



REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

ENSAIOS PARA TRATABILIDADE DE EFLUENTE ORIUNDO DO BENEFICIAMENTO DO AÇAÍ

* Vanessa Farias Feio¹
Neyson Martins Mendonça¹

TESTS FOR EFFLUENT TREATABILITY FROM THE AÇAÍ BENEFIT

Recibido el 22 de octubre de 2019; Aceptado el 13 de enero de 2021

Abstract

The objective of this research is to verify the treatability of the effluent from açai production by physical-chemical process to achieve the best removal efficiency in this effluent. Qualitative characterization of raw sewage and Jar Test assay has been performed, using tannin, aluminum polychloride and polymer. In the treated effluent, the parameters has been analyzed: pH, apparent color, turbidity and COD to evaluate the pollutant removal efficiency. A treated effluent quality index has been calculated with the support of Principal Component Analysis (PCA). As a result of the treatability tests, the best combination of polyaluminium chloride and polymer has been obtained at pH 8.0, resulting in an apparent color removal of approximately 98%; turbidity of 99% and COD equal to 90%. The results suggest that the physical-chemical treatment of this effluent obtained removal efficiency above 80% for most of the pollutants analyzed, being acceptable for the standard of discharge of treated effluent of resolution 430/2011 of CONAMA.

Keywords: Açai effluent, Jar Test, physical-chemical treatment.

¹ Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Brasil.

* *Autor correspondente:* Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará. Avenida dos Cedros S/N°. Residencial Cidade Jardim. Buriti. Paragominas. 68625-000. Pará, Brasil. Email: vanessafariasfeio@gmail.com

Resumo

O objetivo deste trabalho é verificar a tratabilidade do efluente por de fábrica de beneficiamento de açaí por processo físico-químico para alcançar a melhor eficiência de remoção neste efluente. Foi realizada a caracterização qualitativa do esgoto bruto e ensaios em jar test, utilizando tanino, policloreto de alumínio e polímero. Foram analisados no efluente tratado os parâmetros: pH, cor aparente, turbidez e DQO para avaliar a eficiência de remoção dos poluentes. Foi calculado um índice de qualidade do efluente tratado com auxílio da Análise de Componentes Principais (ACP). Como resultados dos ensaios de tratabilidade, foi obtido a melhor combinação policloreto de alumínio e polímero em pH 8.0, resultando em remoção de cor aparente de aproximadamente 98%; turbidez de 99% e DQO igual a 90%. Concluiu-se que o tratamento físico-químico deste efluente obteve remoção acima de 80% para maioria dos poluentes analisados, sendo aceitável para padrão de lançamento de efluente tratado da resolução 430/2011 do CONAMA.

Palavras chave: efluente de açaí, Jar Test, tratamento físico-químico.

Introdução

O tratamento de águas residuárias industriais tem grande importância na conservação do meio ambiente, pois esses despejos possuem uma enorme variedade de poluentes, em composição, volume e concentrações, tendo sua característica ligada a cada tipo de indústria e às vezes variam dentro do mesmo grupo de fabricação. Por isso, para escolha do melhor sistema de tratamento, deve-se analisar a especificidade de cada processo produtivo, considerando fatores técnicos, econômicos e ambientais.

A definição da tecnologia de tratamento a ser adotada muitas vezes depende da realização de ensaios em escala piloto ou bancada. Os ensaios de tratabilidade visam simular em *jar test* ou reatores estáticos, o processo de tratamento do efluente e suas condições de operação.

A indústria de beneficiamento de açaí vem se mostrando promissora de interesses econômicos devido às suas diversas possibilidades de utilização, desde a alimentação até a fabricação de energéticos, cosméticos, etc. A fabricação desse produto tem importância fundamental para a sociedade paraense, pois além de produzir alimento de alto valor nutricional para as diversas camadas sociais, principalmente para as camadas mais baixas, gera emprego e renda (Eder, 2011).

O açaí é fonte de fibras, nutrientes e alto teor de antocianinas que são compostos fenólicos pertencentes à família dos flavonóides, responsáveis pela coloração dos frutos (Paula *et al.*, 2019). Devido sua solubilidade em água, as antocianinas ocorrem dissolvidas no fluido da célula vegetal, que geralmente apresenta pH levemente ácido (Março *et al.*, 2008).

No Estado do Pará, apesar do açaizeiro produzir o ano todo, o período de maior abundância (safra) dos frutos ocorre no segundo semestre do ano (julho a dezembro), coincidindo com o

período menos chuvoso, ocasião em que o preço dos frutos alcança menor valor (Vasconcelos *et al.*, 2010).

No beneficiamento de açaí há geração de resíduos sólidos e líquidos. Estudos realizados com os resíduos sólidos são mais comuns, podendo ser aproveitados como condicionador de solo por meio do biochar da semente de açaí (Sato *et al.*, 2020), como carvão ativado de semente de açaí para remoção de íons metálicos da água (Queiroz *et al.*, 2020), utilização das fibras de açaí como mecanismos de reforço em argamassas (Azevedo *et al.*, 2021), valorização da biomassa de açaí para geração de energia (Souto *et al.*, 2021), entre outros. Para os resíduos líquidos, foco desta pesquisa, não há estudos relacionados ao tratamento e reutilização destes. Alguns estudos realizaram apenas a caracterização qualitativa da água resíduária proveniente de pontos de venda de rua (Feio *et al.*, 2014; Oliveira *et al.*, 2018) sem verificação de tratamento.

Para escolha do tratamento, deve se considerar critérios como técnica de tratamento, custos, aplicabilidade local, requisitos de área, variabilidade de vazão e concentrações, entre outros (Metcalf e Eddy, 2016) visando atender as especificidades do local.

O tratamento físico-químico é, mais extensivamente, utilizado para tratamento de efluentes industriais onde há dificuldade do tratamento biológico, por algum motivo, como a variação sazonal da concentração ou vazão de esgoto (Metcalf e Eddy, 2016). Este tratamento separa e remove contaminantes dissolvidos ou coloidais em águas residuais por reações químicas e transferência de massa, ou os converte em substâncias inofensivas (Mao *et al.*, 2020).

Na fábrica estudada nesta pesquisa, a rotina de produção de polpa de açaí se resume ao período menos chuvoso, pois neste período há melhor qualidade sensorial do fruto e menor preço (Vasconcelos *et al.*, 2010). Sendo assim, há produção diária da polpa entre os meses de julho a dezembro. Nos demais meses (entressafra), a produção é interrompida.

Com base nisso, neste trabalho são propostos ensaios em *jar test* para tratabilidade de efluente oriundo de indústria de beneficiamento de açaí por processo físico-químico, para avaliar a combinação de produtos químicos com melhor eficiência de remoção para se adequar a legislação ambiental, haja vista o lançamento sem tratamento de muitas indústrias deste setor, além da escassez de dados de tratamento com este tipo de efluente. Para isso, foi realizada a caracterização qualitativa do efluente bruto do processo produtivo da fábrica, realização dos ensaios de coagulação-floculação e análise global de remoção.

Também foi criado um índice de qualidade do efluente tratado com auxílio da Análise de Componentes Principais (ACP) para classificar os resultados obtidos nos ensaios. Este método estima em que medida a correlação entre as variáveis observadas podem ser agrupadas em um

número menor de variáveis latentes (componentes principais) (Figueiredo Filho *et al.*, 2013) reduzindo a dimensão do conjunto de dados originais sem perda significativa de informações (How *et al.*,2018).

Duas abordagens comumente usadas para considerar o número de componentes utilizados são: reter os componentes que capturam mais do que um valor de corte especificado da porcentagem cumulativa de variação, digamos mais de 70% -80%, ou usar a regra de Kaiser, que é baseada no tamanho das variações dos componentes principais, retendo apenas aqueles cujo autovalor excede 1 (Shah *et al*, 2021), que foi o critério utilizado nesta pesquisa.

A ACP gera dois parâmetros relevantes: (i) os componentes principais (autovetores de Σ), representados pelos coeficientes (pesos) das variáveis em cada um dos componentes gerados; e (ii) os autovalores de Σ , λ_k , representando a variância explicada por cada componente retido. Esses dados podem ser utilizados para gerar um índice de importância (Cervo *et al.*,2015)

Material e Métodos

Descrição do processo produtivo

A indústria de açaí está localizada no bairro do Guamá, município de Belém-PA. As etapas de processamento da polpa de açaí compreendem: descarregamento, lavagem, amolecimento, despulpamento, filtragem, embalagem e congelamento. O processo produtivo tem geração de água residuária em três pontos: no depósito de amolecimento e na lavagem das máquinas despulpadeiras, além do resíduo líquido que escoar dos caroços úmidos já utilizados que ficam acumulados no silo.

Caracterização qualitativa do efluente bruto

Para caracterização qualitativa foram coletadas amostras em uma caixa receptora que recebe todas as contribuições do efluente bruto do processo produtivo. Foram analisados os parâmetros: pH, cor aparente, nitrogênio amoniacal, nitrato, fósforo total, sólidos sedimentáveis (SS), sólidos totais (ST), sólidos totais fixos e voláteis (STF e STV), sólidos suspensos totais (SST), sólidos suspensos fixos e voláteis (SSF e SSV), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO) e metais (alumínio, cálcio, cádmio, cobalto, cromo, cobre, ferro, manganês, zinco).

Os parâmetros analisados obedeceram aos procedimentos do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA/AWWA/WEF, 2017) e foram realizados no Laboratório Multiusuário de Tratabilidade em Águas (LAMAG) da Universidade Federal do Pará (UFPA) sob coordenação do Grupo de Estudos em Gerenciamento da Água e Reuso de Efluente

(GESA). As amostras de metais foram realizadas no Laboratório de Toxicologia da Seção de Meio Ambiente (SAMAM) do Instituto Evandro Chagas (IEC).

Ensaio de tratabilidade

Foram realizados experimentos de bancada em *Jar test* analógico com 6 jarros de 2L, palhetas e hastes em aço inox, Marca: SP LABOR, Modelo: JT-102/6. Os produtos utilizados foram de origem química e vegetal: cal hidratada, policloreto de alumínio, polímero aniônico e tanino.

Foram fixados os tempos de mistura rápida, lenta e velocidade de agitação, com base em estudos anteriores realizados (Vaz *et al.*, 2010; Haydar *et al.*, 2009; Couto Junior *et al.*, 2012; Valverde *et al.*, 2015). Os tempos fixados foram:

- Tempo mistura rápida de 1 minuto com velocidade de 90 rpm.
- Tempo mistura lenta de 15 minutos com velocidade de 20 rpm.
- Tempo de sedimentação: 30 minutos.

Foi utilizada uma solução de cal hidratada com dosagem de 7.5 g.L^{-1} para ajuste de pH, quando necessário.

Os experimentos foram repetidos três vezes para cada produto químico utilizado, e para otimização do melhor resultado. Após cada experimento foi coletado o sobrenadante para realização da análise de pH, cor aparente, turbidez e DQO para comparação da eficiência dos produtos utilizados. Essas variáveis foram selecionadas levando em consideração os parâmetros com maiores concentrações no esgoto bruto. Não foram realizados testes de sedimentação para conhecer as características dos flocos e suas taxas de sedimentação.

Determinação da dosagem de Tanino

A solução padrão de Tanino utilizada foi a TANFLOC SG e as dosagens testadas foram: 30; 45; 60; 75; 90 e 105 mg.L^{-1} . O pH do efluente bruto foi ajustado para valores próximos a 6.0, para melhor atuação do coagulante, devido a eficiência do Tanino neste valor, como verificados em pesquisas anteriores (Vaz *et al.*, 2010; Couto Junior, 2012) e ensaios prévios.

Determinação da dosagem do Policloreto de Alumínio

Foi utilizada uma solução a 10% de PAC – Aquafloc18 da Faxon Química LTDA e variaram-se as dosagens em cada jarro. As dosagens testadas foram: 9; 18; 27; 36; 45 e 54 mg.L^{-1} . O pH do efluente bruto foi ajustado para valores próximos a 8.0 para melhor atuação do coagulante, conforme tentativas prévias para verificação do pH de melhor atuação deste produto.

Determinação da dosagem do Policloreto de Alumínio + polímero

Neste ensaio foi determinado a melhor dosagem de polímero, utilizando uma solução a 1% do Polímero aniônico Flonex 934 SH. As dosagens testadas foram: 10; 20 e 30 mg.L⁻¹. O pH foi ajustado com cal hidratada para valores próximos a 8,0, antes da adição do PAC. Foi utilizada a associação de PAC e polímero aniônico.

Otimização do melhor resultado

Após a obtenção do melhor resultado de clarificação do efluente, foi realizada variação no pH a fim de verificar a influência deste no desempenho na combinação coagulante e polímero, haja vista que anteriormente o ajuste de pH 8.0 foi para eficiência somente do PAC. O ajuste de pH foi realizado com a solução de cal hidratada e os valores de pH testados foram: 6.5; 7.0; 7.5; 8.0 e 8.5.

Índice de qualidade do efluente tratado (IQET)

O IQET foi utilizado para classificar a qualidade do efluente tratado obtido nos ensaios realizados nesta pesquisa.

Com auxílio da ACP, foram utilizados os pesos obtidos de cada parâmetro físico-químico da componente de maior representatividade dos dados (maior variância) para gerar uma equação considerando peso e a média da concentração dos parâmetros físico-químicos determinadas após cada ensaio. Foi calculado o IQET para todos os ensaios de acordo com a Equação 1.

$$IQET = (a \times turbidez) + (b \times cor) + (c \times DQO) \quad \text{Equação (1)}$$

Em que:

IQET: índice de qualidade do efluente tratado

a, b e c: peso associado a cada parâmetro.

Dessa maneira é possível ordenar os dados para determinar o ensaio que resultou no melhor tratamento para deste efluente, sendo a melhor a qualidade do clarificado representado pelo menor valor numérico do índice. No efluente de melhor resultado, foram realizadas análises físico-químicas dos mesmos parâmetros do efluente bruto a fim de verificar a eficiência de remoção do tratamento proposto.

Para o tratamento estatístico descritivo e multivariado foram utilizados os softwares Microsoft Excel 2010 e Minitab 17.

Resultados e discussão

Caracterização qualitativa do efluente bruto

As campanhas de medição foram realizadas em dias de produção do açaí tipo popular (DOU, 2000). Os resultados da caracterização físico-química do efluente bruto são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Características físico-químicas do efluente bruto do beneficiamento de açaí.

Parâmetro	Unidade	Método APHA	N	Média do EB ± DP
pH	-	4500-H+B	3	5.3- 5.8*
Cor aparente	uC	2120-C	3	13883 ± 1186
Turbidez	uT	2130-B	2	7900 ± 15
Sól. Sedimentáveis	mL.L ⁻¹	2540 F	2	4.75 ± 0.35
ST	mg.L ⁻¹	2540 B	3	2333 ± 160
STF	mg.L ⁻¹	2540 E	3	101 ± 7.21
STV	mg.L ⁻¹	2540 E	3	2232 ± 154
SST	mg.L ⁻¹	2540 D	3	372 ± 56.2
SSF	mg.L ⁻¹	2540 E	3	299 ± 62.5
SSV	mg.L ⁻¹	2540 E	3	73 ± 6.5
N-amoniacal	mg.L ⁻¹	4500-NH ₃ B 4500-NH ₃ C	3	12.4 ± 5.5
Nitrato	mg.L ⁻¹	4500-NO ₃	3	8.1 ± 1.6
Fósforo Total	mg.L ⁻¹	4500-P E	3	42.8 ± 5.7
DBO	mg.L ⁻¹	5210-D	3	3022 ± 82.2
DQO	mg.L ⁻¹	5220-D	3	10652 ± 463.8
Alumínio	mg.L ⁻¹	3120 B	1	49.01
Cálcio	mg.L ⁻¹	3120 B	1	528.9
Cádmio	mg.L ⁻¹	3120 B	1	0.024
Cobalto	mg.L ⁻¹	3120 B	1	0.003
Cromo	mg.L ⁻¹	3120 B	1	0.3
Cobre	mg.L ⁻¹	3120 B	1	0.2
Ferro	mg.L ⁻¹	3120 B	1	5.75
Manganês	mg.L ⁻¹	3120 B	1	111.5
Zinco	mg.L ⁻¹	3120 B	1	1.6

N: número de amostras; EB: efluente bruto; DP: Desvio Padrão

*: Faixa de variação

O pH variou entre 5.3 e 5.8, sugerindo o efluente bruto com características ácida, devido à composição da polpa, que pode ter pH de 4.0 a 6.2 (DOU,2000). Por isso, em alguns ensaios houve necessidade de ajustar esse valor para melhor atuação dos produtos químicos.

Em relação à cor aparente, foi encontrado o resultado médio de 13883 ± 1186 uC, esse elevado valor pode ocorrer pela presença do corante hidrossolúvel natural do açaí, a chamada antocianina (Menezes *et al.*, 2008). Para a série de sólidos, foram encontrados valores igual a 2333 ± 160 mg.L⁻¹ para ST, 372 ± 56.2 mg.L⁻¹ de SST e 4.75 ± 0.35 mL.L⁻¹ para sólidos sedimentáveis, sendo a maior parcela dos sólidos presentes na forma dissolvida (cerca de 84%), devido à substâncias dissolvidas neste efluente, que podem conferir elevada cor ao efluente bruto.

Nota-se que, como já constatado por Menezes *et al.* (2008), na composição da polpa, há uma grande quantidade de carboidratos, lipídeos, além da presença de proteínas, constituintes que agregam matéria orgânica a este efluente, sendo encontrado resultados de 3021.6 ± 82.2 mg.L⁻¹ para DBO e 10652.3 ± 463.8 mg.L⁻¹ para DQO.

Para os nutrientes, foram encontrados valores iguais a 12.4 ± 5.5 mg.L⁻¹ para nitrogênio amoniacal, 8.1 ± 1.6 mg.L⁻¹ para nitrato e 42.8 ± 5.7 mg.L⁻¹ para fósforo total. A presença destes pode ter origem na composição da polpa de açaí como citado por Menezes *et al.* (2008); Souza *et al.*, (2011). Além disso, pode haver um acréscimo de fósforo total devido à utilização de detergente na lavagem da área de produção e máquinas despoldadeiras ao final do expediente, acumulando resíduos deste na caixa receptora do efluente desta área.

Os metais são provenientes principalmente das características da composição do fruto do açaí e foram encontrados neste efluente, na ordem de concentração $Co < Cd < Cu < Cr < Zn < Fe < Al < Mn < Ca$. Percebem-se elevadas concentrações de cálcio e manganês com proporção similar à composição desses minerais presentes na polpa de açaí estudada por Menezes *et al.* (2008).

Para verificar as condições sobre a biodegradabilidade do esgoto e método de tratamento é utilizada a relação DQO/DBO que resultou em valor igual a 3.53. Para valores entre 3.5 e 5.0 sugere-se o uso de tratamento físico-químico devido à fração de difícil biodegradabilidade ser mais elevada (Von Sperling, 2014; Jordão *et al.*, 2014).

Ensaio de Tratabilidade

Tanino

A dosagem de 60 mg.L⁻¹ de tanino resultou em uma melhor eficiência de remoção de cor aparente (97%) e turbidez (99.1%), porém a DQO apresentou uma menor remoção (76%).

No estudo de Couto Junior *et al.* (2012), em água residuária de indústria têxtil, para maiores concentrações de cor aparente e turbidez, o tanino apresentou remoções de cor e turbidez de aproximadamente 99%, porém com uma dosagem seis vezes maior, o que demonstra diferentes atuações devido à composição da água residuária. No estudo de Vaz, *et al.* (2010), no qual se estudou efluente de galvanoplastia, com valores de cor aparente e turbidez bem menores em

relação ao efluente de açaí, foram obtidas boas remoções de cor aparente e turbidez também em uma dosagem de 400 mg.L⁻¹.

Policloreto de Alumínio

As dosagens de 18 e 27 mg.L⁻¹ de PAC apresentaram visualmente resultados na clarificação da água residuária, por isso apenas essas foram analisadas. Os resultados foram semelhantes, porém a dosagem de 18 mg.L⁻¹ foi a que obteve melhores remoções de cor aparente (98.4%), turbidez (99.8%) e DQO (92.3%). Nas condições de pH deste ensaio, foi possível observar a formação rápida de flocos na sedimentação, tendo melhor desempenho que o tanino.

Policloreto de Alumínio e polímero

Os resultados na clarificação da água residuária foram semelhantes, porém a dosagem de 18 mg.L⁻¹ de PAC + 30 mg.L⁻¹ de polímero foi a que obteve melhores resultados na remoção de cor aparente (99%), turbidez (99.8%) e DQO (92%). Em presença de cátions de Al, Fe, Sn e outros metais, as antocianinas formam produtos insolúveis (Março, *et al.*, 2008).

Foi possível observar a formação rápida e eficiente dos flocos, com boa consistência para sedimentação, sendo esta combinação de coagulante e polímero, a que houve melhor desempenho nos ensaios realizados.

Otimização do melhor resultado

Como testado previamente, o pH 8.0 propiciou melhores condições para atuação do coagulante e polímero, tendo remoção de 98.5% de cor aparente, 99.8% de turbidez e aproximadamente 90% de DQO. Vale ressaltar que os ensaios foram realizados em dias diferentes, por isso há essa pequena diferença na remoção de poluentes, que ocorre devido à variação das concentrações do efluente bruto nos dias dos ensaios.

Índice de qualidade de efluente tratado

Após organização dos parâmetros físico-químicos (cor aparente, turbidez e DQO) de todos os ensaios foi aplicada a Análise de Componentes Principais (ACP), cujos autovalores obtidos foram $\lambda_1= 1.934$, $\lambda_2= 0.825$ e $\lambda_3= 0.240$. Na Tabela 2 são apresentadas as CPs e seus autovalores.

Tabela 2. Componentes obtidos para os parâmetros físico-químicos.

Parâmetro	CP1	CP2	CP3
Turbidez (uT)	0.664	0.148	0.733
Cor aparente (uC)	0.616	0.449	0.648
DQO (mg.L ⁻¹)	0.425	0.881	0.207
Autovalor	1.934	0.825	0.240
Variância	0.645	0.275	0.08
Variância acumulada (%)	65	92	100

CP: componente principal

A ACP indicou a formação de três CPs para os parâmetros físico-químicos analisados em cada ensaio, sendo que a CP1 representa 64.5% da variância total indicando a representatividade dos sólidos e a CP2 representa 27.5% da variância devido à matéria orgânica e inorgânica, juntas CP1 e CP2 totalizam 92% da variância total.

Para extração dos componentes principais pelo método de Kaiser são consideradas as componentes com autovalores > 1 (Shah *et al*, 2021). Neste caso foi escolhida a CP1, que representa aproximadamente 65% da variância total e representa melhor desempenho quanto à remoção dos poluentes e maior representatividade de variância. Assim foi possível chegar a Equação 2.

$$IQET = (0.664 \times \text{turbidez}) + (0.616 \times \text{cor}) + (0.425 \times DQO) \quad \text{Equação (2)}$$

O valor para classificação é resultante do peso e média da concentração dos parâmetros na equação. Os menores valores obtidos representam uma menor concentração dos poluentes no efluente, portanto o melhor valor encontrado para o IQET foi 450, que apareceu como 1º lugar na classificação. Este valor comprova estatisticamente a escolha do melhor ensaio, que foi encontrado para os produtos PAC+ polímero com dosagem 18 mg.L⁻¹ de PAC e 30 mg.L⁻¹ de polímero, como já observado.

Análise global de tratabilidade

Após os ensaios foi realizada a caracterização do efluente tratado para verificar a remoção dos poluentes. A Tabela 3 apresenta resultados obtidos após o melhor ensaio e sua eficiência alcançada.

As maiores remoções no efluente tratado foram respectivamente de turbidez, cor aparente e DQO, as mesmas variáveis selecionadas para avaliação em cada ensaio realizado, o que explica a escolha de tais variáveis para a geração do índice de qualidade do efluente tratado.

Observa-se remoção de DBO e DQO (81.2% e 90.7% respectivamente), o que demonstra que o tratamento proposto cumpre o objetivo de remoção da maior parte orgânica deste efluente e atende o critério da resolução 430 do CONAMA (Brasil, 2011), onde prevê remoção mínima de 60% de DBO. Isso se deve principalmente pela atuação do coagulante PAC. Porém, mesmo de acordo com as condições da referida resolução, ainda permanece um valor elevado de DBO, acima do que se encontra em esgoto doméstico bruto. É importante que haja uma investigação dessa parcela orgânica para que haja melhoria nesta remoção.

Quanto aos sólidos, o efluente apresentou boa remoção principalmente dos SST e ST que eram responsáveis por elevadas concentrações de turbidez e cor do esgoto bruto. Vale destacar que ainda há um valor significativo de sólidos totais, o que pode ser ocasionado pela presença de resíduos do polímero utilizado, ocasionando um aumento na fração deste.

Em relação aos nutrientes, houve uma maior remoção de fósforo total do que nitrogênio amoniacal, provavelmente pelo fato de maior facilidade de remoção do fósforo por precipitação química com adição de cal e/ou sais metálicos de ferro ou alumínio, além da adsorção aos flocos particulados. Já o nitrogênio necessita de um processo complementar para sua remoção em processos físico-químicos, como arraste de ar ou cloração.

Tabela 3. Caracterização do efluente tratado.

Parâmetro	Resultado médio do efluente tratado	Remoção (%)
pH	6.8	—
Cor aparente (uC)	210	98.5
Turbidez (uT)	8.7	99.8
Nitrogênio amoniacal (mg.L ⁻¹)	5.3	71.7
Fósforo total (mg.L ⁻¹)	6.9	83.9
Sólidos Sedimentáveis (mL.L ⁻¹)	3.0	36.8
ST (mg.L ⁻¹)	751	69.3
SST (mg.L ⁻¹)	49	86.8
DBO (mg.L ⁻¹)	567	81.2
DQO (mg.L ⁻¹)	993	90.7
Alumínio (mg.L ⁻¹)	0.098	99.8
Cálcio (mg.L ⁻¹)	2.06	99.6
Cádmio (mg.L ⁻¹)	0.0019	92.1
Cobalto (mg.L ⁻¹)	<MLD	—
Cromo (mg.L ⁻¹)	0.0067	97.8
Cobre (mg.L ⁻¹)	0.0007	99.7
Ferro (mg.L ⁻¹)	0.079	98.6
Manganês (mg.L ⁻¹)	0.029	99.9
Sódio (mg.L ⁻¹)	1.28	99.8
Zinco (mg.L ⁻¹)	0.038	97.7

Conclusões e recomendações

Nos ensaios de tratabilidade, foi obtido o melhor resultado das análises físico-químicas para a combinação PAC (18 mg.L⁻¹) e polímero (30 mg.L⁻¹) em pH 8.0, resultando na remoção acima de 80% para os poluentes: cor, turbidez, DBO, DQO, sólidos suspensos e fósforo total.

Na classificação do IQET foi comprovado estatisticamente a escolha do melhor ensaio obtido para (PAC+ polímero) com dosagem 18 mg.L^{-1} de PAC e 30 mg.L^{-1} de polímero.

Na análise de componentes principais, verificou-se que as variáveis turbidez e cor aparente tem maior representatividade para a qualidade do efluente tratado.

O tratamento do efluente de açaí é possível por processo de físico-químico com a utilização de policloreto de alumínio e polímero, alcançando resultados aceitáveis para o padrão de lançamento de efluente tratado da resolução CONAMA 430/2011.

Com os resultados obtidos, recomenda-se que haja um estudo mais aprofundado sobre a composição desse efluente, a fim de alcançar a melhor qualidade, principalmente no que diz respeito à matéria orgânica na forma de DBO. Além disso, verificar a tratabilidade associado ao tratamento biológico quando essa solução for compatível com o sistema de produção local.

Referências bibliográficas

- APHA/AWWA/WEF (2017) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 23rd Edition, American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, Denver.
- Azevedo, A. R. G., Marvila, M. T., Tayeh, B. A., Cecchin, D., Pereira, A. C., Monteiro, S. N. (2021) Technological performance of açaí natural fibre reinforced cement-based mortars. *Journal of Building Engineering*, **33**. Acesso em: 05 de outubro de 2020, disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710220307841>
- Brasil, (2011). *Resolução CONAMA nº 430. 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*. Publicação Diário Oficial da União, 16 de maio de 2011. Acesso em: 14 de janeiro de 2018, disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>
- Cervo, V. L., Anzanello, M. J. (2015) Seleção de variáveis para clusterização de bateladas produtivas através de ACP e remapeamento kernel. *Production*. **25**(4), 826-833. Acesso em: 05 de outubro de 2020, disponível em: <https://www.scielo.br/j/prod/a/Tngnwm4GG34dLtYdksvpw8d/abstract/?lang=pt>
- Couto Junior, O. M., Ströher, A. P., Barros, M.A.S. D., Pereira, N. C. (2012) Caracterização e Otimização do Tratamento de Efluente Têxtil por coagulação-floculação, Utilizando Coagulante Natural Tanino. *Revista Ciências Exatas e Naturais*, **14**(1), 79-90. Acesso em 12 de janeiro de 2018, disponível em: <https://revistas.unicentro.br/index.php/RECEN/article/view/1747/1827>
- DOU, Diário Oficial da República Federativa do Brasil (2000) *Regulamento Técnico Geral para fixação dos Padrões de Identidade e Qualidade para polpa de fruta*. Instrução Normativa nº 01, de 07 de janeiro de 2000. Diário Oficial de 10 de janeiro, Brasília, DF.
- Eder, K. (2011) *Aplicações de metodologia para análise e previsão do preço do fruto de Açaí*. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia), Programa de Pós-graduação em Biotecnologia, Universidade Federal de São Carlos, 123 pp.
- Feio, V. F., Girard, L., Mendonça, N. M. (2014) Problemática da geração de efluentes oriundos do processamento de açaí na região metropolitana de Belém-PA. *Revista Monografias Ambientais*, **13**(3), 3335-3340. Acesso em 5 de outubro de 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/remoa/article/view/13370>

- Figueiredo Filho, D. B., Paranhos, R., Rocha, E. C., Silva Jr, J. A., Maia, R. G. (2013) Análise de componentes principais para construção de indicadores sociais. *Revista Brasileira de Biometria*, **31**(1), 61-78. Acesso em: 05 de outubro de 2020, disponível em: <http://www.gcpp.com.br/wp-content/uploads/2018/04/Figueiredo-Filho-e-et-al-An%C3%A1lise-de-componentes-principais-para-constru%C3%A7%C3%A3o-de-indicadores..pdf>
- Haydar, S., Aziz, J. A. (2009) Coagulation–flocculation studies of tannery wastewater using combination of alum with cationic and anionic polymers. *Journal of Hazardous Materials*, **168**(2), 1035-1040. Acesso em 12 de janeiro de 2018, disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389409003501?via%3Dihub>.
- How, B. S., Lam, H. L. (2018) Sustainability evaluation for biomass supply chain synthesis: Novel principal component analysis (PCA) aided optimisation approach. *Journal of Cleaner Production*, **189**, 941-961. Acesso em: 05 de outubro de 2020, disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618307650>
- Jordão, E. P., Pessôa, C. A. (2014) *Tratamento de Esgotos Domésticos*. 7ª ed. Rio de Janeiro: ABES.
- Mello, V. F. B., Abreu, J. P. G., Ferreira, J. M., Jucá, J. F. T., Sobrinho, M. A. M. (2012) Variáveis no processo de coagulação /floculação/decantação de lixiviados de aterros sanitários urbanos. *Revista Ambiente e Agua*, **7**(2), 88-100. Acesso em 12 de janeiro de 2018, disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92823633009>
- Menezes, E. M. S., Torres, A. T., Srur, A. U. S., (2008) Valor nutricional da polpa de açaí (*Euterpe oleracea* Mart) liofilizada. *Acta Amazônica*, **38**(2), 311-316. Acesso em: 15 de janeiro de 2018, disponível em: <https://www.scielo.br/j/aa/a/WSTJPYZWltkX3xG6kGFDwMB/abstract/?lang=pt>
- Mao, G., Hu, H., Liu, X., Crittenden, J., Huang, N. (2020) A Bibliometric Analysis of Industrial Wastewater Treatments from 1998 to 2019. *Environmental Pollution*, **275**(2021), 1157852. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115785>
- Março, P. H., Poppi, R.J., Scarminio, I. S. (2008) Procedimentos analíticos para identificação de antocianinas presentes em extratos naturais. *Química Nova*, **3**(5), 1218-1223. Acesso em: 07 de outubro de 2020, disponível em: https://www.researchgate.net/publication/244750976_Procedimentos_analiticos_para_identificacao_de_antocianinas_presentes_em_extratos_naturais
- Metcalf, L., Eddy, H. P. (2016) *Tratamento de efluentes e recuperação de recursos*. 5ª edição. Tradução: Ivanildo Hespagnol, Jose Carlos Mierzwa. Bookman.
- Oliveira, I. F., Gutierrez, L. A. C. L., Coutinho, E. C., Barbosa, A. J. B. (2018) Análise dos resíduos gerados do processo de despulpamento de açaí em Belém-PA. *Ciências ambientais e o desenvolvimento sustentável na Amazônia* 3. Atena Editora: Ponta Grossa. Acesso em: 07 de outubro de 2020, disponível em: <https://sistema.atenaeditora.com.br/index.php/admin/api/artigoPDF/46021>
- Paula, A. G. P., Heemann, A. C. W., Heemann, R., Lima, C. P. (2019) Avaliação da estabilidade das antocianinas do açaí no período de 28 dias em diferentes condições. *Brazilian Journal of health Review*, **2**(5), 4811-4823. Acesso em: 05 de outubro de 2020, disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BJHR/article/view/4172>
- Queiroz, L. S., Souza, L. K. C., Thomaz, K.T., Lima, E. T. L., Filho, G. N. R., Nascimento, L. A. S., Pires, L. H. O., Faial, K. C. F., Costa, C. E. F. (2020) Activated carbon obtained from amazonian biomass tailings (açaí seed): Modification, characterization, and use for removal of metal ions from water. *Journal of Environmental Management*. **270**(2020), 110868. Acesso em: 05 de outubro de 2020, disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479720307982>
- Sato, M. K., Lima, H. V., Costa, A. N., Rodrigues, S., Mooney, S. J., Clarke, M., Pedroso, A. J. S., Maia, C. M. B. F. (2020) Biochar as a sustainable alternative to açaí waste disposal in Amazon, Brazil. *Process Safety and Environmental Protection*, **139**, 36-46. Acesso em 05 de outubro de 2020, disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095758201932244X>

- Souto, B.A., Souza, V. L. C., Perazzini, M. T. B, Perazzini, H. (2021) Valorization of açai bio-residue as biomass for bioenergy: Determination of effective thermal conductivity by experimental approach, empirical correlations and artificial neural networks. *Journal of Cleaner Production*, **279**(2021), 1234842. Acesso em: 05 de outubro de 2020, disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620335290>
- Souza, M. O., Santos, R. C., Silva, M. E., Pedrosa, M. L. (2011) Açai como alimento funcional. *Nutrire: rev. Soc. Bras. Alim. Nutr. J. Brazilian Soc. Food Nutr.*, 36(2), 161-169,. Acesso em: 07 de outubro de 2020, disponível em: http://sban.cloudpanel.com.br/files/revistas_publicacoes/334.pdf
- Shah, A., Chauhan, Y., Chaudhury, B. (2021) Principal component analysis based construction and evaluation of cryptocurrency index. *Expert Systems with Applications*, **163**(2021), 113796. Acesso em: 05 de outubro de 2020, disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417420306151>
- Valverde, K. C., Coldebella, P. F., Nishi, L., Santos, T. R. T., Santos, O. A. A., Bergamasco, R. (2015) Otimização dos parâmetros de operação no processo de coagulação/floculação e sedimentação no tratamento de água com a associação PAC e *Moringa Oleifera* Lam. *ENGEVISTA*, **17**(4), 491-499. Acesso em 05 de outubro de 2020, disponível em: <https://periodicos.uff.br/engevista/article/view/9041>
- Vasconcelos, M. A. M., Farias Neto, J. T., Silva, F. C. F. (2010) *Cultivo, processamento, padronização e comercialização do açai na Amazônia*. Fortaleza: Instituto de Desenvolvimento da Fruticultura e Agroindústria- Frutal. Acesso em 05 de outubro de 2020, disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Frutal_2010_000gbz4z86u02wx5ok01dx9lc7p2fcq8.pdf
- Vaz, L. G. L., Klen, M. R. F., Veit, M. T., Silva, E. A., Barbiero, T. A., Bergamasco, R. (2010) Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de galvanoplastia. *Revista Eclética Química*, 35(4), 45-54. Acesso em 12 de janeiro de 2018, disponível em: <https://revista.iq.unesp.br/ojs/index.php/eclética/article/view/227/185>.
- Von Sperling, M.,(2014) *Princípios do Tratamento Biológico de Água Residuárias- Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental- DESA, Universidade Federal de Minas Gerais-UFMG. 1, 4° ed., 452 pp.