

REÚSO DE EFLUENTES DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO NO BENEFICIAMENTO DE CONCRETO

SEWAGE TREATMENT PLANT EFFLUENT REUSE IN CONCRETE MIXING

LUIS CARLOS SOARES DA SILVA JUNIOR, M.Sc. | UFRJ

MARCELO OBRACZKA, Dr. | UERJ

RESUMO

O presente artigo visa contribuir para a implementação do reúso de águas servidas e conseqüentemente para uma gestão mais sustentável dos recursos hídricos em áreas urbanas. Para isso são apresentados dados de pesquisas acadêmicas e aplicações práticas voltadas para o reaproveitamento de resíduos e efluentes em usos não potáveis, no caso na produção de concreto. São ainda compilados e comparados dados de parâmetros de qualidade requeridos por marcos normativos nacionais e internacionais, bem como as características recomendadas para o reúso de águas servidas como água de amassamento, utilizando como estudo de caso os efluentes da estação de tratamento de esgotos - ETE Alegria e as demandas de quatro centrais dosadoras de concreto - CDCs situadas no seu entorno. Constatou-se a conformidade dos efluentes tratados em relação dos parâmetros de qualidade avaliados bem como a disponibilidade de águas de reúso para atendimento com folgas das demandas das CDCs abrangidas.

PALAVRAS CHAVE: Esgoto; reúso; concreto

ABSTRACT

This article aims to contribute to the implementation of wastewater reuse and consequently to a more sustainable water resources management in urban areas. For this purpose, data from academic research and practical applications for the reuse of wastewater treatment effluents in non-potable uses, in the case of concrete production, are presented. Quality parameters data required by national and international regulatory frameworks are also compiled and compared, as well as the recommended characteristics for the reuse of wastewater as kneading water, using as a case study the effluents from the wastewater treatment plant Alegria and the demands of four concrete batchers plants (CDCs) in its surroundings. It was verified the compliance of treated effluents regarding the evaluated quality parameters as well as the availability of reuse water to meet the requirements of the CDCs covered.

KEY WORDS: Wastewater; reuse; concrete mixing



1. INTRODUÇÃO

O crescente consumo de recursos naturais devido ao aumento das demandas da população do planeta vem alterando as dinâmicas da natureza. Tais alterações trazem danos ao estilo de vida da sociedade atual, trazendo a luz discussões sobre modelos de desenvolvimento mais sustentáveis (VEZZOLI; KOHTALA; SRINIVASA, 2018).

Veja-Azmar et al. (2013) sustentam que o modelo de sustentabilidade das cidades tornou-se uma consideração estratégica para o desenvolvimento da sociedade moderna, sendo que um importante aspecto desse conceito remete a influência da intensidade da ocupação e das atividades humanas no consumo de recursos naturais e a geração de resíduos a ele associado.

Segundo Teixeira e César (2005), com base em modelos mais sustentáveis como o de Ecologia Industrial, a preservação do meio ambiente depende da menor interferência possível, retirando o mínimo possível de recursos naturais e repondo o mínimo ou mesmo nenhum resíduo, devendo-se elevar ao máximo das possibilidades, o uso dos recursos materiais e energéticos disponíveis dentro dos ciclos de produção e consumo. O que é considerado resíduo em um processo produtivo deve ser aproveitado como insumo em outro processo, formando, assim, um circuito fechado de aproveitamento de insumos e fazendo com que a quantidade de matéria que transita na biosfera se mantenha constante (TEIXEIRA, 2005).

Além da correta destinação de resíduos, o reaproveitamento proporciona uma redução no ritmo atual de extração de recursos naturais, se apresentando como uma importante estratégia de crescimento mais sustentável, ao reduzir tanto os custos como eventuais danos pela disposição final inadequada desses resíduos.

Diversos materiais que outrora eram considerados resíduos de processos produtivos vêm sendo reaproveitados e utilizados como insumos na fabricação de outros produtos, como no caso da produção e beneficiamento do concreto.

Di Domenico et al. (2018) analisaram a utilização de Resíduos da Construção e Demolição – RCD como agregado miúdo em concreto estrutural e atestaram sua viabilidade técnica. Santos, Araújo e Ayres (2019) sustentam que o reaproveitamento de RCD em pavimentações apresenta economia na obra, além de benefícios ao meio ambiente devido à correta destinação desses rejeitos.

Além de RCD, vários outros resíduos também são alvos de investigação para uso como agregado no concreto. Há aplicações de rejeitos da mineração, como a adição de minério de ferro itabirítico (FERREIRA et al., 2016); agrícolas, como bagaço de cana-de-açúcar (SAMPAIO;

SOUZA; GOUVEIA, 2014); industrial, como rejeito da indústria de papel, o metacaulim de alta reatividade (SOUZA et al., 2015).

Paralelamente à viabilidade técnica e econômica relatada, o emprego de tais rejeitos de processos produtivos proporcionou outros benefícios em relação ao uso de materiais convencionais. As principais características positivas mencionadas em estudos foram: aumento da resistência à compressão, diminuição do tempo de pega, redução da permeabilidade e acréscimo do módulo de elasticidade do concreto (ASADOLLAHFARDI et al., 2016a; DI DOMENICO et al., 2018; FERREIRA et al., 2016; SAMPAIO; SOUZA; GOUVEIA, 2014; SOUZA et al., 2015; TORRES; DANTAS, 2019).

Uma fonte pouco explorada de resíduos potencialmente valiosos para reaproveitamento é a indústria do saneamento, em especial as Estações de Tratamento de Esgoto – ETE.

Como exemplo, Silva, Poague e Nunes (2018) comprovaram a viabilidade econômica através de modelagem de fluxo de caixa do reaproveitamento da areia retida no tratamento preliminar da ETE Onça, MG para destinação à construção civil, após os devidos processos de lavagem, secagem, controle de odor e higienização. Filho, Costa e Filho (2019) também constataram a viabilidade do reaproveitamento do lodo de lagoas de estabilização para a dosagem de concreto de baixa resistência.

No caso específico da água, insumo cada vez mais escasso e custoso, sua substituição através do reaproveitamento de águas servidas vem sendo efetivada de maneira crescente para diversas tipologias de aplicação (GIORDANO, 2016).

Se referindo à fração líquida dos resíduos de ETEs, Giordano (2016) sustenta que as águas de reúso podem ser empregadas em diversas aplicações potáveis e não potáveis. Entre as não potáveis cita: lavanderias, caldeiras, torres de resfriamento, funcionamento de sistemas sanitários, irrigação de áreas verdes e campos de golfe, paisagismo, reúso para manutenção de cursos de água, aquicultura, recarga de aquíferos, lavagem de veículos, umectação de pilhas de minérios e vias de tráfego, combate a incêndios, além de diversos processos do setor corporativo, como indústrias de papel e têxtil.

Ghrai e Al-Mashaqbeh (2016) sugerem que os efluentes de tratamento secundário também são uma alternativa à água potável na indústria de concreto.

No caso da mistura do concreto, não é imprescindível o uso de água potável, pois as exigências e características requeridas para o amassamento do concreto são distintas dos parâmetros exigidos para águas

visando dessedentação e emprego doméstico (MEHTA; MONTEIRO, 2014; OBRACZKA et al., 2019; REDDY BABU; MADHUSUDANA REDDY; VENKATA RAMANA, 2018).

Essas e outras inúmeras experiências exitosas relatadas de reúso de efluentes domésticos tratados nas etapas de produção de concreto levantam naturalmente a hipótese da viabilidade técnica, econômica e normativa para emprego dessa tipologia de reúso industrial em um cenário mais próximo, no presente caso na realidade do município do RJ.

O presente trabalho visa contribuir para a implementação do reúso de águas servidas como uma alternativa sustentável de gestão de recursos hídricos no RJ. Como objetivos específicos almeja realizar uma compilação de parâmetros de qualidade requeridos pela legislação pertinente, bem como as características recomendadas para o reúso de águas servidas na indústria de beneficiamento do concreto e avaliar o impacto ambiental gerado pelo reúso. A pesquisa se baseia em experiências consolidadas através de estudos acadêmicos e de aplicações práticas.

Através de um estudo de caso, pretende-se validar tal aplicação realizando uma análise comparativa entre os requisitos e recomendações normativas e técnicas quanto à água de amassamento, quando comparados com os parâmetros disponíveis de controle e monitoramento de uma ETE (Alegria), a maior em operação no estado do RJ, situada no bairro do Caju e operada pela CEDAE.

Objetiva-se dessa forma contribuir para a construção de um arcabouço técnico e científico, que possa respaldar e fornecer subsídios a futuras utilizações de águas de reúso provenientes de estações de tratamento de esgotos na indústria de beneficiamento de concreto.

2. ÁGUAS DE REÚSO NO CONCRETO

Foram levantados diversos estudos acadêmicos nas principais bases científicas, notadamente, *Google Acadêmico*, *Scopus*, *Web of Science* e Portal de Periódicos CAPES. Buscou-se por dados referentes ao impacto de águas de reúso nas características do concreto, avaliando sua produção, tanto no Brasil como no exterior.

O nível de tratamento ao qual o efluente foi submetido é fundamental para a qualidade do concreto produzido. À medida que o nível de tratamento ou polimento do efluente aumenta, melhoram as características do concreto. (AL-GHUSAIN; TERRO, 2003).

Embora a água de reúso seja uma alternativa, é necessário adotar cautela quanto às questões normativas da água servida. Isso se deve ao potencial de dano a estruturas de concreto armado, em especial, por corrosão e ataque de sulfatos (AL-JABRI et al., 2011).

Em Centrais Dosadoras de Concreto – CDCs, o reúso de efluentes de ETEs pode se configurar como alternativa viável para as diversas demandas com emprego de água não potável, desde as operações de lavagem de pátios, equipamentos e caminhões até mesmo sua utilização como água de amassamento (ZAHNER FILHO, 2014).

Kucche, Jamkar e Sadgir (2015) concluem que, dentro de limites de tolerância aceitáveis, é possível usar água não potável para dosagem de concreto.

Tsimas e Zervaki (2011), reforçados por Torres e Dantas (2019), afirmam inclusive que o reúso de efluentes provenientes de estações de tratamento de esgoto na confecção de concreto proporcionou maior resistência à compressão, potencialmente devido à presença de sólidos suspensos que podem melhorar o fator de empacotamento do concreto.

Asadollahfardi et al. (2016) indicam que o uso de efluente doméstico tratado antes da cloração não afeta substancialmente as propriedades do concreto, além de satisfazer normas americanas para produção e cura.

Entre outros aspectos positivos que encorajam essa prática e tipologia de reúso esses trabalhos relatam resultados favoráveis em termos de trabalhabilidade e resistência do concreto. Em alguns casos, foi até mesmo possível obter ganho de resistência em relação à água de amassamento convencional, tendo o efluente secundário de ETE's como insumo nessa produção (TORRES; DANTAS, 2019).

O experimento de Gonçalves et al. (2019) envolvendo a elaboração de concreto com emprego de água de reúso proveniente de uma ETE composta por lagoas de estabilização, sem qualquer polimento - não houve praticamente nenhuma diferença quanto aos aspectos de resistência e trabalhabilidade em relação ao amassamento com água potável.

Assim como no caso do reaproveitamento de rejeitos como agregados, a proposta de reúso de efluentes sanitários para emprego no beneficiamento de concreto apresenta-se como uma alternativa exequível, em comparação à água potável (SAXENA; TEMBHURKAR, 2018; TONETTI et al., 2019).

3. ASPECTOS NORMATIVOS

Para conhecimento dos parâmetros exigidos para a água de amassamento foram levantadas informações quanto à algumas regulamentações e normatizações nacionais e internacionais vigentes.

A Norma Brasileira – NBR 15900 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2009) especifica requisitos para água de preparo de concreto, indicando que o efluente proveniente do esgoto tratado não é adequado

como água de amassamento. No entanto, a mesma norma prevê o reúso de águas provenientes de estações de tratamento de esgoto, condicionado a aplicações específicas. A qualidade deve ser baseada em acordo entre o fornecedor de água e o responsável pela preparação do concreto, desde que a mesma atenda também aos requisitos gerais da referida norma.

A Tabela 1 apresenta uma compilação dos limites para parâmetros apresentados na NBR 15900 bem como de normas internacionais que dispõem sobre o tema: as americanas (*American Concrete Institute – ACI e American Society for Testing Materials – ASTM*); a australiana (*Australian Standards – AS*); a europeia (*British Standards European Standard – BS EN*); e a indiana (*Indian Standards – IS*).

Norma	NBR 15900	IS 3025 * IS 456 **	AS 1379	ASTM C94 *** ASTM 1602M ****	EN 1008
País/Região	Brasil	Índia	Austrália	Estados Unidos	Europa
pH	>5	>6 **	>5	-	>4
Sulfatos	<2.000	400 *	< 500	< 3.000 ****	< 2.000
Fosfatos	<100	-	-	-	-
Nitratos	<500	-	-	-	-
Chumbo	<100	-	-	-	-
Zinco	<100	-	-	-	-
Sólidos em suspensão totais	-	<2.000 *	-	< 50.000 ***	< 100
Cloretos	< 1.000	< 2.000 * < 500 **	< 800	< 1.000 ****	< 1.000

Notas 1: Todos os limites foram considerados para confecção de concreto armado
Nota 2: Todos os valores são expressos em mg/l, exceto o pH, que é adimensional.

Tabela 1 - Comparação dos parâmetros e limites da legislação e normatização
Fonte: Autores

4. ESTUDO DE CASO: ETE ALEGRIA

Com base nos dados e limites levantados foi possível realizar uma comparação com os parâmetros de monitoramento dos efluentes tratados e de águas de reúso, provenientes da estação de tratamento de esgotos domésticos – ETE Alegria, a maior planta do Estado do RJ, operada pela Companhia Estadual de Água e Esgoto (CEDAE).

Situada no bairro do Caju, essa estação atende ao conjunto de bacias do Centro, Mangue e Catumbi; Alegria; Faria-Timbó; e São Cristóvão, possuindo capacidade para tratar 2,5 m³/s de esgoto, embora atualmente trate somente cerca de 1,5 m³/s. A ETE Alegria possui tratamento a nível secundário com a tecnologia de lodos ativados com aeração prolongada o que, de acordo com ANA (2017) e Von Sperling (2014), confere ao seu efluente uma eficiência mínima de 90% na remoção de Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO. Após o tratamento, o efluente é lançado na Baía de Guanabara, estuário que drena maior parte da região metropolitana do Rio de Janeiro (ANA, 2017).

Além do seu porte e comprovada eficiência, essa estação foi adotada como estudo de caso por também dispor de um sistema de produção de água de reúso consolidado. A ETE Alegria forneceu durante alguns anos águas regeneradas a empreiteiras para a realização de obras do

Porto Maravilha (OBRACZKA et al., 2019). Situado a jusante do tratamento secundário, esse sistema de polimento para reúso, dispõe de dois filtros em linha, seguidos de desinfecção por hipoclorito de sódio. A capacidade instalada do sistema é de 720 m³/dia de fornecimento de água de reúso (CEDAE, 2017).

Atualmente inoperante, segundo Obraczka et al. (2019), o sistema de reúso pode proporcionar uma segurança adicional caso haja algum distúrbio no sistema de tratamento convencional (tratamento secundário) e, portanto, dando maiores garantias quanto ao atendimento das demandas de potenciais consumidores de suas águas regeneradas.

Sem a necessidade de maiores investimentos, os efluentes tratados da fase secundária podem ser encaminhados ao sistema de polimento (GHRAIR; AL-MASHAQBEH, 2016). Pode-se depreender, portanto que essa água de reúso venha atingir uma qualidade superior à do efluente secundário da ETE, e dispor de concentrações para os parâmetros de interesse que atendam ainda mais adequadamente as restrições e limites normativos para seu uso no beneficiamento do concreto (AL-GHUSAIN; TERRO, 2003).

Sob a ótica de potenciais consumidores, há várias CDCs nessa mesma região, situadas no entorno da referida ETE (Figura 1). De acordo com os levantamentos iniciais

realizados pela presente pesquisa, bem como baseado nos dados de Zahner Filho (2014), boa parte da demanda de água industrial dessas empresas instaladas na região é atendida atualmente por caminhões pipa.

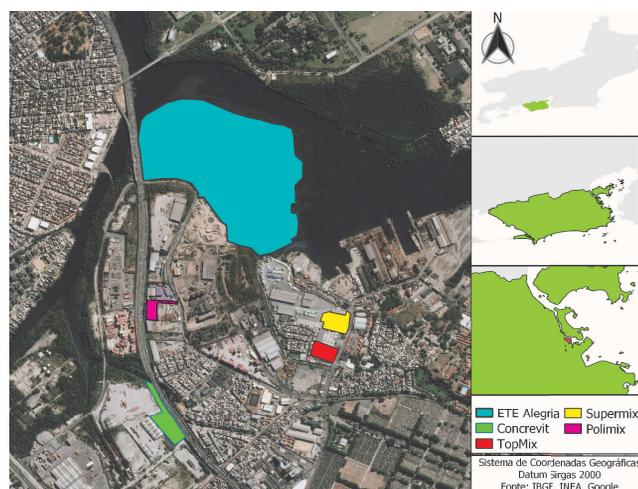


Figura 1 - Localização da ETE Alegria e as CDCs no seu entorno
Fonte: Autores

Os parâmetros e limites requeridos compilados na 2ª etapa da pesquisa foram comparados com os resultados do monitoramento e análise de efluentes tratados da ETE Alegria e a água de reúso comercializada pela CEDAE. A amostragem desses efluentes tratados conta com uma frequência semanal no período de maio de 2016 a maio de 2019. Já o monitoramento da água de reúso ocorreu apenas em 2016 (CEDAE, 2019).

Porém, a disponibilidade de dados e de análises de monitoramento específico quanto à qualidade das águas de reúso no RJ é muito reduzida devido, entre outros motivos, ao grau de insipiência dessa prática de reaproveitamento de efluentes de estações de tratamento de esgoto (SILVA JUNIOR et al., 2019a).

Quando há o monitoramento, o mesmo se concentra em parâmetros de maior interesse do ponto de vista sanitário e da saúde do operador, e não de maior interesse para a indústria de concreto. As análises enfocam parâmetros como turbidez, cloro residual, coliformes totais e *Escherichia coli*, visto que sua destinação principal atualmente é a limpeza de logradouros públicos (OBRACZKA et al., 2019).

Considerando os limites estabelecidos e recomendados para águas de amassamento bem como a partir de dados secundários disponibilizados pela CEDAE, foram adotados e avaliados os seguintes parâmetros: pH, Sulfatos, Fosfatos, Nitratos, Chumbo, Zinco, Sólidos em suspensão totais e Cloretos.

As concentrações limites mais restritivas encontrados na legislação pesquisada para os parâmetros analisados são comparados aos resultados médios das séries dos resultados disponíveis para os efluentes tratados da ETE Alegria (Tabela 2). Na última coluna foram inseridos dados de monitoramento referentes às águas de reúso geradas nessa estação.

Parâmetro	Concentração mais restritiva	Efluente tratado	Água de reúso
pH	>6 (b)	7,4	7,1
Sulfatos	400 (d)	63,6	-
Fosfatos	<100 (a)	4,6	-
Nitratos	<500 (a)	16,7	-
Chumbo	<100 (a)	0,013	< 0,008
Zinco	<100 (a)	0,2	0,16
SST	< 100 (c)	41,4	-
Cloretos	< 500 (b)	259,3	-

Nota 1: (a) NBR 15900 (2009); (b) IS 456 (2000); (c) EN 1008 (2002); (d) IS 3025 (1984).

Nota 2: Concentrações no efluente tratado e na água de reúso referem-se à média dos resultados das análises.

Nota 3: Todos os valores são expressos em mg/l, exceto o pH, que é adimensional.

Tabela 2 – Comparação entre concentrações limite das diretrizes normativas pesquisadas e dados dos efluentes tratados e águas de reúso da ETE Alegria

Fonte: CEDAE, 2019.

Os efluentes são tratados na ETE Alegria a nível secundário, visando atender basicamente a legislação ambiental para descarte no corpo receptor, o Canal do Cunha. Esse canal é parte integrante do sistema estuarino da Baía de Guanabara (RJ) e está localizado na região mais poluída do estuário (ANDRADE; ROSMAN; AZEVEDO, 2019).

Constata-se que os parâmetros de qualidade dos efluentes tratados da ETE Alegria atendem aos limites mais restritivos estabelecidos e recomendados por todas as normas e regulamentações pesquisadas referentes à água para produção de concreto, tanto nacionais quanto internacionais. Portanto, é possível inferir que haja um respaldo técnico/normativo para sua utilização como água de amassamento em concreto.

Nota-se que são monitorados apenas alguns dos parâmetros comuns àqueles requeridos pela normatização referente aos requisitos de qualidade de água para beneficiamento de concreto. Portanto, observa-se a necessidade de realização de análises de qualidade mais específicas. Isso proporcionaria uma maior garantia quanto ao cumprimento dos requerimentos e atendimento dos limites de qualidade da água de amassamento ora levantados.

Sob a ótica de controle da poluição, foram mensurados os impactos ambientais da distribuição de água de reúso sobre o corpo receptor. Considerou-se as eficiências

de remoção esperadas de um sistema de lodos ativados (ANA, 2017; VON SPERLING, 2014) além de supor que toda a demanda das CDCs obtida por Zahner Filho (2014) seja suprida com água de reúso da ETE Alegria.

A redução mensal estimada na carga de poluentes seria de 168 kg de DBO, 122 kg de Nitrogênio e 24 kg de Fósforo, que deixariam de ser lançados no corpo hídrico receptor, ou seja, a Baía de Guanabara. Essa captura de nutrientes através do reúso como água de amassamento representaria, portanto, um benefício para um estuário/ecossistema que já se encontra sob fortes pressões ambientais (ANDRADE; ROSMAN; AZEVEDO, 2019; FRIES et al, 2019).

Considerando os aspectos quantitativos levantados por Zahner Filho (2014) para o consumo mensal de água pelas quatro CDCs no entorno da ETE Alegria, há uma demanda de 6110 m³/mês. Uma vez que a capacidade nominal do sistema de reúso na ETE é de 720 m³/dia, ou seja, cerca de 16,000 m³/mês, considerando somente 22 dias de funcionamento ao mês, o sistema existente seria capaz de atender a cerca de 2,5 vezes a demanda ora identificada.

Isso reitera a viabilidade quantitativa do sistema já existente por atender com folga a demanda atual das CDCs com efluentes tratados e águas de reúso da ETE Alegria. Há ainda a possibilidade de aproveitamento dessas águas regeneradas para emprego em outras finalidades menos nobres nas próprias CDCs, tais como na lavagem de equipamentos, caminhões betoneira, pátios, pisos dentre outras aplicações (OBRACZKA et al., 2019).

O emprego do reúso de efluentes pode representar um aumento na segurança hídrica na respectiva bacia hidrográfica. De acordo com Silva Junior et al. (2019b), isso decorre da diminuição da demanda de água potável não somente por parte das CDCs, como para outras indústrias também não tão exigentes em termos de qualidade de água. Dessa forma, disponibiliza-se mais água potável para usos mais nobres como para a utilização residencial, pública, comercial e mesmo industrial. Reduz-se também a constante necessidade de obras de expansão dos sistemas de abastecimento existentes, muitos já saturados, como é o caso do Sistema Guandu/RJ (CAMPOS, 2018).

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, confirmou-se que o emprego de efluentes sanitários tratados se apresenta como uma alternativa sustentável de gestão de recursos hídricos no Rio de Janeiro. Esse potencial foi comprovado com vistas a sua utilização para a produção de concreto no cenário estudado.

Foram compilados os requisitos de parâmetros de qualidade exigidos em normatizações da Austrália, Brasil, Estados Unidos, Europa e Índia, para água de amassamento de concreto. Verificou-se ainda a viabilidade do reúso de efluentes sanitários tratados, relatada em diversos estudos e pesquisas sobre sua utilização na mistura de concreto.

Além do respaldo normativo constatado, o estudo confirmou que os efluentes da estação de tratamento avaliada, ETE Alegria, atendem os requisitos de parâmetros de qualidade mais rigorosos presentes nas normas pesquisadas, validando essa alternativa de destinação de águas de reúso.

O estudo constatou ainda que, sob o ponto de vista da sustentabilidade ambiental, a implementação de um sistema de reúso na ETE Alegria reduziria significativamente o lançamento de matéria orgânica e nutrientes na Baía de Guanabara. Isso revela, portanto, que a prática de reúso de efluentes sanitários tratados pode efetivamente impactar para a melhoria da qualidade do sistema estuarino da Baía de Guanabara.

Por fim, os dados apresentados reforçam a potencialidade do reúso de efluentes como uma alternativa sustentável, voltada para o uso mais racional dos recursos hídricos disponíveis na respectiva bacia hidrográfica. Além de consolidar a prática de reúso como uma ferramenta estratégica de planejamento e gestão de recursos hídricos e saneamento.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil. Os autores agradecem ainda os dados referentes a parâmetros de monitoramento da ETE Alegria que foram disponibilizados pela CEDAE.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Atlas Esgotos - Despoluição de bacias hidrográficas. Brasília, 2017.
- AL-GHUSAIN, I.; TERRO, M. J. Use of treated wastewater for concrete mixing in Kuwait. *Kuwait Journal of Science and Engineering*, v. 30, n. 1, p. 213–228, 2003.
- AL-JABRI, K. S.; AL-SAIDY, A. H.; TAHA, R.; AL-KEMYANI, A. J. Effect of using wastewater on the properties of high strength concrete. *Procedia Engineering*, v. 14, p. 370–376, 2011.
- ANDRADE; V. S.; ROSMAN, P. C. C.; AZEVEDO, J. P. S. Parte II: Uso de modelagem computacional para

- análises tempos característicos e de qualidade da água na Baía de Guanabara. In: Anais do XXIII Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos, Foz do Iguaçu. ABRH, 2019.
- ASADOLLAHFARDI, G.; DELNAVAZ, M.; RASHNOIEE, V.; FAZELI, A.; GONABADI, N. Dataset of producing and curing concrete using domestic treated wastewater. *Data in Brief*, v. 6, p. 316–325, 2016. a.
- ASADOLLAHFARDI, G.; DELNAVAZ, M.; RASHNOIEE, V.; GHONABADI, N. Use of treated domestic wastewater before chlorination to produce and cure concrete. *Construction and Building Materials*, v. 105, p. 253–261, 2016. b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) NBR 15900-1 - Água para amassamento do concreto Parte 1: Requisitos, Rio de Janeiro, 2009.
- CAMPOS, A. M. S. Aproveitamento de efluente tratado proveniente da ETE Alegria para reúso em áreas urbanas. 2018. Projeto Final (Graduação em Engenharia Civil), Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2018.
- CEDAE. Relatório Integrado de Sustentabilidade 2017. Rio de Janeiro. Disponível em: <www.reportsustentabilidade.com.br>.
- CEDAE. Reúso de efluente tratado proveniente de ETE para fins não potáveis na região metropolitana do RJ. In: III MICRO CONGRESSO DA CEDAE 2019, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro
- DI DOMENICO, P.; LIMA, T. T.; CASTRO, M. N.; CASTRO, R. M. Influência Do Agregado Miúdo Reciclado Na Resistência À Compressão E Porosidade Do Concreto. *Revista Internacional de Ciências*, v. 8, n. 1, p. 129–147, 2018.
- FERREIRA, K. C.; AGUIAR, M. A. M.; OLIVEIRA, M. F. M.; SILVA, A. Q. N.; PERES, A. E. C. Utilização De Resíduos De Minério De Ferro Como Matéria Prima Para Fabricação De Argamassa. *Holos*, v. 2, p. 77, 2016.
- FILHO, P. A. S.; COSTA, M. S.; FILHO, J. R. M. Utilização do lodo de lagoas de estabilização no traço de concreto de baixa resistência. In: Anais do 30o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental 2019, Natal. ABES, 2019.
- FRIES, A. S.; COIMBRA J.P.; NEMAZIE D.A.; SUMMERS R.M.; AZEVEDO J.P.S.; FILOSO S. et al. Guanabara Bay ecosystem health report card: Science, management, and governance implications. *Regional Studies in Marine Science*, v. 25, p. 100474, 2019.
- GHRAIR, A. M.; AL-MASHAQBHEH, O. Domestic wastewater reuse in concrete using bench-scale testing and full-scale implementation. *Water (Switzerland)*, v. 8, n. 9, 2016.
- GIORDANO, G. Conservação e reúso de água. Curso da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES. Capítulo Nacional da AIDIS, Vitória. ABES, 2016.
- GONÇALVES, A. B. D. et al. Produção de concreto utilizando efluente tratado por lagoas de estabilização na região metropolitana do Cariri (Ceará-Brasil). In: Anais do 30o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental 2019, Natal. ABES, 2019.
- KUCHE, K. J.; JAMKAR, S. S.; SADGIR, P. A. Quality of Water for Making Concrete : A Review of Literature. *International Journal of Scientific and Research Publications*, v. 5, n. 1, p. 1–10, 2015.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. Concreto Microestrutura, Propriedades e Matérias. IBRACON, 2014.
- OBRACZKA, M.; SILVA, D R.; CAMPOS, A. M. S.; MURICY, B. Reuso de efluentes de tratamento secundário como alternativa de fonte de abastecimento de água no município do Rio de Janeiro. *Sistemas & Gestão*, v. 14, n. 3, p. 291, 2019.
- REDDY BABU, G.; MADHUSUDANA REDDY, B.; VENKATA RAMANA, N. Quality of mixing water in cement concrete: a review. *Materials Today: Proceedings*, v. 5, n. 1, p. 1313–1320, 2018.
- SAMPAIO, Z. L. M.; SOUZA, P. A. B. F.; GOUVEIA, B. G. Análise da influência das cinzas do bagaço de cana-de-açúcar no comportamento mecânico de concretos. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, v. 7, n. 4, p. 626–647, 2014.
- SANTOS, J. O.; ARAÚJO, C. B. C.; AYRES, T. M. da C. Análise da utilização de RCF em obras de pavimentação na cidade de Fortaleza. *Mix Sustentável*, v. 5, n. 3, p. 65–72, 2019.
- SAXENA, S.; TEMBHURKAR, A. R. Impact of use of steel slag as coarse aggregate and wastewater on fresh and hardened properties of concrete. *Construction and Building Materials*, v. 165, p. 126–137, 2018.
- SILVA JUNIOR, L. C. S.; ARAÚJO, B. M.; SANTOS, A. S. P.; OBRACZKA, M.; BOTTREL, S. E. C. Panorama do reúso de efluentes nas estações de tratamento de esgoto da região Sudeste. In: Anais do 30o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental 2019a, Natal. ABES, 2019.
- SILVA JUNIOR, L. C. S.; OBRACZKA, M.; FARIA, A. A.; VITAL, C. G. Aproveitamento dos efluentes de estações de tratamento de esgoto em usinas de concreto: um estudo de caso de reúso na ETE Alegria/RJ. In:

Anais do II Seminário Estadual de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental 2019b, Vitória. ABES, 2019.

SILVA, W. R.; POAGUE, K. I. H. M.; NUNES, J. C. S. Estudo de viabilidade econômica do aproveitamento comercial de areia retida no tratamento preliminar da ETE Onça –MG. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, v. 4, n. 4, 2018.

SOUZA, P. S. L.; DAL MOLIN, D. C. C.; PIKANÇO, M. S.; MACÊDO, A. N.; VASCONCELOS, A. L. R.; SOUZA, J. V. B. Avaliação do módulo de elasticidade em concreto com metacaulim de alta reatividade, proveniente de rejeito industrial. *Revista Materia*, v. 20, n. 4, p. 982–991, 2015.

TEIXEIRA, M. G e CÉZAR, S. F, *Ecologia industrial e eco-design: requisitos para a determinação de materiais ecologicamente corretos*. *Revista Design em Foco*. v.11, n.1, 2005.

TEIXEIRA, M. G. Aplicação de conceitos da ecologia industrial para a produção de materiais ecológicos: o exemplo do resíduo de madeira. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias ambientais no Processo Produtivo), Universidade Federal da Bahia – Escola Politécnica, 2005.

TONETTI, A. L.; DUARTE, N. C.; SANTOS, M. R. R.; SIQUEIRA, G. H. Environmentally friendly interlocking concrete paver blocks produced with treated wastewater. *Water Science and Technology: Water Supply*, v. 19, n. 7, p. 2028–2035, 2019.

TORRES, R. M.; DANTAS, F. C. C. Reuso de efluentes domésticos na fabricação de concreto. In: Anais do 30o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental 2019, Natal. ABES, 2019.

TSIMAS, S.; ZERVAKI, M. Reuse of waste water from ready-mixed concrete plants. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, v. 22, n. 1, p. 7–17, 2011.

VEZZOLI, C.; KOHTALA, C.; SRINIVASA, A. *Sistema produto + serviço sustentável: fundamentos*. 22. ed. Curitiba: Insight, 2018.

VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.

ZAHNER FILHO, E. Estudo para fornecimento como água de amassamento. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal Fluminense, 2014.

AUTORES

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9379-1619>

LUIS CARLOS SOARES DA SILVA JUNIOR, M.Sc | Universidade Federal do Rio de Janeiro | Programa de Engenharia Civil - COPPE | Rio de Janeiro, RJ - Brasil | Correspondência para: Av. Athos da Silveira Ramos, 149 - Cidade Universitária, Rio de Janeiro - RJ, CEP 21941-909 | E-mail: luis.junior@coc.ufrj.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7322-9223>

MARCELO OBRACZKA, Dr. | Universidade do Estado do Rio de Janeiro | Faculdade de Engenharia | Rio de Janeiro, RJ - Brasil | Correspondência para: Rua São Francisco Xavier, 524, Maracanã, Rio de Janeiro – RJ, CEP 20550-900 | E-mail: obraczka.uerj@gmail.com

COMO CITAR ESTE ARTIGO

SILVA JR., Luis Carlos Soares da; OBRACZKA, Marcelo. Reúso de Efluentes de Estações de Tratamento de Esgoto no Beneficiamento de Concreto. **MIX Sustentável, [S.l.], v. 6, n. 4, p. 85-92, ago. 2020.** ISSN 24473073. Disponível em: <<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>>. Acesso em: dia mês. ano. doi:<https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2020.v6.n4.85-92>.

DATA DE ENVIO: 17/01/2020

DATA DE ACEITE: 02/07/2020