

# ***AVALIAÇÃO DA PERSPECTIVA DO USO DE EFLUENTES SANITÁRIOS PARA FINS DE ABASTECIMENTO***

## **PERSPECTIVE EVALUATION OF WASTEWATER TO THE PURPOSE OF SUPPLY**

**Thuanye Peixoto Silva Souza**

Engenheira Ambiental, Centro Universitário de Belo Horizonte – UNIBH

**Marcelo Libânio**

Pós-doutor pela Universidade de Alberta. Engenheiro Civil, UFMG

**Patrícia Rocha Maciel Fernandes**

Mestre em Agronomia. Solos e Nutrição de Plantas, UFV. Engenharia Ambiental, FUMEC.

### **RESUMO**

A reutilização dos recursos hídricos já é uma realidade em várias empresas e indústrias brasileiras, entretanto, a reutilização da água para fins de abastecimento público ainda não possui a notoriedade e importância que deveria. Visto que os esgotos domésticos são compostos por, aproximadamente, 99,9% de água, a perspectiva do reuso de efluente tratado para consumo humano é uma alternativa com grande potencial. Foi realizada uma comparação dos resultados de análises químicas de amostras coletadas em pontos de captação para abastecimento público e de amostras de águas residuais de Estações de Tratamento de Esgoto, tratadas a nível secundário, no município de Belo Horizonte. Verificou-se que, para o reuso dessas águas é necessário submetê-las a um tratamento terciário, e então viabilizar a sua utilização em processos das estações de Tratamento de Água, visando o consumo humano.

**Palavras-chave:** Efluentes Sanitários; Reuso; Processos Oxidativos Avançados.

### **ABSTRACT**

Reuse of water resources is already a reality in the business of several Brazilian companies and industries, however, the reuse of water for public supply, does not yet have the visibility and importance it deserves. Given that the domestic sewage consists of approximately 99.9% water, the perspective treated effluent for human consumption is a potential alternative. It was made a comparison of the results of physico-chemical and biological parameters of collected samples at points, where water is collected for treatment and, subsequent, human consumption, and collected samples of wastewater from sewage treatment plants, treated at secondary level, in the city of Belo Horizonte. It was verified that, to reuse of these effluents, it is necessary that these effluents are treated by a tertiary treatment, and then make them usable of water treatment stations, aimed at to human consumption.

**Keywords:** Wastewater; Reuse; Advanced Oxidation Processes.

### **INTRODUÇÃO**

Desde seus primórdios, a gestão da água pela humanidade é tratada com descaso devido à falsa idéia deste recurso ser de natureza inesgotável. Na região sudeste do

## *Avaliação da perspectiva do uso de efluentes sanitários para fins de abastecimento*

Brasil, a abundância de água sempre proporcionou conforto e despreocupação quanto à possível escassez desse recurso.

Entretanto, essa sensação de abundância não condiz com os dados reais de disponibilidade dos recursos hídricos visto que, apenas 2,5% de toda a água do planeta é classificada como água doce e 97,5% como água salgada. Em relação à água doce, ela está distribuída da seguinte maneira: 68,9% em geleiras e neves eternas; 29,9% de águas subterrâneas, 0,9% nos solos, pântanos e geadas; e apenas 0,3% das águas doces estão disponíveis em rios e lagos (BRITO et al, 2007).

Segundo a Folha de São Paulo (2014), a escassez de água, que foi destaque do cenário brasileiro em 2014, atingiu, pelo menos, 133 cidades e 27,6 milhões de habitantes do país. Os Estados mais atingidos pela falta de água foram os do sudeste do país. Além dos sérios prejuízos à economia nacional, tendo em vista que, os estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais correspondem a 52,8% do PIB brasileiro (IBGE, 2014), a população se depara com sérios problemas, visto que a água é um elemento essencial à vida.

Em 2015, a crise hídrica continuou a preocupar a população do sudeste brasileiro e, os principais reservatórios de água que abastecem a população das cidades ainda se encontram em níveis abaixo da média histórica. As cidades se deparam com um cenário de possíveis racionamentos e rodízios de água (SANEAR, 2015).

Neste cenário de escassez hídrica, muito se tem discutido sobre a reutilização da água para os mais diversos usos. A reutilização da água já é uma realidade para várias empresas e indústrias brasileiras e, essa prática diminui significativamente o fornecimento de água pelas concessionárias responsáveis pelo abastecimento.

Na atualidade, uma das principais medidas de gestão ambiental da indústria brasileira é a utilização de técnicas de tratamento de efluentes e recirculação da água tratada (PINTO, 2003). Segundo Uehara (2008), no caso da indústria mineradora, em especial a de minério de ferro, a recirculação da água tratada atinge índices de 80%.

De acordo com Santos (2003), os esgotos domésticos possuem aproximadamente 99,9% de água, sendo que a fração restante é composta por sólidos orgânicos e inorgânicos, em suspensão e dissolvidos, assim como microrganismos.

A reutilização desta água para fins de consumo, entretanto, ainda não possui a notoriedade e importância que deveria. As tecnologias existentes no mercado

possibilitam um tratamento mais avançado das águas residuais, provenientes dos esgotos domésticos, com a possibilidade de viabilização o uso destas para abastecimento.

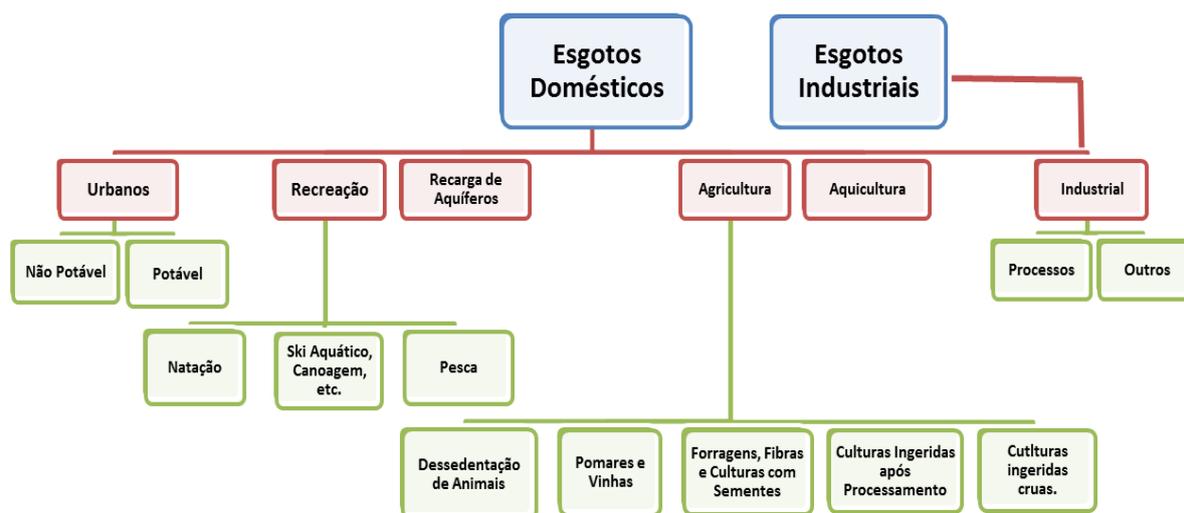
Ao redor do mundo, existem experiências bem-sucedidas do processo de potabilização da água a partir do tratamento de efluentes sanitários. Na Namíbia, o processo de potabilização da água a partir de efluentes é o maior processo de tratamento de efluentes sanitários domésticos do mundo (REVISTA ECOLÓGICO, 2014).

Segundo Macedo (2007), vários países já possuem um sistema de reaproveitamento de água, também para fins não potáveis, como por exemplo, Israel, onde 70% do esgoto é reciclado para irrigação.

Na cidade de São Petersburgo, na Flórida, a água residual recuperada é distribuída e utilizada para irrigação de parques públicos, campos de golfe, áreas verdes, etc. No Japão, em 1992, 938 estações de tratamento de águas residuais já existiam e parte dessas águas são submetidas ao tratamento avançado e distribuídas para áreas urbanas, indústrias dentre outros fins (LEITE, 2003).

O tipo de tratamento adotado é estabelecido a partir da finalidade específica do reuso e das características da água a ser tratada (HESPANHOL, 2002). A Figura 1 apresenta os tipos potenciais de reuso para esgotos tratados.

Figura 1: Tipos potenciais de reuso para esgotos tratados.



Fonte: Adaptado de Hespagnol (1997) apud Hespagnol (2002).

## *Avaliação da perspectiva do uso de efluentes sanitários para fins de abastecimento*

No Brasil, ainda é incipiente o arcabouço legal que regulamenta o uso de efluentes domésticos para usos como irrigação ou consumo humano. No Estado de Minas Gerais não existe nenhuma norma que estabeleça regras para este reuso. Em São Paulo, a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB publicou o documento “Orientação para apresentação de projeto visando a aplicação de água de reuso proveniente de estação de tratamento de esgoto doméstica na agricultura”, entretanto este Manual é apenas orientativo e não possui força de lei.

Essas experiências evidenciam o grande potencial da utilização de águas residuais para fins de abastecimento público. Entretanto, existe a necessidade do aperfeiçoamento e expansão de tecnologias que viabilizem este uso e também a criação de leis que normatizem o que deve ser avaliado e executado pelas indústrias, auxiliando desta maneira, na solução da crise hídrica em todo o país, motivando assim, o desenvolvimento do presente trabalho.

### **OBJETIVOS**

#### **OBJETIVO GERAL**

O presente trabalho tem como objetivo geral avaliar a perspectiva de reuso de efluente tratado a nível secundário, em Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), para fins de reuso no abastecimento.

#### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Os objetivos específicos do presente trabalho são:

- Caracterizar o sistema de abastecimento e o sistema de esgotamento sanitário que atende a Região Metropolitana de Belo Horizonte;
- Avaliar parâmetros físico-químicos e biológicos de águas captadas para tratamento no Sistema Rio Manso e compará-los aos Valores Máximos Permitidos da DN

COPAM/CERH-MG nº 01/2008 para corpos de água classe 2, com o foco de comparar esses valores aos de águas residuais;

- Avaliar parâmetros físico-químicos e biológicos de efluentes tratados, a nível secundário nas ETEs Arrudas, Onça e Nova Contagem e compará-los aos Valores Máximos Permitidos da DN COPAM/CERH-MG nº 01/2008 para corpos de água classe 2, com o foco de enquadramento das águas residuais na classe indicada, visando poder reutilizá-las em tratamento convencionais em ETAs;
- Avaliar a potencialidade do tratamento secundário realizado em ETEs, com foco na qualidade das águas residuais, e apontar possíveis métodos de aprimoramento do tratamento das mesmas, para posterior inserção em sistemas convencionais de tratamento de água.

## **METODOLOGIA**

Para desenvolvimento da proposta de avaliação da perspectiva de reuso do efluente tratado a nível secundário, para fins de abastecimento urbano, realizou-se, primeiramente, uma visita técnica a ETE Onça, localizada no município de Belo Horizonte/MG. Essa visita teve como objetivo observar e conhecer os fatores que envolvem todo o sistema de tratamento do efluente sanitário.

Posteriormente realizou-se uma revisão bibliográfica com o intuito de conhecer a atual crise hídrica que ocorre no sudeste brasileiro. Estudou-se também a distribuição espacial da rede de abastecimento de água e de esgotamento sanitário da região de Belo Horizonte, conhecer os tipos de reuso existentes para águas residuais e as tecnologias de tratamento terciário de efluentes, enfocando os Processos de Oxidação Avançada (POAs).

Após a revisão bibliográfica, foram obtidas informações sobre o monitoramento da qualidade da água do Sistema Rio Manso, captada para tratamento e abastecimento público. Os dados que constituem a análise da qualidade da água desse Sistema são dados secundários referentes ao monitoramento realizado pela COPASA no ano de 2012. Através das informações obtidas, avaliou-se alguns parâmetros físico-químicos e

## *Avaliação da perspectiva do uso de efluentes sanitários para fins de abastecimento*

biológicos de qualidade dessas águas e realizou-se uma comparação com os Valores Máximos Permitidos da DN COPAM/CERH-MG nº 01/2008 para corpos de água classe 2.

Para a análise da qualidade das águas residuais, provenientes de tratamento secundário em Estações de Tratamento de Esgotos, foram utilizados dados secundários referentes a monitoramentos realizados pela COPASA nas seguintes ETEs:

- ETE Arrudas (2014): 3 campanhas mensais (primeiro trimestre);
- ETE Onça (2013): 6 campanhas bimestrais;
- ETE Nova Contagem (2013): 12 campanhas mensais.

Posteriormente, realizou-se a compilação desses dados em gráficos e tabelas, comparando os valores das análises do esgoto tratado, a nível secundário, com os Valores Máximos Permitidos da DN COPAM/CERH-MG nº 01/2008 para corpos de água classe 2, subsidiando assim, a perspectiva de avaliação da qualidade dessas águas, com o objetivo de reutilizá-las em processos convencionais de tratamento de águas (ETAs).

Como parâmetro de referência para avaliar a perspectiva de reuso das águas residuais, utilizou-se os Valores Máximos Permitidos (VMPs) para águas doces de classe 2, segundo a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008. Optou-se por utilizar os VMPs para águas doces de classe 2 com o intuito de observar se a qualidade dessas águas permitiria submetê-las diretamente a um processo de tratamento convencional em Estações de Tratamento de Água (ETAs).

A avaliação dos resultados de monitoramento da água do Rio Manso objetivou o conhecimento da qualidade da água de corpos de água Classe 2, para posterior comparação com os resultados de águas residuais e avaliação da possibilidade de utilização dessas águas no abastecimento público, após tratamento convencional em ETAs.

Finalmente, foram obtidos dados, a partir da bibliografia nacional, sobre a eficiência dos tratamentos primário, secundário e terciário de efluentes sanitários para verificar a possibilidade de melhoria da qualidade das águas residuais de ETEs, para que seja possível a reutilização nos processos de ETAs.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE

O sistema de abastecimento da região metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) é composto por oito sistemas integrados, poços artesianos e outros pequenos sistemas produtores independentes. O município de Belo Horizonte é abastecido pelo Sistema Integrado Paraopeba, que possui capacidade de produção de 15.653 L/s, sendo que 7.631 L/s se destinam exclusivamente para Belo Horizonte (55%), conforme apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1:** Capacidade dos Sistemas Produtores para RMBH e BH.

Sistema Produtor	Capacidade de Produção (L/s)*	Produção Média 2011 (L/s)**	Produção Destinada a BH ** (L/s)	(%)
Sistema Rio das Velhas	6.000	5.314,24	4.574,36	86,08
Sistema Rio Manso	3.981	3.781,66	1.344,82	35,56
Sistema Serra Azul	2.454	2.028,19	595,47	29,36
Sistema Várzea das Flores	1.100	1.095,73	264,89	24,17
Sistema Morro Redondo	600	488,67	463,73	94,9
Sistema Ibirité	390	379,03	207,62	54,78
Sistema Catarina	208	66,11	41,77	63,18
Sistema Barreiro	170	103,75	103,75	100
Poços Artesianos	750	484,5	34,55	7,13
TOTAL	15.653	13.741,87	7.630,96	55%

Fonte: PMBH, 2013.

O Sistema Produtor Rio Manso, alvo de estudo deste trabalho, faz parte do Sistema Integrado da Bacia do Paraopeba e atende uma população de 1.722.743 habitantes. Esse Sistema possui uma capacidade de produção de 3.981 L/s, sendo que 35,56% da produção é destinada ao município de Belo Horizonte. As ETAs que compõem o sistema operam com tratamentos convencionais de água.

Segundo a Deliberação Normativa COPAM nº 14, de 28 de dezembro de 1995, os afluentes que compõem a sub-bacia Rio Manso são os seguintes:

## *Avaliação da perspectiva do uso de efluentes sanitários para fins de abastecimento*

- Trecho 46 - Rio Manso, das nascentes até o barramento do reservatório Rio Manso (Classe 1). Incluem-se: córregos Água Limpa, Lamas, Grande e Sousa.
- Trecho 47 - Rio Manso, do barramento do reservatório Rio Manso até o rio Paraopeba (Classe 2).
- Trecho 48 - Córrego Taboca, das nascentes até a captação de água para a cidade de Rio Manso (Classe Especial).
- Trecho 49 - Córrego Pinguela, das nascentes até a confluência com o rio Manso (Classe 1).
- Trecho 50 - Ribeirão Itatiaia, das nascentes até a captação de água para a cidade de Itatiaiuçu (Classe 1). Inclui-se o córrego Santa Teresinha.
- Trecho 51 - Rio Veloso/Ribeirão Itatiaia, da captação de água para a cidade de Itatiaiuçu até a confluência com o reservatório Rio Manso (Classe 2).
- Trecho 52 - Córrego Samambaia, das nascentes até a confluência com o rio Veloso (Classe 1).
- Trecho 53 - Córrego Vermelho, das nascentes até a confluência com o rio Veloso (Classe 1). Inclui-se o córrego Moreira.

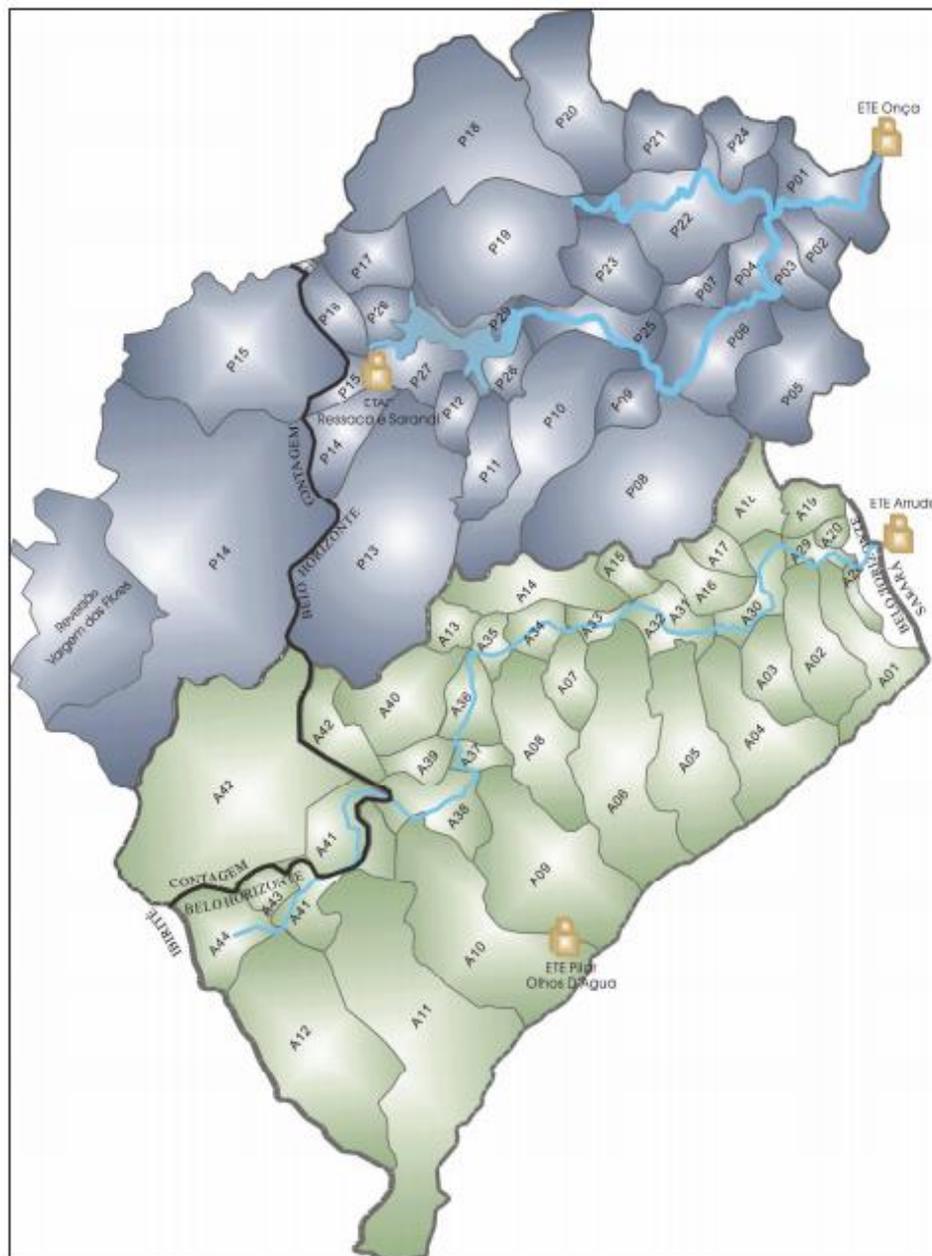
## **CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE**

No município de Belo Horizonte, o sistema de esgotamento sanitário abrange uma área de 330,93 km<sup>2</sup>, sendo que a cidade está totalmente inserida na bacia do rio das Velhas.

O sistema para tratamento dos efluentes gerados pelo município é composto por três Estações de Tratamento de Esgotos, que tratam o efluente a nível secundário (tratamento convencional): a Estação de Tratamento de Esgotos da Bacia do ribeirão Arrudas, a Estação de Tratamento de Esgotos da bacia do Ribeirão do Onça e a Estação de Tratamento de Esgotos Pilar e Olhos d'Água. Ainda existe uma Estação de Tratamento de Águas Fluviais: a Estação de Tratamento de Águas Fluviais dos córregos Ressaca e

Sarandi (ETAF). A localização das estações de tratamento de efluentes é apresentada na Figura 2.

**Figura 2:** Localização das Estações de Tratamento de Esgoto e de Águas Fluviais de Belo Horizonte.



Fonte: PMBH, 2011.

## **ANÁLISE DAS ÁGUAS DE CAPTAÇÃO – SISTEMA RIO MANSO**

Os pontos de monitoramento da qualidade da água do Sistema Rio Manso avaliados neste trabalho estão localizados à montante da captação, sendo identificados na Tabela 2.

**Tabela 2:** Identificação dos Pontos de Monitoramento do Sistema Rio Manso

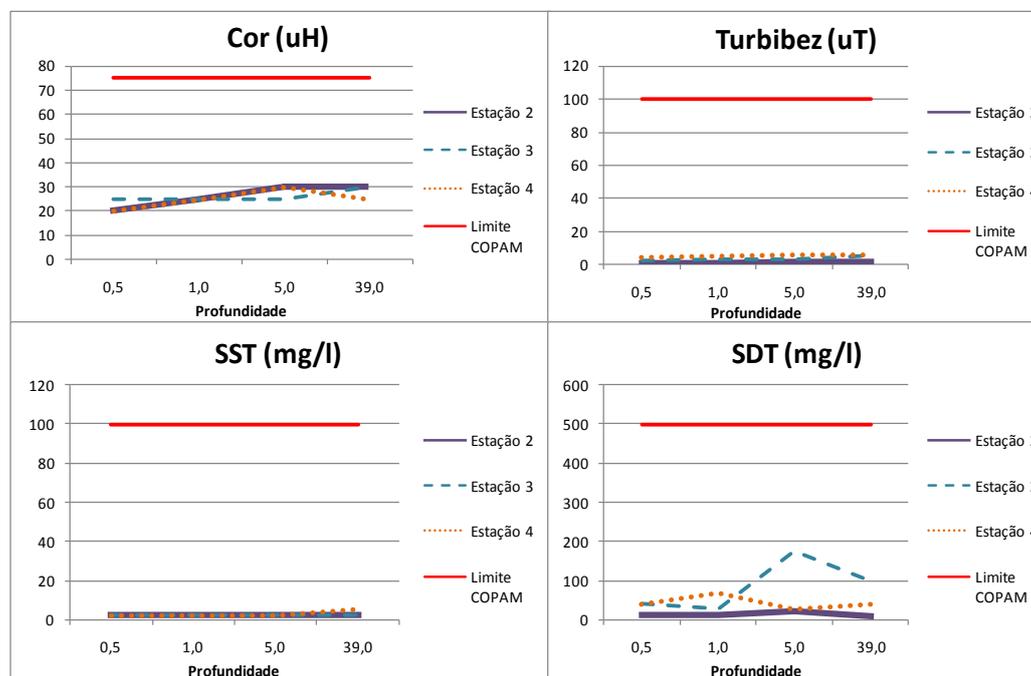
<b>Identificação dos Pontos de Monitoramento Sistema Rio Manso</b>		
<b>Estação</b>	<b>Localização</b>	<b>Coordenadas</b>
E1	Estação Principal 200m à montante da Torre de Tomada	23K 0577281 UTM 7772175
E2	Estação encontro dos braços do rio Veloso e rio Manso	23K 0576366 UTM 7770127
E3	Estação braço do Rio Veloso	23K 0573285 UTM 7768539
E4	Estação braço do Rio Manso	23K 0575011 UTM 7763437

Fonte: COPASA. Relatório de Impacto Ambiental. Sistema Produtor de Água da RMBH, 2014.

As campanhas de monitoramento da qualidade da água na estação E1 ocorreram nos meses de março, abril, junho, outubro e dezembro de 2012. Nas estações E2, E3 e E4, as campanhas de monitoramento da qualidade da água ocorreram em 23 de outubro de 2012. Esses dados foram utilizados para verificar o atendimento à DN COPAM/CERH-MG nº 01/2008, no que se refere aos Valores Máximos Permitidos (VMPs) para os parâmetros de águas doces classe 2.

A Figura 3 apresenta os resultados referentes aos parâmetros de cor, turbidez, sólidos em suspensão total (SST) e sólidos dissolvidos totais (SDT) das estações E2, E3 e E4. Verifica-se que todos os parâmetros atendem aos VMPs estabelecidos na DN COPAM/CERH-MG nº 01/2008.

**Figura 3:** Resultados dos parâmetros cor, turbidez, sólidos em suspensão total (SST) e sólidos dissolvidos totais (SDT) das estações E2, E3 e E4.



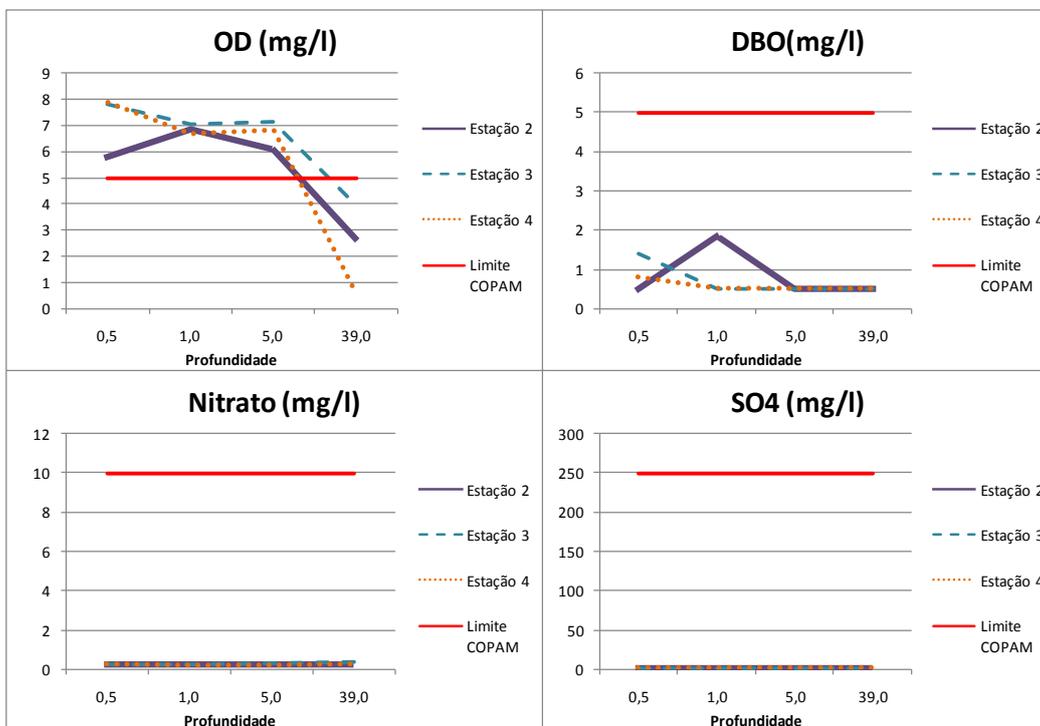
Fonte: Dados COPASA. Relatório de Impacto Ambiental. Sistema Produtor de Água da RMBH, 2014.

Pode-se observar através dos gráficos da Figura 3 que todos os parâmetros avaliados atendem aos limites estabelecidos na DN COPAM/CERH-MG nº 01/2008.

A Figura 4 apresenta os resultados referentes aos parâmetros de oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrato e sulfato ( $\text{SO}_4$ ) das estações E2, E3 e E4.

## Avaliação da perspectiva do uso de efluentes sanitários para fins de abastecimento

**Figura 4:** Resultados dos parâmetros de oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrato e sulfato (SO<sub>4</sub>) das estações E2, E3 e E4.



Fonte: Dados COPASA. Relatório de Impacto Ambiental. Sistema Produtor de Água da RMBH, 2014.

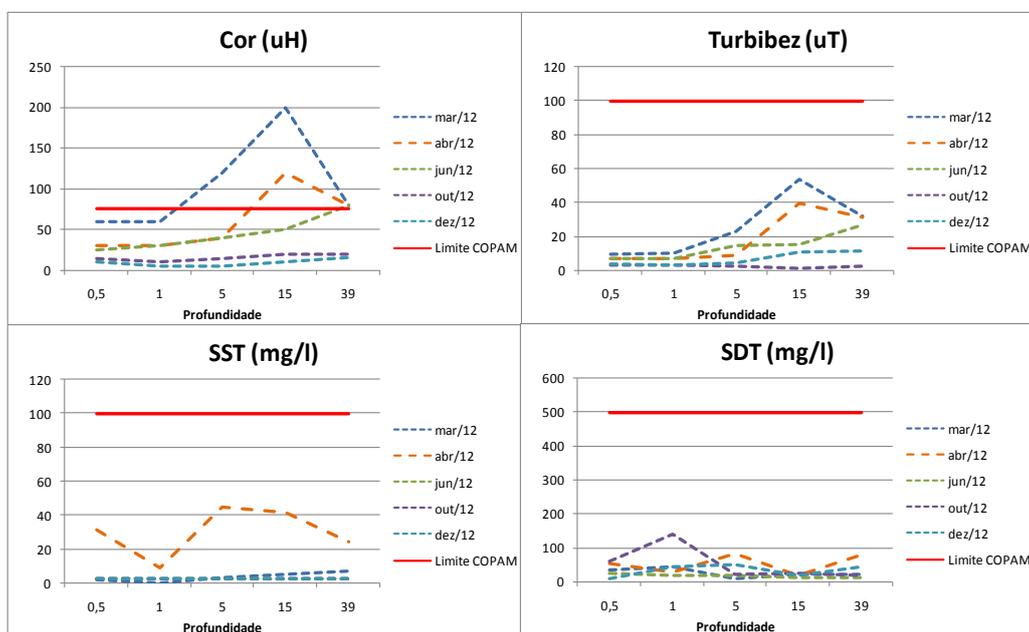
Pode-se observar através dos gráficos da Figura 4 que os parâmetros avaliados atendem aos limites estabelecidos na DN COPAM/CERH-MG nº 01/2008, exceto o parâmetro oxigênio dissolvido (OD).

Esse parâmetro é importante para ilustrar as condições de poluição das águas por matéria orgânica, o que pode causar impactos ambientais como, por exemplo, a eutrofização. Conforme a DN COPAM/CERH-MG nº 01/2008, o VPM para este parâmetro é 5 mg/L em corpos de água doce classe 2.

Os resultados apresentados evidenciam a diminuição da concentração de oxigênio dissolvido ao longo do aumento de profundidade. É importante destacar que o resultado para o parâmetro OD em todas as estações da Figura 5 se encontra dentro do VPM (5 mg/L) nas camadas superficiais, ou seja, acima de 5,0 m de profundidade.

A Figura 5 apresenta os gráficos referentes aos parâmetros cor, turbidez, sólidos em suspensão total (SST) e sólidos dissolvidos totais (SDT) da estação E1.

Figura 5: Resultados dos parâmetros cor, turbidez, sólidos em suspensão total (SST) e sólidos dissolvidos totais (SDT) da estação E1.

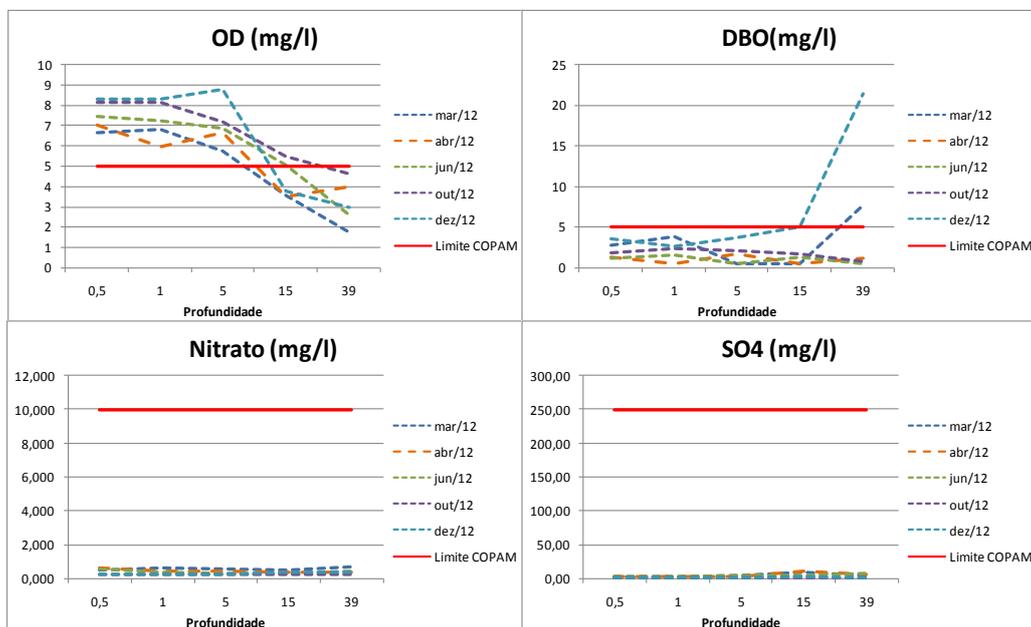


Fonte: Dados COPASA. Relatório de Impacto Ambiental. Sistema Produtor de Água da RMBH, 2014.

Pode-se observar através dos gráficos da Figura 5 que todos os parâmetros ilustrados atendem aos VMPs estabelecidos na DN COPAM/CERH-MG nº 01/2008, exceto o parâmetro de cor, que nas campanhas de março e abril de 2012 atingiram picos de 200 e 120 uH, respectivamente, ficando acima do padrão estabelecido de 75 uH.

A Figura 6 apresenta os gráficos referentes aos parâmetros oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrato e sulfato ( $\text{SO}_4$ ) da estação E1.

**Figura 6:** Resultados dos parâmetros oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrato e sulfato (SO<sub>4</sub>) da estação E1.



Fonte: Dados COPASA. Relatório de Impacto Ambiental. Sistema Produtor de Água da RMBH, 2014.

Pode-se observar através dos gráficos da Figura 6 que os valores de nitrato e sulfato atendem aos limites estabelecidos na DN COPAM/CERH-MG nº 01/2008. Já os valores de oxigênio dissolvido (OD) e DBO ultrapassaram os VMPs.

Como na análise do parâmetro oxigênio dissolvido das estações E2, E3 e E4, na estação E1 os resultados evidenciam a diminuição da concentração de oxigênio dissolvido ao longo do aumento de profundidade, dentro do VMP (5 mg/L) nas camadas superficiais. Os valores de DBO que ultrapassaram os limites estabelecidos ocorreram nas campanhas de março e dezembro de 2012 e tiveram picos de 7,64 e 21,5 mg/l, respectivamente.

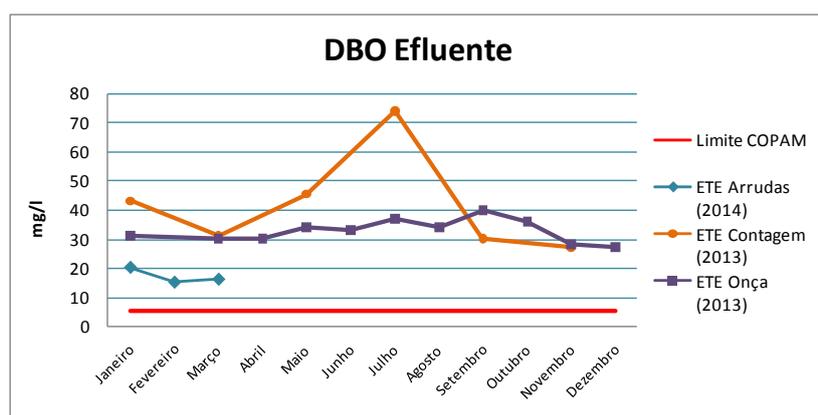
Apesar dos parâmetros dos pontos analisados do Sistema Rio Manso estarem de acordo com os VMPs, os mesmos não se fazem suficientes para que se possa afirmar que a qualidade da água o Sistema Rio Manso está integralmente de acordo com os VMPs para águas classe 2. Seria necessária, a análise dos demais parâmetros contidos na DN COPAM/CERH-MG nº 01/2008, para que se pudesse realizar uma análise completa e conclusiva da qualidade das águas.

## ANÁLISE DAS ÁGUAS RESIDUAIS – ETES ARRUDAS, ONÇA E NOVA CONTAGEM

Em relação às águas residuais, foram utilizados dados das ETES Arrudas, Nova Contagem e Onça para avaliação da qualidade do efluente tratado, a nível secundário, e comparação com os parâmetros de águas doces classe 2. Esta comparação foi realizada a fim de verificar se os parâmetros de saída das águas residuais das ETES seriam condizentes para o aproveitamento das mesmas nos processos em ETAs.

A Figura 7 apresenta o gráfico referente a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) das ETES Arrudas, Nova Contagem e Onça.

**Figura 7:** Resultados da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) referentes às ETES Arrudas, Nova contagem e Onça.



Fonte: Dados COPASA. Relatório de Monitoramento da Licença de Operação da ETE Arrudas (2014), Relatório de Monitoramento da ETE Nova Contagem e do Corpo Receptor dos Efluentes Tratados (2012) e Relatório de Desempenho Ambiental ETE Onça (2012).

Pode-se observar a partir da análise da Figura 7 que os valores de DBO para as três ETES analisadas estão acima do VMP, referente a águas doces classe 2, estabelecido pela DN COPAM/CERH-MG nº 01/2008. Em média, esses valores são 6,6 vezes superiores ao limite estabelecido, que é de 5 mg/l, para tal classe. Entretanto, é importante lembrar que esses valores atendem ao limite estabelecido na mesma DN, no que refere ao lançamento de efluentes em corpos de água, que é de 60 mg/l. Em apenas uma situação, julho de 2014, ocorreu um valor superior (74 mg/l) ao VMP estabelecido para o lançamento de efluentes, na ETE Nova Contagem. A Tabela 3 apresenta os valores referentes ao

*Avaliação da perspectiva do uso de efluentes sanitários para fins de abastecimento*

parâmetro *Escherichia coli*, registrados nas ETEs Arrudas e Nova Contagem, em 2013 e 2014, respectivamente.

**Tabela 3:** Resultados do parâmetro *Escherichia coli* referentes às ETEs Arrudas e Nova Contagem.

<b>Escherichia coli Efluente Final</b>		
<b>Mês</b>	<b>ETE Contagem (2013)</b>	<b>ETE Arrudas (2014)</b>
Janeiro	776.000,00	29.000,00
Fevereiro	-	285.000,00
Março	4.400.000,00	326.000,00
Abril	-	-
Maiο	2.000.000,00	-
Junho	-	-
Julho	24.000.000,00	-
Agosto	-	-
Setembro	5.800.000,00	-
Outubro	-	-
Novembro	330.000,00	-
Dezembro	-	-

**Limite COPAM (águas classe 2): 1.000 NMP**

Fonte: Modificado de COPASA. Relatório de Monitoramento da Licença de Operação da ETE Arrudas (2014) e Relatório de Monitoramento da ETE Nova Contagem e do Corpo Receptor dos Efluentes Tratados (2012).

É possível observar a partir da Tabela 3, que os valores de *Escherichia coli* são muito superiores ao VMP, referente a águas doces classe 2, estabelecido pela DN COPAM/CERH-MG nº 01/2008.

As Tabelas 4 e 5 apresentam os valores referentes ao parâmetro pH e sólidos sedimentáveis, registrados nas ETEs Arrudas e Nova Contagem, em 2013 e 2014, respectivamente.

**Tabela 4:** Resultados do parâmetro pH referentes às ETEs Arrudas e Nova Contagem.

pH Efluente		
Mês	ETE Contagem (2013)	ETE Arrudas (2014)
Janeiro	7,3	7,04
Fevereiro	-	6,93
Março	7,7	7,35
Abril	-	-
Mai	7,7	-
Junho	-	-
Julho	7,4	-
Agosto	-	-
Setembro	7,3	-
Outubro	-	-
Novembro	7,6	-
Dezembro	-	-
<b>Limite COPAM (águas classe 2): entre 6 e 9</b>		

Fonte: Modificado de COPASA. Relatório de Monitoramento da Licença de Operação da ETE Arrudas (2014) e Relatório de Monitoramento da ETE Nova Contagem e do Corpo Receptor dos Efluentes Tratados (2012).

**Tabela 5:** Resultados do parâmetro sólidos sedimentáveis referentes às ETEs Arrudas e Nova Contagem.

Sólidos Sedimentáveis Efluente		
Mês	ETE Contagem (2013)	ETE Arrudas (2014)
Janeiro	0,1	0,1
Fevereiro	-	0,1
Março	0,1	0,4
Abril	-	-
Mai	0,2	-
Junho	-	-
Julho	0,4	-
Agosto	-	-
Setembro	0,1	-
Outubro	-	-
Novembro	0	-
Dezembro	-	-
<b>Limite COPAM (águas classe 2): 500 mg/l</b>		

Fonte: Modificado de COPASA. Relatório de Monitoramento da Licença de Operação da ETE Arrudas (2014) e Relatório de Monitoramento da ETE Nova Contagem e do Corpo Receptor dos Efluentes Tratados (2012).

É possível observar a partir das Tabelas 4 e 5, que os valores do efluente para o parâmetro pH e sólidos sedimentáveis se encontram dentro da faixa estabelecida pela DN, para águas doces classe 2.

## *Avaliação da perspectiva do uso de efluentes sanitários para fins de abastecimento*

Tendo em vista os resultados obtidos a partir das análises anteriores, realizou-se a compilação dos dados referentes às águas residuais das ETEs analisadas e, gerou-se uma tabela com a média dos valores obtidos nas 3 campanhas realizadas na ETE Arrudas, nas 6 campanhas realizadas na ETE Onça e nas 12 campanhas realizadas na ETE Nova Contagem (para as quatro profundidades analisadas), realizando a comparação direta com os VMPs da DN COPAM/CERH-MG nº 01/2008. A Tabela 6 apresenta os resultados das médias obtidas nas campanhas realizadas nas ETEs para os parâmetros de DBO, pH, sólidos sedimentáveis e *Escherichia coli*.

**Tabela 6:** Média dos valores de DBO, pH, sólidos sedimentáveis e *Escherichia coli* para as 3 ETEs analisadas em comparação com os VMPs da DN COPAM/CERH-MG nº 01/2008 (águas classe 2).

Parâmetro	ETE Arrudas	ETE Nova Contagem	ETE Onça	DN COPAM/CERH-MG nº 01/2008 (Classe 2)
DBO (mg/l)	17	41,72	32,73	5
pH	7,11	7,5	ND	6 - 9
Sólidos Sedimentáveis (mg/l)	0,2	0,15	ND	100
<i>Escherichia coli</i> (NMP)	213.333	62.000.000	ND	1000/100 ml

Pode-se observar, a partir da Tabela 6, que os valores das águas residuais das 3 ETEs analisadas estão muito acima dos valores máximos para águas classe 2, definidos na Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01 de 2008. Vale ressaltar que os corpos d'água enquadrados como classe 2 possuem, como um de seus fins, o abastecimento humano, após tratamento convencional.

Além dos valores das águas residuais das 3 ETEs analisadas estarem acima dos VMPs estabelecidos pela DN COPAM/CERH-MG nº 01 de 2008, estes ainda estão muito destoantes dos valores analisados para os pontos de monitoramento da qualidade da água do Sistema Rio Manso, que são utilizados para abastecimento da RMBH.

Tendo em vista esses resultados, caso as águas residuais venham a ser adotadas para compor um processo de reuso, é necessária a implantação de um sistema de tratamento terciário para que essas águas consigam atender os VMPs estabelecidos por lei e, posteriormente, serem inseridas nos processos das ETAs.

## **TRATAMENTO TERCIÁRIO DAS ÁGUAS RESIDUAIS PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO**

O cenário da falta de água no Brasil expõe uma necessidade urgente de se desenvolver novas tecnologias e métodos para a captação e tratamento dos recursos hídricos (REVISTA ECOLÓGICO, 2014).

Conforme abordado no presente trabalho, foi verificado que, apenas com o tratamento secundário de efluentes não seria possível submeter às águas residuais das ETEs Arrudas, Onça e Nova Contagem a um tratamento em processos de ETAs.

Dessa forma, a Tabela 7 mostra a estimativa da eficiência esperada nos diversos níveis de tratamento incorporados numa ETE (tratamento preliminar, primário, secundário de terciário), como as analisadas neste trabalho.

**Tabela 7:** Eficiência de tratamento nos diferentes níveis

<b>Tipo de Tratamento</b>	<b>Matéria orgânica (% remoção de DBO)</b>	<b>Sólidos em suspensão (% remoção SS)</b>	<b>Nutrientes (%remoção nutrientes)</b>	<b>Bactérias (% remoção)</b>
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 99,999

Fonte: São Paulo. Secretaria do Meio Ambiente. Ciência e Tecnologia à Serviço do Meio Ambiente. CETESB, 1988 Apud Oliveira, A, S. 2006.

Pode-se verificar, a partir da Tabela 7 que o tratamento terciário de efluentes é capaz de remover até 99% da DBO, dos sólidos em suspensão e até 99,999% das bactérias.

Segundo Vargas (2008), as tecnologias de tratamento terciário de efluentes são muito utilizadas para fins de reuso de águas. Os tratamentos terciários têm como objetivo remover poluentes tóxicos ou não biodegradáveis, resultantes dos processos anteriores aos quais os efluentes foram submetidos. O autor cita como principais tecnologias de tratamento terciário de efluentes, a filtração, operações com membranas e processos oxidativos avançados.

## *Avaliação da perspectiva do uso de efluentes sanitários para fins de abastecimento*

Os Processos Oxidativos Avançados são um dos grupos de tecnologias que vem sendo extensamente explorado na atualidade. Esses processos de oxidação (POA) ocorrem com radicais hidroxila gerados para atuar como agentes oxidantes químicos, e devido à alta reatividade desses radicais, podem reagir com uma variedade de compostos orgânicos (PROSAB, 2001).

*“POA são processos de oxidação que geram radicais hidroxila ( $\bullet\text{OH}$ ), os quais são espécies altamente oxidantes, em quantidade suficiente para provocar a mineralização da matéria orgânica à dióxido de carbono, água e íons inorgânicos. Esses radicais podem ser formados por vários processos que podem ser classificados em sistemas homogêneos ou heterogêneos, conforme a ausência ou a presença de catalisadores na forma sólida, além de poderem estar ou não sob irradiação (JARDIM & TEIXEIRA, 2004).”*

Segundo Queiroz *et al* (2012), os radicais hidroxila podem ser gerados a partir de reações envolvendo oxidantes fortes, semicondutores e radiação ultravioleta. O dióxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ) é pelo autor, o fotocatalisador mais ativo e o que mais tem sido utilizado na degradação de compostos orgânicos presentes em águas e efluentes. Além da degradação de compostos orgânicos, o  $\text{TiO}_2$  tem sido empregado nos processos que objetivam a degradação de cianotoxinas, a inativação de bactérias, dentre outros. O dióxido de titânio é uma substância de baixo custo, atóxica, insolúvel em água, foto-estável, quimicamente estável em uma ampla faixa de pH, possível de imobilização sobre sólidos e sobre a ativação por luz solar.

Os POA são uma tecnologia limpa, geram uma quantidade mínima de resíduos, o que evita a produção de mais efluente; e não são seletivos, podendo degradar vários compostos, independentemente da existência de outros compostos no efluente. Esses processos podem ser usados ainda para destruir compostos orgânicos em fase aquosa, gasosa ou adsorvidos numa matriz sólida (QUEIROZ *et al*, 2012).

Tendo em vista que, as águas residuais das ETEs devem passar por um tratamento terciário para que possam ser incorporadas em um processo para tratamento em ETA e assim, ser direcionada para o reuso, os POAs são potenciais tipos de tratamento terciário para melhorar a qualidade dessas águas. Caso fosse implantado uma etapa de tratamento

terciário nas ETEs analisadas e considerando um cenário de mais alta eficiência deste tratamento, os valores dos parâmetros de DBO, sólidos suspensos e bactérias (ex. *Escherichia coli*), do efluente tratado seguiriam os valores da Tabela 8.

**Tabela 8:** Valores dos parâmetros no tratamento terciário das ETEs analisadas, considerando o cenário de eficiência de 99% para DBO, 99% para sólidos suspensos e 99,999 % bactérias.

Parâmetro	ETE Arrudas	ETE Nova Contagem	ETE Onça	DN COPAM/CERH-MG nº 01/2008 (Classe 2)
DBO (mg/l)	0,17	0,4172	0,3273	5
pH	7,11	7,5	ND	6 - 9
Sólidos Sedimentáveis (mg/l)	0,002	0,0015	ND	100
<i>Escherichia coli</i> (NMP)	2	620	ND	1000/100 ml

Pode-se inferir através da Tabela 8 que o tratamento terciário conseguiria atender aos VMPs, reduzindo de maneira considerável os parâmetros de DBO, pH, sólidos suspensos sedimentáveis e bactérias. Entretanto, assim como para os pontos analisados do Sistema Rio Manso, os parâmetros analisados das ETEs em questão não se fazem suficientes para que se possa afirmar que a qualidade da água estaria de acordo com VMPs para águas classe 2 e assim, pudessem ser redirecionadas para tratamento convencional em ETAs. Seria necessário, o diagnóstico dos demais parâmetros contidos na DN COPAM/CERH-MG nº 01/2008, como por exemplo, os metais, para que se pudesse realizar uma análise completa e conclusiva.

## CONCLUSÕES

As águas residuais têm um grande potencial de utilização para fins de abastecimento público, tendo em vista que, o tratamento terciário de efluentes sanitários pode alcançar a eficiência requerida para que a qualidade dessas águas alcance padrões mais elevados e, assim, possam ser reutilizadas, após tratamento convencional de águas (em ETAs), no abastecimento da população.

Os parâmetros das águas de captação analisados, referentes ao Sistema Rio Manso, sugerem que as águas captadas são do tipo “águas doces - classe 2”. Entretanto, para

## *Avaliação da perspectiva do uso de efluentes sanitários para fins de abastecimento*

que a análise possa ser conclusiva, os demais parâmetros estipulados pela DN COPAM/CERH-MG nº 01/2008 devem ser analisados.

Para os parâmetros analisados das ETEs Arrudas, Onça e Nova Contagem, verificou-se que estes estão muito acima dos VMPs para as águas doces - classe 2, entretanto, através da revisão bibliográfica, constatou-se que, com o tratamento terciário desses efluentes, pode-se atingir a eficiência desejada para que as águas residuais possam ser enquadradas como classe II e assim utilizadas em processos convencionais de ETAs.

A utilização do processo de tratamento terciário de águas residuais possui potenciais perspectivas de eficiência de remoção de bactérias, como a *Escherichia coli*, redução de DBO e de sólidos suspensos. Os POAs compreendem um dos tipos de tecnologias promissoras para o tratamento terciário de efluentes, com a perspectiva de melhorar a qualidade dessas águas e colocar em prática, no Brasil, uma técnica já utilizada, com eficiência e sucesso, em muitos países: o reuso de águas residuais. Os grandes obstáculos a serem enfrentados são o aprimoramento das tecnologias para que as águas residuais possam alcançar os padrões estabelecidos para águas potáveis e o preconceito da população em relação à origem da água de consumo.

Como citado anteriormente, ainda não existe uma legislação que disponha sobre a utilização de águas residuais e os parâmetros necessários para seus diversos fins. É importante ressaltar a importância de uma base legislativa para incentivar o reuso dessas águas e regulamentar níveis e parâmetros que caracterizem a qualidade de tais.

Por fim, a avaliação da perspectiva do uso de efluentes sanitários para fins de abastecimento obteve resultados positivos e promissores, que não dispensam futuras pesquisas complementares para uma análise completa dos parâmetros das águas residuais, visando o processo de melhoria e aprimoramento contínuo dos sistemas de tratamento de efluentes, para que essas águas possam ser reutilizadas, tendo em vista, a potabilidade.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ABES. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. 6 ° Seminário sobre Tecnologias Limpas Porto Alegre, 10 de Junho de 2015. Avesso em: < [http://www.abes-rs.org.br/novo/\\_materiais/materiais\\_nsn2kgyfktu7.pdf](http://www.abes-rs.org.br/novo/_materiais/materiais_nsn2kgyfktu7.pdf)>. Acesso em: 13 out. 2015.

BRITO, L. T. L.; SILVA, A. S.; PORTO, E. L. Disponibilidade de água e a Gestão dos Recursos Hídricos. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, cap. 1, p. 12-32, 2007. Disponível em: < <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPATSA/36533/1/OPB1514.pdf>>. Acesso em: 21 dez. 2014.

COPASA. Companhia de Saneamento de Minas Gerais. Relatório de Impacto Ambiental. Sistema Produtor de Água da RMBH, 2014.

COPASA. Companhia de Saneamento de Minas Gerais. Relatório de Monitoramento da Licença de Operação da ETE Arrudas, 2014.

COPASA. Companhia de Saneamento de Minas Gerais. Relatório de Monitoramento da ETE Nova Contagem e do Corpo Receptor dos Efluentes Tratado, 2012.

COPASA. Companhia de Saneamento de Minas Gerais. Relatório de Desempenho Ambiental ETE Onça, 2012.

HESPANHOL, I. Potencial de Reuso de Água no Brasil Agricultura, Industria, Municípios, Recarga de Aquíferos. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol, 7, n.4. USP – São Paulo. Out/Dez 2002. Disponível em: < [https://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/2371239doaaaf41e014681d6d437c79e7\\_f553b090dfd516bcc00c055844c42f21.pdf](https://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/2371239doaaaf41e014681d6d437c79e7_f553b090dfd516bcc00c055844c42f21.pdf)>. Acesso em: 14 out. 2015.

HESPANHOL, I. Potencial de Reuso de Água no Brasil Agricultura, Industria, Municípios, Recarga de Aquíferos. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol, 7, n.4. USP – São Paulo. Out/Dez 2002 *apud* HESPANHOL, I. 1997. Disponível em: < [https://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/2371239doaaaf41e014681d6d437c79e7\\_f553b090dfd516bcc00c055844c42f21.pdf](https://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/2371239doaaaf41e014681d6d437c79e7_f553b090dfd516bcc00c055844c42f21.pdf)>. Acesso em: 14 out. 2015.

*Avaliação da perspectiva do uso de efluentes sanitários para fins de abastecimento*

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Contas Regionais do Brasil, 2012. Ministério de Planejamento, Orçamento e Gestão. Diretoria de Pesquisas. Coordenação de Contas Nacionais. Contas Nacionais, num. 42. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <[ftp://ftp.ibge.gov.br/Contas\\_Regionais/2012/pdf/contas\\_regionais\\_2012.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Contas_Regionais/2012/pdf/contas_regionais_2012.pdf)>. Acesso em: 08 jan. 2015.

JARDIM, W. F. & TEIXEIRA, C. P. A. B. Processos Oxidativos Avançados. Conceitos Teóricos. Caderno Temático. Volume 03. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Instituto de Química – IQ. Laboratório de Química Ambiental – LQA. Campinas. Agosto de 2004. Disponível em: <<http://lqa.iqm.unicamp.br/cadernos/caderno3.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2015.

LEITE, A. M. F. Reuso de Água na Gestão Integrada de Recursos Hídricos. Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Planejamento e Gestão Ambiental da Universidade Católica de Brasília. Brasília, 2003. Disponível em: <[http://www.bdtd.ucb.br/tede/tde\\_busca/arquivo.php?codArquivo=74](http://www.bdtd.ucb.br/tede/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=74)>. Acesso em: 19 out. 2015.

LOBEL, F; MAIA, D; SOARES M; LEITE, M. Seca no Sudeste atinge 133 cidades e já afeta economia. Folha de São Paulo. Nov. 2014. Disponível em:<<http://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2014/11/1541915-seca-no-sudeste-atinge-133-cidades-e-ja-afeta-economia.shtml>>. Acesso em: 13 out. 2015.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa COPAM/CERH nº 01, de 05 de maio de 2008. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8151>>. Acesso em: 13 out. 2015.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa COPAM Nº 14/1995. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=112>>. Acesso em: 13 out. 2015.

PINTO, A. A. M. Estudo da Captação, Uso Industrial e Readequação da Água no Processamento Mineral. Curso de Especialização em Engenharia de Recursos Minerais – CEERMIN. UFMG. Julho de 2011. Disponível em: <<http://www.ceermin.demin.ufmg.br/monografias/33.PDF>>. Acesso em: 14 out. 2015.

PMBH. PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE. Plano Municipal de Saneamento de Belo Horizonte - 2012/2015. Volume I/II. Janeiro de 2013. Disponível em: <<https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CCEQFj>>

ABahUKEwj4qt3-  
qcLIAhUGHpAKHewbAZU&url=http%3A%2F%2Fportalpbh.pbh.gov.br%2Fpbh%2Fecp%2Ffile  
s.do%3Fevento%3Ddownload%26urlArqPlc%3Dvolumei\_texto\_2012.pdf&usg=AFQjCNFDGv  
KhECb5nnnfy1\_7JHzTJF91cQ&sig2=ugf44P-  
dEXfKb45RwdjaqA&bvm=bv.104819420,d.Y2l&cad=rja>. Acesso em: 14 out. 2015.

PROSAB. Métodos Alternativos de Desinfecção da Água. 2001. Rede Cooperativa de Pesquisas. São Carlos, SP, 2001. Disponível em: < <http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/LuizDaniel.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2015.

QUEIROZ, M. E.; Nelcy D. S. Mohallem; FRANCISCO, G. A. F. Síntese, caracterização e aplicação de gama-alumina nanoparticulada para remoção de cromo (VI). 2012. (Apresentação de Trabalho/Congresso). Disponível em: <<http://www.sbpnet.org.br/livro/64ra/resumos/resumos/3294.htm>>.

REVISTA ECOLÓGICO. Evento discute o reaproveitamento de efluentes para produção de água potável. Notícias. 30 set. 2014. Disponível em: <<http://www.revistaecologico.com.br/noticia.php?id=2609>>. Acesso em: 08 de jan. 2015.  
SANEAR. Revista do Saneamento Básico. Crise Hídrica. Ano VIII, nº 26. Março, 2015. Pg. 14 a 16. Disponível em: <[http://www.aesbe.org.br/up/files/Sanear\\_Edi%C3%A7%C3%A3o\\_N%C2%BA\\_26.pdf](http://www.aesbe.org.br/up/files/Sanear_Edi%C3%A7%C3%A3o_N%C2%BA_26.pdf)>. Acesso em: 16 de set. 2015.

SANTOS, A. D. Estudo das Possibilidades de Reciclagem dos Resíduos de Tratamento de Esgoto da Região Metropolitana de São Paulo. USP. São Paulo, 2003. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-30012004-134621/publico/Dissertacao.pdf>>. Acesso em: 20 dez. 2014.

SÃO PAULO. SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE. CIÊNCIA E TECNOLOGIA A SERVIÇO DO MEIO AMBIENTE. CETESB. Tecnologias para tratamento de esgotos sanitários, 1988 *apud* OLIVEIRA, A, S. 2006. Disponível em: <[\*Caderno Meio Ambiente e Sustentabilidade - v.9 n.5 - 2016\*](https://www.google.com.br/search?q=TRATAMENTO+DE+ESGOTO+PELO+SISTEMA+DE+L+ODOS+ATIVADOS+NO+MUNIC%C3%8DPIO+DE+RIBEIR%C3%83O+PRETO%2C+SP%3A+Avalia%C3%A7%C3%A3o+da+remo%C3%A7%C3%A3o+de+metais+pesados&rlz=1C1OPRA_enCA576CA576&oq=TRATAMENTO+DE+ESGOTO+PELO+SISTEMA+DE+L+ODOS+ATIVADOS+NO+MUNIC%C3%8DPIO+DE+RIBEIR%C3%83O+PRETO%2C+SP%3A+Avalia%C3%A7%C3%A3o+da+remo%C3%A7%C3%A3o+de+metais+pesados&aqs=chrome..69j57.1045j0j4&sourceid=chrome&es_sm=122&ie=UTF-8#>. Acesso em: 13 out. 2015.</p></div><div data-bbox=)

*Avaliação da perspectiva do uso de efluentes sanitários para fins de abastecimento*

UEHARA, T. M. Gestão da Água no Desenvolvimento Industrial - Ferro-Níquel. Universidade Anhembi Morumbi. São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://engenharia.anhembi.br/tcc-08/civil-44.pdf>>. Acesso em: 08 jan. 2015.

VARGAS, G. D. L. P. Tratamento Terciário de Esgoto Sanitário através de Processos Oxidativos Avançados para a Obtenção de Águas de Reuso. 2008. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/91782>>. Acesso em: 14 out. 2015.