

DESEMPENHO DE ETES DE LAVANDERIAS TÊXTEIS DO POLO DE CONFECÇÕES DO MUNICÍPIO DE CARAUARU, AGRESTE PERNAMBUCANO, QUE UTILIZAM PROCESSOS FÍSICO-QUÍMICOS

Performance of ETEs of textile laundries on the clothes pole in the municipality of Caruaru, Agreste pernambucano, using physicochemical processes

Rendimiento de ETEs de lavanderías textiles en el poste de ropa en el municipio de Caruaru, Agreste pernambucano, que utilizan procesos fisicoquímicos

George Márcio Queiroga¹
Daniele de Castro Pessoa de Melo²
Eliete Zanardi Lamardo³

RESUMO:

O beneficiamento do jeans, uma das principais atividades do polo de confecções do Agreste pernambucano, consome grande quantidade de água e gera efluentes altamente contaminantes. Assim, este trabalho objetivou avaliar o desempenho de duas Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs) de lavanderias têxteis que utilizam processos físico-químicos, localizadas no município de Caruaru, Pernambuco (PE). O processo físico-químico empregado na lavanderia 1 consiste de coagulação-floculação e utilização de tanino como coagulante, enquanto o processo da lavanderia 2 é constituído por coagulação-floculação-aeração com sulfato de alumínio. Com base nos padrões de lançamento estabelecidos pela legislação brasileira, indicadores de qualidade dos efluentes brutos e tratados de ambas lavanderias, monitorados entre 2013 e 2015, foram utilizados para avaliar o desempenho desses processos. A análise de capacidade (Cpk) dos tratamentos de efluente foi utilizada para estabelecer o melhor processo e indicou como capaz o processo da lavanderia 1 e muito incapaz o processo da lavanderia 2.

Palavras-chave: Estação de Tratamento de Efluentes. Lavanderias Têxteis. Polo de Confecção. Processos Físico-químicos.

ABSTRACT:

The benefit of jeans, one of the main activities of the clothing pole in the Pernambuco Agreste zone, consumes large amounts of water and generates highly polluted effluents. The objective of this project was to evaluate the performance of two effluent treatment plants (ETPs) of jeans laundries that use physico-chemical processes, located in Caruaru - PE. The physicochemical process used in the laundry 1 consist of coagulation and flocculation, using tannin-based coagulant, while laundry 2 uses coagulation-flocculation-aeration and aluminum sulfate processes. Based on the effluents discharges legislation established by Brazilian government, quality indicators of raw and treated effluents of both laundries, were monitored between 2013 and 2015, in order to evaluate the performance of these processes. The capacity analysis (Cpk) of the treatments was used to indicate the best process. The Cpk classified the laundry 1 treatment as a capable process, in contrast to laundry 2, that was considered as a very incapable process.

Keywords: Effluent Treatment station. Textile Laundries. Clothing Pole. Physico-chemical Processes

RESUMEN:

El procesamiento de jeans, una de las principales actividades del polo de ropa de Agreste Pernambuco, consume grandes cantidades de agua y genera efluentes altamente contaminantes. Por lo tanto, este trabajo tuvo como objetivo evaluar el desempeño de dos estaciones de tratamiento de efluentes (ETE) de lavanderías textiles que utilizan procesos físico-químicos, ubicadas en el municipio de Caruaru, Pernambuco (PE). El proceso físico-

¹Secretaria de Educação do Estado de Pernambuco. georgemqueiroga@gmail.com

²Instituto de Tecnologia de Pernambuco – ITEP. daniele.castro@itep.br

³Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. eliete.zanardi@ufpe.br

QUEIROGA, G. M.; MELO, D. de C. P. de; LAMARDO, E. Z.

-químico utilizado en la lavandería 1 consiste en la coagulación-floculación y el uso de tanino como coagulante, mientras que el proceso de lavandería 2 consiste en la coagulación-floculación-aireación con sulfato de aluminio. Con base en los estándares de liberación establecidos por la legislación brasileña, se utilizaron indicadores de calidad para los efluentes brutos y tratados de ambas lavanderías, monitoreados entre 2013 y 2015, para evaluar el desempeño de estos procesos. El análisis de capacidad (Cpk) de los tratamientos de efluentes se utilizó para establecer el mejor proceso e indicó que el proceso de lavado 1 era capaz y que el proceso de lavado 2 era muy incapaz.

Palabras-clave: Estación de tratamiento de efluentes. Lavanderías Textiles. Polo de ropa. Procesos fisicoquímicos.

1 INTRODUÇÃO

No Nordeste brasileiro, mais especificamente na região do Agreste pernambucano, o desenvolvimento e expansão da indústria de confecção e têxtil tem adquirido destaque, sendo atualmente uma de suas principais atividades industriais. Essa região é responsável por 70% dos estabelecimentos da indústria têxtil e de confecção do estado de Pernambuco, com destaque para o município de Caruaru, que tem a participação mais significativa dentro do estado (AMARAL et al., 2012).

Empresas especializadas no beneficiamento do jeans, como as encontradas no polo de confecção do Agreste pernambucano, são denominadas de lavanderias industriais e do ponto de vista ambiental são consideradas potencialmente impactantes, principalmente, devido ao alto consumo de água no processo produtivo e à geração de efluentes com elevada carga orgânica, o que torna necessária a implementação de uma conduta ambiental responsável (FRANK, 2004; TENÓRIO, 2006).

As lavanderias do processo de produção dessas confecções possuem características particulares tais como elevado consumo de reagentes químicos, geram grande quantidade de lodo e não removem de forma satisfatória a matéria orgânica e inorgânica solúvel. Portanto, apesar de gerar emprego e renda, há aspectos negativos do ponto de vista ambiental (BEZERRA e FREITAS, 2013).

Uma lavanderia de médio porte chega a consumir entre 50.000 e 300.000 L/mês de água. Estima-se que 10% de toda água consumida no meio urbano, seja destinada a operações de lavagem de roupas, o que torna importante o estudo deste tipo de efluente (BUSS et al., 2015). Desta forma, fica evidente a necessidade e importância de medidas de conservação do meio ambiente, como o tratamento dos efluentes industriais e sua reutilização, com consequente redução de consumo da água, favorecendo o desenvolvimento sustentável na Região.

O efluente dessas lavanderias é composto por agentes que alteram o potencial Hidrogeniônico (pH) da água, corantes, matéria orgânica degradável e de difícil degradação, nutrientes, sais e sulfatos, além de substâncias tóxicas ao homem e ao meio ambiente, como os metais pesados (SEN e DEMIRER, 2003). A coloração nítida e intensa, sólidos suspensos em grande quantidade, temperatura elevada e grandes concentrações de Demanda Química de Oxigênio (DQO) são características comuns desses efluentes (NAGEL-HASSEMER et al., 2012; MARCELINO, 2013).

Os efluentes líquidos de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos na Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA N°. 430/2011.

QUEIROGA, G. M.; MELO, D. de C. P. de; LAMARDO, E. Z.

Deste modo, para diminuir o impacto ambiental dos efluentes industriais das lavanderias de beneficiamento têxtil, as empresas instaladas no polo de confecção do Agreste de Pernambuco têm recorrido ao tratamento físico-químico de seus efluentes, que na sua maioria é composto apenas pela etapa de coagulação-floculação. Segundo Sperling (1995), este tipo de tratamento objetiva apenas a remoção dos sólidos grosseiros, sólidos em suspensão sedimentáveis e parte da matéria orgânica. Logo, é necessário que as Estações de Tratamento de Efluentes (ETE) das lavanderias têxteis estejam preparadas para receber um tratamento secundário.

Diante da necessidade e importância de medidas de conservação do meio ambiente, a preocupação com a gestão dos efluentes têxteis para minimizar os seus impactos ambientais deverá estar associada à adequação de tecnologias como o tratamento dos efluentes das lavanderias de beneficiamento de jeans e sua reutilização, com consequente redução de consumo da água.

Dentro deste contexto, este trabalho objetivou avaliar desempenho de duas ETEs de lavanderias têxteis do polo de confecções do Agreste pernambucano, localizadas no município de Caruaru-PE, que utilizam processos físico-químicos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

Este estudo foi desenvolvido no município de Caruaru, que está localizado na Mesorregião do Agreste de Pernambuco, entre as coordenadas 08° 17' 00" S e 35° 58' 34" W, e distante cerca de 130 km a oeste de Recife, capital do estado. No último Censo Demográfico realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2010, Caruaru apresentou uma população estimada em 314.912 habitantes, sendo a quarta maior cidade em população no estado de Pernambuco (IBGE, 2010).

Caruaru é a maior cidade do interior pernambucano e a quarta do estado, compondo um quadro de importância para toda a região Nordeste. Importância que vai desde os aspectos socioculturais até os econômicos. O município, de acordo com dados de 2013 do IBGE, detém o quinto maior Produto Interno Bruto (PIB) do Estado, com uma receita aproximada de R\$ 3.490.579,001.

Para o desenvolvimento deste estudo, foram escolhidas duas estações de tratamento de efluentes instaladas em lavanderias de pequeno e médio porte, e localizadas na área rural e distrito industrial do município de Caruaru, respectivamente. A classificação do porte das lavanderias foi feita de acordo com a Lei nº 12.916, de 08 de novembro de 2005, que dispõe sobre licenciamento ambiental, infrações administrativas ambientais, e dá outras providências.

2.2 Caracterização das etapas de tratamento dos efluentes.

2.2.1 ETE da Lavanderia 1 (médio porte)

A figura 1 apresenta um fluxograma esquemático das etapas do tratamento. O quadro 1 apre-

QUEIROGA, G. M; MELO, D. de C. P. de; LAMARDO, E. Z.

senta o detalhamento e objetivo de cada etapa. A configuração da ETE da lavanderia 1 consiste basicamente de um tratamento preliminar (gradeamento), seguido de um tratamento físico-químico.

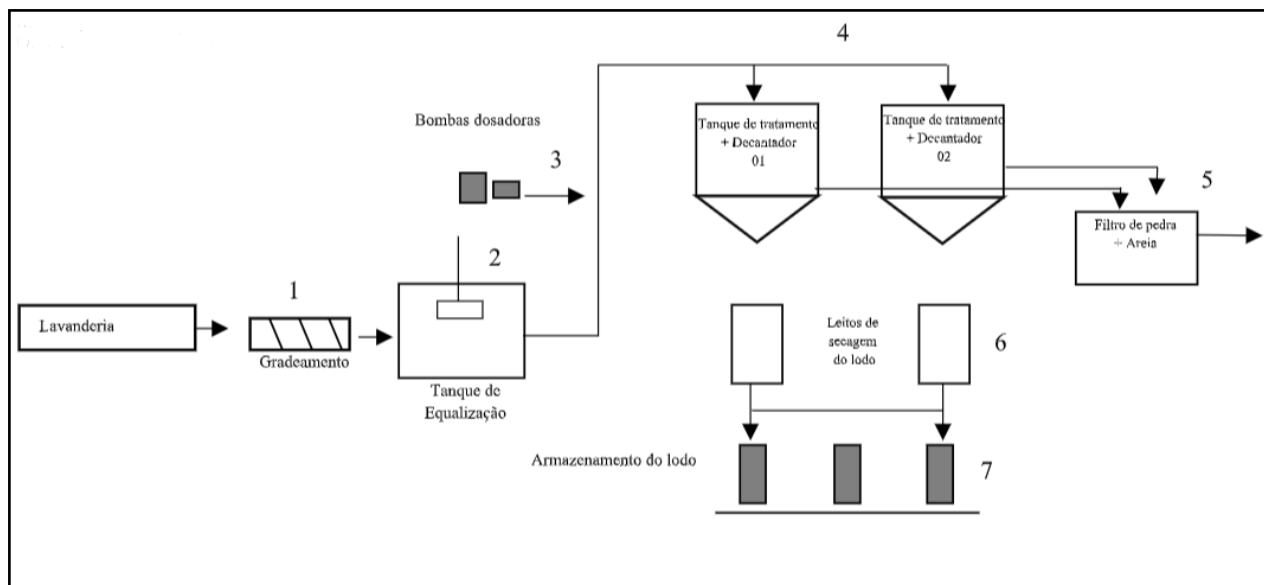


Figura 1: Esquema da estação de tratamento de efluentes da Lavanderia 1. **Fonte:** Elaborada pelos autores.

As características da ETE e etapas do tratamento estão descritas no quadro 1.

Etapa	Características	Objetivos
Gradeamento 1	Grade paralela média de aço, com espaçamento de 2 a 4 cm e espessura de 5/16 × 1½ polegadas.	Remover fibras de tecidos mais grosseiros.
Tanque de Equalização 2	Mecanizado; De 50 m³; O bombeamento do Efluente equalizado é feito em média duas vezes por dia, aplicando o coagulante “tanino” na concentração de 15% (v/v) e um polímero floculante na concentração 0,5 g/L.	Eliminar choque de cargas e estabilizar o pH; Homogeneizar do efluente bruto e a regulação da vazão de entrada de 80m³/dia; Na sequência, é feito o bombeamento do efluente bruto.
Tanque de Tratamento (Floculador + Decantador) • e 4	Erguido em alvenaria; Capacidade de 30 m; Tempo de detenção hidráulica média de 4h.	Misturar coagulante e floculante; Sedimentação gradual dos sólidos (flocos) em suspensão no fundo do tanque; Formação e decantação do lodo
Filtro 5	Filtro de areia e brita; Erguido em alvenaria; Área de 2 m²; Taxa de Infiltração: 1,66m³/m².dia.	Remoção dos sólidos suspensos remanescentes.
Leito de secagem do Lodo 6	Dois leitos de secagem; Erguido em alvenaria; Área de 8 m²; Tempo médio de secagem: 15 dias.	Secagem do lodo; Armazenamento do lodo seco em sacos plásticos para encaminhamento a um aterro sanitário industrial.

Quadro 1: Descrição das etapas do tratamento de efluentes da Lavanderia 1.

Fonte: Elaborado pelos autores.

QUEIROGA, G. M; MELO, D. de C. P. de; LAMARDO, E. Z.

2.2.2 ETE da Lavanderia 2 (pequeno porte)

A figura 2 apresenta um fluxograma esquemático das etapas do tratamento. O quadro 2 apresenta o detalhamento e objetivo de cada etapa. A configuração da ETE da lavanderia 2 consiste basicamente de um tratamento preliminar (gradeamento), seguido de um tratamento físico-químico, incluindo uma etapa de aeração.

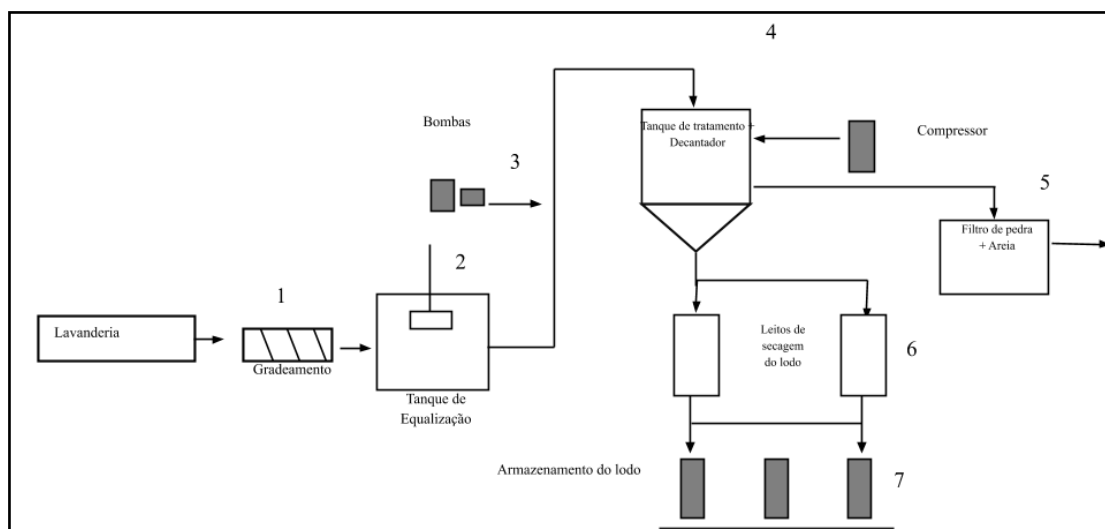


Figura 2: Esquema da estação de tratamento de efluentes da Lavanderia 2. **Fonte:** Elaborado pelos autores.

As características da ETE da lavanderia 2 e etapas do tratamento estão descritas no quadro 2:

Etapa	Características	Descrição
Gradeamento	Grade paralela média de aço, com espaçamento de 2 a 4 cm e espessura de 5/16 x 1½ polegadas.	Remover fibras de tecidos mais grosseiros.
Tanque de Equalização + Bomba	Equalização manual- Erguido em alvenaria; Capacidade aproximada de 10 m³. Elimina choque de cargas e estabilizar o pH.	Homogeneização do efluente bruto; Regulação da vazão de entrada em 10 m³/dia; Recalque do efluente bruto que é feito uma vez por dia aplicando o coagulante Sulfato de Alumínio na concentração de 0,8% (v/v) + polímero orgânico na concentração de 0,4% (m/m).
Tanque de Tratamento (Floculador + Decantador)	Os Tanques de tratamento erguidos em alvenaria possuem capacidade de 30 m³ e tempo de detenção hidráulica média de 4h.	O efluente equalizado é bombeado para o tanque de tratamento onde é aplicado o agente coagulante.
Aeração	Compressor: deslocamento de 10pés³/min, 110L de capacidade e 140 PSI.	Realizar uma aeração por 14 minutos no tanque de tratamento.
Filtro	Filtro de areia e brita possui área de 1,5m² e taxa de filtração: 0,3m³/m².dia.	Remoção dos sólidos suspensos remanescentes.
Leito de secagem do Lodo	Três leitos de secagem do lodo; Erguido em alvenaria; Área de 4 m²; Tempo médio de secagem: 15 dias.	Secagem do lodo; Armazenamento do lodo seco em sacos plásticos para encaminhamento a um aterro sanitário industrial.

Quadro 2: Descrição das etapas do tratamento de efluentes da Lavanderia 2.

Fonte: Elaborado pelos autores.

QUEIROGA, G. M.; MELO, D. de C. P. de; LAMARDO, E. Z.

2.3 Amostragem

Foram realizadas 26 coletas simples do afluente e efluente final em cada uma das ETEs, totalizando 104 amostras entre 2013 e 2015. No ano de 2015, realizou-se o mesmo número de coletas dos anos anteriores, excetuando-se o mês de dezembro por problemas operacionais. É importante destacar que nos meses de janeiro e fevereiro as lavanderias entram em recesso.

Os seguintes parâmetros foram analisados nos efluentes: Temperatura, pH, Demanda Química de oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Sólidos Suspensos Totais. A coleta e análises laboratoriais seguiram os procedimentos e métodos preconizados pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012). Os resultados foram comparados com os limites estabelecidos pela resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA nº 430/2011 e COSEMA-RS nº 128/2006.

2.4 Índice de capacidade dos processos (Cpk)

Com o auxílio do *software* Minitab a qualidade do efluente bruto e após os processos de tratamento foram analisados quanto a sua média, desvio padrão, intervalo dos valores, número de não conformidades e capacidade (Cpk). As análises da capacidade dos processos feitas foram do tipo “menor é melhor”, aplicado quando se tem uma especificação superior a ser atendida e a especificação inferior é tanto melhor quanto mais próximos de zero forem os resultados obtidos.

Para este estudo foi utilizado os gráficos de controle de Shewhart, que permitem detectar a ocorrência de causas de variabilidade específicas para permitir uma ação corretiva dos processos (CARDOSO, 2015).

Para verificação do não controle do processo, idealizado por Smeti (2007), foram definidas três hipóteses:

Hipótese 1: Um ponto com valor maior do que três vezes o desvio padrão;

Hipótese 2: 2 de 3 pontos com valores maiores do que 2 vezes o desvio padrão; e

Hipótese 3: 6 pontos consecutivos aumentando ou diminuindo.

Os Limites Inferiores (LIC) e Superiores (LSC) de Controle, descritos nos gráficos de controle, foram calculados a partir das equações 1 e 2 (MONTGOMERY e RUNGER, 2013).

$$LSC = \mu + 3\left(\frac{AM}{1,128}\right) \quad (01)$$

$$LIC = \mu - 3\left(\frac{AM}{1,128}\right) \quad (02)$$

Sendo:

LSC - Limite Superior de Controle;

LIC - Limite Inferior de Controle;

μ - Média das médias móveis; e

AM - Amplitude móvel da média.

Capacidade dos processos foi estimada por meio do Índice de capacidade (Cpk), Equação (03), proposto por Ribeiro e Ten Caten (2012).

QUEIROGA, G. M; MELO, D. de C. P. de; LAMARDO, E. Z.

$$Cpk (superior) = \frac{LSE - \bar{X}}{3\sigma} \quad (03)$$

Sendo:

 $\bar{X}$ – Média das médias móveis;

LSE – Limite Superior da Especificação; e

 σ - Desvio padrão da amostra.

O índice de capacidade (Cpk) é uma ferramenta de controle estatístico e foi calculado para avaliar se os parâmetros Temperatura, pH, Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Sólidos Suspensos Totais (SST) estão dentro do valor máximo exigido pela legislação vigente para lançamento de efluente em corpos hídricos. Contudo devido à ausência de limites de especificação para alguns desses parâmetros pela Resolução CONAMA No 430/2011 e Norma Técnica NT-202.R-10 da Agência Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco (CPRH) (PERNAMBUCO, 2002), optou-se por utilizar a resolução COSEMA-RS No 128/2006 (RIO GRANDE DO SUL, 2006) para aplicar o índice Cpk.

A relação entre índice Cpk e o percentual (%) estimado estatisticamente de eventos fora da especificação estão resumidos na Tabela 1.

Capacidade	Cpk	% fora de especificação
Muito incapaz	0,33	32%
Incapaz	0,66	4,4%
Capaz	1,00	0,27%
Muito capaz	1,33	0,0064%
Extremamente capaz	1,67	0,0000%

Tabela 1: Escala para a avaliação da capacidade dos processos produtivos.

Fonte: Ribeiro e Ten Caten (2002).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Gráficos de controle

3.1.1 Lavanderia 1 (médio Porte)

O parâmetro temperatura (figura 3) não apresentou uma disposição aleatória ao longo do período do monitoramento e não operou sob controle uma vez que, de acordo com a hipótese 1, apresentou um ponto com valor maior do que três vezes o desvio e, na hipótese 2, foi verificado 2 de 3 pontos com mais de 2 desvios padrão da linha central (em um lado da LC). De acordo com o gráfico de controle, os valores da temperatura não excederam os 30°C, ou seja, esse parâmetro está de acordo com as exigências da resolução CONAMA n° 430/2011, embora para o descarte final em corpos hídricos os valores da temperatura sejam muitos significativos, no sistema de tratamento monitorado coagulação-floculação, não causou interferências.

Durante o período de monitoramento, a temperatura do efluente bruto e tratado da lavanderia 1 variou em média $29 \pm 1^\circ\text{C}$, atendendo aos limites de especificação exigido pela Resolução CONAMA n° 430/2011, que é de $T < 40^\circ\text{C}$. Os resultados observados sobre a temperatura do efluente bruto

QUEIROGA, G. M; MELO, D. de C. P. de; LAMARDO, E. Z.

e tratado foram muito próximos aos encontrados por Costa (2008), Santos (2008) e Oliveira (2009), cujas temperaturas dos efluentes variaram entre 26,7 °C e 29,3 °C.

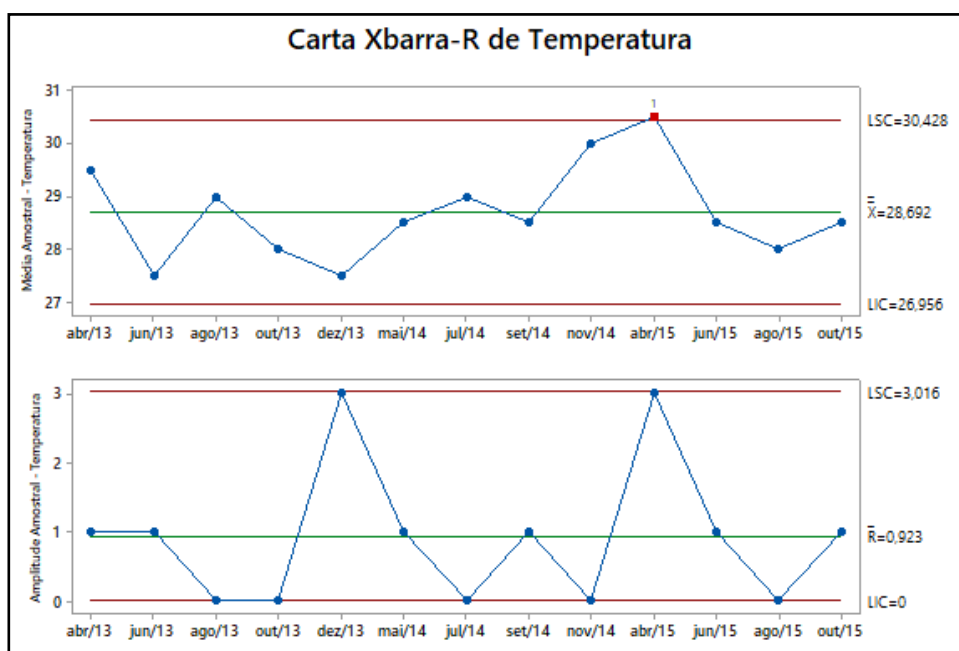


Figura 3. Gráfico de controle da temperatura do efluente tratado da Lavanderia 1.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Para os valores de pH (figura 4) foi observada uma disposição ao longo do período do monitoramento, porém não operou sob controle, uma vez que, de acordo com a hipótese 1, apresentou um ponto com valor maior do que três vezes o desvio e, na hipótese 2, foi verificado 2 de 3 pontos com mais de 2 desvios padrão da linha central (em um lado da LC). Mesmo diante da variabilidade dos valores do pH, verificou-se que a legislação, Resolução n° 430/2011 do CONAMA, foi atendida. Esta variabilidade não interferiu no processo de coagulação, haja vista que o reagente empregado, TANI-NO, se enquadra a diferentes faixas de pH.

Durante o período de monitoramento o pH do efluente bruto e tratado da lavanderia 1 variou em média $7,0 \pm 0,5$, respectivamente, atendendo aos limites de especificação exigido pela Resolução do CONAMA n° 430/2011, que são de pH na faixa entre 6 – 8. Os resultados observados sobre o pH do efluente bruto e tratado foram muito próximos aos encontrados por Costa (2008), Santos (2008) e Oliveira (2009), cujos valores do pH dos efluentes variaram entre 6,5 e 7,8 (OLIVEIRA, 2009), 7,2 (SANTOS, 2008) e 6,5 (COSTA, 2008).

QUEIROGA, G. M; MELO, D. de C. P. de; LAMARDO, E. Z.

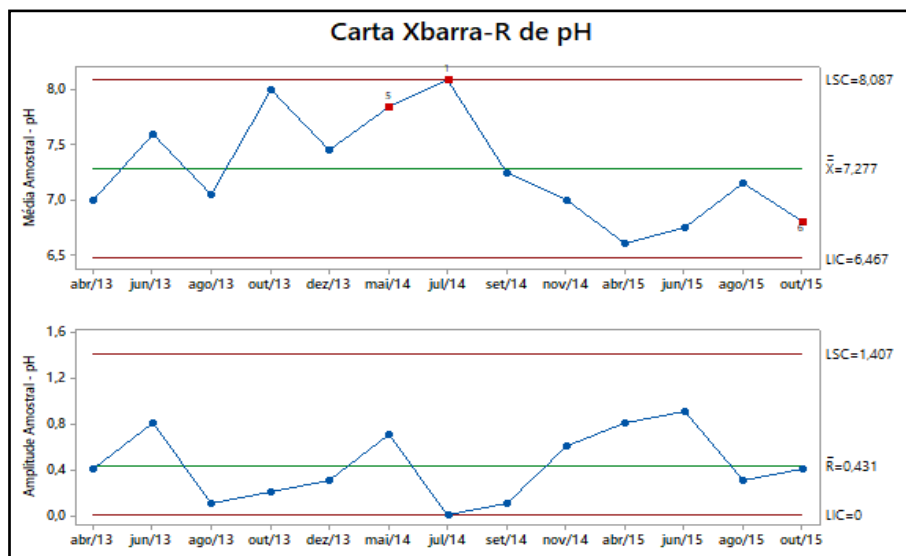


Figura 4: Gráfico de controle da pH do afluente da Lavanderia 1. **Fonte:** Elaborado pelos autores.

O gráfico de controle do processo de coagulação-floculação para a DQO do efluente da ETE (figura 5) para os testes realizados para as hipóteses 1, 2 e 3, não foram ratificadas. Assim, pode-se considerar que o sistema operou sob controle e verificou-se que a legislação COSEMA-RS No 128/2006 foi atendida, inclusive com a possibilidade de ser mais restritiva, uma vez que o limite superior de controle está abaixo do limite de especificação da resolução citada.

Na ETE da lavanderia 1, o valor médio da DQO no efluente tratado foi de 259 ± 30 mg O₂/L. Estudos realizados em ETEs de lavanderias têxteis, no polo de confecções do Agreste de Pernambuco, indicaram valores médios de DQO de 658 mg O₂/L (MARCELINO, 2013), 280 mg O₂/L (SANTOS, 2008), 1.143 mg O₂/L (AMARAL et al., 2011), 763 mg O₂/L (FERRAZ JR. et al., 2011), 482 mg O₂/L (CHAGAS, 2009), 586 mg O₂/L (COSTA, 2008) e 1.135 mg O₂/L (SANTOS, 2006), indicando que, mesmo operando com um processo físico-químico, o resultado da DQO é mais satisfatório quando comparado aos estudos citados, cujos processos envolvidos no tratamento são mais complexos.

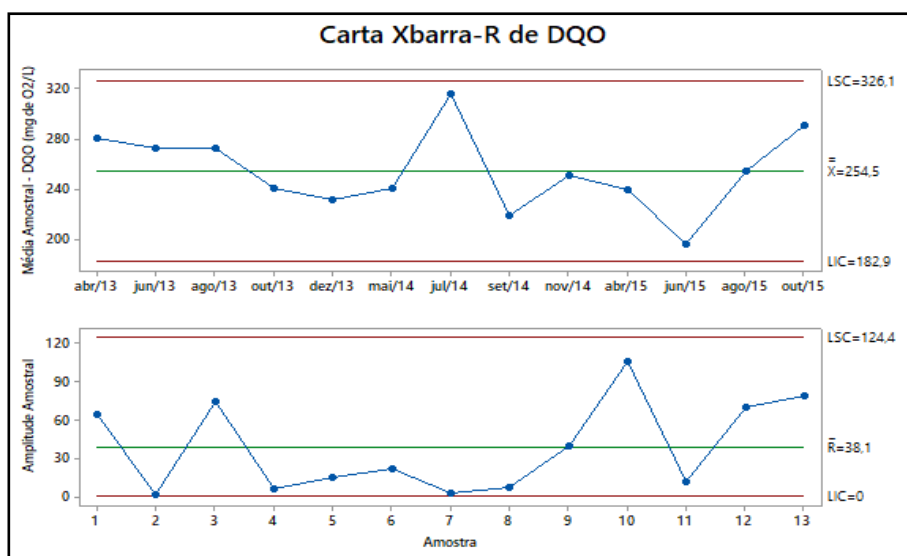


Figura 5. Gráfico de controle da DQO do efluente da Lavanderia 1. **Fonte:** Elaborado pelos autores.

QUEIROGA, G. M; MELO, D. de C. P. de; LAMARDO, E. Z.

Quanto a DBO, o gráfico de controle (figura 6) apresentou dados bem distribuídos. Para as hipóteses 1, 2 e 3, não foram ratificadas. Assim pode-se considerar que o sistema operou sob controle, e verificou-se que a legislação COSEMA-RS No 128/2006 foi atendida, inclusive com a possibilidade de ser mais restritiva, uma vez que o limite superior de controle está abaixo do limite de especificação da resolução citada.

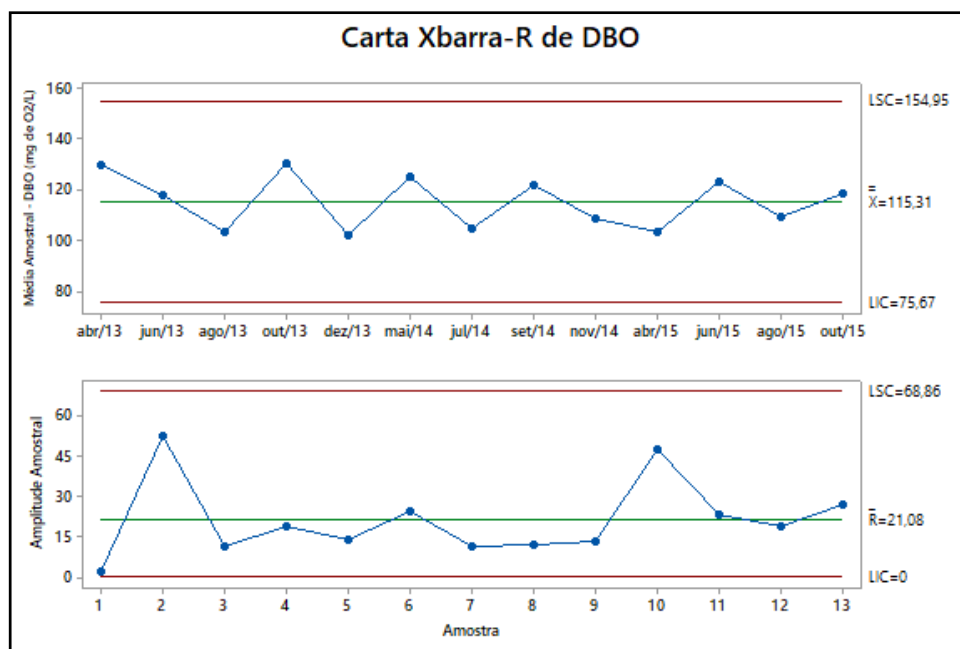


Figura 6. Gráfico de controle da DBO do efluente da Lavanderia 1. **Fonte:** Elaborada pelos autores.

O gráfico de controle para os SST (figura 7) apresentou dados bem distribuídos. Verificou-se que as hipóteses 1, 2 e 3 não foram ratificadas. Assim pode-se considerar que o sistema operou sob controle, e verificou-se que a legislação COSEMA-RS No 128/2006 foi atendida.

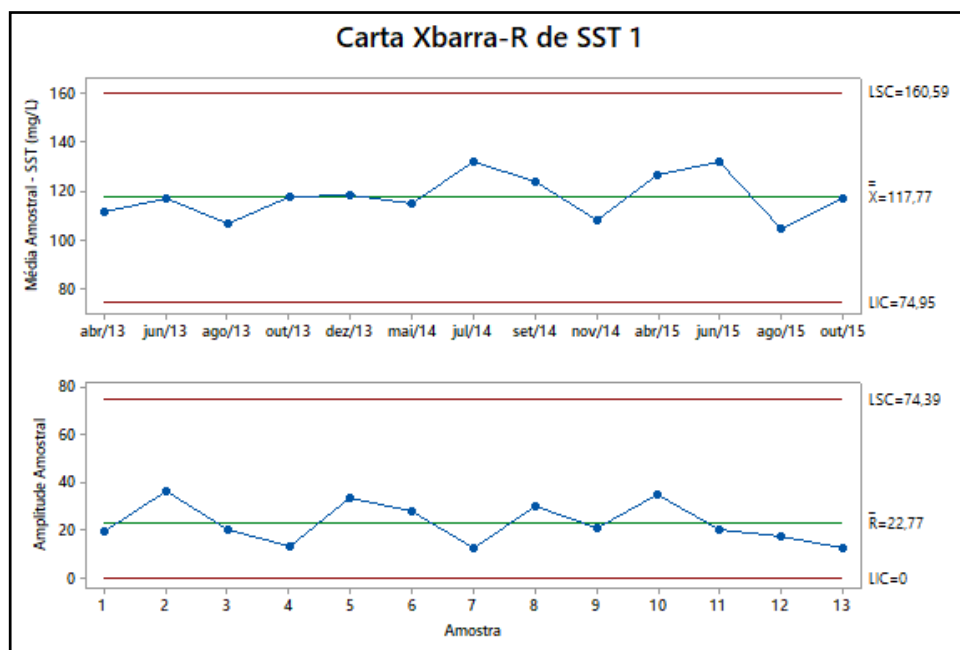


Figura 7: Gráfico de controle dos SST do efluente da Lavanderia 1. **Fonte:** Elaborada pelos autores.

QUEIROGA, G. M; MELO, D. de C. P. de; LAMARDO, E. Z.

3.1.3 Lavanderia 2 (pequeno porte)

O parâmetro temperatura (figura 8) não apresentou uma disposição aleatória ao longo do período do monitoramento, dos testes realizados as hipóteses 1, 2 e 3 não foram ratificadas, assim pode-se considerar que o sistema operou sob controle. De acordo com o gráfico de controle, os valores da temperatura não excederam os 30 °C, ou seja, esse parâmetro está de acordo com as exigências da Resolução nº 430/2011 do CONAMA. Embora os valores da temperatura sejam muito significativos para o descarte final em corpos hídricos, este parâmetro não causou interferências no sistema de tratamento monitorado.

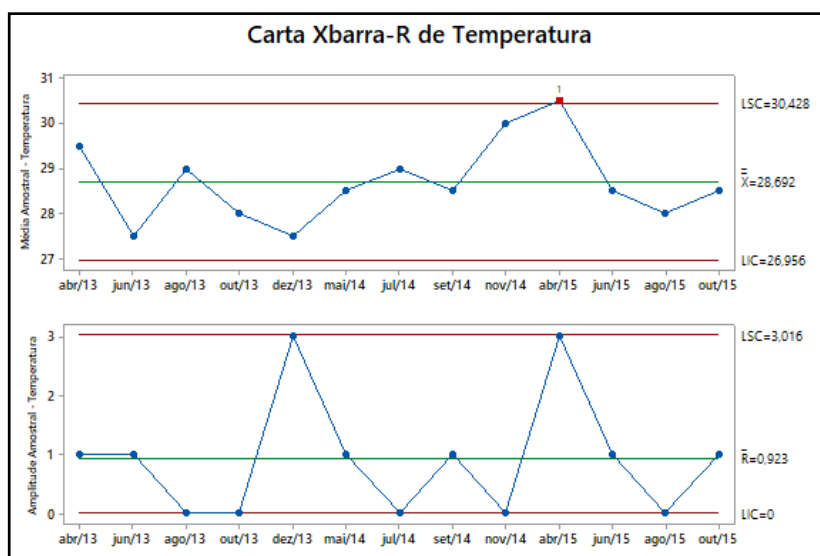


Figura 8: Gráfico de controle da temperatura do efluente da Lavanderia 2. **Fonte:** Elaborada pelos autores.

Para os valores de pH (figura 9) as hipóteses 1, 2 e 3 não foram ratificadas, assim pode-se considerar que o sistema operou sob controle. Para essa modalidade de tratamento, em que se utilizou o sulfato de Alumínio, os valores de pH não foram satisfatórios, pois o processo de coagulação utilizando-se esse reagente é satisfatório para meio alcalino.

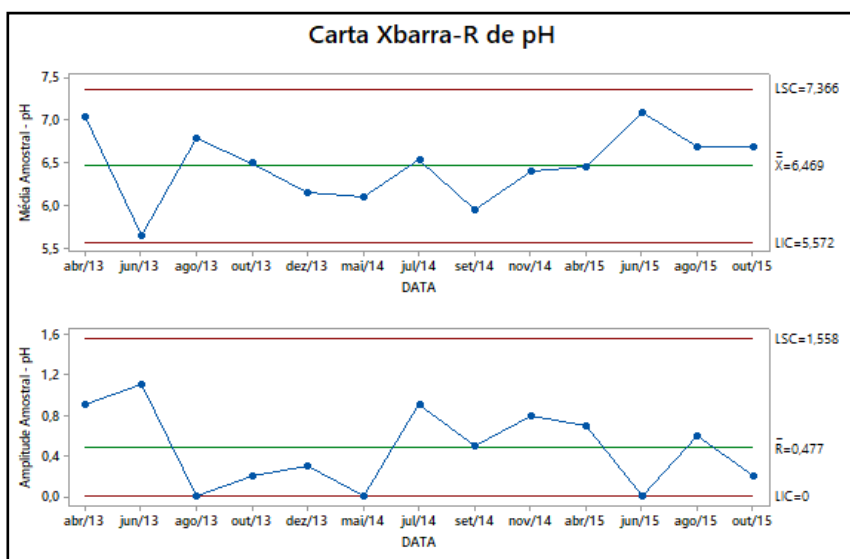


Figura 9: Gráfico de controle do pH do efluente da Lavanderia 2. **Fonte:** Elaborada pelos autores.

QUEIROGA, G. M; MELO, D. de C. P. de; LAMARDO, E. Z.

A DQO do efluente da ETE (figura 10), para a hipótese 1, apresentou um ponto com valor maior do que três vezes o desvio padrão e mesmo apresentando variação acima e abaixo da linha central, ao longo do tempo do estado de controle foi verificado um valor fora dos limites; logo, o sistema não operou sob controle ponto 4. Já 2 e 3 não foram ratificadas. Verificou-se que a legislação COSEMA-RS No 128/2006 não foi atendida

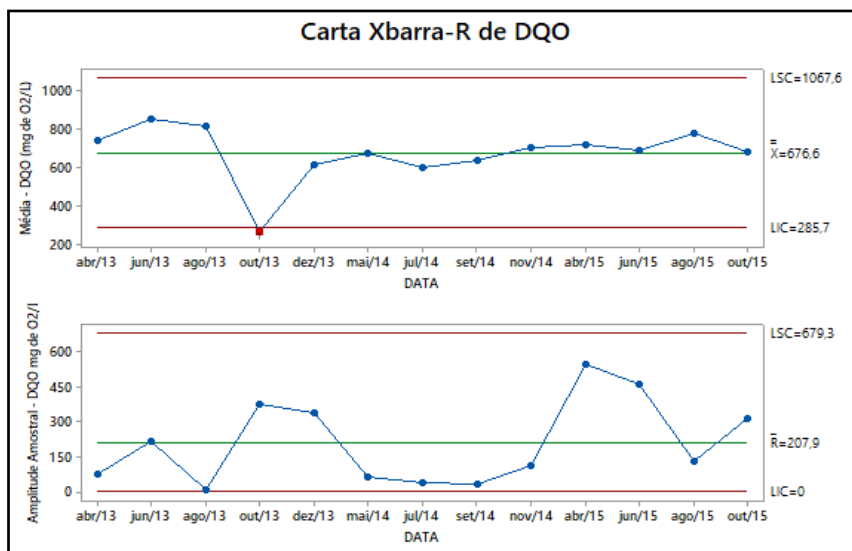


Figura 10: Gráfico de controle da DQO do efluente da Lavanderia 2. **Fonte:** Elaborada pelos autores.

Para a DBO, o gráfico de controle (figura 11) apresentou dados bem distribuídos. Para a hipótese 1, não foi verificado nenhum ponto fora dos limites de controle, as hipóteses dos testes 2 e 3 não foram confirmadas, portanto o sistema encontra-se sob controle para a variável Demanda bioquímica de Oxigênio (DBO), pois as três hipóteses não foram confirmadas: verificou-se que a legislação COSEMA-RS No 128/2006 não foi atendida.

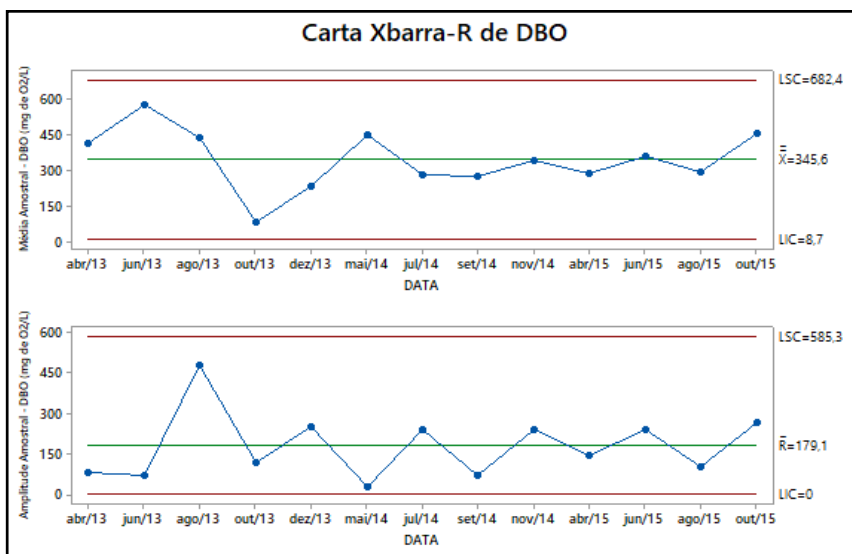


Figura 11: Gráfico de controle da DBO do efluente da Lavanderia 2. **Fonte:** Elaborada pelos autores.

Quanto ao parâmetro Sólidos suspensos Totais (SST), o efluente da ETE não apresentou um estado de controle (figura 12), pois de acordo com a hipótese 1 apresenta um ponto com valor maior do que três

QUEIROGA, G. M; MELO, D. de C. P. de; LAMARDO, E. Z.

vezes o desvio padrão e mesmo apresentando variação acima e abaixo da linha central, ao longo do tempo do estado de controle foi verificado um valor fora dos limites, o ponto 4. Quanto as hipóteses de 2 e 3 não foram ratificadas.

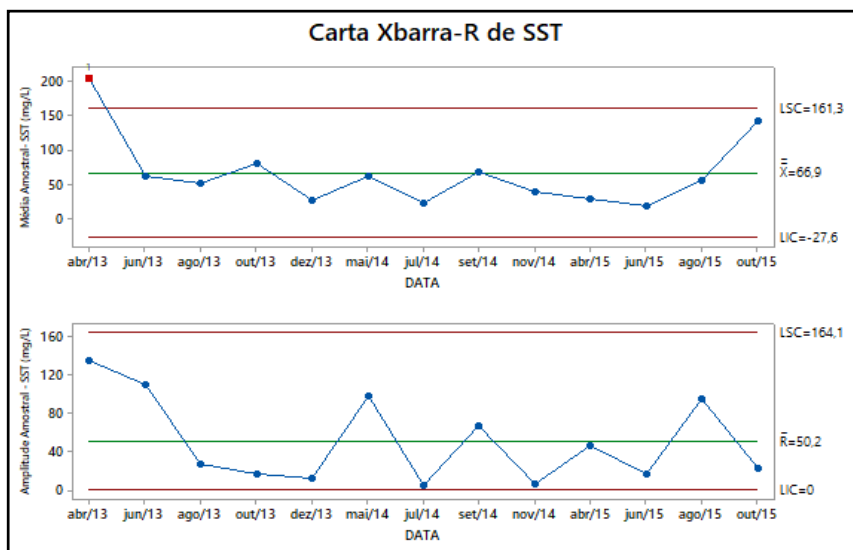


Figura 12: Gráfico de controle da SST do efluente da Lavanderia 2. **Fonte:** Elaborada pelos autores.

3.2 Eficiência das ETEs

A eficiência média na ETE da Lavanderia 1 na remoção da DQO, DBO e SST foi de 74,87%, 64,89% e 90,91%, respectivamente. Já a lavanderia 2 apresentou eficiência média de 64,33%, 62,70% e 95,00% em termos de DQO, DBO e SST, respectivamente.

Levando-se em consideração apenas as exigências da resolução do CONAMA, remoção mínima de 60% da DBO, os efluentes das ETEs estariam dentro dos limites para o descarte, porém mesmo operando com a eficiência em remoção de DQO e DBO acima de 60% a ETE da lavanderia 2, excetuando-se os meses de outubro, novembro e dezembro de 2013, não conferiu ao efluente as características físico-químicas mínimas para o descarte de acordo com a Resolução nº 128/2006 do COSEMA-RS. A resolução no 430/2011 do CONAMA precisa ser mais restritiva estabelecendo limites superiores e inferiores de especificação, uma vez que a variabilidade dos valores dos parâmetros no efluente bruto é elevada.

A ETE da lavanderia 2, durante o tratamento do efluente, utilizou um compressor para melhorar a floculação, o que encareceu o processo e não o viabilizou, uma vez que aumentou o consumo de energia e não foi verificada uma remoção satisfatória da DQO e DBO. No tratamento do Efluente da Lavanderia 2 foi utilizado o sulfato de alumínio como agente coagulante que, quando comparado ao tanino da lavanderia 1, apresenta, como aspectos negativos, a faixa restrita de pH para as reações e introdução de metal ao processo.

Baseado nestes fatores, o processo utilizado pela lavanderia 1 mostrou-se mais interessante do ponto de vista ambiental e econômico, uma vez que o coagulante tanino é um composto biodegradável e existe uma economia de energia quando comparada a ETE da lavanderia 2, que usa a aeração durante a floculação.

QUEIROGA, G. M.; MELO, D. de C. P. de; LAMARDO, E. Z.

3.3 Índice de Capacidade do Processo

De acordo com os valores dos parâmetros físico-químicos do efluente tratado da lavanderia 1, foi determinado o Cpk para a temperatura e pH cujos valores foram 3,36 e 1,05, respectivamente, classificando o processo como extremamente capaz para a temperatura e capaz para o pH (tabela 1). Para a DQO, DBO e SST da lavanderia 1, os índices Cpk do efluente tratado foram 1,0; 0,99 e 0,99, respectivamente, classificando o processo como capaz (tabela 1). Os resultados obtidos nas análises físico-químicas mostram que o único efluente que satisfaz às exigências dos órgãos ambientais CO-NAMA e COSEMA-RS foi o efluente tratado pelo processo de coagulação-floculação.

Analizando-se os resultados obtidos do efluente tratado da lavanderia 2, constatou-se que os parâmetros temperatura e pH apresentaram o índice Cpk igual a 1,63 e 541, respectivamente, classificando o processo como muito capaz para a temperatura e extremamente capaz para o pH (tabela 1). Entretanto, os índices Cpk para os parâmetros DQO, DBO e SST foram, respectivamente, -0,54, - 0,39 e - 0,53, classificando o processo como muito incapaz (tabela 1).

4. CONCLUSÕES

O tratamento de efluentes de indústrias têxteis, usando o processo de coagulação-floculação da ETE 1, se mostrou mais eficaz na remoção de poluentes e mais capaz de acordo com o índice Cpk, sendo mais econômico e menos agressivo ao meio ambiente, pois utiliza coagulante biodegradável, tanino, e não introduz metais ao ecossistema.

No processo de coagulação-floculação-aeração da ETE 2, o tratamento se mostrou ineficiente, quanto à remoção de poluentes, DQO, DBO e SST, pois não atende os limites de especificação da Resolução nº128/2006 do COSEMA-RS. De acordo com índice Cpk é um processo extremamente incapaz, inviabilizando-o.

Apesar de atender as exigências dos órgãos ambientais, o sistema de coagulação-floculação gera um volume elevado de lodo. De acordo com a relação DQO/DBO média do Efluente Bruto e do Efluente tratado, 3,2 e 2,8 respectivamente, sugere-se um estudo para implantar um tratamento biológico, substituindo o físico-químico, pois reduz os custos com energia elétrica e reagentes químicos, além de gerar menor quantidade de lodo.

Os processos de controle apresentados na forma de média móvel em cartas de controle podem ser utilizados para avaliar o processo físico-químico no tratamento de efluentes.

Os valores de Cpk indicaram que há variabilidades inerentes ao processo principalmente na coagulação-floculação-aeração que precisam ser minimizados, para que possa ser atendido os limites de especificação.

QUEIROGA, G. M.; MELO, D. de C. P. de; LAMARDO, E. Z.

REFERÊNCIAS

AMARAL, F. M., KATO, M. T., FLORÊNCIO, L., BARROS, K. K., GAVAZZA, S. Jeans laundry effluent treatment by anaerobic and aerobic process (in portuguese). In: **Proceedings of the 10th Latin American Workshop and Symposium on Anaerobic Digestion**. IWA, Ouro Preto, Brazil, 2011.

AMARAL, M.V. et al. A questão ambiental no pólo de confecções de Caruaru: um primeiro ensaio à luz dos instrumentos econômicos de proteção ambiental. **Estudos do CEPE**, n. 35, p. 108-132, 2012.

APHA - American Public Health Association. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21sted. Washington DC, USA: American Water Works Association/ Water Environment Federation, 2005.

BEZERRA, A. A. D. S.; FREITAS, L. S de. **Avaliação das atividades de uma lavanderia industrial à luz da Produção Mais Limpa no polo de confecções de Santa Cruz do Capibaribe – PE**. XVI SEMEAD Seminários em Administração. Santa Cruz do Capibaribe–PE. 2013.

BUSS, M. V.; RIBEIRO, E. F.; SCHNEIDER, I. A. H.; MENEZES, J. C. S. d. S., Tratamento dos efluentes de uma lavanderia industrial: avaliação da capacidade de diferentes processos de tratamento. **Revista de Engenharia Civil IMED**, v. 2, n. 1, p. 2-10, 2015.

CARDOSO, M. L.; COSTANZI, R. N. Qualidade de controle aplicada a tratamento de efluente de laticínio por sistema alagado construído híbrido. **20 Simpósio Brasileiro sobre Wetlands Construídos**, 2015, UTFPR, Curitiba-PR.

CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – CONSEMA (Estado). **Resolução nº 128, de 24 de novembro de 2006**. Dispõe sobre a fixação de padrões de emissão de efluentes líquidos para fontes de emissão que lancem seus efluentes em águas superficiais no estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de março de 2005. Publicado no D.O.U. nº 92, de 16/05/2011, p. 89.

COSTA, A. F. S. **Aplicação de tratamentos biológico e físico-químico em efluentes de lavanderia e tinturaria industriais no município de Toritama no estado de Pernambuco**. 2008. 87f. Dissertação (Mestre em Desenvolvimento em processos ambientais). Universidade Católica de Pernambuco, Recife-PE. 2008.

CHAGAS, M. A. **Tratamento de efluente têxtil por processo físico-químico e biológico**. Dissertação (Mestrado) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, 2009.

CPRH - Companhia Pernambucana do Meio Ambiente. **Roteiro Complementar de licenciamento e fiscalização para tipologia têxtil**. Recife, 2001. Disponível em: <http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/roteiro-textil.pdf>.

QUEIROGA, G. M.; MELO, D. de C. P. de; LAMARDO, E. Z.

FERRAZ, A. D. N., KATO, M. T., FLORENCIO, L., GAVAZZA, S. Textile effluent treatment in a UASB reactor followed by submerged aerated biofiltration. **Water Science and Technology**, 64 (8), 1581, 2011.

FRANK, C. da S. **Avaliação de fotorreatores na degradação de corantes reativos e efluente têxtil**. 2004. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, 2004.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico: Resultados preliminares** – Caruaru. Rio de Janeiro, 2010.

_____ - **idades @**. Disponível em: < <https://idades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 10 jun. 2013.

MARCELINO, D. M. S. **Avaliação da remoção de cor, matéria orgânica e sulfato de efluente têxtil através de reatores biológicos sequenciais**. 2013. 70f. Dissertação (Mestra em Engenharia civil e ambiental). Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru-PE. 2013.

MONTGOMERY, D.; RUNGER, G. C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

NAGEL-HASSEMER, M. E.; CORAL, L. A.; LAPOLLI, F. R.; AMORIM, M. T. S.P. de. Processo UV/H₂O₂ como pós-tratamento para remoção de cor e polimento final em efluentes têxteis. **Química Nova**, vol.35 no.5 São Paulo, 2012.

OLIVEIRA, R. G. D. **Caracterização das águas e efluentes em lavanderias de jeans no Agreste pernambucano**. 2009. 88f. Dissertação (Mestra em Engenharia civil). Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE. 2009.

PERNAMBUCO (Estado). **Lei nº 12916, de 08 de novembro de 2005**. Dispõe Sobre Licenciamento Ambiental, Infrações Administrativas Ambientais, e Dá Outras Providências. Recife, PE.

RIBEIRO, J. L. D., & TEN CATEN, C. S. **Controle estatístico do processo**: cartas de controle para variáveis, cartas de controle para atributos, função de perda quadrática, análise de sistemas de medição. Porto Alegre: FEENG/UFRGS. 2012 138p.

SANTOS, E. O. **Caracterização, biodegradabilidade e tratabilidade do efluente de uma lavanderia industrial**. Dissertação (Mestrado) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, UFPE, 2006.

SANTOS, R. C. M. M. d. **Estudos dos parâmetros relevantes da poluição da água por efluentes de lavanderia e tinturaria industriais em um rio não perene**. 2008. 78f. Dissertação (Mestre em Desenvolvimento em processos ambientais). Universidade Católica de Pernambuco, Recife-PE, 2008.

SEN, S.; DEMIRER, G. N. Anaerobic treatment of real textile wastewater with a Fluidized Bed reactor, **Water Research**. 37, 1868–1878, 2003.

SMETI, E. M. An approach for the application of statistical process control techniques for quality improvement of treated water. **Science Direct**. Desalination 213 (2007) 273–281.

QUEIROGA, G. M; MELO, D. de C. P. de; LAMARDO, E. Z.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: DESA; UFMG, 1995.

TENÓRIO, J. N. B.; SANTOS, S. M. dos; CASTRO JÚNIOR, O. V. de; ARAÚJO, F. A. de. A gestão ambiental e a competitividade na indústria têxtil. In: Congresso internacional de custos, 4, Braga, Portugal, **Anais...** Braga, 2006.