







Nota Técnica 1 – Caracterização qualitativa do esgoto bruto

Technical Note 1 – Qualitative characterization of raw sewage

Shyrlane Torres Soares Veras¹ , Oucilane Ingret Moreno Alves² ,
Julliana Melo Pinheiro de Araújo³ , Cláudio Leite de Souza⁴ ,
André Bezerra dos Santos⁵ , Lourdinha Florencio^{6*} 

RESUMO

ABSTRACT

A composição do esgoto sanitário sofre variações horárias, diárias e sazonais. Além disso, sofre influência de alguns fatores, como chuvas, infiltrações, consumo de água etc. A depender da localização geográfica, do porte das estações de tratamento e da proximidade dos locais de geração dos esgotos, do nível socioeconômico, entre outros, tais águas residuárias apresentam características distintas. Por essa razão, apesar dos valores típicos reportados, algumas estações de tratamento de esgotos (ETEs) recebem efluentes com características particulares. A presente nota técnica teve como objetivo facilitar a compreensão em torno dos parâmetros qualitativos do esgoto sanitário. Para alcançar esse propósito, foi feita uma comparação entre os principais parâmetros físicos, químicos e biológicos de esgotos brutos relatados na literatura com aqueles tratados em algumas ETEs no Brasil. Por fim, influência da quantidade de chuvas sobre a concentração desses parâmetros foi exemplificada e discutida.

The composition of sanitary sewage undergoes hourly, daily, and seasonal variations. Additionally, it is influenced by factors such as rainfall, infiltration, water consumption, etc. Depending on the geographical location, size of the treatment plants, proximity to sewage generation sites, socioeconomic level, among others, such wastewater exhibits distinct characteristics. For this reason, despite the reported typical values, some wastewater treatment plants (WWTPs) receive effluents with unique characteristics. The present technical note aimed to facilitate the understanding of the qualitative parameters of sanitary sewage. To achieve this purpose, a comparison was made between the main physical, chemical, and biological parameters of raw sewage reported in the literature and those treated in some Sewage Treatment Plants (STPs) in Brazil. Finally, the influence of the amount of rainfall on the concentration of these parameters was exemplified and discussed.

Palavras-chave: esgoto doméstico; caracterização quantitativa; caracterização qualitativa; estações de tratamento; chuvas e infiltrações.

Keywords: domestic sewage; physical-chemical characteristics; parameters, composition; rainwater and infiltration.

1. INTRODUÇÃO

Resíduos líquidos, sólidos e/ou gasosos são gerados como resultado das atividades humanas. O crescimento populacional e industrial eleva a produção desses resíduos, que

muitas vezes apresentam constituição complexa e de difícil degradação no ambiente natural. Caso sejam lançados no meio ambiente sem nenhum tratamento, eles podem causar desequilíbrio nos ecossistemas. No caso dos efluentes

¹Engenheira Química e mestre em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos pela Universidade Federal de Pernambuco. Gestora Ambiental pela Faculdade Joaquim Nabuco. Doutora em Engenharia Civil (Tecnologia Ambiental) pela Universidade Federal de Pernambuco e em Microbiologia pela Universidade Autônoma de Madri. Especialista em Eficiência Operacional da Águas de Teresina - Teresina (PI), Brasil.

²Engenheira Agrícola e Ambiental pela Universidade Federal Rural de Pernambuco. Mestre e doutora em Engenharia Civil (Tecnologia Ambiental) pela Universidade Federal de Pernambuco - Recife (PE), Brasil.

³Engenheira Civil pela Universidade Federal do Vale do São Francisco. Mestre e doutora em Engenharia Civil (Tecnologia Ambiental) pela Universidade Federal de Pernambuco. Professora no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano - Ouricuri (PE), Brasil.

⁴Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Viçosa. Mestre e doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais. Professor Associado do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais - Belo Horizonte (MG), Brasil.

⁵Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Ceará. Doutor em Ciências Ambientais pela Universidade de Wageningen (Holanda). Professor Titular do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará - Belo Horizonte (MG), Brasil.

⁶Engenheira Civil pela Universidade Federal de Pernambuco. Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. Doutora em Ciências Agrícolas e Ambientais pela Universidade de Wageningen (Holanda). Professora Titular do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco - Recife (PE), Brasil.

*Endereço para correspondência: Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Laboratório de Saneamento Ambiental - Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n. Cidade Universitária. Recife, PE. CEP: 50740-530. e-mail: flor@ufpe.br

líquidos, quando ocorre o lançamento de esgoto sem tratamento ou quando o tratamento é realizado, porém com eficiências de remoção não satisfatórias, alterações físico-químicas e biológicas no meio ambiente podem ocorrer, tornando o ambiente aquático poluído.

O esgoto sanitário é gerado em diversos pontos das residências, como banheiros, lavanderias, cozinhas, entre outros, onde as águas servidas são direcionadas para o sistema de coleta de esgoto predial. É essencial encaminhar o esgoto sanitário para as estações de tratamento de esgoto (ETEs) visando à remoção dos constituintes, com eficiência compatível com a legislação vigente. Assim, para dimensionar um sistema de tratamento adequado, é fundamental compreender as características quantitativas e qualitativas do esgoto a ser tratado, bem como os principais requisitos legais.

O esgoto sanitário apresenta uma composição complexa que inclui compostos orgânicos e inorgânicos, além de microrganismos capazes de transmitir doenças de veiculação hídrica. Micropoluentes, tais como fármacos, desreguladores endócrinos, surfactantes e metais pesados também estão presentes no esgoto sanitário. Todos esses componentes representam menos que 1% da constituição do esgoto. A concentração de cada componente está relacionada ao consumo de água, que varia de acordo com alguns fatores, como: (i) clima, (ii) hábitos da população, (iii) porte da comunidade, (iv) situação econômica e social, (v) lançamento irregular de resíduos sólidos em poços de visita e (vi) infiltração de águas pluviais nas redes coletoras, entre outros (ANDRADE NETO e CAMPOS, 1999; SOUZA *et al.*, 2019).

Os efeitos desses poluentes no meio ambiente já estão bem descritos na literatura (JORDÃO e PESSÔA, 2005; von SPERLING, 2005). Em suma, quando lançado nos corpos hídricos, o esgoto sanitário é responsável pela: (i) depleção de oxigênio dissolvido; (ii) alterações na cor e turbidez; (iii) possível presença de alguns metais pesados e substâncias tóxicas, que mesmo em baixas concentrações podem ser transferidos pela cadeia alimentar; (iv) eutrofização; e (v) doenças parasitárias e infecciosas.

Nas ETE, normalmente não há necessidade de determinar todos os compostos e agentes patogênicos que

compõem o esgoto sanitário. Segundo von Sperling (2005), isso se deve a basicamente dois motivos: (i) a dificuldade em realizar vários testes em laboratório, o que também incluiria maiores custos; e (ii) os resultados não seriam diretamente utilizados no projeto e operação das ETEs. Por essa razão, parâmetros indiretos são utilizados para informar o potencial poluidor do esgoto e servir como ferramentas para o projeto, operação e controle de qualidade do tratamento aplicado.

Não obstante, é importante conhecer bem as características do esgoto bruto (afluente) e tratado (efluente) para promover adequada concepção, dimensionamento e operação/monitoramento de um sistema de tratamento. A caracterização do esgoto é realizada de modo quantitativo, informando sobre o consumo de água e geração de esgoto (vazões e suas variações temporais), e qualitativo, informando suas características físicas, químicas e biológicas. No caso do esgoto sanitário, os principais parâmetros analisados são: (i) sólidos, (ii) indicadores de matéria orgânica, (iii) nitrogênio, (iv) fósforo, (v) enxofre e (vi) indicadores de contaminação fecal (TELLES e COSTA, 2010). Entretanto, outros parâmetros como temperatura, pH, alcalinidade, oxigênio dissolvido, entre outros, são importantes para compreender e controlar, principalmente, os processos empregados na remoção de matéria orgânica e nutrientes, assim como o atendimento a requisitos legais.

Nesse contexto, a presente Nota Técnica (NT) tem como objetivo apresentar uma contextualização sucinta da literatura sobre a caracterização qualitativa do esgoto sanitário, comparando os dados obtidos da literatura com aqueles compilados de esgoto bruto tratado em algumas ETEs no Brasil.

Na **Tabela 1** são apresentadas algumas sugestões de consulta relacionadas com a caracterização de esgoto sanitário, incluindo informações sobre amostragem e conceitos fundamentais. Apesar de não ser foco desta Nota Técnica, informações sobre as tecnologias de tratamento e respectivas eficiências de remoção, gerenciamento e destinação final de subprodutos, legislação e práticas de reúso podem ser consultadas nas demais coletâneas de técnicas do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) ETEs Sustentáveis, nos livros do Programa de Pesquisas

em Saneamento Básico/Financiadora de Estudos e Projetos do Ministério da Ciência e Tecnologia — PROSAB-FINEP (FINEP/PROSAB-Produtos, 2020) e, também, na literatura (JORDÃO e PESSÔA, 2005; von SPERLING, 2005; CHERNICHARO, 2007; TELLES e COSTA, 2010; METCALF e EDDY, 2014; SANTOS, 2019).

2. CARACTERIZAÇÃO DO ESGOTO SANITÁRIO

2.1. Contextualização

A caracterização qualitativa do esgoto está relacionada à determinação de parâmetros físicos, químicos e biológicos. Entre os parâmetros físicos estão temperatura, cor, odor, turbidez e sólidos. De acordo com Piveli e Kato (2006), os parâmetros cor e turbidez são mais aplicados em águas de abastecimento, muito embora alguns efluentes coloridos

ou ETE que empreguem processos físico-químicos possam adotá-los como parâmetros de controle operacional. Sendo assim, conhecer as características tanto qualitativas quanto quantitativas do esgoto bruto permite um dimensionamento adequado do sistema de tratamento. A contextualização simplificada da importância da determinação do parâmetro, seja ele de controle na ETE, seja ele ambiental, é apresentada na **Tabela 2**. No esgoto, normalmente é dada preferência às informações sobre a quantidade de sólidos.

Com relação aos sólidos totais (ST), determinados por evaporação da amostra de esgoto de 103 a 105°C, têm-se em função do tamanho das partículas as frações suspensas (SST) e dissolvidas (SDT). Ao considerar a sedimentabilidade, os sólidos em suspensão que sedimentam facilmente em cone graduado de 1 litro após 1 hora são classificados como sedimentáveis (SSed). Diferentemente dos demais,

Tabela 1 – Sugestões para consulta sobre a coleta, preservação e metodologias para a caracterização das amostras.

Tópico de interesse	Sugestão para consulta/referência
Amostragem – Planejamento, preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores	– NBR 9.898 (ABNT, 1987a) – NBR 9.897 (ABNT, 1987b) – Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos (ANA e CETESB, 2011)*
Caracterização física, química e biológica** – Metodologia – Conceitos fundamentais, descrição detalhada dos parâmetros etc.	– APHA, AWWA e WEF (2017): <i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i> – Piveli e Kato (2006), von Sperling (2005)

*Procedimentos, materiais e equipamentos necessários para a determinação de parâmetros em água e/ou efluentes podem ser encontrados nesse guia; **protocolos e Notas Técnicas das coletâneas do INCT também podem ser consultados.

Tabela 2 – Contextualização simplificada dos parâmetros físicos utilizados na caracterização do esgoto sanitário.

Parâmetros	Contextualização simplificada: características físicas
Temperatura	– Influencia a atividade metabólica dos micro-organismos, que é o “ponto-chave” dos processos de tratamentos biológicos, e a solubilidade dos gases. As variações de temperatura ao longo do ano e as suas consequências sobre a atividade microbiana podem resultar em oscilações na eficiência de tratamento, dependendo do processo empregado e da amplitude dessas variações.
Cor e odor	– Importantes para identificar se o esgoto é fresco ou séptico. O esgoto fresco é ligeiramente cinza e apresenta, segundo von Sperling (2005), odor relativamente desagradável. Já o séptico é mais escuro (cinza escuro ou preto) e apresenta odor bem desagradável (presença de gás sulfídrico e produtos de decomposição).
Turbidez e sólidos	– A turbidez está diretamente relacionada com a quantidade de sólidos em suspensão. – Os sólidos podem estar na forma suspensa, coloidal ou dissolvida. Por isso, são feitas determinações dos sólidos totais em suspensão (SST), dissolvidos (SDT) e sedimentáveis (SSed). – A parcela orgânica é indicada pelos valores dos sólidos voláteis (SSV e SDV). Já a inorgânica é indicada pela parcela fixa (SSF e SDF). Analiticamente, a fração orgânica é volatilizada a 550°C, enquanto a parcela remanescente representa a fração inorgânica. Nos sistemas de tratamento, os sólidos suspensos têm muitas aplicações (por exemplo, os SSV são utilizados como medida indireta do crescimento microbiano e para quantificar a idade do lodo – tempo de detenção celular em reatores biológicos). – Os SSed incluem sólidos (orgânicos e inorgânicos) que sedimentam em 1 hora num cone <i>Imhoff</i> (1 L). É bastante útil nas etapas que utilizam sedimentação.

Fonte: adaptado de APHA, AWWA e WEF (2017), Jordão e Pessoa (2005) e von Sperling (2005).

eles são medidos em $\text{mL}\cdot\text{L}^{-1}$ (PIVELI e KATO, 2006). Em função da natureza das partículas, se inorgânicas ou orgânicas (determinação em forno mufla a 550°C), têm-se as frações fixa (SFT) e volátil (SVT). Os sólidos suspensos (SST) e dissolvidos (SDT) também podem ser as suas próprias frações inorgânicas (SSF e SDF) e orgânicas (SSV e SDV). Juntamente com os parâmetros químicos que medem indiretamente a quantidade de matéria orgânica, os sólidos e suas frações são fundamentais para o projeto de cada uma das etapas que compõem o tratamento na estação. Sólidos grosseiros (tamanho > 10 mm) e areia (SSed fixos) são removidos do esgoto bruto na etapa de tratamento preliminar, no gradeamento e na caixa de areia, respectivamente. Já os SSed orgânicos podem ser removidos no tratamento primário (por exemplo, decantadores).

No que diz respeito às características químicas do esgoto, elas são traduzidas pela determinação de parâmetros como: demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrogênio, fósforo, enxofre, pH, alcalinidade, cloretos, metais pesados e óleos e graxas. Na **Tabela 3** é apresentada uma breve descrição sobre a importância e a quantificação de cada um deles.

Em termos práticos, para avaliar se é indicado o tratamento predominantemente biológico ou físico-químico, é comum analisar a relação DQO/DBO (indicadores de matéria orgânica). De acordo com von Sperling (2005), se essa relação for baixa ($< 2,5$), isso significa que a fração biodegradável é elevada e o tratamento biológico pode ser recomendado. Caso contrário ($> 3,5$ a $4,0$), a depender da situação, o tratamento físico-químico pode ser mais indicado. O esgoto sanitário bruto tem maior representatividade de componentes orgânicos e, por isso, é comum o emprego de processos biológicos. Eles apresentam relação DQO/DBO entre 1,7 e 2,4. A simplicidade de operação, os menores custos e as condições climáticas favoráveis contribuem para o uso de processos biológicos no Brasil. No entanto, acentua-se que esses valores não devem ser seguidos rigorosamente. É importante considerar os resultados de testes de biodegradabilidade, assim como a influência de componentes que possam inibir o processo.

No esgoto doméstico também são encontrados bactérias, fungos, protozoários, vírus e helmintos. No entanto,

dada a baixa concentração de organismos patogênicos e a dificuldade em realizar análises para a determinação de todos eles, nas ETEs essa questão é avaliada com a identificação de organismos indicadores de contaminação fecal. Segundo Telles e Costa (2010), a remoção de patógenos pode ser feita por processos naturais (lagoas de maturação, polimento, *wetlands* etc.) e artificiais (cloração, radiação ultravioleta — UV, ozônio, membranas etc.) de desinfecção. Em todos os tipos de lagoas de estabilização (anaeróbia, facultativa e de maturação), o elevado tempo de detenção hidráulica (TDH) das unidades favorece a sedimentação dos organismos que são mais densos do que a água, como os cistos de protozoários e ovos de helmintos (INCT ETES SUSTENTÁVEIS, 2020). O uso de lagoas de maturação em série destina-se a remover a maior parte dos coliformes termotolerantes presentes no esgoto bruto, haja vista que a baixa profundidade, maior concentração de OD e pH mais elevado das lagoas facilitam a inativação desses patógenos. A remoção de coliformes termotolerantes em lagoas anaeróbias é da ordem de 1 unidade logarítmica (log), sendo de 2 a 3 logs em lagoas facultativas. Na **Tabela 4** é apresentada uma breve contextualização da caracterização biológica dos esgotos domésticos.

Faixas e valores típicos dos parâmetros físicos, químicos e biológicos já estão reportados na literatura. Dependendo do valor dos parâmetros, o esgoto ainda pode ser classificado de outras maneiras, como por exemplo: (i) forte, médio ou fraco (METCALF e EDDY, 2014) ou (ii) concentrado, moderado, diluído ou muito diluído, como discutido por Souza *et al.* (2019). Como esses parâmetros são influenciados por vários fatores (por exemplo, consumo de água, hábitos da população, clima), para auxiliar a compreensão sobre as informações contidas na literatura, esta NT apresenta nos itens seguintes uma compilação de dados de caracterização de esgoto bruto afluente a algumas ETEs no Brasil.

2.2. Compilação de dados sobre o esgoto bruto obtidos da literatura e de algumas estações de tratamento de esgotos no Brasil

A compilação dos dados reais foi realizada considerando-se alguns trabalhos publicados na literatura e dados cedidos

Tabela 3 – Contextualização simplificada dos parâmetros químicos utilizados na caracterização do esgoto sanitário.

Parâmetros	Contextualização simplificada: características químicas
Matéria orgânica	<ul style="list-style-type: none"> No esgoto bruto é representada principalmente por proteínas, carboidratos e lipídeos. Nos processos biológicos predominantemente anaeróbios, esses compostos são convertidos ao longo de quatro etapas (hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese), resultando principalmente em CH_4, CO_2 e H_2O. Nas ETE, é comum a determinação indireta feita por meio da DQO e DBO. A DBO refere-se à fração biodegradável, indicando a quantidade de oxigênio necessária para estabilizar bioquimicamente a matéria orgânica. A DQO refere-se à quantidade de oxigênio necessária para estabilizá-la quimicamente. A medida direta, menos aplicada nas ETEs e esgoto bruto, inclui a determinação de carbono orgânico total (COT), que indica a quantidade total de carbono contida na amostra.
Nitrogênio N-N _{org} N-NH ₄ ⁺ N-NO ₂ ⁻ N-NO ₃ ⁻	<ul style="list-style-type: none"> Assim que o esgoto bruto é gerado, o nitrogênio total medido pelo método de Kjeldahl (NTK) encontra-se majoritariamente na forma orgânica (N-N_{org}): proteínas, aminoácidos e ureia. Até chegar à ETE, uma parte pode ser convertida em nitrogênio na forma amoniacal (N-NH₄⁺). No início do tratamento, todo N-N_{org} é convertido em N-NH₄⁺ (amonificação). Ao longo do tratamento, ele é convertido em nitrito (N-NO₂⁻) e nitrato (N-NO₃⁻) (nitrificação); e, finalmente, em nitrogênio gasoso (N₂) (desnitrificação). Algumas tecnologias incluem o processo <i>Anaerobic Ammonium Oxidation</i> (ANAMMOX). Nesse processo, grupos específicos de micro-organismos alteram a rota convencional e o N₂ é formado com a adoção de nitrito como aceptor de elétrons na oxidação de amônia (N-NH₄⁺ + N-NO₂⁻ → N₂). Analicamente, o nitrogênio total (NT) é medido pelo NTK, que é a soma das frações de nitrogênio na forma orgânica (N-N_{org}) e amoniacal (N-NH₄⁺). Por diferença, o N-N_{org} é quantificado. Nitrito e nitrato são quantificados diretamente, conforme procedimento descrito pelo <i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i>.
Fósforo	<ul style="list-style-type: none"> Está presente na forma inorgânica (orto e polifosfatos) e orgânica (combinado com compostos orgânicos). Junto com o nitrogênio, deve ser removido adequadamente para evitar chegar aos corpos receptores em concentrações capazes de provocar alterações no meio ambiente (p. ex.: eutrofização).
Enxofre	<ul style="list-style-type: none"> Na natureza, o enxofre pode ser encontrado na forma de sulfetos (S²⁻, forma mais reduzida), enxofre elementar (S⁰), sulfitos (SO₃²⁻) e sulfatos (SO₄²⁻, forma mais oxidada). O SO₄²⁻ é encontrado naturalmente na maioria das águas de abastecimento e, como consequência de seu uso, ele é detectado em esgoto doméstico. Neste último, sua presença pode ser associada, por exemplo, à decomposição de proteínas, como a tiamina (vitamina B1), ao uso de surfactantes presentes em detergentes (p. ex.: alquilbenzeno sulfonato linear) e em produtos de limpeza e cuidados pessoais (p. ex.: laurel sulfato de sódio). Nas ETEs, a determinação desse parâmetro é importante para avaliar o potencial para a formação de odores, resultado da ação de micro-organismos capazes de reduzir o sulfato a sulfeto (H₂S, HS⁻ ou S²⁻; a depender do pH). Além disso, há relatos da presença de enxofre elementar no lodo, como observado por Sígolo e Pinheiro (2010) na ETE Barueri (SP). Por isso, sua determinação também pode ser importante para o gerenciamento do lodo gerado.
pH	<ul style="list-style-type: none"> Indica acidez ou basicidade do esgoto doméstico. Durante a conversão da matéria orgânica, ácidos são formados e, dependendo do processo, alterações bruscas podem comprometer a atividade microbiana. Na remoção de nitrogênio, por exemplo, seu controle adequado junto com outros parâmetros, como alcalinidade, concentração de oxigênio dissolvido, temperatura e idade do lodo, são essenciais para a melhor eficiência do processo.
Alcalinidade	<ul style="list-style-type: none"> Indica a capacidade de resistir a variações bruscas de pH. Nos processos de amonificação, nitrificação e desnitrificação (remoção de nitrogênio) durante o tratamento do esgoto, a alcalinidade é consumida e produzida.
Cloretos	<ul style="list-style-type: none"> Oriundo de águas de abastecimento e dejetos humanos.
Metais pesados	<ul style="list-style-type: none"> Os metais pesados estão entre os constituintes inorgânicos presentes no esgoto. Esses elementos normalmente são detectados em concentrações muito baixas, na ordem de 10⁻⁶ ou 10⁻⁹ g·L⁻¹. Arsênio (As), bário (Ba), cádmio (Cd), chumbo (Pb), cromo (Cr), manganês (Mn), mercúrio (Hg), prata (Ag) e selênio (Se) são exemplos de metais pesados detectados em esgoto sanitário. Esses elementos são altamente reativos e bioacumulativos, sendo alguns deles cancerígenos e/ou mutagênicos. Por isso, podem provocar sérios danos à saúde e ao meio ambiente. No caso de efluentes industriais (indústrias de galvanoplastia, baterias etc.), a determinação desse parâmetro pode ser de suma importância para monitorar o tratamento e impedir que sejam lançadas concentrações acima do limite permitido.
Óleos e graxas	<ul style="list-style-type: none"> No esgoto sanitário são oriundos, principalmente, do uso de óleos e gorduras para cozinhar. Analiticamente, eles representam a fração da matéria orgânica solúvel em hexano.

Fonte: adaptado de von Sperling (2005), Metcalf e Eddy (2014) e APHA, AWWA e WEF (2017).

Tabela 4 – Contextualização simplificada da caracterização biológica dos esgotos domésticos.

Parâmetros	Contextualização simplificada: características biológicas
Indicadores de contaminação fecal	<ul style="list-style-type: none"> De acordo com a Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 357/2005 (BRASIL, 2005), a caracterização biológica de águas doces, salinas e salobras inclui a determinação de coliformes termotolerantes (CTer). Para as águas classificadas como salinas e salobras, a determinação de <i>Escherichia coli</i> pode ser feita em substituição à de termotolerantes. Conforme definição apresentada na Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005), os coliformes termotolerantes incluem micro-organismos capazes de crescer em meios contendo agentes tensoativos e fermentar a lactose nas temperaturas de 44-45 °C, com produção de ácido, gás e aldeído. Como parte desse grupo estão os micro-organismos presentes em fezes (humanas e animais de sangue quente), solos, plantas ou outras matrizes ambientais que não tenham sido contaminados com material de origem fecal. Já a <i>Escherichia coli</i> é a única espécie pertencente aos coliformes termotolerantes que habita exclusivamente o intestino humano e de animais homeotérmicos. Por isso, em algumas ETEs a caracterização biológica envolve a detecção e quantificação apenas de <i>Escherichia coli</i>.

pelas empresas responsáveis pela operação de ETE localizadas nas regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul. Por isso, para preservar o anonimato, os nomes das ETEs não foram divulgados. Na **Tabela 5** estão reunidas algumas informações sobre os dados reais obtidos. Algumas ETEs forneceram dados médios mensais, enquanto outras, apenas referente ao período diário de monitoramento.

Os parâmetros adotados para a caracterização do esgoto bruto não foram os mesmos em todas as ETEs apresentadas

na **Tabela 5**. A maioria das operadoras de ETE reportaram análises a para determinação de DQO, DBO, série de sólidos (ST, SST, SDT), NT, fósforo total (PT), pH e alcalinidade (total) com frequência mensal (**Figura 1a**). Por outro lado, a frequência de monitoramento para os dados obtidos da literatura variou de uma a três vezes por semana. No caso da ETE B, dados dos parâmetros nitrogênio e fósforo totais (NT e PT, respectivamente) não foram entregues pela operadora (**Figura 1b**). No que diz respeito

Tabela 5 - Origem dos dados reais obtidos para a caracterização de esgotos brutos tratados em algumas estações de tratamento de esgoto no Brasil.

ETE ou grupo de ETE	Região	Ano de monitoramento	População atendida (hab.)	Referência
ETE A	Nordeste	2012 a 2013	18.000	Morais (2015)
ETE B	Nordeste	2019	42.000	*
ETE C	Norte	2009	18.945	*
ETE D	Norte	2013	6.000	*
ETE E ^(a)	Norte	2019	-	*
ETE F	Centro-Oeste	2017	29.349	*
ETE G	Centro-Oeste	2017	26.565	*
ETE H ^(b)	Sudeste	1995 a 2003	-	Oliveira et al. (2005)
ETE I	Sul	2018	23.549	Corrêa (2019)

ETE: estação de tratamento de esgoto; *dados obtidos nas operadoras das estações de tratamento de esgoto correspondentes; ^(a)estação de tratamento de esgoto E refere-se a um conjunto de dados obtidos dos esgotos brutos tratados em 22 estações de tratamento de esgoto localizadas na Região Norte; ^(b)estação de tratamento de esgoto H refere-se a um conjunto de dados reportados na literatura sobre as características dos esgotos brutos tratados em 166 estações de tratamento de esgoto localizadas em Minas Gerais e São Paulo.

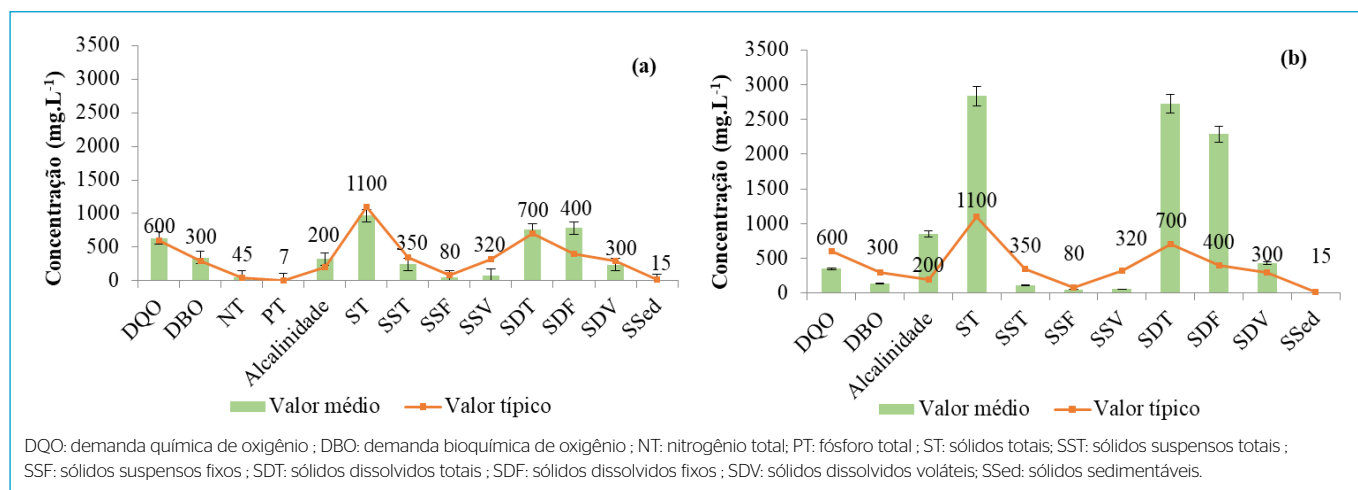


Figura 1 - Comparação entre os valores típicos de literatura (von Sperling, 2005) e os valores médios compilados das concentrações de alguns parâmetros obtidos na caracterização qualitativa do esgoto bruto (a) nas estações de tratamento de esgoto A, C, D, E, F, G, H, I e (b) estação de tratamento de esgoto B. As concentrações dos parâmetros NT e PT do esgoto bruto afluente à estação de tratamento de esgoto B não foram informadas. O pH do esgoto afluente para todas as estações de tratamento de esgoto foi próximo a 7 (7,4 ± 0,3), na faixa usual (6,7 - 8,0). SSed em mL.L⁻¹.

aos demais parâmetros, o esgoto bruto tratado na ETE B também apresentou características qualitativas diferentes dos demais e das concentrações típicas (von SPERLING, 2005), como pode ser observado na **Figura 1**. Para os dados teóricos, foram consideradas as faixas e valores típicos das concentrações dos parâmetros reportados por von Sperling (2005).

Com relação aos cloretos, apenas as ETEs B e E apresentaram as concentrações desse parâmetro no esgoto bruto. No entanto, os valores diferiram bastante entre si. A ETE E, que forneceu os dados da caracterização de esgoto bruto em 22 ETEs da Região Norte, apresentou concentração média de $38 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, próxima à concentração típica ($35 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) reportada na literatura (von SPERLING, 1996). Já na ETE B, a concentração média foi $1.167 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, superior à faixa usual ($20 \text{ a } 50 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$).

Na **Figura 1a**, as concentrações mantiveram-se próximas às concentrações usuais ou na faixa citada na literatura para cada um dos parâmetros. A única exceção foi a concentração de SSed ($2,6 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$), que se apresentou abaixo da faixa usual ($10 \text{ a } 20 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$) e do valor típico ($15 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$). Considerando-se os parâmetros químicos apresentados na **Figura 1b**, observou-se que o esgoto que chega à ETE B apresenta elevada concentração de sólidos, alcalinidade e, como mencionado anteriormente, cloretos. Além disso, comparado com a **Figura 1a** e as concentrações usuais, o esgoto bruto apresenta concentração de DQO, DBO, SST e SSV abaixo do esperado.

Diante das características observadas, pode-se dizer que o esgoto bruto afluente à ETE B apresenta elevada concentração de componentes inorgânicos dissolvidos. Junto com a elevada concentração de cloretos, eles podem indicar a mistura entre outras correntes líquidas (possivelmente, efluentes industriais) e o esgoto doméstico. No entanto, para confirmação, seriam necessários estudos mais completos, incluindo a determinação dos demais parâmetros (por exemplo: nitrogênio, fósforo, compostos orgânicos mais específicos). As técnicas analíticas mais sofisticadas, como as que utilizam a cromatografia e a espectrometria de massas, podem ser aplicadas na determinação de compostos mais específicos, possivelmente advindos de atividades industriais. Nem sempre um efluente líquido

vai seguir um comportamento “padrão”. Por isso, adaptações no processo de tratamento podem ser necessárias para garantir a remoção dos componentes e atender à legislação, ressaltando a importância das características do esgoto sanitário a ser tratado.

Com relação às características biológicas, a indicação de contaminação fecal no esgoto bruto foi realizada com base nos dados sobre a quantificação de coliformes termotolerantes (CTer). Em geral, nas ETEs consideradas neste estudo, o monitoramento desse parâmetro foi realizado mensalmente. Na **Tabela 6** é apresentado o compilado dos dados de todas as ETE. O valor mínimo observado para CTer ($4 \times 10^3 \text{ org}\cdot 100 \text{ mL}^{-1}$) foi referente ao esgoto bruto afluente à ETE B. Isso pode estar coerente com a baixa concentração de componentes orgânicos comparada ao esgoto afluente às demais ETE (**Figura 1**), porém, como mencionado previamente, mais estudos devem ser considerados para se obter informação mais precisa nesta ETE B.

Apesar de os valores médios observados se apresentarem na faixa usual (**Figura 1a**), qualquer ETE pode receber esgoto com características distintas. Isso acontece porque o consumo de água varia de acordo com alguns fatores (por exemplo: clima, hábitos da população, porte da comunidade, situação econômica e social) (JORDÃO e PESSÔA, 2005). Nesse sentido, para exemplificar, a **Figura 2** foi elaborada com as concentrações médias no esgoto bruto afluentes às ETE avaliadas (**Tabela 5**) e comparadas com os valores típicos, em termos de DQO (**Figura 2a**), DBO (**Figura 2b**) e sólidos, mais precisamente, os SSV (**Figura 2c**).

Pela **Figura 2**, observa-se que o esgoto afluente às ETE localizadas nas Regiões Centro-oeste e Sudeste (ETEs F, G e H) apresentaram concentrações de DBO, DQO e SSV

Tabela 6 - Faixas de concentração (usual e observada) e concentração média de coliformes termotolerantes do esgoto bruto das estações de tratamento de esgoto avaliadas.

Faixa de concentração usual ^a	CTer (NMP-100 mL ⁻¹)
	10 ⁶ - 10 ⁹
Faixa observada	$4,0 \times 10^3 - 1,7 \times 10^8$
Concentração média observada	$4,7 \times 10^7$

^aDados obtidos da literatura (von Sperling, 2005).

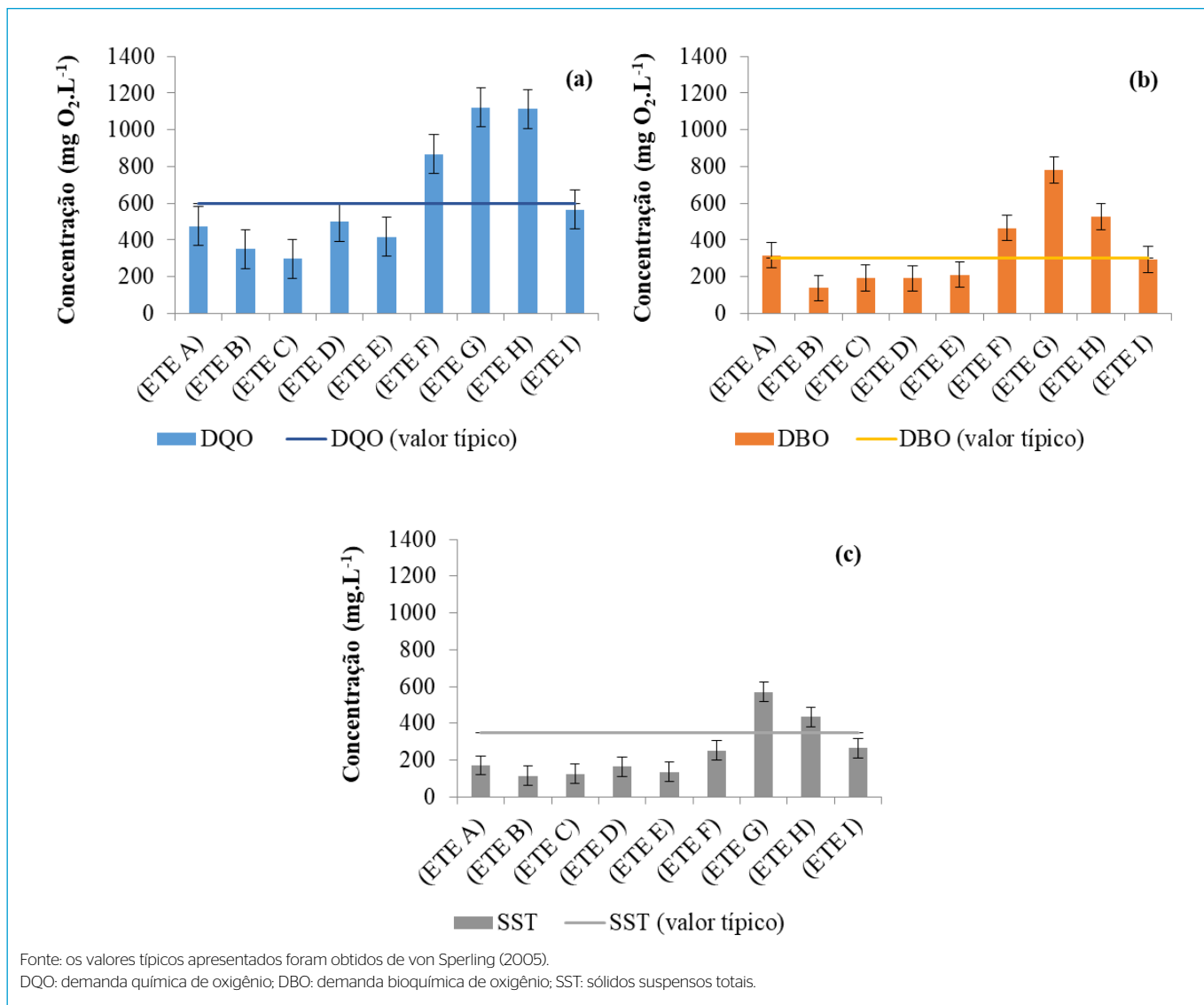


Figura 2 - Exemplos de variação na concentração de alguns parâmetros como (a) demanda química de oxigênio, (b) demanda bioquímica de oxigênio e (c) sólidos suspensos totais dos esgotos brutos tratados em estações de tratamento de esgoto com diferentes localizações.

acima da faixa reportada. Com relação às ETEs localizadas em Minas Gerais e São Paulo (ETE H, Região Sudeste), esse ponto foi bem discutido por Oliveira *et al.* (2005). De acordo com esses autores, contribuições industriais não relatadas, tipo de amostragem executado, baixo consumo *per capita* de água e/ou existência de menores coeficientes de retorno podem estar entre as possíveis causas para as elevadas concentrações de alguns parâmetros, como DQO, DBO e SST. Contudo, eles também informaram que, para uma justificativa mais precisa, mais estudos devem ser realizados. Isso também foi observado para o

esgoto bruto nas ETEs F (exceto SSV) e G, localizadas na Região Centro-Oeste.

As chuvas também contribuem bastante para a variabilidade das concentrações dos parâmetros (Jordão e Pessôa, 2005; METCALF e EDDY, 2014). Para exemplificar, a **Figura 3** foi elaborada com as informações apresentadas por Corrêa (2019), com dados do esgoto bruto afluente à ETE I (Sul). Os dados de precipitação mensal foram obtidos do portal eletrônico do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR, 2020) para os meses de janeiro a dezembro de 2018, período equivalente aos dados apresentados

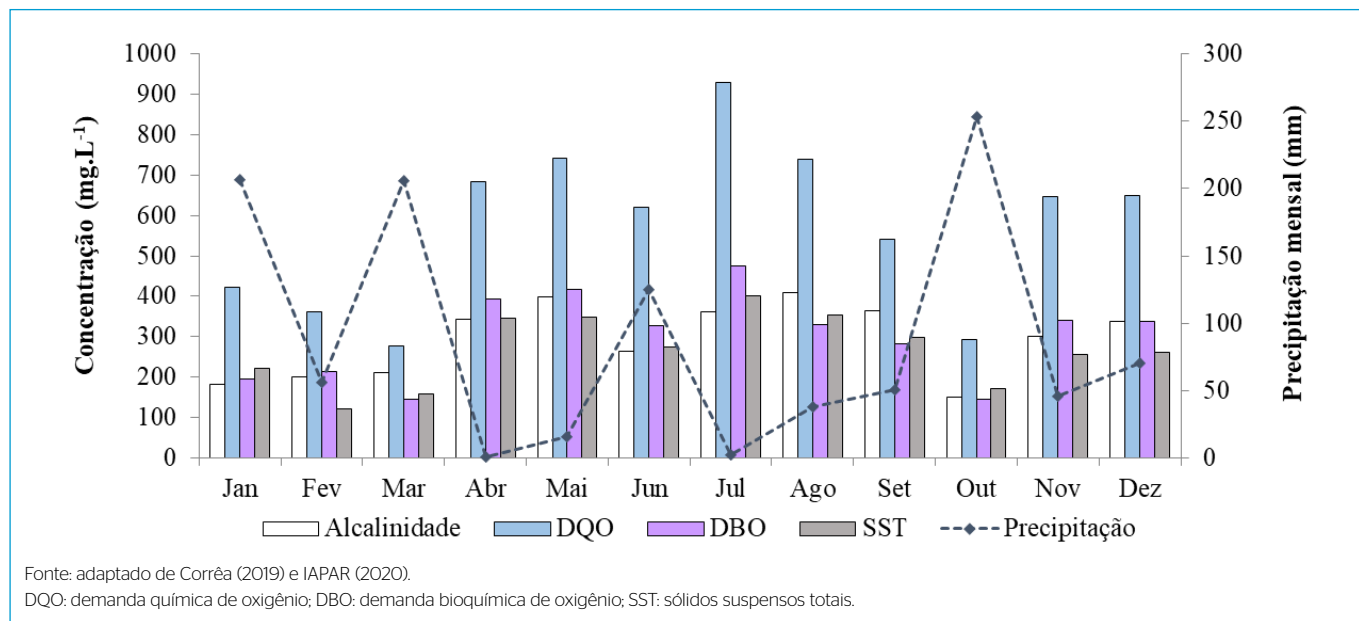


Figura 3 - Exemplo do efeito da quantidade de chuvas sobre alguns parâmetros de caracterização do esgoto bruto afluente à estação de tratamento de esgoto I.

na **Tabela 5** (ETE I). Na **Figura 3**, é possível observar que, em períodos com maiores quantidades de chuvas, como nos meses de janeiro, março e outubro, o esgoto chega à estação com menores concentrações. Apesar de as redes coletoras de esgoto e das galerias de águas pluviais serem projetadas para funcionar de forma independente, é comum a existência de ligações irregulares. Além disso, em épocas de chuva, a taxa de infiltração é maior. Tudo isso altera a vazão e concentração do esgoto afluente às ETEs e acaba influenciando até mesmo a eficiência do tratamento.

Ao longo do dia também é possível observar essa variação na concentração dos parâmetros. A **Figura 4** foi elaborada com base nos dados de dois perfis temporais apresentados por Moraes (2015), em que coletas de esgoto bruto foram feitas em 2013 a cada 2 horas, das 8 às 18 h na ETE A (Nordeste). Esses dois perfis temporais foram realizados com a determinação de DQO (bruta), alcalinidade, NT e N-NH₄⁺, sendo um em período seco/estiagem e o outro, em período chuvoso.

De acordo com a **Figura 4** é possível observar que as variações seguem o mesmo comportamento ao longo do dia em cada um dos perfis, apresentando menores valores para os parâmetros apresentados (DQO, alcalinidade, N-NT e N-NH₄⁺) nos períodos com maior quantidade

de chuvas. Conforme reportado por Moraes (2015), a precipitação acumulada mensal foi de 317,7 mm para o período considerado como chuvoso (maio/2013) e 128,5 mm para o seco. Apesar da diferença na quantidade de chuvas (quase 2,5 vezes), a temperatura não variou muito, apresentando valores entre 27,5 e 29,3°C durante o período com chuvas e entre 28,0 e 30,6°C durante o período com menor precipitação. Isso foi observado para o pH, que variou de 6,9 a 7,3 (período chuvoso) e de 7,2 a 7,8 (período seco).

A composição do esgoto bruto também varia de acordo com o tipo do sistema de tratamento (centralizado ou descentralizado). De acordo com Kato *et al.* (2019), os sistemas centralizados estão relacionados com ETE de grande porte que atendem regiões metropolitanas ou grandes cidades. São mais robustos estrutural e operacionalmente e, frequentemente, associados a maiores custos. Por outro lado, os sistemas descentralizados apresentam menores custos, uma vez que são responsáveis por menor cobertura, como pequenos bairros, conjuntos habitacionais, vilas etc. Dito isto, na **Tabela 7** é apresentado um resumo comparativo de dados da caracterização de esgoto sanitário bruto, incluindo valores de referência nacionais e internacionais em sistemas descentralizados e centralizados.

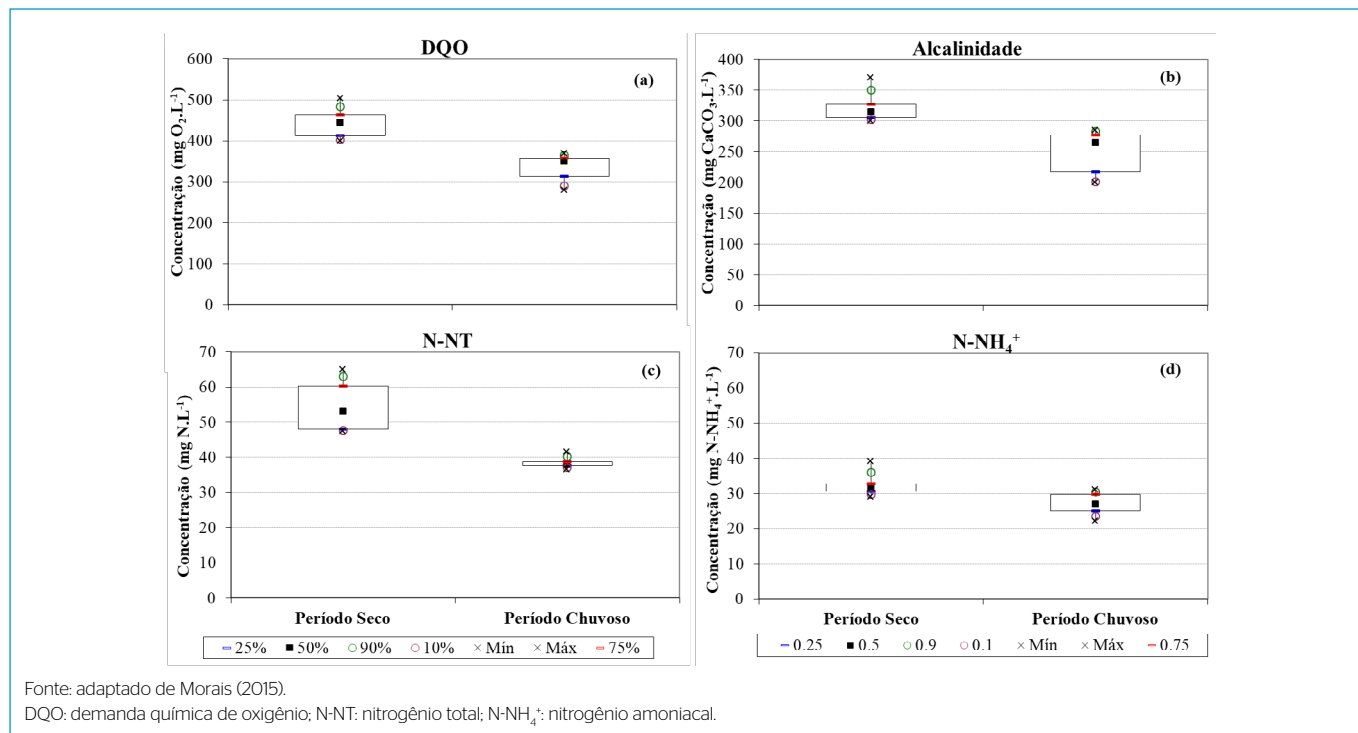


Figura 4 - Variação de (a) demanda química de oxigênio (bruta), (b) alcalinidade total, (c) nitrogênio total e (d) amoniacal, em amostras de esgoto bruto coletadas na estação de tratamento de esgoto A em período seco e chuvoso.

Tabela 7 - Caracterização de esgoto sanitário bruto em sistemas descentralizados e centralizados.

Parâmetro	Descentralizados		Centralizados	
	RENTED ^a	WERF (2009) ^b	von Sperling (2005)	Henze e Ledín (2011)
ST (mg·L ⁻¹)	531 - 833	252 - 3.320	700 - 1.359	390 - 1.400
STF (mg·L ⁻¹)	282 - 462	-	340 - 650	210 - 750
STV (mg·L ⁻¹)	316 - 506	-	365 - 700	180 - 700
SSed (mL·L ⁻¹)	2 - 8	-	10 - 20	3 - 10
pH	6,9 - 7,6	-	6,7 - 8,0	-
Alcalinidade (mg CaCO ₃ ·L ⁻¹)	192 - 350	65 - 525	100 - 250	185
-Temperatura (°C)	21,3 - 27,2	-	-	-
DBO (mg O ₂ ·L ⁻¹)	238 - 578	112 - 1.101	250 - 400	100 - 350
DQO (mg O ₂ ·L ⁻¹)	414 - 981	29 - 679	450 - 800	210 - 740
DQO dissolvida (mg O ₂ ·L ⁻¹)	131 - 518	-	-	80 - 300
Óleos e graxas (mL·L ⁻¹)	26 - 51,3	-	-	30 - 100
N-NH ₄ ⁺ (mg·N·L ⁻¹)	30 - 56	2 - 94	20 - 35	12 - 50
NTK (mg·N·L ⁻¹)	32 - 59	16 - 248	35 - 60	20 - 80
N-NO ₂ ⁻ (mg·N·L ⁻¹)	0 - 0,1	-	0	0,1
N-NO ₃ ⁻ (mg·N·L ⁻¹)	0 - 0,5	0 - 9	0 - 1	0,5
PT (mg·L ⁻¹)	5,7 - 8,3	0,2 - 32	4 - 15	6 - 23
P _{ortofosfato} (mg·L ⁻¹)	4,5 - 7,1	-	3 - 9	4 - 14
Sulfato (mg·L ⁻¹)	32,5 - 57,4	-	-	-
Sulfeto (mg·L ⁻¹)	0,3 - 5,3	-	-	0,1
<i>E. coli</i> (NMP/100 mL ⁻¹)	7,3 × 10 ⁵ - 2,2 × 10 ⁷	-	10 ⁶ - 10 ⁹	10 ⁶ - 5.10 ⁸
CTer (NMP/100 mL ⁻¹)	1,9 × 10 ⁶ - 1,7 × 10 ⁷	-	10 ⁶ - 10 ⁹	-
CT (NMP/100 mL ⁻¹) ^c	1,2 × 10 ⁷ - 2,0 × 10 ⁸	-	10 ⁶ - 10 ¹⁰	10 ¹¹ - 10 ¹³
Ovos de helmintos (ovos·L ⁻¹)	129 - 220	-	1-1.000	5 - 20

Fonte: adaptado de von Sperling (2005) e Souza et al. (2019).

^aRede Nacional de Tratamento de Esgotos Descentralizados; ^brelatório final de tratamento e reúso de efluentes reportados na *Water Environmental Research Foundation* (WERF) em 2009; ^ccoliformes totais.

Pela **Tabela 7**, observam-se diferenças entre as características físico-químicas e biológicas do esgoto em sistemas centralizados comparados aos descentralizados. Em geral, nos sistemas centralizados, os valores reportados na literatura nacional e internacional apresentam-se próximos, exceto para alguns parâmetros biológicos (ovos de helmintos e coliformes totais). Contudo, nos sistemas descentralizados, as faixas de valores apresentam diferenças entre elas, e também quando comparadas às dos sistemas centralizados. Fatores como hábitos da população, situação econômica e social e consumo de água nas pequenas áreas podem ser responsáveis pela variação nas características do esgoto em sistemas descentralizados.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente NT buscou contribuir para um melhor entendimento a respeito das características qualitativas do esgoto sanitário. A comparação e discussão entre os dados reais e os típicos de literatura foi feita a fim de exemplificar as informações e reforçar a ocorrência das variações na concentração dos parâmetros na prática. A análise dos dados mostrou que a precipitação influencia não somente os parâmetros quantitativos (por exemplo, vazão), mas todos os qualitativos. Entre as ETEs avaliadas, o esgoto bruto daquelas localizadas nas Regiões Sudeste e Centro-Oeste apresentou maior concentração de alguns parâmetros (por exemplo: DQO, DBO e SST), comparado aos das Regiões

Norte e Nordeste. A justificativa para isto pode ser atribuída ao baixo coeficiente de retorno, baixo consumo *per capita* de água, contribuições industriais não relatadas, entre outros. Em geral, um número pequeno de parâmetros é monitorado com maior frequência nas ETE, objetivando reduzir custos. Além disso, o esgoto bruto de sistemas centralizados e descentralizados apresenta características distintas. Assim, para a concepção de novas ETEs é necessário realizar estudos mais detalhados e conhecer bem o esgoto a ser tratado, em termos quantitativos bem como qualitativos. Esse é um ponto essencial para alcançar uma remoção eficiente de componentes e concentrações finais que atendam à legislação.

AGRADECIMENTOS

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico — CNPq. Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior — CAPES. Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Estações Sustentáveis de Tratamento de Esgoto — INCT ETEs Sustentáveis. Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais — FAPEMIG. Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco — FACEPE. Companhia Pernambuco de Saneamento — COMPESA. BRK Ambiental. Fibra Técnica Engenharia e Saneamento.

Este trabalho faz parte da série de publicações do INCT ETEs Sustentáveis.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA (ANA); COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). *Guia nacional de coleta de preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos*. Brasília: ANA; São Paulo: CETESB, 2011, 326 p. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2012/GuiaNacionalDeColeta.pdf> Acesso: 10 set. 2020.

ANDRADE NETO, C.O.; CAMPOS, J.R. Introdução - Capítulo 1. In: CAMPOS, J.R. (Coord). *Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo*. Rio de Janeiro. ABES-PROSAB, 1999.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA); AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA); ENVIRONMENT FEDERATION (WEF). *Standard Methods for examination of water and wastewater*. 23. ed. Washington: APHA/AWWA/WEF, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 9897: planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores*. 1ª ed. Rio de Janeiro, 1987b. 14 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 9898: preservação e técnicas de amostragem de afluente líquidos e corpos receptores*. 1ª ed. Rio de Janeiro, 1987a. 22 p.

- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente. *Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005*. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf> Acesso em: 28 set. 2020.
- CHERNICHARO, C.A.L. *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias*. 2. ed. v. 5: Reatores anaeróbios Belo Horizonte: UFMG, 2007, 379 p.
- CORRÊA, W.S. *Avaliação de um sistema reator anaeróbio de manto de lodo seguido de filtro biológico percolador de baixa taxa em escala plena*. 2019. 175 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2019.
- FINEP-PROSAB-Produtos. *Vários livros*. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/apoio-e-financiamento-externa/historico-de-programa/prosab/produtos>. Acesso: 28 set. 2020.
- HENZE, M.; LEDIN, A. Types, characteristics and quantities of classic, combined domestic wastewaters. In: LENS, P.; ZEEMAN, G.; LETTINGA, G. (Eds.) *Decentralised sanitation and reuse: concepts, systems and implementation*. London : IWA Publishing, 2001, p. 59-72.
- INCT ETEs Sustentáveis. *Remoção de patógenos no esgoto*. 2020. Disponível em: <https://etes-sustentaveis.org/remocao-patogenos-esgoto/>. Acesso: 28 set. 2020.
- INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ (IAPAR). *Agrometeorologia e clima*. Disponível em: <http://www.iapar.br> Acesso em: 14 set. 2020.
- JORDÃO, E.P.; PESSÔA, C.A. *Tratamento de esgotos domésticos*. 4. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2005, 932 p.
- KATO, M.T.; LAPOLLI, F.R.; SOUZA, J.T.; NOLASCO, M.A.; GONÇALVES, R.F.; LEITE, V.D. Oportunidades e desafios na implementação de estações de tratamento de esgoto descentralizadas. In: SANTOS, A.B. (Coord.). *Caracterização, tratamento e gerenciamento de subprodutos de correntes de esgotos segregadas e não segregadas em empreendimentos habitacionais*. RENTED/FINEP/CNPq. Fortaleza: Imprece, 2019. p. 23-47.
- METCALF & EDDY Inc. *Wastewater engineering: treatment and resource recovery*. 5. ed. Nova York: McGraw-Hill, 2014, 2018 p.
- MORAIS, J.C. *Remoção de matéria orgânica e nitrogênio em reator compartimentado anaeróbio/anóxico e aeróbio tratando esgoto doméstico*. 2015. 139 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.
- OLIVEIRA, S.M.A.C.; von SPERLING, M. Evaluation of 166 treatment plants operating in Brazil, comprising several technologies. Part 1-Performance analysis. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 10, n. 4, p.347-357, 2005. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522005000400011>
- PIVELI, R.P.; KATO, M.T. *Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos*. São Paulo: ABES, 2006, 285 p.
- SANTOS, A B. (Org). *Caracterização, tratamento e gerenciamento de subprodutos de correntes de esgotos segregadas e não segregadas em empreendimentos habitacionais*. Disponível em: http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/06_11_2019_ProSab_Tratamento_de_Esgoto.pdf. Acesso em: 28 set. 2020.
- Sígolo, J.B.; Pinheiro, C.H.R. Lodo de esgoto da ETE Barueri - SP: proveniência do enxofre elementar e correlações com metais pesados associados. *Geologia USP - Série Científica*, v. 10, n. 1, p. 39-51, 2010. <https://doi.org/10.5327/Z1519-874X2010000100004>
- SOUZA, C.L.; SANTOS, A.B.; SILVA, M.E.R.; AQUINO, S.F. Aspectos qualitativos de correntes de esgoto segregadas e não segregadas. In: SANTOS, A.B. (Coord.). *Caracterização, tratamento e gerenciamento de subprodutos de correntes de esgotos segregadas e não segregadas em empreendimentos habitacionais*. Fortaleza: Imprece, RENTED/FINEP/CNPq, 2019. p. 118-218.
- Telles, D.D.; Costa, R.H.P.G. *Reúso da água: conceitos, teorias e práticas*. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2010, 408 p.
- von SPERLING, M. *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias*. 3. ed. v. 1: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Belo Horizonte: UFMG, 2005, 452 p.
- WATER ENVIRONMENTAL RESEARCH FOUNDATION (WERF). *Final Report: Wastewater treatment and reuse. Influent constituent characteristics of the modern waste stream from single sources: literature Review*. London: IWA, 2009.