



II-400 – AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE POLUENTES DE UMA ETE EM UMA REGIÃO PORTUÁRIA EM BARCARENA PARÁ

Luiza de Cássia Santa Brígida Gomes⁽¹⁾

Engenheira Sanitarista e ambiental pela Universidade Federal do Pará. Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Pontifícia Universidade Católica (PUC-MINAS). Pesquisadora-colaboradora do Instituto Evandro Chagas. Mestranda em Gestão de Riscos e Desastres Naturais no PPGGRD/UFPA.

Bruno Santana Carneiro⁽²⁾

Engenheiro químico pela Universidade Federal do Pará. Mestre em Geologia e Geoquímica pela Universidade Federal do Pará. Doutor em Saúde Coletiva Pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Vice-diretor do Instituto Evandro Chagas

Neuton Trindade Vasconcelos Junior⁽³⁾ Químico pela Universidade Federal do Pará. Mestre em recursos hídricos pela Universidade Federal do Pará. Pesquisador-colaborador do Instituto Evandro Chagas.

Yasmim Oliveira dos Santos⁽⁴⁾ Graduada de Engenharia Ambiental e Sanitária pela Universidade do Estado do Pará. Bolsista de Iniciação Científica do Instituto Evandro Chagas.

Kelson do Carmo Freitas Faial⁽⁵⁾ Químico pela Universidade Federal do Pará. Mestre em química analítica pela Universidade Federal do Pará. Doutor em química analítica pela Universidade Federal do Pará. Pesquisador do Instituto Evandro Chagas.

Endereço⁽¹⁾: Rod. BR 316 km 7 s/n - Ananindeua - PA - CEP: 67.030-000 - Brasil - Tel: (91) 981470816 - e-mail: luizasbgomes@gmail.com

RESUMO

Este estudo foi realizado na Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) no Porto de Vila do Conde, em Barcarena, Pará, teve como objetivo avaliar a concentração de parâmetros físico-químicos e metais e a partir dos resultados obtidos determinar a eficiência de remoção de poluentes da ETE. As amostras foram coletadas nos meses de agosto e outubro de 2022, além de janeiro e março de 2023, para analisar a influência da sazonalidade nos parâmetros. Os resultados mostraram que a ETE foi eficaz na remoção de poluentes, com destaque para a eficiência na remoção de alumínio, acima de 76%. O estudo também revelou conformidade com os padrões exigidos para os metais analisados, de acordo com a resolução CONAMA 430/2011. Análises multivariadas, como Análise de Agrupamentos Hierárquicos (HCA) e Análise de Componentes Principais (PCA), demonstraram a interação entre os diferentes parâmetros analisados, destacando a correlação entre alguns metais e a relação entre cobre e oxigênio dissolvido. Concluiu-se que a ETE do Porto de Vila do Conde apresenta capacidade para tratar adequadamente os efluentes gerados, contribuindo para a preservação ambiental e a promoção da saúde pública. A remoção eficaz de poluentes pelas estações de tratamento é crucial para a proteção dos ecossistemas aquáticos do rio Pará, rio onde seus efluentes tratados são depositados.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento, Efluentes, Eficiência, Região Portuária.

INTRODUÇÃO

Barcarena é uma cidade localizada no estado do Pará com 126.650 habitantes e desde 2023 passou a fazer parte da região metropolitana de Belém (GESTER et al,2023). Em 2021 a cidade ocupou a 5ª colocação no ranking das cidades que mais contribuíram ao PIB (Produto Interno Bruto) do estado. A importância econômica da cidade em grande parte está atrelada ao Porto de Vila do Conde e ao complexo alumínico ali instalado (FAPESPA, 2023).

Em 1973 Brasil e Japão firmaram um acordo de incentivos ao desenvolvimento da exploração de alumínio e em 1985 concomitante a inauguração do Porto de Vila do Conde foi inaugurada a Albras uma empresa de extração



e beneficiamento de alumínio seguida por outros empreendimentos como terminais caulíniferos, transportadoras de minério e indústrias têxteis (HOMMA, 2016).

De acordo com a ANTAQ (Agência Nacional de Transportes Aquáticas) (2018) as operações desenvolvidas dentro da região portuária podem gerar impactos ambientais, entre eles a geração de efluentes líquidos. Dessa forma, a importância da estação de tratamento de efluentes encontra-se na minimização dos impactos através da redução das cargas poluidoras de esgoto (FERREIRA NETO; MELO; SANTOS, 2021).

Ainda segundo a ANTAQ (2018) o efluente gerado na região portuária de vila do Conde é composto de esgoto doméstico, águas pluviais e possíveis vazamentos das operações realizadas no terminal portuário.

Para Legner (2016), efluente industrial é aquele oriundo das atividades exercidas no ambiente industrial seja dos processos de produção ou mesmo da higienização de máquinas e equipamentos. Dessa forma, tomando posse do conceito adotado por Legner (2016) e da descrição do efluente encontrado no porto de Vila do Conde dada pela ANTAQ (2018), este estudo utilizará tal descrição para caracterização e avaliação das amostras coletadas.

Dentro da região do porto para atender as necessidades estruturais e sanitárias há a presença de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) que conta com tratamento primário, gradeamento e caixa de areia, seguido de poço úmido e reator UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), também conhecido como RAFA (Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente) seguido de decantadores e desinfecção (dosador de cloro).

Nesse sentido, esse estudo visa demonstrar as características do esgoto bruto antes e depois da ETE e demonstrar a eficiência de remoção de poluentes da estação, através de análise físico-química e determinação de metais.

O desenvolvimento desse trabalho contou com o apoio e a participação do Instituto Evandro Chagas (IEC-PA)

OBEJTIVOS

O objetivo desse trabalho é demonstrar a eficiência de remoção de uma ETE de tratamento primário mais reator UASB. A partir da determinação de parâmetros físico-químicos e químicos da água em dois pontos de amostragem, esgoto bruto e tratado (entrada e saída da ETE) verificando as diferenças entre eles em 4 campanhas nos períodos chuvoso e menos chuvoso.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Determinar os parâmetros: pH, turbidez, Sólidos Totais Dissolvidos (STD) e Oxigênio dissolvido (OD)
- Determinar os metais: Al, Cu, Fe e Mn
- Realizar análise multivariada através da Análise de Agrupamentos Hierárquicos (HCA) e da Análise dos Componentes Principais (PCA)
- Efetuar o cálculo de eficiência de remoção dos parâmetros avaliados no estudo à luz da Resolução CONAMA n° 430, de 13 de maio 2011.

MATERIAIS E MÉTODOS

PRIMEIRA ETAPA: COLETA DAS AMOSTRAS

O estudo foi realizado na Estação de Tratamento de efluentes localizada no porto de vila do conde, em Barcarena, Pará, em dois pontos amostrais, entrada da ETE e saída da ETE, a fim de evidenciar a eficiência de remoção de poluente no tratamento empregado na ETE.

As coletas foram realizadas nos meses de agosto e outubro de 2022, período menos chuvoso e janeiro e março de 2023, período chuvoso, buscando avaliar a influência da temporalidade na concentração dos parâmetros avaliados.

Com auxílio de um balde esterilizado retirou-se certo volume de efluente que posteriormente foi transferido a um frasco de polipropileno de 1L devidamente etiquetado (esse procedimento foi realizado em ambos os pontos amostrais). Em seguida as amostras foram acondicionadas em collers com gelo e levadas ao laboratório.



A determinação dos parâmetros físico-químicos pH, Oxigênio Dissolvido (OD) e Sólidos Totais Dissolvidos (STD), foi obtida *in loco* com uso do medidor multiparâmetro HI9829 (Hanna), e a quantificação da turbidez foi realizada com auxílio do Turbidímetro Ap2000 – Policontrol.

SEGUNDA ETAPA: ANÁLISE LABORATORIAL

No laboratório retirou-se uma alíquota de 50 mL de cada amostra para análise de metais. Em seguida passou-se ao processo de abertura de amostra por micro-ondas, que tem como objetivo reduzir a interferência da matéria orgânica presente nas amostras. No primeiro momento foi realizada a pipetagem de uma alíquota de 9 mL de amostra em tubos digestivos, passando então a adição de 200 µL de ácido clorídrico (HCl) e 800 µL de ácido nítrico (HNO₃). Finalizada essa etapa os tubos digestivos com as amostras foram inseridos em um carrossel acrescido dos brancos de campo e método e levados ao micro-ondas ficando por 10 minutos a 175° C. Ao final do processo as amostras foram colocadas em tubos falcon identificados com o código das amostras e seguiram para análise.

Já para a determinação da concentração dos metais adotou-se a metodologia 3120b através da técnica de Espectrometria de Emissão Óptica de Plasma Induzido no equipamento ICP OES, Vista MPX (Varian®) e para a digestão dos efluentes a metodologia 3015a da 23ªed. *Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater* (2017).

TERCEIRA ETAPA: EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DA ETE

Para determinação da eficiência de remoção de poluentes foi utilizada a seguinte equação:

$$E = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100$$

Onde:

E: Eficiência de Remoção (%)

C₀: Concentração afluente do poluente (mg/L)

C_e: Concentração efluente do poluente (mg/L)

QUARTA ETAPA: ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA

Para melhor compreensão e análise dos dados obtidos os mesmos foram submetidos a análise multivariada através da Análise de Agrupamentos Hierárquicos (HCA) e da Análise de Componentes Principais (PCA). Ambas as análises permitem observar a interação entre as variáveis e seus comportamentos semelhantes ou distintos, tratando os dados de maneira adimensional, ou seja, sem considerar suas diferentes unidades e assim poder correlacioná-los.

RESULTADOS DA SEGUNDA ETAPA

A tabela 01 apresenta os valores das análises físico-químicas realizadas *in loco* no período menos chuvoso. Os valores pH variaram de 4,34 a 6,90 destaca-se o valor de Ph do mês de outubro de 2022 na saída da ETE em desconformidade com o estabelecido na resolução CONAMA 430/2011, mesmo após o tratamento, demonstrando a necessidade de correção e monitoramento constante desse parâmetro (BRASIL, 2011). De acordo com Campos et al. (2006) os valores ótimos de pH para crescimento e reprodução de bactérias em reator UASB devem estar entre 4 e 9. Os demais parâmetros estiveram em conformidade com a resolução.

Tabela 01: Resultados físico-químicos período menos chuvoso

| Ponto de coleta | Data da coleta | Ph | TDS | OD | Turb |
|-----------------|----------------|-------------|-----|------|--------|
| Entrada da ETE | AGO | 6,18 | 520 | 1,13 | 206,22 |
| Saída da ETE | AGO | 6,90 | 472 | 3,42 | 17,20 |
| Entrada da ETE | OUT | 4,52 | 454 | 0,52 | 101,55 |
| Saída da ETE | OUT | 4,34 | 383 | 4,54 | 31,40 |

Res. CONAMA n° 430/2011 5,0 - 9,0 - - -

Na tabela 02 constam as determinações realizadas no período mais chuvoso, onde houve pequena elevação do pH (7,33 a 7,57), diminuição dos valores de STD e aumento da turbidez. De acordo com Siqueira, Correa e Araujo (2013) a introdução de águas pluviais no sistema de tratamento de efluentes pode alterar os custos e a eficiência da estação. Além disso, outro fator que pode ser alterado nesse processo é a turbidez em função do carreamento de partículas sólidas, já que esse parâmetro é determinado a partir da presença de partículas em suspensão (MEDEIROS; DORNELES, 2022).

Tabela 02: Resultados físico-químicos período chuvoso

| Ponto de coleta | Data da coleta | Ph | TDS | OD | Turb |
|-------------------------|----------------|-----------|-----|------|--------|
| Entrada da ETE | JAN | 7,57 | 265 | 1,30 | 423,00 |
| Saída da ETE | JAN | 7,33 | 284 | 6,17 | 21,60 |
| Entrada da ETE | MAR | 7,43 | 389 | 1,13 | 112,00 |
| Saída da ETE | MAR | 7,32 | 211 | 3,42 | 10,30 |
| Res. CONAMA n° 430/2011 | | 5,0 - 9,0 | - | - | - |

A determinação da concentração de metais (tabela 03 e tabela 04) mostrou que todos os analitos estiveram em conformidade com a resolução CONAMA 430/2011.

Tabela 03: concentração de metais período menos chuvoso

| Ponto de coleta | Data da coleta | Al | Cu | Fe | Mn |
|-------------------------|----------------|-------|-------|--------|-------|
| Entrada da ETE | AGO | <LQ | <LQ | <LQ | 0,041 |
| Saída da ETE | AGO | <LQ | <LQ | <LQ | 0,024 |
| Entrada da ETE | OUT | 1,719 | <LQ | 3,405 | 0,481 |
| Saída da ETE | OUT | 0,133 | <LQ | 0,955 | 0,450 |
| Res. CONAMA n° 430/2011 | | - | 1,000 | 15,000 | 1,000 |

<LQ: Limite de Quantificação do equipamento

Tabela 04: concentração de metais período chuvoso

| Ponto de coleta | Data da coleta | Al | Cu | Fe | Mn |
|-------------------------|----------------|-------|--------|--------|-------|
| Entrada da ETE | JAN | 0,589 | <LQ | 0,779 | 0,362 |
| Saída da ETE | JAN | 0,136 | 0,0648 | 0,225 | 0,167 |
| Entrada da ETE | MAR | 7,567 | 0,014 | 5,971 | 0,367 |
| Saída da ETE | MAR | 0,462 | <LQ | 0,840 | 0,401 |
| Res. CONAMA n° 430/2011 | | - | 1,000 | 15,000 | 1,000 |

<LQ: Limite de Quantificação do equipamento

RESULTADOS DA TERCEIRA ETAPA

A tabela 05 contém os valores de eficiência de remoção de metais, TDS e turbidez em cada mês de análise. Destaca-se a eficiência de remoção do Al acima de 76%, não foi possível determinar a eficiência de remoção do Cu em função de resultados menores que o LQ, a ETE também se mostrou eficiente na remoção de Fe, acima de 71,07%, já para o caso do Mn observa-se no mês de março um aumento da sua concentração do ponto de entrada ao ponto de saída da ETE e a baixa eficiência de remoção nos outros meses desta pesquisa, resultados semelhantes a remoção TDS, onde no mês de março houve aumento de sua concentração entre os pontos de entrada e saída de efluentes. Em contraponto a eficiência de remoção da turbidez teve bom desempenho, ficando entorno de 90%.

Tabela 05: Eficiência de remoção da ETE

| Data da coleta | Al | Cu | Fe | Mn | TDS | Turb |
|----------------|-------|----|-------|-------|-------|-------|
| AGO | - | - | - | 41,46 | 9,23 | 91,66 |
| OUT | 92,26 | - | 71,95 | 6,37 | 15,64 | 72,35 |
| JAN | 76,84 | - | 71,07 | 54,00 | -7,17 | 94,89 |
| MAR | 93,89 | - | 85,93 | -9,26 | 45,76 | 90,80 |

RESULTADOS DA QUARTA ETAPA

Na aplicação da HCA evidencia-se a similaridade entre os analitos Al e Fe e destes com o Mn e a ainda a correlação entre Cu e OD relações essas corroboradas na PCA. Para Flauzino Junior (2017) a introdução de metais no meio ambiente é causada por fontes antrópicas com potencial poluidor. Normalmente os coagulantes adicionados nas ETES são compostos por Al e Fe o que pode explicar a alta similaridade entre eles. Sampaio, Boijinkin e Rantin (2013) afirmam que existe relação direta entre oxigênio dissolvido e alguns metais como o cobre, ao passo que a forma química desse metal pode ser caracterizada pela concentração de OD no meio líquido, influenciando a toxicidade do elemento.

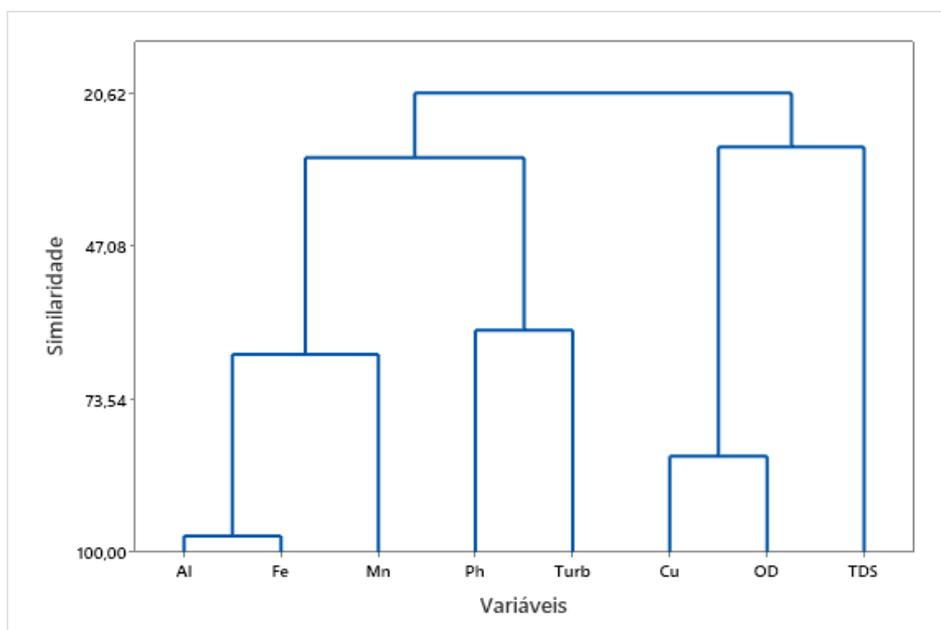


Figura 01: Dendrograma

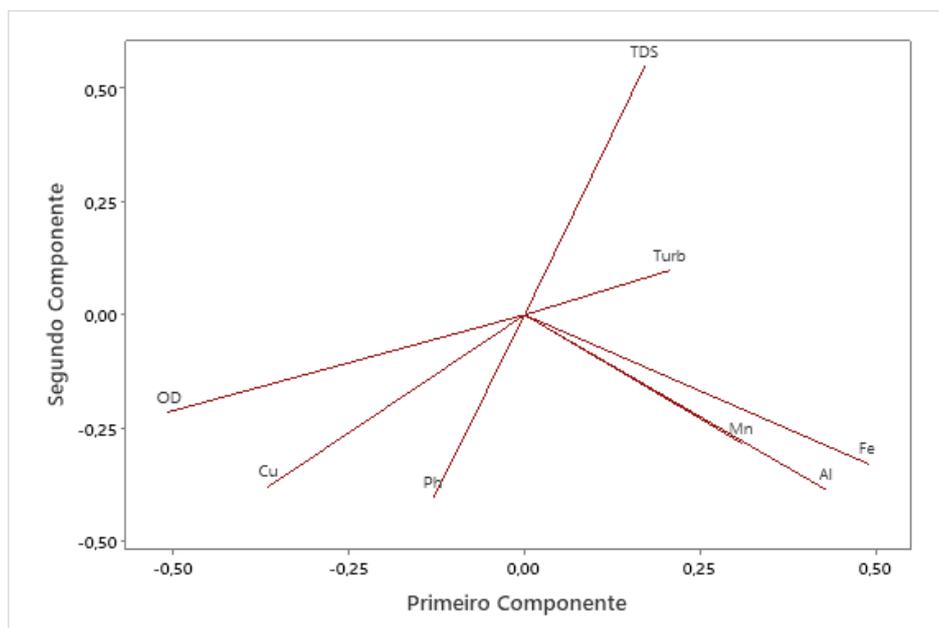


Figura 02: Gráfico de cargas

CONCLUSÕES

Em síntese, diante dos resultados apresentados após tratamento observa-se que a ETE do porto de vila do conde demonstrou-se eficiente na remoção de cargas poluentes, no que concerne aos parâmetros avaliados neste estudo, apesar das atividades realizadas no porto serem potencialmente danosas verificou-se que a ETE de Vila do Conde possui a capacidade de tratar e dispor de maneira eficiente as águas residuárias produzidas no porto. Destaca-se que a remoção de poluentes em estações de tratamento desempenha papel importante na preservação do meio ambiente e consequentemente na promoção de saúde. Ao assegurar o tratamento de águas residuárias reduzem-se diversos impactos causados aos corpos receptores preservando assim a qualidade dos ecossistemas aquáticos, sendo essencial ao desenvolvimento ambiental sustentável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANTAQ. Agência Nacional de Transporte Aquaviário. **Área de arrendamento VDC 12 – Porto de Vila do Conde.** Seção F. 2018. Disponível em: http://web.antaq.gov.br/Sistemas/WebServiceLeilao/DocumentoUpload/Audiencia%2037/VDC12___Sec_ao_F___Ambiental_rev.04.pdf. Acesso em :22 dez 2023.
2. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 23º ed. Washington, 2017. 3010 B.
3. Brasil. Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. Publicada no Diário Oficial nº 92 em 16 de maio de 2011. **Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA**
4. CAMPOS, Cláudio Milton Montenegro et al. **Desenvolvimento e operação de reator anaeróbico de manta de lodo (UASB) no tratamento dos efluentes da suinocultura em escala laboratorial.** v. 30, n.1, p. 140–147, 2006
5. FAPESPA. **PIB apresenta crescimento em 134 municípios do estado do Pará.** 27 dez. 2023. Disponível em: <https://www.fapespa.pa.gov.br/2023/12/27/pib-apresenta-crescimento-em-134-municipios-do-estado-do-Para/#:~:text=Em%20novembro%2C%20a%20Fapespa%20divulgou,Federa%C3%A7%C3%A3o%2C%20em%20rela%C3%A7%C3%A3o%20a%202020>. Acesso em: 1 jan. 2024.



6. FLAUZINO JUNIOR, Mauricio. **Análise da concentração de alumínio na água e sedimentos em um trecho do rio do Campo – Campo Mourão/PR**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.
7. GESTER, Lucélia Cândida Guedes *et al.* **Impactos socioambientais na Amazônia Paraense: Uma análise na comunidade de Curupeté** (Barcarena, Pará, Brasil). Cuadernos de educación, v. 15, ed. 7, p. 6164-6196, 2 ago. 2023.
8. Homma, Alfredo Kingo Oyama. **A imigração japonesa na Amazônia: sua contribuição ao desenvolvimento agrícola**. 2. ed. – Brasília, DF: Embrapa, 2016.
9. Legner, Carla. **Efluente Industrial X Efluente Doméstico**. Ed. 32, ago/set 2016. Disponível em: <https://www.revistatae.com.br/Artigo/115/efluente-industrial-x-efluente-domestico#:~:text=As%20diferen%C3%A7as%20entre%20o%20efluente,%20principalmente%20em%20suas%20caracter%C3%ADsticas>. Acesso em: 1 jan. 2024.
10. MEDEIROS, Adriana torres; DORNELLES, Fernando. **Efeitos da intrusão de águas pluviais em um sistema de tratamento de esgoto**. XIV ENAU - Encontro Nacional de Águas Urbanas e IV SRRU - Simpósio de Revitalização de Rios Urbanos, [s. l.], setembro 2022.
11. Ferreira de Moraes Neto, V., Hellen da Silva Melo, J., & Felipe de Melo Sales Santos, A. (2021). Eficiência do tratamento de esgotos sanitários no município de Garanhuns – PE após melhorias na estação de tratamento de efluentes. *Revista Geama*, 7(1), 73–83. Recuperado de <https://www.journals.ufrpe.br/index.php/geama/article/view/4010>
12. SAMPAIO, Fernanda Garcia; BOIJINK, Cheila de Lima; RANTIM Francisco Tadeu. **O uso do sulfato de cobre em ecossistemas aquáticos: fatores que afetam sua toxicidade em peixes de água doce**. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 2013.
13. SIQUEIRA, Bruna Franco de; CORREA, Ana Cristina Santos Strava; ARAÚJO, Gabrielle Ramos Aragão de. **Estudo da influência das águas pluviais em um sistema de tratamento de esgoto por lodo ativado**. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013.