; disponibilidade e grau de instrução da equipe operacional responsável pelo sistema; disponibilidade e custos operacionais de consumo de energia elétrica; clima e variações de temperatura da região; e disponibilidade de locais e/ou sistemas de reaproveitamento e/ou disposição adequados dos resíduos gerados pela ETE (VON SPERLING, 2014).

O tratamento de esgotos pode ser dividido em níveis de acordo com o grau de remoção de poluentes o o objetivo que se deseja alcançar: preliminar, primário secundário e terciário (METCALF; EDDY, 2016; VON SPERLING, 2014). O tratamento preliminar que tem por objetivo a remoção de sólidos grosseiros, areia e galhos pode ser constituído de grades, caixas de areia e medidores de vazão. O tratamento primário é responsável pela remoção de sólidos sedimentáveis, geralmente utilizando de decantadores. Normalmente, as ETEs que tratam esgotos domésticos não apresentam unidades de remoção de óleos e graxas, como caixas de gordura e flotores, pois a remoção deste tipo de material é realizada nas próprias residências pela instalação particular de uma caixa de gordura antes de o esgoto alcançar a rede coletora pública. Ressalta-se que o tratamento primário é pouco utilizado em ETEs de cidades pequenas.

No tratamento secundário utilizam-se tecnologias como lodos ativados, filtros biológicos, lagoas de estabilização e lagoas facultativas, para a remoção de matéria orgânica por processos biológicos.

Por fim, o tratamento terciário é responsável pela inativação de patógenos e remoção de nutrientes por meio de métodos como lagoas de maturação, sistemas alagados construídos, ozonização, processos oxidativos avançados e outros. Como nas exigências legais em âmbito federal e em Minas Gerais não há padrão de lançamento de nitrogênio e fósforo para esgoto doméstico, a maioria das ETEs não emprega tratamento terciário com esta finalidade, sendo este nível de tratamento, quando presente na ETE, aplicado somente para desinfecção. O cloro se constitui atualmente no agente desinfetante mais aplicado nos sistemas de tratamento de esgoto (KUMARI; GUPTA, 2015; YANG et al., 2017). Em virtude do seu custo razoável e fácil aplicação, da sua alta capacidade de oxidar matéria orgânica e inorgânica aliados à prevenção de crescimento de algas, garantem ao cloro um resultado muito satisfatório no processo de desinfecção. No entanto, a reação do cloro com alguns compostos orgânicos, principalmente substâncias fúlvicas e húmicas resultantes da decomposição da matéria orgânica conduz à formação de trihalometanos (THM) e de outros subprodutos potencialmente danosos à saúde humana (ALBOLAFIO et al., 2022; CLAYTON; THORN; REYNOLDS, 2019).

Na Tabela 3 está apresentada uma estimativa de eficiência desejada nos diversos

níveis de tratamentos incorporados numa ETE, uma vez que, o processo de tratamento mais adequado pode variar de acordo com o grau de eficiência almejado, recursos financeiros e área para instalação e operação disponíveis.

Tabela 3. Estimativa da eficiência esperada nos diversos níveis de tratamento incorporados numa ETE.

Nível de tratamento	Matéria orgânica (DBO)	Sólidos em suspensão	Nutrientes	Bactérias
Preliminar	5 – 10	5 –20	Não remove	10 – 20
Primário	25 –50	40 –70	Não remove	25 –75
Secundário	80 –95	65 –95	Pode remover	70 – 99
Terciário	40 – 99	80 – 99	Até 99	Até 99,99

Fonte: (CETESB, 1988).

Diante do exposto, nota-se que nas ETEs brasileiras, há unidades preliminares (grades e desarenador) e secundárias de tratamento. Estas últimas normalmente representadas por uma unidade anaeróbia e outra aeróbia. E muitas vezes sem tratamento terciário (OLIVEIRA; VON SPERLING, 2005a; 2005b; CHERNICHARO et al., 2018).

Os processos biológicos de tratamento de esgoto podem ser aeróbios, isto é, com presença de oxigênio no meio ou anaeróbio, sem a presença de oxigênio.

Os principais meios de tratamento anaeróbio são lagoas anaeróbias, fossas sépticas, filtros anaeróbios e reatores anaeróbios de fluxo ascendente, tipo UASB. Nessa modalidade de tratamento, a maior parte do material orgânico biodegradável presente no esgoto é convertida em metano, sendo que apenas uma pequena parcela é responsável pela geração de lodo no sistema. As principais limitações de sistemas de tratamento anaeróbios estão relacionadas a remoção insatisfatória de nutrientes e patógenos (SANT'ANNA JR., 2010).

Veronez (2001) analisando o desempenho de um reator UASB concomitantemente realizando o adensamento e a digestão do lodo de descarte de biofiltros aerados submersos, localizado na estação experimental da Universidade Federal do Espírito Santo, projetada para tratar o esgoto gerado por uma população de 1.000 pessoas, utilizando o esgoto gerado pela população do bairro Jardim da Penha, situado próximo ao campus universitário, notou que o UASB se mostrou eficiente no tratamento do esgoto sanitário, com eficiência média de 66% na remoção de sólidos suspensos totais e de 60% na remoção de DQO.

Dentre os principais sistemas de tratamento aeróbios estão as lagoas aeradas, os lodos ativados e os filtros biológicos. Nesses sistemas, os microrganismos presentes no esgoto degradam a matéria orgânica por processos oxidativos, consumindo o oxigênio dissolvido no meio. Dentre as desvantagens dos sistemas aeróbios estão a produção excessiva de biomassa, cujo processamento e destino ainda apresentam problemas, e a necessidade de aeração mecânica ou difusa que gera gastos com energia (SANT'ANNA JR., 2010).

Para cidades de pequeno porte, como muitos municípios brasileiros, com baixo aporte financeiro, bem como pouca disponibilidade de mão de obra qualificada, é necessário que o sistema de tratamento de efluentes seja o mais simples possível, isto é, o sistema deve alcançar a eficiência necessária para disposição final do efluente no ambiente, porém, deverá ser menos tecnificado.

De acordo com Chernicharo et al. (2018), em estudo para levantamento do panorama de emprego dos diferentes processos associados ao tratamento de esgoto sanitário em seis estados brasileiros das regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, concomitantemente com o Distrito Federal, onde foram inventariadas 1.667 estações de tratamento de esgoto, as tecnologias de tratamento de esgoto sanitário mais empregadas eram: reatores UASB, lagoas de estabilização e lodos ativados. Conjuntamente, essas três tipologias de tratamento totalizam 90% das ETEs. De acordo com os mesmos autores, das ETEs que atendiam os municípios com população maior igual a 2.000 e menor igual a 10.000 habitantes o sistema de tratamento constituído por lagoas de estabilização foi a tecnologia mais aplicada, cerca de 43%, seguido de 32% com reatores UASB. Entre as possíveis explicações para escolha de lagoas de estabilização, podem-se citar a menor demanda operacional (associada majoritariamente às operações de limpeza da área) e, principalmente, a maior disponibilidade de área, típica de municípios interioranos, cuja sede é pequena frente aos limites municipais.

Ainda, impulsionados pelo sucesso do tratamento anaeróbico de esgoto em regiões de clima quente, reatores UASB, principalmente em países em desenvolvimento, sendo utilizados como primeira unidade de tratamento biológico antecedendo os filtros biológicos percoladores (BRESSANI-RIBEIRO et al., 2018). Neste caso, o processo é facilitado, pois, o excesso de lodo aeróbio dos decantadores secundários é devolvido ao reator UASB, de modo que não são necessárias unidades separadas para espessamento e digestão de lodo (VON SPERLING; CHERNICHARO, 2005).

## **4. MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1 Localização e caracterização da Área de Estudo**

Com uma área de 629,5 km<sup>2</sup> de extensão territorial e densidade demográfica de 17,96 hab km<sup>-2</sup>, onde vive uma população de 11.286 habitantes, sendo 8.849 a população urbana, segundo dados do censo de 2010, o município de Cristais está localizado a 1.018 m de altitude, na zona geográfica do Campo das Vertentes, na mesorregião oeste de Minas Gerais (IBGE, 2008), inserida na região administrativa do Alto do Rio Grande, fazendo divisa com os municípios: Formiga, Candeias, Campo Belo, Aguanil, Boa Esperança e Guapé. Pertence a bacia do Rio Grande e embora esteja situado à margem direita do Rio Grande, é cercado ao norte, oeste e sul pelas águas do lago de Furnas. Em muitos trechos ocorre a intrusão das águas, quase o cortando ao meio, alcançando abrangências de 101 km<sup>2</sup> de espelho d'água.

A cidade está situada a uma distância estimada em 253 km da capital estadual, Belo Horizonte.

Quanto aos aspectos econômicos, Cristais possui a agricultura e a pecuária como atividades principais, tendo como principais produtos agrícolas, o café, o milho, o arroz, o feijão e a soja. A pecuária é bovina, suína, avícola (frangos e avestruzes). A confecção de artigos do vestuário e acessórios é o ponto forte na atividade industrial; 45 confecções gerando um considerável número de empregos diretos.

Na Tabela 4 são apresentadas algumas características dos principais cursos d'água que drenam o município de Cristais, bem como as finalidades de usos já outorgados/cadastrados nesses cursos d'água. Como não estão enquadrados os cursos d'água da Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH) GD3, onde está inserido o município de Cristais, todos os mananciais do município são considerados de Classe 2.

Tabela 4: Características dos principais cursos d'água que drenam o município de Cristais.

Mananciais superficiais	Q <sub>md</sub> média <sup>(a)</sup> (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	Q <sub>7,10</sub> média <sup>(b)</sup> (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	Condição <sup>(c)</sup>	Finalidade dos usos cadastrados/outorgados <sup>(d)</sup>
Ribeirão da Fazenda Feliz	0,2751	0,8799	Classe 2	Irrigação, consumo humano
Ribeirão do Cunha ou Correia	14,049	0,2390	Classe 2	Irrigação
Ribeirão da Vargem	0,6752	0,1046	Classe 2	Irrigação
Ribeirão da Cachoeira	0,5548	0,0838	Classe 2	Abastecimento público e Irrigação
Ribeirão das Pedras	0,2873	0,0399	Classe 2	Irrigação
Córrego Canavial	0,3711	0,0533	Classe 2	Regularização de vazão
Córrego da Água Catinguenta	0,4057	0,0589	Classe 2	Irrigação, dessedentação de animais
Córrego Valadão	0,3343	0,0474	Classe 2	Irrigação
Córrego do Sobrado	0,4086	0,0594	Classe 2	Irrigação
Rio Grande (reservatório de Furnas)	S.I.	S.I.	Classe 2	Irrigação

<sup>(a)</sup> Q<sub>md</sub>: Vazão média de longo período – Ressalta-se que para o dado apresentado optou-se por calcular a média da Q<sub>md</sub> apresentada no estudo de regionalização de vazões (IDE- SISEMA) para diversos trechos dos cursos d'água no município, uma vez que a variação entre os trechos era pequena e não impactaria na análise a nível de plano de saneamento. Contudo, para estudos a nível de projeto deve ser considerada a Q<sub>md</sub> específica do ponto de interesse.

<sup>(b)</sup> Q<sub>7,10</sub>: Vazão mínima de sete dias de duração e período de retorno de 10 anos – Ressalta-se que para o dado apresentado optou-se por calcular a média da Q<sub>7,10</sub> apresentada no estudo de regionalização de vazões (IDE-SISEMA) para diversos trechos dos cursos d'água no município, uma vez que a variação entre os trechos era pequena e não impactaria na análise a nível de plano de saneamento. Contudo, para estudos a nível de projeto deve ser considerada a Q<sub>7,10</sub> específica do ponto de interesse.

<sup>(c)</sup> Condição considerada por não haver enquadramento dos mananciais.

<sup>(d)</sup> Ressalta-se que são apresentados na tabela apenas os usos cadastrados ou outorgados junto ao órgão ambiental (SEMAD/MG) e ANA, podendo haver outros usos que não se encontram regularizados, inclusive nos cursos d'água para os quais não foram identificados nenhum uso.

S.I – Sem informação

Fonte: Adaptado de SISEMA (2019) e COPAM (1998).

## **4.2 Serviços de esgotamento sanitário**

### **4.2.1 Estruturação organizacional responsável pela prestação dos serviços de esgotamento sanitário**

A estrutura organizacional dos serviços de esgotamento sanitário do município de Cristais é composta pelo Poder Executivo, que possui a função de titular (regulador e fiscalizador), além de prestador de serviços por meio da Secretaria de Obras e Serviços Públicos; atendendo, desta forma, o inciso V, do artigo 30, da Constituição Federal de 1988, que estabelece que o município é o responsável por “organizar e prestar, diretamente ou sob regime de concessão ou permissão, os serviços públicos de interesse local” (BRASIL, 1988). Ainda, destaca-se que o município tem exercido a função de planejamento, atuando na elaboração do Plano Municipal de Saneamento Básico.

A prestação do serviço de esgotamento sanitário na sede do município é realizada pela Prefeitura Municipal, por meio do Setor de Saneamento da Secretaria de Obras e Serviços Públicos, que realiza a coleta e tratamento dos esgotos sanitários. Não existem mecanismos de cobrança pelos serviços de esgotamento sanitário e fornecimento de água no município. Todo o Sistema de Esgotamento Sanitário de Cristais (rede coletora, interceptores, elevatória e Estação de Tratamento de Esgotos) foi implantado no ano de 2019.

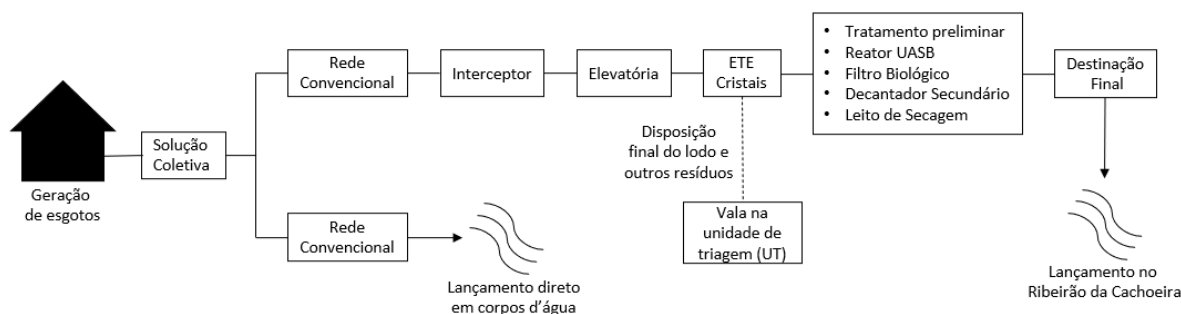
Na área rural, a população não é atendida por rede geral de esgoto e possui solução individual (fossas rudimentares). Os moradores assumem todas as reponsabilidades da gestão, operação e manutenção dos serviços. A Prefeitura Municipal não disponibiliza serviços de manutenção e limpeza de fossas.

### **4.2.2 Descrição dos serviços de esgotamento sanitário na área urbana (sistema coletivo)**

O Sistema de Esgotamento Sanitário da sede urbana (SES Sede) é gerenciado pela Secretaria de Obras e Serviços Públicos da Prefeitura Municipal. A população na área de abrangência do sistema é de aproximadamente 10.000 pessoas, mas nem todas são atendidas pela rede coletora (como é o caso da população dos bairros Morro do Eduardo e Cascalho), devido a falta de estação elevatória que bombeie o esgoto até a estação de tratamento de esgotos.. Dentre a população que é a atendida por coleta, 62,8% são atendidas, também, com tratamento de esgotos. Os domicílios que não estão conectados à rede coletora destinam os seus dejetos diretamente em corpos d'água do município. Na

Figura 1, são apresentadas as soluções adotadas na Sede, desde a geração do efluente nos domicílios até sua destinação final.

Figura 1: Solução coletiva de esgotamento sanitário utilizada na área urbana de Cristais.

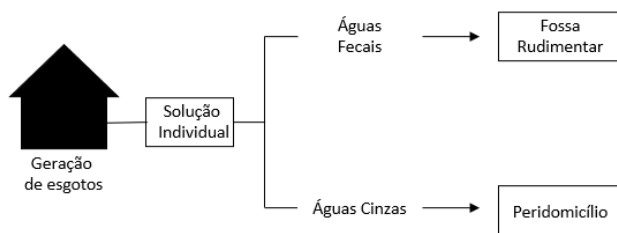


Fonte: Do Autor, 2022.

### 4.2.3 Descrição dos serviços de esgotamento sanitário na área rural (soluções individuais)

As comunidades e localidades rurais de Cristais não possuem sistemas coletivos com coleta por rede e ETE. Dessa forma, a população da área rural do município utiliza soluções individuais de esgotamento sanitário, mais especificamente fossas rudimentares, para onde são direcionadas as águas fecais (esgoto do banheiro); as águas cinzas (pia, tanque) escoam a céu aberto nos quintais das casas. Na Figura 2 é esquematizada a solução de esgotamento sanitário utilizada na área rural de Cristais.

Figura 2: Solução individual de esgotamento sanitário utilizada na área rural de Cristais.



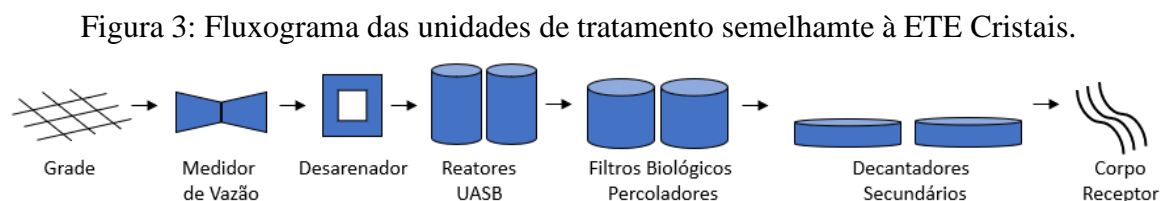
Fonte: Do Autor, 2022.

### 4.3 A Estação de tratamento de esgoto (ETE)

A ETE Cristais está localizada em área rural (comunidade Santa Helena), à jusante do centro urbano. A ETE possui Licenciamento Ambiental Simplificado (LAS) com validade até 18/12/2030, conforme certificado nº 5430, de 2020 (Projeto SanBas/ UFMG,



2021). A ETE é constituída pelas seguintes unidades: tratamento preliminar com gradeamento e desarenador, medidor de vazão; estação elevatória; tratamento primário com dois decantadores primários e tratamento secundário composto por dois reatores UASB e dois filtros biológicos percoladores, além de dois decantadores secundários. Na Figura 3. Está apresentado um fluxograma da sequência das unidades de tratamento semelhante ao que é observado na ETE Cristais.



Fonte: Do Autor (2022).

A ETE Cristais possui dois reatores UASB que operam em paralelo, cada um com metade da vazão de entrada. A espuma e o lodo dos reatores são enviados para três leitos de secagem, onde se acumulam por cerca de um mês e depois permanecem em processo de secagem (sem receber novos descartes) por cerca de cinco meses; o lodo seco é encaminhado para uma vala localizada junto à Unidade de Triagem do município. O gás gerado é queimado em dispositivo localizado na própria ETE. A limpeza dos reatores e das demais unidades da ETE é realizada com frequência trimestral por empresa terceirizada: D&D, da cidade de Pouso Alegre/ MG, sendo os resíduos enviados, também, para a vala localizada junto à Unidade de Triagem e Compostagem (UTC). A ETE Cristais possui dois filtros biológicos que operam também em paralelo, além de dois decantadores secundários. Na Tabela 5 estão apresentadas as principais características das unidades secundárias de tratamento.

Os reatores UASB são equipados com queimador de gases onde é queimado o biogás produzida na degradação anaeróbica. O lodo é direcionado aos leitos de secagem e quando desaguado, juntamente com os demais resíduos sólidos gerados na ETA, é encaminhado para empresa especializada na destinação final adequada. O lançamento do efluente tratado é feito no Ribeirão da Cachoeira, mais conhecido na cidade como Córrego do Juquinha, localizado às margens da área de instalação da ETE.

Tabela 5. Principais características das unidades de tratamento secundário da ETE – Cristais.

Características	Reator UASB	Filtros biológicos percoladores	Decantadores secundários
Quantidade	2	2	2
Forma	Circular	Circular	Circular
Diâmetro (m)	6,4	6,4	5,0
Altura útil (m)	4,75	2	3,0
Área por unidade (m <sup>2</sup> )	32,17	32,17	19,64
Volume útil por unidade (m <sup>3</sup> )	152,81	64,34	58,99

Fonte: Copasa (2010).

Ressalta-se que o projeto básico da Estação foi elaborado pela Copasa no ano de 2010, mas foi implementado pela Prefeitura Municipal no ano 2019 e, desde então, é operado por esta (Figura 4). Cabe mencionar que a ETE ainda não possui um aterro de resíduos sólidos e lodo, bem como ainda não possui laboratório próprio (as análises são realizadas em laboratório no município de Araxá/ MG).

Figura 4: Estação de tratamento de esgoto de Cristais - MG.



Fonte: Google Earth (2021)

Na Figura 5 estão detalhadas as principais unidades da ETE Cristais.

Figura 5. Imagens das principais unidades que compõem a ETE Cristais: (a) gradeamento, (b) medidor de vazão, (c) desarenador, (d) distribuição de esgoto no reator UASB, (e) reatores UASB, (f) filtros biológicos percoladores, (g) decantador secundário, e (h) leito de secagem.



Fonte: Prefeitura Municipal de Cristais (2022).

Em 09/12/2020, a Prefeitura Municipal de Cristais formalizou na Supram Sul de Minas, o processo administrativo de Licenciamento Ambiental Simplificado - LAS de n.5430/2020, via Relatório Ambiental Simplificado, visando a regularização da Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário – ETE, em operação desde 26/06/2019 e localizada no perímetro rural da cidade de Cristais – MG (Figura 6).

Figura 6: Localização da ETE no município de Cristais – MG em relação ao perímetro urbano.



Fonte: Adaptado de Google Maps (2022).

A ETE de Cristais tem vazão máxima de projeto de  $20 \text{ L s}^{-1}$  e obteve Autorização Ambiental de Funcionamento, em 16/11/2011, com validade até 16/11/2015. Começou a operar em 26/06/2019 e neste interstício de tempo até a formalização do processo em pauta, operou sem a devida regularização ambiental. Dessa forma deverá ser lavrado Auto de Infração. A população estimada de Cristais, é de 13.060 habitantes (IBGE, 2021) e a ETE atende a 62,8% desta, conforme o Relatório Ambiental Simplificado elaborado para o licenciamento. Por se localizar em imóvel rural foi apresentado o Cadastro Ambiental Rural – CAR da propriedade, ressaltando que conforme o art. 25, § 2º, item 1 da Lei 20.922, a ETE não está sujeita à constituição de Reserva Legal (BRASIL, 2013).

A área do imóvel é de 1,96 hectares. Para a implantação da ETE em Cristais, houve supressão de cobertura vegetal nativa, com destoca; intervenção em área de preservação permanente - APP com supressão de vegetação nativa e intervenção em APP sem

supressão.

Para sua regularização a Prefeitura de Cristais formalizou processo e obteve o Documento Autorizativo para Intervenção Ambiental – DAIA nº 0028845-D, analisado pelo Nucleio do IEF de Oliveira- MG e deferido na 21ª Reunião da COPA/SUPRAM ASF, de 16/10/2014 autorizando tais intervenções e supressões.

Foram instalados em APP: acesso interno, estação elevatória de esgoto, parte dos leitos de secagem e um depósito para armazenamento temporário do lodo seco, ou seja, uma área detransbordo até o material ser retirado e fazer a destinação final.

#### **4.4 Aquisição dos dados da ETE Cristais**

Para este trabalho, foram utilizados os resultados de dois planos amostrais do afluente e efluente da ETE Cristais, cedidos cordialmente pela Prefeitura Municipal de Cristais, por meio da Secretaria de Meio Ambiente, datados de 27 de outubro de 2020 e 10 de setembro de 2021. As análises foram realizadas pela empresa Bioética Ambiental, situada na cidade mineira de Araxá.

As análises realizadas foram: DBO, DQO, óleos e graxas, sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos totais, surfactantes, arsênio total, bário total, boro total, cádmio total, cianeto livre, chumbo total, cianeto total, cobre dissolvido, cromo hexavalente, cromo trivalente, estanho total, ferro dissolvido, fluoretototal, manganês dissolvido, mercúrio total, níquel total, nitrogênio amoniacal, prata total, selênio total, sulfeto total, zinco total, benzeno, clorofórmio (THM), estireno, dicloroetano, etilbenzeno, fenóis totais, tetracloreto de carbono, tolueno, tricloroetano, xilenos, materiais flutuantes e pH de campo, seguindo a metodologia de APHA et al. (2012). A vazão foi determinada in loco por meio de uma calha Parshall instalada no local.

Para este estudo, foram selecionados apenas variáveis de maior relevância: pH, DBO, DQO, nitrogênio amoniacal, óleos e graxas, sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos totais, surfactantes e vazão.

#### **4.5 Estatística descritiva**

Em virtude da pouca quantidade de dados da recém-instalada ETE de Cristais, o presente estudo limitou-se a calcular a média aritmética dos dados obtidos no afluente e efluente, bem com a eficiência de remoção de algumas variáveis pela ETE.

O cálculo da eficiência foi baseado na média aritmética de todos os valores encontrados referentes às variáveis DBO, DQO, óleos e graxas, sólidos sedimentáveis (SS), sólidos suspensos totais (SST), surfactantes e nitrogênio amoniacal; sendo obtida

pela Equação 1, estabelecida por Von Sperling (2005).

$$E = \frac{C_a - C_e}{C_a} \times 100 \quad (1)$$

em que:

E - Eficiência do sistema (%);  $C_a$  = Concentração afluenta do poluente ( $\text{mg L}^{-1}$ ); e  $C_e$  - Concentração efluente do poluente ( $\text{mg L}^{-1}$ ).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 6 estão apresentados os resultados das duas campanhas amostrais do afluenta e efluente da ETE Cristais realizadas em outubro de 2020 e setembro de 2021.

Tabela 6: Resultado das campanhas amostrais do afluenta e efluente da ETE Cristais realizadas em outubro de 2020 e setembro de 2021.

Variáveis	2020		2021	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
pH	7,4	7,9	7,2	7,5
DBO ( $\text{mg L}^{-1}$ )	634	61	492	89
DQO ( $\text{mg L}^{-1}$ )	1.709	182	1.608	256
Óleos e graxas ( $\text{mg L}^{-1}$ )	10,0	10,0	62,6	11,2
Sólidos sedimentáveis ( $\text{mL L}^{-1}$ )	6,0	2,0	8,0	0,4
Sólidos suspensos totais ( $\text{mg L}^{-1}$ )	230	10	300	14
Nitrogênio amoniacal ( $\text{mg L}^{-1}$ )	57,1	44,2	142,8	60,5
Surfactantes ( $\text{mg L}^{-1}$ )	0,65	0,42	0,91	0,16
Vazão ( $\text{L s}^{-1}$ )	20,00 <sup>(1)</sup>	19,44 <sup>(2)</sup>	20,00 <sup>(1)</sup>	-

<sup>(1)</sup> Vazão de projeto. <sup>(2)</sup> Vazão medida uma única vez durante a realização da amostragem.

Fonte: AMBIENTAL, B. (2020; 2021)

Vale destacar que nas duas campanhas amostrais os valores de arsênio total, bário total, boro total, cádmio total, cianeto livre, chumbo total, cianeto total, cobre dissolvido, cromo hexavalente, cromo trivalente, estanho total, mercúrio total, níquel total, nitrogênio amoniacal, prata total, selênio total, benzeno, clorofórmio (THM), estireno, dicloroeteno, etilbenzeno, tetracloreto de carbono, tolueno, tricloroeteno e xilenos ficaram abaixo dos valores do limite de detecção do método utilizado.

Outras substâncias foram detectadas, porém, as concentrações ficaram abaixo dos limites de lançamento, com valores médios de ferro dissolvido de  $0,27 \text{ mg L}^{-1}$ , fluoreto total de  $0,81 \text{ mg L}^{-1}$ , manganês dissolvido de  $0,04 \text{ mg L}^{-1}$ , sulfeto total de  $0,35 \text{ mg L}^{-1}$ , zinco total de  $0,12 \text{ mg L}^{-1}$  e fenóis totais de  $0,076 \text{ mg L}^{-1}$ .

O valor de vazão média de projeto é de  $20,0 \text{ L s}^{-1}$ , ou seja, a geração de cerca de 170 L de esgoto por habitante por dia, com uma população de projeto de 10.000 pessoas, e a vazão do efluente, referente ao período avaliado, apresentou valor médio de  $14,44 \text{ L s}^{-1}$ , o que corresponde à 72,2% da vazão de projeto, portanto, a estação operadentro de seu limite de projeto, e uma população atendida atualmente de cerca de 7.200 habitantes.

Quanto a vazão média efluente, apesar de se enquadar dentro do limite de projeto, é preciso uma atenção especial, uma vez que esta vazão de  $14,44 \text{ L.s}^{-1}$  equivale, em relação ao manancial do Ribeirão da Cachoeira, a cerca de 2% da sua vazão  $Q_{\text{mld}}$  média e 17% da sua vazão  $Q_{7,10}$  média. Essa vazão média efluente, associada ao fato de que a captação de água por parte da companhia (COPASA) responsável pela distribuição de água potável no município é feita no mesmo ribeirão, podem influenciar negativamente na capacidade de autodepuração deste importantíssimo manancial para o município. Assim, políticas públicas devem ser elaboradas pela administração municipal em relação aos empreendimentos instalados atualmente e que poderão ser instalados à montante da captação quanto ao processo de outorga do direito de uso da água, seja para captação ou mesmo para disposição de efluentes.

As médias dos valores afluentes de pH encontrados, ou seja do esgoto bruto, estão dentro das faixas de valores de pH relatados por Von Sperling (2014), que variam de 6,7 e 8,0. Após passar pelo tratamento, houve tendência de aumento dos valores, o que pode estar relacionado ao aumento de alcalinidade devido ao processo de degradação biológica, principalmente anaeróbia. E, de um modo geral, as condições ótimas de pH para o crescimento bacteriano ficaram na faixa entre 6,5 e 7,5 (METCALF; EDDY, 2003). Esta variação está dentro do que é considerado ideal no que se refere ao tratamentobiológico, uma vez que propicia um condicionamento favorável para o desenvolvimento de microrganismos mais diversos.

Ainda, os valores de pH observados no esgoto após o tratamento na ETE Cristais apresentou valores em conformidade com a legislação vigente para disposição em cursos d'água, que é de 6,0 a 9,0 (MINAS GERAIS, 2008).

Os valores de DBO e DQO observados no esgoto apresentaram-se elevados quando comparados aos valores típicos relatados por Von Sperling (2014) que são de  $300 \text{ mg L}^{-1}$  e  $600 \text{ mg L}^{-1}$ , respectivamente, além de uma relação DQO/DBO igual a

aproximadamente 3. Assim, entende-se que uma melhor investigação das contribuições para a formação do esgoto que chega à ETE seja importante. Pode estar havendo contribuição de despejos industriais/químicos que apesar de aumentar a DBO, também estão aumentando a DQO, e reduzindo biodegradabilidade do efluente, como observado por Lima (2009), que ao avaliar o efluente sanitário da UFLA verificou que a disposição de efluentes de laboratórios, com características industriais, aumentou a relação DQO/DBO e a DQO do afluente à ETE. A contribuição de efluente industrial pode resultar, no futuro, em menor eficiência da ETE, que opera com tratamento secundário biológico.

Inicialmente, nota-se que a ETE apresentou eficiência média de 87% de remoção de DBO e DQO, e a matéria orgânica não biodegradável pode ter sido reduzida por processo de decantação nos decantadores secundários quando da remoção de sólidos (Tabela 7), alcançando 95% de remoção de SST. E desta forma, a ETE, nos dois ensaios amostrais realizados, atendeu à legislação ambiental quanto à disposição em curso d'água de DBO e DQO apenas quanto à eficiência média de remoção destas variáveis, não alcançando os valores de concentração de referência.

Tabela 7: Valores médios das variáveis analisadas nas duas campanhas amostrais do afluente e efluente da ETE Cristais realizadas em outubro de 2020 e setembro de 2021, eficiência de remoção da ETE Cristais e valores de referência para disposição em cursos d'água em Minas Gerais.

Variáveis	Média		E (%)	Valor de referência <sup>(a)</sup>
	Afluente	Efluente		
pH	7,3	7,7	-	6,0 a 9,0
DBO (mg L <sup>-1</sup> )	563	75	87	60 mg L <sup>-1</sup> ou E ≥ 70 % <sup>(b)</sup>
DQO (mg L <sup>-1</sup> )	1.659	219	87	180 mg L <sup>-1</sup> ou E ≥ 65% <sup>(c)</sup>
Óleos e graxas (mg L <sup>-1</sup> )	36,3	10,6	71	50
Sólidos sedimentáveis (mL L <sup>-1</sup> )	7,0	1,2	83	1
Sólidos suspensos totais (mg L <sup>-1</sup> )	265	12	95	100
Nitrogênio amoniacal (mg L <sup>-1</sup> )	100	52,4	48	-
Surfactantes (mg L <sup>-1</sup> )	0,78	0,29	63	2,0

<sup>(a)</sup> Valor de referência para disposição em curso d'água segundo a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH n°1 (MINAS GERAIS, 2008);

<sup>(b)</sup> Valor médio anual ≥ a 70% para sistemas de esgotos sanitários;

<sup>(c)</sup> Valor médio ≥ a 65% para sistemas de esgotos sanitários.

As concentrações médias de sólidos sedimentáveis e suspensos totais no esgoto



bruto foram inferiores aos valores médios relatados para efluentes domésticos, que são de 15 mL L<sup>-1</sup> e 350 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente (VON SPERLING, 2014). Estes menores valores podem estar relacionados ao período das amostragens que, em ambos os casos, foi no final do período de estiagem e início do período chuvoso (setembro/outubro). Sabe-se que muitas ETEs podem apresentar contribuição de água pluviais na rede de coleta de esgoto, o que tende a aumentar a concentração de sólidos no período chuvoso. Quando aos óleos e graxas, os valores foram reduzidos em relação ao valor típico que é de 153 mg L<sup>-1</sup> (METCALF; EDDY, 2016). Destaca-se aqui a importância das caixas de gordura residenciais que promovem a remoção destes compostos antes do lançamento dos esgotos na rede de coleta.

Com os reduzidos valores afluentes, e uma estrutura de decantação secundária interna, a ETE alcançou boas eficiências de remoção de sólidos, atendendo a legislação vigente para disposição em cursos d'água.

A concentração de nitrogênio amoniacal no esgoto bruto oscilou entre as duas campanhas amostrais, o que pode estar relacionado à contribuição de efluentes industriais a rede de coleta do município. Além da oscilação dos valores, estes se apresentaram cerca de três e oito vezes superiores à concentração típica nos esgotos sanitários que é de 20 mg L<sup>-1</sup> de nitrogênio na forma de amônio (VON SPERLING, 2014), corroborando ainda mais com a hipótese de despejo de efluente industrial na rede de coleta.

Apesar de ser uma estação composta por reator UASB, com degradação anaeróbia, seguido de um filtro biológico percolador, que apesar de ser considerado uma unidade aeróbia, apresenta limitação quanto à inserção de oxigênio, houve remoção parcial do nitrogênio, dentro do relatado pela literatura que é inferior a 50% para o conjunto de unidades utilizadas no tratamento (VON SPERLING, 2014). Neste caso acredita-se em uma conversão do nitrogênio amoniacal nas formas nítricas, como observado por Bressani-Ribeiro et al. (2021).

Quanto aos surfactantes, a literatura tradicional não apresenta a composição típica destes nos esgotos. Porém, os valores apresentados no esgoto gerado em Cristais foram inferiores à faixa de variação observada por Ribeiro e Botari (2022), no esgoto gerado em Paranavaí – PR que foi entre aproximadamente de 5 a 40 mg L<sup>-1</sup>, e de 2 a 19 mg L<sup>-1</sup> observado por Quevedo (2015) em diferentes ETEs do estado de São Paulo.

A ETE Cristais removeu em média, 63% dos surfactantes, produzindo efluentes com concentrações inferiores ao estabelecido para disposição em cursos d'água.

Vale ressaltar que durante a avaliação a ETE atendeu às exigências legais, quanto às análises realizadas, para disposição do efluente tratado em cursos d'água. Destaca-se

ainda que, uma vez sendo administrada pelo Poder Executivo Municipal, que possui a função de titular (regulador e fiscalizador), além de prestador de serviços, e mais, encontrando-se o mesmo no cenário atual, com falta de recursos financeiros para subsidiar a continuidade das operações, desde o dia 10 de janeiro de 2022, foi necessário pausar as atividades da ETE municipal. Apesar disso, está previsto para o mês corrente, abril de 2022, uma votação na Câmara Municipal de Cristais, a título de aprovação de um Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB), que dentre outras vantagens, arrecadará recursos para a manutenção e operacionalidade da ETE do município, que por sua vez, só tem a ganhar com suas atividades, à população oferecidas.

## 6. CONCLUSÃO

Apesar da limitação da quantidade de dados para estudo, foi possível constatar que entre as características analisadas do esgoto doméstico produzido em Cristais, algumas destas diferem dos valores estabelecidos na literatura, com destaque para as elevadas concentrações de DBO, DQO e nitrogênio amoniacal.

Embora ainda recente, a Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) do município de Cristais atendeu em média, dentre as variáveis analisadas, os padrões de lançamento de efluentes estabelecidos em âmbito estadual, pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 01/2008.

A partir dos dados analisados e das características construtivas da ETE não foi possível apontar falhas quanto à operação da ETE, entretanto, aconselha-se fazer um estudo que apure a fundo quais seriam as possíveis fontes que tem tornado tão elevadas as concentrações de DBO e DQO afluentes.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Norma Brasileira (NBR) nº 9.649**: Projeto de redescoletoras de esgoto sanitário. Rio de Janeiro: ABNT, 1986. 7p.

AGORO, M. A. Heavy Metals in Wastewater and Sewage Sludge from Selected Municipal Treatment Plants in Eastern Cape Province, South Africa. **Water**, v.12, n.10, 2746; 2020.

ALBOLAFIO, S.; MARÍN, A.; ALLENDE, A.; GARCÍA, F.; SIMÓN-ANDREU, P. J.; SOLER, M. A.; GIL, M. I. Strategies for mitigating chlorinated disinfection byproducts in wastewater treatment plants. **Chemosphere**, v. 288, parte 2, 132583, 2022.

AMBIENTAL, B. **Relatório de Ensaio**, Proposta Técnica: PC3673/2020, 2020.

AMBIENTAL, B. **Relatório de Ensaio**, Proposta Técnica: PC3253/2021. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA). **Atlas Esgotos: Despoluição de Bacias Hidrográficas**. Disponível em: <[http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/ATLASESGOTOSDespoluicaoodeBaciasHidrograficas-ResumoExecutivo\\_livro.pdf](http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/ATLASESGOTOSDespoluicaoodeBaciasHidrograficas-ResumoExecutivo_livro.pdf)>. Acesso em 01 de fev. 2022.

ARAÚJO, A. F. V.; LIMA, J. C. M.; PAIXÃO, A. N.; PICANÇO, A. P. Avaliação da Eficiência dos Serviços de Saneamento Básico no Combate às Endemias nos Municípios do Estado do Tocantins. **Informe Gepec**, v.14, n.2, p. 166-181, 2009.

BARRAQUÉ, Bernard. Return of drinking water supply in Paris to public control. **Water Policy**, v. 14, n. 6, p. 903-914, 2012.

BIOLAQUA AMBIENTAL. **Efluentes industriais: Quais Metais Monitorar**. Disponível em: <<https://www.biolaqua.com.br/efluentes-industriais-quais-metais-monitorar>> Acesso em: 12 mar. 2022.

BRASIL. **Decreto nº 11.043, de 13 de abril de 2022**. Aprova o Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, DF: Presidência da República. Disponível em:<<https://in.gov.br/web/dou/-/decreto-n-11.043-de-13-de-abril-de-2022-393566799>>. Acesso em 01 de fev. 2022.

BRASIL. **Lei 11.445, de 5 de janeiro de 2007**. Estabelece as diretrizes nacionais para o Saneamento Básico. Brasília, DF: Presidência da República. Disponível em:<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm)>. Acesso em 01 de fev. 2022.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, a Lei nº 10.768, de 19 de novembro de 2003, para alterar o nome e as atribuições do cargo de Especialista em Recursos Hídricos, a Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005, para vedar a prestação por contrato de programa dos serviços públicos de que trata o art. 175 da Constituição Federal, a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País, a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, para tratar dos prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, a Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da Metrópole), para estender seu âmbito de aplicação às microrregiões, e a Lei nº 13.529, de 4 de dezembro de 2017, para autorizar a União a participar de fundo com a finalidade exclusiva de financiar serviços técnicos especializados. Brasília, DF: Presidência da República. Disponível em:<<https://www.in.gov.br/web/dou/-/lei-n-14.026-de-15-de-julho-de-2020-267035421>>. Acesso em 01 de fev. 2022.

BRASIL. **Lei nº 20.922, de 16 de outubro de 2013**. Dispõe sobre a política florestal e de proteção à biodiversidade no Estado. Brasília, DF: Presidência da República. Disponível em:<<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=30375>>. Acesso em 01 de fev. 2022.

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, [2016]. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Constituicao/Constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm). Acesso em 01 de fev.

2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Manual de Saneamento**. 4. ed. – Brasília: Fundação Nacional de Saúde (Funasa), 642 p., 2015.

BRASIL. Ministério Do Desenvolvimento Regional (MDR). **Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab)**. Disponível em: <[http://www.agersa.ba.gov.br/wp-%3Econtent/uploads/2019/03/Versaoatualizada07mar2019\\_consultapublica.pdf](http://www.agersa.ba.gov.br/wp-%3Econtent/uploads/2019/03/Versaoatualizada07mar2019_consultapublica.pdf)>. Acesso em: 02 fev. 2022.

BRASIL. Ministério Do Desenvolvimento Regional (MDR). **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos – 2019**. Brasília: SNS/MDR, 2020a.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR). **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2019**. Brasília: SNS/MDR, 2020b.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **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, no Conselho Nacional do Meio Ambiente- CONAMA.

BRASIL. Ministério Do Desenvolvimento Regional (MDR). **Plano Nacional de Saneamento (PLANSAB)**. Disponível em: <<https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/plansab>>. Acesso em: 03 abr. 2022.

BRESSANI-RIBEIRO, T., ALMEIDA, P. G. S., CHERNICHARO, C. A. L., VOLCKE, E. I. P. Inorganic carbon limitation during nitrogen conversions in sponge-bed trickling filters for mainstream treatment of anaerobic effluent. **Water Research**, v. 201, 117337, 2021.

CARDOSO JR., J. C. *et al.* **Mitos liberais acerca do Estado brasileiro e bases para um serviço público de qualidade**. Brasília: Afipea-Sindical; São Paulo: Quanta, 2009.

CHRISTOFIDIS, D.; ASSUMPCÃO, R. D. S. F. V.; KLIGERMAN, D. C. A evolução histórica da drenagem urbana: da drenagem tradicional à sintonia com a natureza. **Saúde em Debate**, v.43, p. 94-108, 2020.

CLAYTON, G. E.; THORN, R. M. S.; REYNOLDS, D. M. Comparison of trihalomethane formation using chlorine-based disinfectants within a model system; applications within point-of-use drinking water treatment. **Frontiers in Environmental Science**, v.7, 35, 2019.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS Gerais (COPASA). **Estações de Tratamento de Esgoto em Belo Horizonte - Unidades em Operação**. Disponível em: <<http://www.copasa.com.br>>. Acesso em: 16 de fev. de 2022.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Opções para tratamento de esgotos de pequenas comunidades**. São Paulo: CETESB, 1988. 36 p.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL (COPAM). **Deliberação**

**Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 1, de 08 de maio de 2008.** Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de água superficiais, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Disponível em: <<http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/Delibera%C3%A7%C3%A3o%20Normativa%20Conjunta%20COPAM%20CERH%20N.%20BA%201,%20de%2005%20de%20Maio%20de%202008.pdf>>. Acesso em: 21 mar. 2022.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL (COPAM). **Deliberação Normativa n. 28, de 9 de setembro de 1998.** Dispõe sobre o enquadramento das águas da Bacia do rio Pará. Disponível em: <<http://www.feam.br/principal/home.asp>>. Acesso em: 28 jan. 2022.

CRISTAIS - MG. **Portaria nº 066/2020, de 03 de agosto de 2020.** Institui o comitê executivo e dispõe sobre o processo de elaboração da política municipal de saneamento e o respectivo PMSB. Cristais, 2020.

DROZDOVA, J.; RACLAVSKA, H.; RACLAVSKY, K.; SKROBANKOVA H. Heavy metals in domestic wastewater with respect to urban population in Ostrava, Czech Republic. **Water and Environment Journal**, v. 33, n. 1, p. 77-85, 2019.

FATIMA, M.; CABRAL, J. J. S. P. Impacto na saúde por deficiência de drenagem urbana no município de Jucurutu – RN. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n. 3, p.181-191, 2013.

FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ (FIOCRUZ). **Saneamento: entre os direitos humanos, a justiça ambiental e a promoção da saúde.** Rio de Janeiro: Fiocruz, 2018. Série Fiocruz: Documentos Institucionais; Coleção Saúde, Ambiente e Sustentabilidade; 6 – Saneamento e saúde. Disponível em <[https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/icict/46304/2/06\\_saneamento.pdf](https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/icict/46304/2/06_saneamento.pdf)>. Acesso em: 08 fev. 2022.

FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ (FIOCRUZ). **A Pandemia de Covid-19 no Brasil - Saúde Amanhã.** Disponível em: <[https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/icict/52009/2/TD\\_76.pdf](https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/icict/52009/2/TD_76.pdf)>. Acesso em: 08 mar. 2022.

GOUVEIA, N. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. **Ciênc. saúde coletiva**, v.17, n.6, p.1503-1510, 2012.

HELLER, L. Saneamento no Brasil: outro mundo é possível e desejável. In: HELLER, L. (org.). **Saneamento como política pública: um olhar a partir dos desafios do SUS.** Rio de Janeiro: Centro de Estudos Estratégicos da Fiocruz, 2018. Capítulo 4.

INFOSANBAS. **Cristais, MG.** Disponível em: <<https://infosanbas.org.br/municipios/cristais-mg/>>. Acesso em: 16 jan. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cristais-MG, 2021.** Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/cristais/panorama>>. Acesso em: 12 jan.2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produto Interno dos Municípios 2017.** Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/cristais/pesquisa/38/46996>> Acesso em: 19 mar.

2022.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Estratégias para segurança hídrica em Minas Gerais: Relatório Final.** Disponível em: <<http://www.repositorioigam.meioambiente.mg.gov.br/handle/123456789/2361>>  
Acesso em: 4 mar. 2022.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos.** 3. ed. Rio de Janeiro: ABES, 1995.

KIM, H. S.; KIM, Y. J.; SEO, Y. R. An Overview of Carcinogenic Heavy Metal: Molecular Toxicity Mechanism and Prevention. **Journal of cancer prevention**, v. 20, n. 4, p. 232, 2015.

KUMARI, M.; GUPTA, S. K. Modeling of trihalomethanes (THMs) in drinking water supplies: a case study of eastern part of India. Environ. Sci. Pollut. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 16, p. 12615-12623, 2015.

LEIVAS, P. H. S.; DOS SANTOS, A. M. A.; DA ROCHA GONÇALVES, R.; DE SOUZA, O. T. Sustentabilidade, saneamento e saúde infantil no Brasil: uma análise a partir de macro e microdados. In: ENCONTRO DE ECONOMIA DA REGIÃO SUL-ANPEC SUL, 18., Porto Alegre, 2015. **Anais...** Niterói: ANPEC, 2015.

LIMA, L. C. **Tratamento do esgoto sanitário da universidade federal de lavras, em estação piloto, objetivando sua caracterização, remoção de poluentes e cinética.** 2019. 178 p. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2019.

LISBOA, S. S; HELLER, L.; SILVEIRA, R. B. Desafios do planejamento municipal de saneamento básico em municípios de pequeno porte: a percepção dos gestores. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 18, p. 341-348, 2013.

LOBINA, E.; KISHIMOTO, S.; PETIJEAN, O. **Here to stay: Remunicipalisation as a global trend.** Amsterdam: **PSIRU, TNI and Multinationals Observatory.** Disponível em: <http://www.tni.org/sites/www.tni.org/files/download/heretostay-en..> Acesso em: 4 mar. 2022.

MACKENZIE, L. D. **Water and wastewater engineering: Design principles and practice.** Ed. McGraw-Hill Companies. 2010.

MENDONÇA, M. J. C.; SEROA DA MOTTA, R. Saúde e saneamento no Brasil. **Planejamento e Políticas Públicas**, v. 30, 2009.

METCALF & EDDY, Inc, **Wastewater engineering: treatment and reuse.** 4. ed. rev. New York: McGraw, 2003.

METCALF, EDDY. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos.** Tradução: HESPANHOL, I.; MIERZWA, J.C. 5.ed. Porto Alegre: AMGH, 2016. 1980p.

MINAS GERAIS. **Panorama de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário, 2021.** Disponível em: <  
[https://www.agenciaminas.mg.gov.br/ckeditor\\_assets/attachments/12543/panorama\\_aba](https://www.agenciaminas.mg.gov.br/ckeditor_assets/attachments/12543/panorama_aba)

stecimento\_de\_agua\_e\_esgotamento.pdf > Acesso em: 21 mar. 2022.

MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 01, de 05 de maio de 2008.** 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. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8151>>. Acesso em: 21 mar. 2022.

MUSMECI, L.; BELLINO, M.; CICERO, M. R.; FALLENI F.; PICCARDI, A.; TRICA, S. The impact measure of solid waste management on health: the hazard index. **Annali dell'Istituto superiore di sanità**, v. 46, p. 293-298, 2010.

NGOWI, H. A. Prevalence and pattern of waterborne parasitic infections in eastern Africa: A systematic scoping review. **Food and waterborne parasitology**, v. 20, 89, 2020.

NUVOLARI, A. **Esgoto Sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola.** 2. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2011.

OLIVEIRA, S.; CORRÊA, M. A.; VON SPERLING, M. Avaliação de 166 ETES em operação no país, compreendendo diversas tecnologias. Parte 2: influência de fatores de projeto e operação. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 10, n. 4, p. 358-368, 2005.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **The human right to water and sanitation.** Disponível em: <[https://www.un.org/waterforlifedecade/human\\_right\\_to\\_water.shtml](https://www.un.org/waterforlifedecade/human_right_to_water.shtml)>. Acesso em: 04 fev. 2022.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **The Human Right to Water and Sanitation -Media brief.** Disponível em: <[https://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/human\\_right\\_to\\_water\\_and\\_sanitation\\_media\\_brief.pdf](https://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/human_right_to_water_and_sanitation_media_brief.pdf)>. Acesso em: 19 fev. 2022.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **The human right to water and sanitation: Resolution adopted by the General Assembly 64/292.** New York, 2010a.

PIMENTEL, L. B.; MITERHOF, M. T. O financiamento dos serviços de água e esgoto: análise do passado recente (2016-2019) e desafios da diversificação de fontes para chegar à universalização. **BNDES**, v. 27, n. 53, p. 7-81, 2021.

PLATZER, C. J.; POSSETTI, G. R. C.; ROSSETO, M. A. L. L. R. Panorama do tratamento de esgoto sanitário nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil: tecnologias mais empregadas. **Revista DAE**, n.213, v. 66, p.5-19, 2018.

QUEVEDO, C. M. G. **Avaliação da presença de fósforo nos esgotos sanitários e da atual contribuição dos detergentes.** 2015. 250 p. Tese (Doutorado em Saúde Pública), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

RIBEIRO, M. P.; BOTARI, A. Eficiência da remoção de DQO, surfactantes e de óleos e graxas totais na estação de tratamento de esgoto vila city na cidade de Paranavaí – Paraná. **Brazilian Journal of Health Review**, v.5, n.1, p.3874-3884,2022.

SANT'ANNA JR., G. L. **Tratamento biológico de efluentes: fundamentos e aplicações.** Rio

de Janeiro. Interciência, 2010, 418p.

SISTEMA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE (SISEMA). **Infraestrutura de dados espaciais do sistema estadual de meio ambiente e recursos hídricos**. Disponível em: [idesisema.meioambiente.mg.gov.br](http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br). Acesso em: 06 mar. 2022.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2020**. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnosticos>. Acesso em: 10 jan. 2022.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). **Planilhas Resumo por Abrangência 2019**. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-agua-e-esgotos/diagnosticodos-servicos-de-agua-e-esgotos-2019>. Acesso em: 24 jan. 2022.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). **Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto**. Disponível em: [http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2020/DIAGNOSTICO\\_TEMATICO\\_VISAO\\_GERAL\\_AE\\_SNIS\\_2021.pdf](http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2020/DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_AE_SNIS_2021.pdf) > Acesso em: 25 mar. 2022.

SOUSA, A. C. A. O que esperar do novo marco do saneamento. **Cad. Saúde Pública**, v.36, n.12, e00224020, 2020.

SOUSA, A. C. A.; GOMES, J. P. Desafios para o investimento público em saneamento no Brasil. **Saúde em Debate**, v. 43, p. 36-49, 2020.

TEIXEIRA, J. C.; OLIVEIRA, G. S.; VIALI, A. M.; MUNIZ, S. S. Estudo do impacto das deficiências de saneamento básico sobre a saúde pública no Brasil no período de 2001 a 2009. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 19, p. 87-96, 2014.

TSUTIYA, M. T.; SOBRINHO, P. A. **Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário**. 3. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011.

UNITED NATIONS INTERNATIONAL CHILDREN'S EMERGENCY FUND (UNICEF). **Situação das crianças e dos adolescentes no Brasil**. Disponível em: <https://www.unicef.org/brazil/situacao-das-criancas-e-dos-adolescentes-no-brasil>. Acesso em: 12 jan. 2022.

VERONEZ, F. A. **Desempenho de um reator UASB tratando esgoto sanitário e realizando concomitantemente o adensamento e a digestão do lodo de descarte de biofiltros aerados submersos**. 2001. 151p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) -Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2001.

VON SPERLING, M.; CHERNICHARO, C. A. L. **Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions**. London: IWA Publishing, 2005.

VON SPERLING, M., COSTA, A.M.L.M., CASTRO, A.A. (1995). Esgotos sanitários. In: BARROS, R.T.V. **Manual de saneamento e proteção ambiental para apoio aos municípios**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA-UFMG/Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM. (Capítulo 5; Volume 2)



VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos: princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Belo Horizonte: UFMG, 2005. 452p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v.1).

VON SPERLING, M.; OLIVEIRA, S. M. A. C. 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.

YANG, M.; LI, Y.; ZHANG, X.; JIANG, J.; LIU J.; YAU C. F.; GRAHAM, N. J. D.; LI, X. Two-step chlorination: A new approach to disinfection of a primary sewage effluent. **Water Research**, v. 108, p. 339-347, 2017.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Drinking-water factsheet**. Disponível em <<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>>. Acesso em: 16 jan. 2022.