

Comparação de coagulantes inorgânicos e floculante por meio de Jar-Test para o tratamento físico e químico de efluente de laticínio

Os efluentes industriais, se não tratados, geram impactos no solo e águas superficiais e subterrâneas. Neste sentido, objetivou-se verificar a dosagem e pH ótimos dos coagulantes químicos sulfato de alumínio e o Policloreto de Alumínio (PAC), o melhor coagulante, a melhor concentração de floculante para valores de turbidez de efluente de laticínio de pequeno porte por meio de testes de jarros. Realizaram-se dois experimentos de coagulação com diferentes dosagens de dois produtos químicos (PAC - Policloreto de Alumínio e Sulfato de Alumínio) em diferentes tempos de sedimentação, para obtenção do melhor coagulante, concentração ótima e tempo de ação, conduzidos no equipamento Jar-Test. Determinado o melhor coagulante, concentração e tempo de ação, realizou-se um novo experimento, fixando-se a melhor concentração do coagulante acrescido do Floculante Polímero Aniônico IFloc 101 em diferentes concentrações, visando obter a melhor concentração do floculante e tempo de ação para remoção da Turbidez. Os ensaios de Jar-Test, foram realizados em delineamento experimental inteiramente casualizados (DIC) em arranjo fatorial (concentração x tempo de ação) com parcelas subdivididas. Foi realizado a Análise de Variância (ANAVA) e as médias das eficiências de remoção da Turbidez foram comparadas segundo o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. O coagulante PAC seguido de Floculante Polímero Aniônico IFloc 101 se mostrou mais satisfatório para remoção de poluentes no Jar-Test, nas dosagens de 0,8 mL.L-1 de PAC e 1 mL.L-1 de Floculante Polímero Aniônico IFloc 101, embora, estatisticamente as menores concentrações de PAC e floculante atenderiam ao tratamento do efluente.

Palavras-chave: Teste de jarros; Sulfato de alumínio; Policloreto de alumínio; Floculante aniônico.

Comparison of inorganic coagulants and flocculant using Jar-Test for the physical and chemical treatment of dairy effluent

Industrial effluents, if not treated, generate impacts on soil and surface and groundwater. In this sense, the objective was to verify the optimal dosage and pH of the chemical coagulants aluminum sulfate and Aluminum Polychloride (PAC), the best coagulant, the best concentration of flocculant for turbidity values of small dairy effluent by means of jar tests. Two coagulation experiments were carried out with different dosages of two chemical products (PAC - Aluminum Polychloride and Aluminum Sulfate) at different settling times, to obtain the best coagulant, optimal concentration and action time, carried out in the Jar-Test equipment. After determining the best coagulant, concentration and action time, a new experiment was carried out, fixing the best concentration of the coagulant plus the Anionic Polymer Flocculant IFloc 101 at different concentrations, aiming to obtain the best concentration of the flocculant and action time for removal of Turbidity. The Jar-Test assays were carried out in a completely randomized design (DIC) in a factorial arrangement (concentration x action time) with split plots. Analysis of Variance (ANAVA) was performed and the averages of Turbidity removal efficiencies were compared using the Scott-Knott test at 5% probability. The PAC coagulant followed by IFloc 101 Anionic Polymer Flocculant proved to be more satisfactory for pollutant removal in the Jar-Test, at the dosages of 0.8 mL.L-1 of PAC and 1 mL.L-1 of Anionic Polymer Flocculant IFloc 101, although, statistically, the lowest concentrations of PAC and flocculant would serve the treatment of the effluent.

Keywords: Jug test; Aluminum sulfate; Aluminium polychloride; Anionic flocculant.

Topic: Engenharia Sanitária

Received: 07/03/2022

Approved: 23/03/2022

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Charles da Silva Alvim 

Universidade Vale do Rio Verde, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9281587051704553>
<https://orcid.org/0000-0003-1655-2435>
charlessalvim@yahoo.com.br

Rosângela Francisca De Paula Vitor Marques 

Universidade Vale do Rio Verde, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6991929220004023>
<https://orcid.org/0000-0001-6646-0809>
roeflorestal@hotmail.com

Alexander Rocha Inácio 

Universidade Vale do Rio Verde, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/4203859661331403>
<https://orcid.org/0000-0001-6123-2823>
alexander.r.inacio96@gmail.com

Alisson Souza de Oliveira 

Universidade Vale do Rio Verde, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6716188774645620>
<https://orcid.org/0000-0001-7885-9542>
alissonso@hotmail.com

Eunice Musa Neves dos Santos 

Universidade Vale do Rio Verde, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1439248430860190>
<https://orcid.org/0000-0002-4103-6339>
eunicemusa@hotmail.com

Luciano dos Santos Rodrigues 

Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9934149541810851>
<https://orcid.org/0000-0003-0555-8305>
lsantosrodrigues@gmail.com

Ramiro Machado Rezende 

Universidade Vale do Rio Verde, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0137435812541824>
<https://orcid.org/0000-0003-4019-5837>
prof.ramiro.rezende@unincor.edu.br



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2022.003.0009

Referencing this:

ALVIM, C. S.; MARQUES, R. F. P. V.; INÁCIO, A. R.; OLIVEIRA, A. S.; SANTOS, E. M. N.; RODRIGUES, L. S.; REZENDE, R. M.. Comparação de coagulantes inorgânicos e floculante por meio de Jar-Test para o tratamento físico e químico de efluente de laticínio. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.13, n.3, p.105-119, 2022. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2022.003.0009>

INTRODUÇÃO

A indústria de laticínios representa um setor muito importante para economia local, regional e nacional. A atividade gera diversos empregos de forma direta e indireta, além de estar ligada à cadeia de uma das atividades da agricultura familiar mais importante na geração de renda para o pequeno produtor rural com a produção de leite. Estes têm em sua maioria a produção de leite como a principal fonte de renda da propriedade. No ano de 2013, a produção de leite *in natura* no Brasil atingiu 34,3 milhões de toneladas, colocando o país como o quarto maior produtor mundial (VILELA et al., 2016) e foi responsável pela geração de mais de 100 mil empregos formais (MTE, 2015). Em 2018, a produção de leite ficou no patamar de 24,46 bilhões¹.

Segundo Lima et al. (2017), dentre as atividades agropecuárias no Brasil, a produção de leite *in natura* no ano de 2015, representou 5,8% da produção bruta. Destacam-se as regiões Sul e Sudeste, que em 2014 foram responsáveis por 34,7 e 34,6%, respectivamente, da produção nacional, com faturamento chegando a 55,2 bilhões de reais.

A geração de emprego é algo que não pode ser deixada de lado, pois foi responsável pela mais de 100 mil empregos formais em 2013 (MTE, 2015). A produção do setor está concentrada em empresas de micro e pequeno porte (LIMA et al., 2017). Diante deste cenário é de extrema importância que ações sejam direcionadas pra este público, que em sua maioria sofre pela escassez de recursos financeiros para investimentos em melhorias e adequações de seus processos.

O ano de 2018 foi um ano de pouca retomada do crescimento da produção de leite no Brasil após uma queda em 2016 e pequeno crescimento em 2017². Mas ainda assim, a geração de emprego e renda pode ser um fator essencial e culminante principalmente para região sudeste do país, que detém cerca de 33,9% da produção nacional. Isto demonstra a grande importância da atividade do setor e a abrangência do mercado na região sudeste.

De acordo com Sperling (2005), o volume de efluente gerado por esta atividade está entre 1-10 litros para cada 1.000 litros de leite. Usualmente o volume adotado para estimar a quantidade de efluentes está na proporção de 2,3 litros de efluente por cada litro de leite processado (SARAIVA et al., 2008).

Este efluente líquido industrial possui características muito peculiares, com carga orgânica bastante elevada e tanto a Demanda Biológica de Oxigênio (DBO), quanto a Demanda Química de Oxigênio (DQO) variando de 500 a 4.000 mL.L⁻¹ (SPERLING, 2005), podendo variar de acordo com o tipo de produto fabricado. Outros parâmetros variáveis que podem influenciar as características qualitativas destes efluentes são: sólidos suspensos, sólidos sedimentáveis, óleos e graxas, temperatura, turbidez e pH.

O uso de produtos saneantes para limpeza e desinfecção de ambientes e equipamentos utilizados na produção também podem influenciar de maneira significativa a qualidade destes efluentes, pois, podem alterar o pH e conseqüentemente influenciar no processo de tratamento em execução.

Deve-se ressaltar ainda que o soro proveniente da fabricação do queijo, se misturado ao efluente

¹ <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/49358451/pecuaria-de-leite-espera-crescer-cerca-de-2-em-2020>

² <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1109959>

tornará o processo de tratamento ainda mais difícil e oneroso. Portanto, este deve ser separado e reaproveitado como alternativa ao descarte, podendo ser utilizado na alimentação de animais e até mesmo fabricação de outros produtos, existindo para ele um mercado bastante específico. O soro é cerca de cem vezes mais poluente que o esgoto doméstico (SANTOS et al., 2001).

As legislações ambientais em esfera federal, estadual e municipal determinam limites máximos nos padrões de lançamento destes efluentes após o tratamento em corpos receptores. Em âmbito federal a legislação que trata deste tema é a Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011 e na esfera estadual de Minas Gerais há a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008.

Segundo Silva et al. (2012), todo o tratamento de águas residuárias deve ter tratamento preliminar como grade ou peneira. De um modo geral, o efluente da indústria de laticínio é biodegradável e requer até duas etapas: o tratamento primário e secundário. O tratamento primário possui a função fundamental de remover o material gorduroso, para tanto são empregados a caixa de gordura ou o sistema de flotação por ar dissolvido.

Segundo Guerra (2007), devido as composições do leite de vaca, este, possui aproximadamente uma demanda bioquímica de $100.000 \text{ mg.L}^{-1}$ de oxigênio para sua decomposição total, o que torna o efluente resultante do processo industrialização bem peculiar e agressivo ao meio em que é lançado sem o devido tratamento. Para cada litro de leite processado em um laticínio, ocorre em média a geração de 2,5 L de efluente líquido. A elevada carga orgânica deste efluente é consequência do processo de produção e da higienização que demandam essas grandes quantidades de consumo de água (CASTRO, 2007; SARAIVA et al., 2008). De acordo com Porto et al. (2005), o soro do leite pode apresentar um potencial poluidor cem vezes maior que o esgoto doméstico. Considerando a carga orgânica, sua DBO pode variar entre 30.000 e 60.000 mg.L^{-1} (ANDRADE et al., 2002). Este deve ter sua destinação como um subproduto do processo, podendo ser destinado para outras empresas que vão processar para fabricação de outros produtos lácteos ou para trato de animais, prática muito usual para empreendimentos de menor porte.

Silva (2006), classifica o efluente de um laticínio que processa $14.000 \text{ L de leite.dia}^{-1}$ para os parâmetros de pH, temperatura, sólidos totais, sólidos suspensos, sólidos dissolvidos, sólidos sedimentáveis, óleos e graxas, DBO, DQO, conforme apresenta a Tabela 1.

De acordo com Salazar (2009), as principais características de poluentes encontrados no efluente de indústria láctea são leite diluído, detergentes, materiais flutuantes, esgoto sanitário quando este não possui linha distinta, grandes concentrações de gordura animal e vegetal e as altas cargas orgânicas.

Quando lançado sem o devido tratamento e atendimento aos padrões legais, os efluentes industriais de laticínio podem causar a poluição do corpo hídrico receptor, gerando um desequilíbrio em rios, lagos e córregos, pela redução do oxigênio dissolvido, que tem como consequência a mortandade da ictiofauna e de outros seres presentes no ambiente aquático, além de propiciarem a proliferação e o crescimento acelerado de microalgas, que contribuem para o desequilíbrio do ecossistema local.

Para o tratamento de efluentes líquidos industriais da atividade de laticínios o método biológico é o mais usual, devido às características do efluente. De acordo com Sperling (2005) o método de escolha do

projeto é feito verificando a relação de DQO e DBO e, pela característica deste é direcionado para o tratamento biológico. O tipo de tratamento biológico pode variar de acordo com o tipo de projeto, tendo como principais o tratamento em lagoas aeradas e lodo ativado. Estes, bem projetados, atendem de maneira eficiente aos parâmetros preconizados pela legislação pertinente. Uma característica muito peculiar é a grande variação que pode ocorrer no processo, podendo ocorrer “pequenos colapsos” do tratamento e ocasionar a perda repentina da eficiência.

Tabela 1: Parâmetros de indústria de laticínios com processamento de 14.000L.d⁻¹

Parâmetro	Faixa	Média	Desvio Padrão
pH	4,9 – 11,28	8,77	2,55
Temperatura (°C)	32 – 39	35,50	4,95
S. totais (g.L ⁻¹)	0,9 – 3,76	2,06	0,87
S. suspensos (g.L ⁻¹)	0,23 – 0,78	0,47	0,20
S. dissolvidos (g.L ⁻¹)	0,67 – 3,15	1,63	0,80
S. Sedimentáveis (mL.L ⁻¹)	0,00 – 27,00	3,10	8,26
Óleos e Graxas (mg.L ⁻¹)	22,1 – 806	414	554,80
DQO (ml de O ₂ .L ⁻¹)	2120 – 4287	3567	762,39
DBO5 (ml de O ₂ .L ⁻¹)	496 – 1712	1033	417,24
Volume do efluente m ³ .d ⁻¹)	65,7 – 99,1	75,85	12,56
Carga orgânica total (Kg DQO.dia ⁻¹)			270,63
Carga orgânica específica (Kg DQO.m ³ de leite processado ⁻¹)			25,70
Relação DBO ₅ /DQO			0,29

Fonte: Silva (2006).

No tratamento pelo método físico-químico tem uma particularidade bem específica, com adição de coagulantes para a decantação e, se controlado o pH do efluente a eficiência da remoção torna-se satisfatória, alcançando como resultado a separação dos contaminantes obtendo um efluente clarificado e tratado, além de demandar áreas relativamente menores em comparação com o tratamento biológico (NUNES, 2001) e tempos de detenção. Este método de tratamento se baseia em coagulação, floculação e decantação e é muito semelhante ao sistema usual de tratamento de águas.

Os custos iniciais de investimento podem ser otimizados com adequações do sistema com equipamentos mais convencionais. Por exemplo, ao invés de se construir um reservatório em alvenaria pode-se optar por caixas d’água. De acordo com o porte do empreendimento e o volume de geração de efluente, o sistema pode ser proposto por batelada ou contínuo (NUNES, 2001).

O custo operacional também pode ser reduzido com ações de controle do processo produtivo, que ocasionará a redução da geração de efluentes e melhoria da qualidade deste para ser tratado. Este custo, se comparado com o biológico que demanda a aeração ininterrupta (24 horas por dia) que é o caso de sistema de lodo ativado e lagoa aerada, pode elevar consideravelmente o custo com energia elétrica (AZZOLINI et al., 2011).

O método físico-químico consiste na adição de produtos químicos para a obtenção da coagulação e floculação do efluente e, quando necessário a correção do pH para que ocorra a reação química. Através da reação química ocorre a separação dos sólidos e demais poluentes contidos no efluente (CAVALCANTI, 2009). De acordo com a característica do efluente poderá ser necessário a adição de outros produtos para redução de determinados contaminantes e o resultado final será um efluente clarificado, com os parâmetros reduzidos a níveis satisfatórios para seu lançamento no corpo hídrico. A reação química acontece com a

desestabilização das partículas coloidais por espécies hidrolisadas do coagulante adicionado, formando coágulos maiores (LEMOS et al., 2017).

Atualmente tem sido muito evidente a difusão do uso do processo de coagulação de águas residuárias pelo método físico-químico associados ao método biológico anaeróbio (SANTOS; PEREIRA, 2001). Para Lemos et al. (2017), a coagulação e floculação pode-se obter a redução de matérias orgânicas, sólidos em suspensão, óleos e graxas, nitrogênio e fósforo além da redução na turbidez.

As etapas do tratamento físico-químico de efluentes ocorrem em quatro fases distintas, sendo: correção de pH, coagulação, floculação e decantação. No tratamento físico-químico o controle do pH é feito com a adição de produtos ácidos ou básicos na quantidade específica para se chegar ao pH desejado e preparar este para a adição do coagulante. O pH de efluentes industriais de laticínios varia entre 4,4 e 9,2, de acordo com o tipo de produto fabricado (CAVALCANTI, 2009).

A correção do pH do efluente torna-se necessária para se obter uma faixa adequada para que ocorra a reação química. Cada efluente pode ter sua particularidade específica. A maioria dos coagulantes, como o Policloreto de alumínio (PAC) e o cloreto férrico, tem a propriedade ácida de reduzir o pH, o que se torna necessário antes, a elevação do mesmo com um produto alcalino.

A determinação do pH ideal constitui um fator importante para o processo de coagulação/floculação, pois a coagulação com sais de ferro e alumínio ocorre satisfatoriamente apenas em um pH ótimo e na presença de uma alcalinidade mínima para que aconteçam as reações químicas necessárias (ANDRADE et al., 2017).

Entre os alcalinos os mais convencionais e com menor custo tem-se a Cal (CaO). Já entre os ácidos o mais usual é o ácido sulfúrico (H₂SO₄) que requer cuidado especial no manuseio e armazenamento (CAVALCANTI, 2009).

A dosagem do produto de correção do pH pode ser feita de forma direta ou diluída, de acordo com o método empregado. Uma forma bastante eficiente de dosagem é a utilização de dosadora (Figura 1), equipamento específico para esta finalidade que dosa o produto em quantidade e tempo programado (NUNES, 2001).

Coagulação é obtida por meio de adição de produtos como o PAC que irá promover a reação química e a separação do material poluente do efluente. A obtenção do pH 7 seria o ideal ao final do processo, podendo variar entre 6 e 9 para atender a legislação. Na coagulação ocorre desestabilização das partículas coloidais por espécies hidrolisadas do coagulante adicionado, formando agregados maiores ou coágulos, que são pequenos pontos.

Na floculação, existe a ocorrência da aglomeração dos coloides descarregados até a formação de flocos sob agitação lenta, que facilita o contato dos coágulos uns com os outros e evita a quebra dos flocos formados (LEMOS et al., 2017). Formado os coágulos, para se obter um aumento do peso deste e acelerar a decantação, promove-se por meio da adição de polímero a aglutinação em flocos, o que torna o processo de formação do lodo mais homogêneo e denso, além de ajudar na remoção de alguma partícula que não tenha se formado no processo de coagulação, acelerando o processo de decantação, reduzindo o tempo de

detenção do efluente e conseqüentemente a diminuição do volume de efluente armazenado para a decantação, reduzindo os custos de implantação do projeto. Os polímeros podem ser aniônicos ou catiônicos (LEMOS et al., 2017). Os polímeros aniônicos possuem alta densidade de suas cargas negativas em sua cadeia, com isso, tende-se a atrair e ligar a moléculas com cargas positivas. Já os catiônicos possuem alta densidade de suas cargas positivas que tendem a atrair e ligar com moléculas com cargas negativas. Este é determinado de acordo com a característica do efluente e pode ser determinado em testes de tratabilidade de bancada. A caracterização química dos polímeros é Copolímero Acrilamida aniônico ou catiônico, possuem a cor branca e sua forma física é em pó que deve ser diluído em água (LEMOS et al., 2017).

A decantação ocorre devido à ação da gravidade ao peso do floculado, clarificando o meio líquido, ou seja, separando a fase líquida da sólida (LEMOS et al., 2017). O fator tempo de decantação do floculado, que é o tempo necessário que o floculado vai demorar para se estabelecer totalmente no fundo do reservatório é bastante importante para se calcular o tempo de detenção que o efluente deverá permanecer em repouso, até que todo material suspenso possa se depositar no fundo do reservatório. Nessa etapa tem-se a transferência dos contaminantes, da carga orgânica e a redução dos sólidos em suspensão da fase líquida para fase sólida (CAVALCANTI, 2009).

Também por meio de testes de bancada, onde é feita a reprodução do sistema em escala menor é possível se calcular o tempo necessário que o floculado irá necessitar para se depositar no fundo do reservatório e assim calcular esse tempo em escala maior. O tempo de detenção (TD) é calculado dividindo o volume útil (V_{útil}) pela vazão (TD = V_{útil} / Vazão).

Para se obter as informações paramétricas como pH e turbidez, busca-se utilizar o método por Jar-Test, ou teste de jarros, cujo método laboratorial de bancada, no qual determina a dosagem de ótima de coagulante e pH ótimo a ser introduzido no tratamento, fazendo com que minimize os impactos a saúde humana causados por coagulantes químicos (BARTIKO, 2015).

Entretanto, quando se observa na literatura, há estudos utilizando coagulantes e floculantes com base orgânica, uma vez que estes geram lodos biodegradáveis e a comparação com coagulantes inorgânicos.

Papp et al. 2019 objetivando comparar a eficiência entre dois coagulantes: inorgânico (Klaraid IC 1176L) e orgânico (Novfloc 1540), no processo de flotação e sedimentação de efluentes de laticínio, utilizaram ensaios de Jar-Test em esquema fatorial 2² de sedimentação e flotação para o ajuste de faixas de aplicação, seguindo para um delineamento composto central rotacional visando à otimização dos processos da sedimentação e flotação. Observaram que com a utilização do coagulante Klaraid seguido pelo floculante, obteve-se eficiência de remoção de turbidez de até 78,93% e 74,92% para o processo de sedimentação e flotação respectivamente. Já para o coagulante Novfloc combinado ao uso do floculante, a eficiência de remoção de turbidez foi de 78,09% e 72,11 para a sedimentação e flotação respectivamente.

Em ensaios de Jar-Test, Nascimento et al. (2020) visando avaliar a influência dos diferentes tipos de coagulantes no tratamento de efluentes de laticínio utilizaram sementes de *Moringa oleifera* em pó, extratos aquosos e salinos com e sem óleo e o agente químico sulfato de alumínio, nas análises de parâmetros de condições e padrões de lançamento de efluentes estabelecidos pelas Resoluções CONAMA n° 357/2005 e n°

430/2011, pH, cor aparente e turbidez, obtiveram como resultados, que o uso de coagulantes extraídos a partir das sementes de *Moringa oleifera* mostrou-se uma fonte alternativa sustentável para uso no tratamento físico e químico de efluente de agroindústria de laticínios, podendo, futuramente, com o aprimoramento das técnicas, vir a ser usado de maneira complementar ou a substituir o sulfato de alumínio. no tratamento de efluentes.

Nesse contexto, este estudo objetivou verificar a dosagem e pH ótimos dos coagulantes químicos sulfato de alumínio e o Policloreto de Alumínio (PAC), o melhor coagulante, a melhor concentração de floculante para valores de turbidez de efluente de laticínio de pequeno porte por meio de testes de jarros em escala de bancada.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido em dois experimentos de coagulação com diferentes dosagens de dois produtos químicos (PAC - Policloreto de Alumínio e Sulfato de Alumínio) em diferentes tempos de sedimentação, para obtenção do melhor coagulante, concentração ótima e tempo de ação, conduzidos no equipamento Jar-Test. Determinado o melhor coagulante, concentração e tempo de ação, foi realizado um novo experimento de Jar-Test, fixando-se a melhor concentração do coagulante acrescido do Floculante Polímero Aniônico IFloc 101 em diferentes concentrações, a fim de se obter a melhor concentração do floculante e tempo de ação para redução da Turbidez do efluente em estudo. Os experimentos de coagulação/floculação foram realizados em triplicata. Os experimentos de coagulação/floculação no Jar-Test, foram realizados em delineamento experimental inteiramente casualizados (DIC) em arranjo fatorial (concentração x tempo de ação) com parcelas subdivididas. Foi realizado a Análise de Variância (ANAVA) e as médias das eficiências de remoção da Turbidez foram comparadas segundo o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Experimentos de coagulação/floculação no equipamento Jar-Test

Os experimentos de coagulação/floculação no Jar-Test consistem em replicar em escala reduzida o mesmo processo que ocorre no tratamento em escala real, ou na planta de tratamento. Neste sentido, ensaios de coagulação/floculação foram realizados no equipamento Jar-Test para a determinação das dosagens ótimas dos produtos químicos PAC (Policloreto de Alumínio) e Sulfato de Alumínio, os quais posteriormente foram utilizados no experimento em Escala de Bancada a fim de verificar a eficiência de remoção da turbidez do efluente de laticínios pelo método Físico - químico por decantação. O trabalho foi realizado no laboratório de Saneamento pertencente à Universidade Vale do Rio Verde – UninCor, Unidade de Três Corações-MG.

Localização e caracterização do empreendimento e coleta das amostras

Para a realização do experimento de coagulação/floculação coletou-se amostras de efluente de laticínio de uma empresa localizada na zona rural do município de Três Corações – MG, com processamento

médio de 2.000 L.dia⁻¹ de leite. Esta, possui um sistema simplificado de tratamento efluente composto por uma elevatória de 5 m³, a partir da qual o efluente é direcionado para o tratamento preliminar, constituído por três caixas separadoras de gordura em sequência, cujo volume individual é de 10 m³. A coleta de amostras simples do efluente para a realização do experimento no Jar-Test, foi realizado na terceira caixa, sendo eliminado nesta fase, parte da gordura característica presente no efluente. Devido ao processo de homogeneização na elevatória, e posteriormente, nas caixas separadoras de gordura, o efluente coletado foi considerado equalizado.

Para a coleta de amostras simples, foram utilizados recipientes específicos, higienizados e etiquetados para análise, seguindo os procedimentos de coleta e preservação estabelecidas pelo Standard of Methods (APHA, 2005). Foram coletados um volume de 20 L de amostras para a realização dos experimentos de coagulação/floculação, as quais foram sendo mantidas em caixa térmica para impedir alterações bruscas de temperatura. Posteriormente, as amostras foram homogeneizadas em 5 recipientes de 5 L para cada experimento.

Na coleta das amostras do efluente, aplicou-se fichas de campo para coleta de dados, marcação de horário e data da coleta, termômetro para medição de temperatura e caixa térmica com gelo para conservação da temperatura das mesmas.

Condução do experimento de coagulação/floculação no Jar-Test

Os experimentos foram feitos em triplicatas, realizados no equipamento Jar-Test, de modelo Compacto Analógico de Três Provas, do fabricante “Milan - Equipamentos Científicos”, com três cubas graduadas em acrílico transparente com capacidade de 1.000 mL cada. Possui controle de velocidade do rotor variando entre 0 a 250 rpm e sistema de iluminação para melhor visualização das amostras. O equipamento foi cedido pela empresa Nery Ambiental Ltda.

No início e no final de cada ensaio de Jar-Test foram medidos o pH por meio de pHmetro digital portátil da marca Analyticscallinstruments pH/EC – 983 e a turbidez por meio do turbidímetro da marca DLT–WV–DELL, com precisão de 0,01 – 0,1 – 1,0 NTU dos efluentes, a fim de identificar a eficiência do coagulante/floculante. O pH do efluente foi corrigido para faixa ideal de ação para ocorrência do processo de coagulação/floculação, elevando-se o mesmo até 9. Para tal, utilizou-se como alcalinizante o hidróxido de cálcio (Ca(OH)₂), mais conhecido como Geocal, produto de menor custo no mercado, este possui característica alcalina, e que, quando adicionado ao efluente eleva seu pH. Assim, a busca pela concentração ótima, se deu pela aplicação de diferentes dosagens dos coagulantes em cada jarro.

Os coagulantes introduzidos no processo foram o PAC (Policloreto de Alumínio), cujo nome comercial é IZet 803, composto por 18 a 24% de alumínio (Al₂O₃), cuja sua fórmula química é Al_n(OH)_mCl_{3n-m} e o Sulfato de Alumínio. O PAC foi utilizado nas concentrações de 0,5; 0,8; 1,1; 1,4; 1,7 e 2,0 mL.L⁻¹ e o Sulfato de Alumínio nas concentrações de 0,1; 0,4; 0,7; 1,1; 1,4; e 2,0 mL.L⁻¹ respectivamente. Na etapa de floculação, utilizou-se o melhor coagulante (com a melhor concentração) e como floculante, o floculante aniônico IFloc 101, nas concentrações de 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0 e 6,0 mL⁻¹.

Os coagulantes PAC e Sulfato de Alumínio são produtos comerciais prontos, sem a necessidade de preparação específica. Já o polímero aniônico é uma mistura em pó, que foi diluído a concentração de 0,2% (m/V). Os produtos químicos necessários para a realização dos experimentos, foram fornecidos pelas empresas Nery Ambiental Ltda. e IWT Services Ltda. sem custos financeiros.

Para a execução dos ensaios de Jar-test na fase de coagulação foram adicionadas as dosagens de coagulante na unidade de mistura rápida por 1 minuto a 250 RPM, passado este tempo, diminuiu-se a rotação para 40 RPM por 7 minutos simulando a fase de floculação. Após desligou-se o aparelho e aguardou-se decantar por 60 min, nas quais foram medidas nos tempos 0, 15, 30 e 60 minutos o pH no início e no final de cada ensaio, visando a determinação da concentração ótima do coagulante e do pH e a turbidez. Entretanto, para a medição da turbidez residual, foi coletado o sobrenadante em cada jarro, de forma a não suspender o material decantado. Ressalta-se que os ensaios de Jar-Test foram realizados com cada coagulante em cada ensaio.

Para análise laboratorial observou-se a concentração de PAC e Sulfato de Alumínio que proporcionou a melhor clarificação. Após a definição da concentração ótima de cada coagulante, realizou novamente o ensaio de Jar-Test fixando-se a concentração ótima e variando as faixas de pH, nos valores de 8,84 a 9,14 para o sulfato de alumínio e de 7,09 a 8,17 para o PAC, com intuito qualificar o pH ótimo. Quando o pH se encontrou instável, a correção foi feita através de alcalinizante, mais precisamente o Geocal, cuja ação ocasiona o aumento do pH.

Posteriormente à identificação do melhor coagulante, realizou-se a cinética de sedimentação, a fim de avaliar o melhor tempo de remoção de turbidez. Para tanto, mediu-se o pH e a turbidez nos intervalos de tempos de 0, 15, 30 e 60 minutos.

Tratamento dos dados

Para os experimentos de coagulação/floculação no Jar-Test, foram realizados em delineamento experimental inteiramente casualizados (DIC) em arranjo fatorial (concentração x tempo de ação) com parcelas subdivididas. Nas parcelas ficaram as avaliações em função do tempo. Foi realizado a Análise de Variância (ANAVA) e as médias da eficiência de remoção da Turbidez foram comparadas segundo o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de jarros para determinar a concentração ótima comparando dois tipos de coagulantes, sulfato de alumínio e PAC. Observou-se que a maior eficiência média de remoção de turbidez foi obtida para o coagulante PAC.

Analisando a Figura 1, observa-se bons ajustes dos polinômios de segundo grau aos dados observados pelos coeficientes de determinação próximos de 1, com R^2 de 0,9514 e 0,996 para o sulfato de alumínio e PAC, utilizados no cálculo da concentração ótima de coagulante. Neste sentido, as concentrações ótimas do sulfato de alumínio e do PAC foram de 0,545 mL e 0,73 mL e eficiências calculadas de 95,5% e 98,5%.

Tabela 2: Remoção da turbidez do efluente de laticínio pela aplicação dos dois tipos de coagulante (Sulfato de alumínio e Policloreto de alumínio – PAC) e concentrações ótimas calculada.

	Dosagem (ml)	pH inicial	pH	pH ótimo	Turbidez inicial (NTU)	Turbidez final (NTU)	Eficiência de remoção	Concentração ótima calculada
Sulfato de alumínio	0,1	7,32	8,96	8,65	2589	174	93,3	0,55
	0,4		8,84					
	0,7		8,98					
	1,1		9,14					
	1,4		9,02					
	1,7		9,06					
Policloreto de alumínio (PAC)	0,5	4,14	8,17	7,89	744	13,4	98,2	0,73
	0,8		7,82					
	1,1		7,52					
	1,4		7,74					
	1,7		7,43					
	2		7,09					

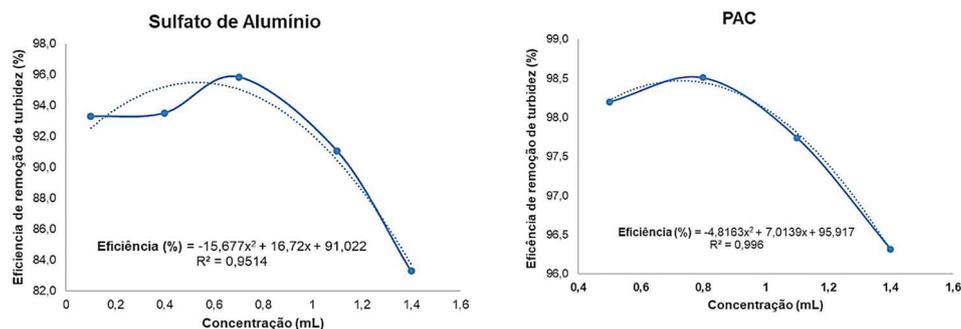


Figura 1: Ajuste polinomial de 2º grau da concentração ótima e R2 dos coagulantes sulfato de alumínio e PAC

Santos et al. (2009) utilizaram os coagulantes inorgânicos, cloreto férrico e sulfato de alumínio, para o tratamento de efluente lácteo, obtendo como resultado eficiências de remoções para turbidez de 97,6% para o cloreto e 98% para o sulfato de alumínio para 1 hora de sedimentação.

Andrade (2011) também utilizou o PAC para os processos de flotação e filtração em efluente de laticínios, com a aplicação de 1400 mg. L⁻¹ de Al₂O₃ e obteve remoção de turbidez com a filtração em torno de 90,85%, porém, no processo de flotação observou-se remoção de 50,17% de turbidez e Chen et al. (2012), utilizando o PAC observaram remoção de 98,95% de turbidez.

Corso et al. (2019) avaliando a eficiência de remoção de turbidez por flotação e sedimentação em efluentes de laticínio em escala de bancada com o Policloreto de Alumínio Aniônico seguido de floculante obtiveram uma remoção de turbidez de até 78,93% para o processo de sedimentação. Cabe ressaltar valores de eficiência de remoção abaixo dos encontrados neste estudo para o PAC.

Na Figura 2, em relação ao pH ótimo dos coagulantes, observa-se ajustes satisfatórios ótimos ajustes dos polinômios de segundo grau aos dados observados pelos coeficientes de determinação com valores de 1. Sugere-se o PAC com a concentração de 0,73 mL.L⁻¹ e pH de 7,89 para o tratamento de efluentes de laticínio que apresentem as mesmas características do efluente do presente estudo. Ainda deve-se ressaltar que nas maiores concentrações observa-se a eficiência de remoção, apresenta custo mais elevado por maior quantidade do produto utilizada e pode acarretar em maiores danos no ambiente se o lodo que contém o coagulante for descartado de maneira ambientalmente inadequada.

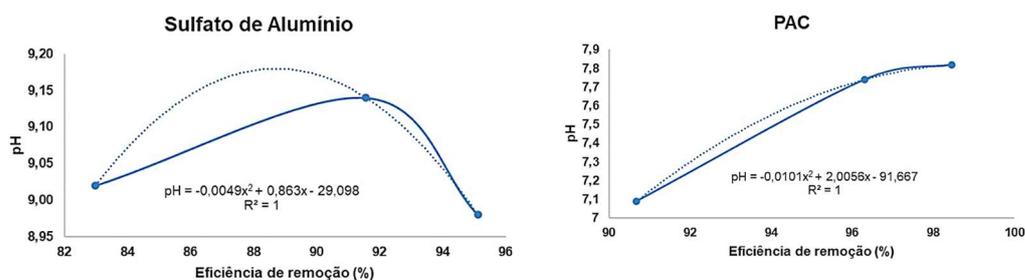


Figura 2: Ajuste polinomial de 2° grau do pH ótimo e R2 dos coagulantes sulfato de alumínio e PAC.

A Tabela 3 e as Figuras 3 e 4 apresentam as concentrações ótimas de floculante calculado a partir do pH e concentração ótima de PAC utilizados. Observou-se ajustes satisfatórios com R^2 de 0,99 e 1,0 para a concentração de floculante e pH respectivamente. Assim, a concentração e o pH ótimos foram de 4,55 mL e 8,33, respectivamente.

Deve-se ressaltar que com a adição de floculante, é observado a maior eficiência de remoção de turbidez de 99,5% para o tempo de 60 minutos (Figura 8). Entretanto, ao se observar o tempo de 45 minutos, observou-se eficiência de 99,4%. Assim, para os tempos de sedimentação superiores a 45 minutos não ocorreu acréscimo significativo na eficiência de remoção de turbidez, sendo este o tempo máximo necessário para a sedimentação dos flocos conforme reportado também por Franco et al. (2017) em seu estudo, porém para o tempo de 60 minutos. Quando comparado com a Tabela 3, em que a eficiência de remoção de turbidez foi de 98,5%, nota-se aumentar apenas 1%. Entretanto, destaca-se que eficiências maiores são observadas já nos primeiros 15 minutos quando se adiciona o floculante, reduzindo o tempo de detenção e, ainda maiores que 96% independente do tempo de contato com o floculante. Situação que deve ser destacada em empreendimentos, reduzindo o volume do tanque, o que diminuirá custos e o tempo para o tratamento do efluente.

Situação semelhante aos estudos de Rozeno et al. 2019, trabalhando com efluente de biodiesel e utilizando o tanino como coagulante primário e o polieletrólito (poliacrilamida) como floculante a fim de verificar a eficiência de remoção de DQO, turbidez. Assim observaram que a adição do polímero aniônico promoveu uma sedimentação mais eficiente, fornecendo remoções de turbidez superiores a 90%.

Análise estatística para verificação das melhores dosagens de coagulante e floculante

A Tabela 4 apresenta os resultados da estatística da eficiência de remoção de turbidez em função das dosagens ótimas dos coagulantes PAC e Sulfato de Alumínio em função dos tempos de sedimentação. Observou-se diferenças significativas entre os coagulantes PAC e Sulfato de Alumínio, sendo que o PAC apresentou a melhor eficiência de remoção de turbidez em todos os períodos de tempos de sedimentação, havendo interação significativa, ou seja, um melhor desempenho para a eficiência de remoção de turbidez para o PAC. Entretanto, não foi possível diferir estatisticamente a melhor dosagem de coagulante e nem entre os fatores coagulante x tempo de sedimentação, a 5% de probabilidade entre o PAC e Sulfato de Alumínio, respectivamente. Assim sugere-se que a melhor dosagem a ser aplicada em função dos custos, é

de 0,5 mL.L⁻¹.

Tabela 3: Remoção da turbidez do efluente de laticínios pela aplicação dos dois tipos de coagulante (Sulfato de alumínio e Policloreto de Alumínio – PAC) e concentrações ótimas calculadas.

Turbidez	Dosagem PAC ótima (ml)	pH ótimo	Dosagem Floculante (ml)	pH inicial	pH	pH ótimo (PAC+ Floculante)	Turbidez Inicial (NTU)	Turbidez Final (NTU)	Eficiência de remoção	Concentração ótima floculante calculada
15 min	0,727	7,9	1,0	7,32	7,84	8,33	744	10,2	98,7	4,55
					7,81		744	9,53	99,0	
					8,02		744	6,32	99,2	
					7,95		744	13,2	98,7	
30 min	0,727	7,9	3,0	7,32	7,84	8,33	744	9,53	98,7	4,55
					7,81		744	7,73	99,0	
					8,02		744	5,76	99,2	
					7,95		744	9,7	98,7	
45 min	0,727	7,9	4,0	7,32	7,84	8,33	744	7,47	99,0	4,55
					7,81		744	7,49	99,0	
					8,02		744	4,76	99,4	
					7,95		744	9,7	98,7	
60 min	0,727	7,9	6,0	7,32	7,84	8,33	744	29,9	96,0	4,55
					7,81		744	9,47	98,7	
					8,02		744	3,7	99,5	
					7,95		744	8,15	98,9	

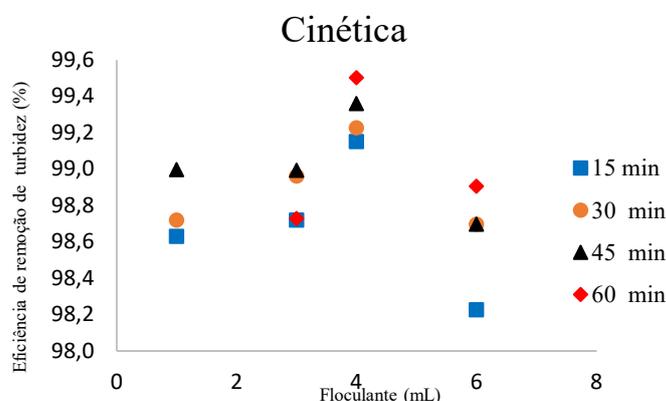


Figura 3: Eficiência de remoção de turbidez em relação à concentração de floculante aplicado em diferentes tempos de sedimentação.

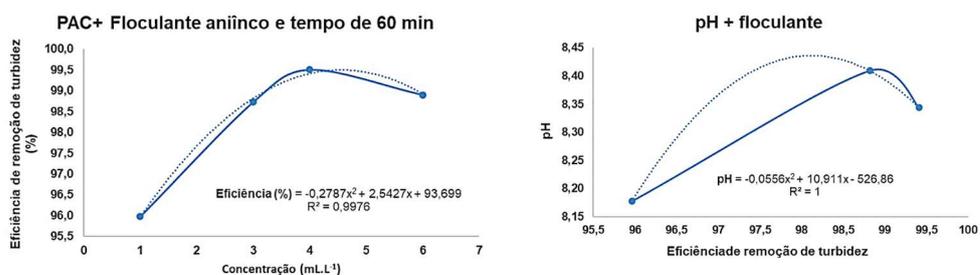


Figura 4: Ajuste polinomial de 2º grau de concentração do floculante e do pH ótimo e R².

Fernandes et al. (2019) avaliando a eficiência do agente coagulante Policloreto de Alumínio (PAC) no processo de coagulação/floculação e decantação no tratamento de efluentes de um estabelecimento de lavagem de carros (Lava Car), observaram que a adição do PAC se demonstrou efetiva no tratamento de águas residuárias com eficiência de remoção de turbidez de 99,33% em um tempo de sedimentação de 120 minutos. Contudo, observaram que também as dosagens de PAC não diferiram estatisticamente.

Posteriormente após a definição da melhor dosagem de PAC, em laboratório para a visualização da melhor dosagem realizada em laboratório, onde se visualizou a concentração de 0,8 mL.L⁻¹ de coagulante (PAC), adicionou-se o floculante na fase de floculação (mistura lenta), visando avaliar se haveria aumento da

eficiência de remoção de turbidez pela adição de floculante, foi realizado novo experimento em função da mistura da concentração obtida em laboratório em diferentes concentrações de Floculante aniônico (Tabela 5).

Tabela 4. Análise estatística da eficiência de remoção de Turbidez do efluente de laticínio em função dos coagulantes PAC (Policloreto de alumínio) e Sulfato de Alumínio em diferentes dosagens e quatro períodos de sedimentação.

Produto	Dosagem (mL.L ⁻¹)	Tempo em minutos			
		15	30	45	60
		Eficiência (%)			
PAC	0,5	97,33Aa	97,65Aa	97,76Aa	98,20Aa
	0,8	97,98Aa	98,16Aa	98,16Aa	98,51Aa
	1,1	97,43Aa	97,74Aa	97,76Aa	98,01Aa
	1,4	95,17Aa	94,33Aa	95,85Aa	96,32Aa
	1,7	96,45Aa	97,07Aa	97,37Aa	97,53Aa
	2,0	94,76Aa	95,24Aa	95,67Aa	95,73Aa
Sulfato de Alumínio	0,1	90,54Bb	91,85Bb	92,97Bb	93,28Bb
	0,4	91,50Bb	92,66Bb	93,36Bb	93,51Bb
	0,7	94,86Bb	95,48Bb	95,83Bb	95,83Bb
	1,1	88,82Bb	89,92Bb	90,65Bb	91,04Bb
	1,4	75,55Bb	79,37Bb	81,19Bb	83,28Bb
	2,0	83,12Bb	84,97Bb	87,25Bb	87,83Bb

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Avaliando os dados da Tabela 5, observou-se que a interação dos fatores PAC (na concentração igual a 0,80 mL.L⁻¹) e as diferentes dosagens de floculante e a interação entre os fatores PAC + Floculante e o tempo de sedimentação não diferiram estatisticamente entre si ao nível de significância de 5%, permitindo inferir que pode ser utilizado a menor dosagem de floculante no menor período.

Tabela 5: Análise estatística da eficiência de remoção de Turbidez do efluente de laticínio em função da mistura do coagulante PAC (Policloreto de alumínio) na concentração de 0,80 mL.L⁻¹ em diferentes concentrações de floculante Polímero Aniônico IFloc 101 em quatro períodos de tempo de sedimentação.

Produto	Dosagem (mL.L ⁻¹)	Tempo em minutos			
		15	30	45	60
		Eficiência (%)			
PAC + Floculante	1,0	98,72Aa	98,72Aa	98,72Aa	99,00Aa
	2,0	95,98Aa	98,98Aa	98,98Aa	99,02Aa
	3,0	98,73Aa	98,96Aa	98,96Aa	98,99Aa
	4,0	99,23Aa	99,23Aa	99,36Aa	99,50Aa
	5,0	99,23Aa	99,23Aa	99,24Aa	99,39Aa
	6,0	98,70Aa	98,70Aa	98,70Aa	98,90Aa

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Liberatti (2018) avaliou a aplicação dos processos de tratamento (coagulação / floculação / sedimentação / filtração) utilizando o coagulante orgânico tanino e o coagulante inorgânico sulfato de alumínio ambos acompanhados ou não do polímero aniônico com o objetivo de avaliar a eficiência entre os coagulantes e de verificar a possibilidade de reuso da água. Assim observou que houve uma diferença significativa somente entre os coagulantes Sulfato de Alumínio e Tanino, porém, observou que não houve diferença significativa com a adição de polímero, tal como observado no presente estudo.

Gonçalves et al. (2014) avaliou a remoção de cor e turbidez de efluente de lavanderia de uma industrial têxtil, pelo processo de flotação por ar dissolvido (FAD) em laboratório por meio do "Flota Teste". Neste sentido, foi avaliado a dosagem de coagulante (Polímero e Policloreto de Alumínio) e velocidade de flotação, os resultados indicaram que o processo de FAD nas condições estudadas é uma alternativa viável para a remoção de turbidez, cor, sólidos suspensos e DQO com eficiências de remoção de 89,89%, 87,13%, 97,16% e 59,51%, respectivamente. Entretanto, a utilização de PAC associado a polímero aniônico

apresentou eficiência de remoção de 89,9% para turbidez. A turbidez apresentou as maiores eficiências de remoção com a utilização de PAC e Polímeros, sendo estatisticamente significativas ao nível de 5% de probabilidade, similares a cor aparente, porém, com uma maior faixa de remoção, proporcionando eficiências entre 70 e 80%

Quanto ao presente estudo, cabe ressaltar que não havendo diferenças significativas com a adição de floculante e nem com as interações com o tempo de sedimentação, pode-se inferir que somente a adição de coagulante PAC, na menor dosagem e para o menor tempo de sedimentação é suficiente para a eficiência de remoção acima de 94,3% (Tabela 5). Contudo, para melhor verificação, sugere-se a avaliação da formação de flocos mais densos e conseqüentemente a formação de lodo granular e floculento e a concentração de sólidos suspensos em estudos posteriores.

CONCLUSÕES

O coagulante PAC seguido de Floculante Polímero Aniônico IFloc 101 se mostrou mais satisfatório para remoção de poluentes no Jar-Test, nas dosagens de 0,8 mL.L⁻¹ de PAC 1 mL.L⁻¹ de Floculante Polímero Aniônico IFloc 101, embora, estatisticamente as menores concentrações de PAC e floculante atenderiam ao tratamento do efluente. Ressalta-se que estas dosagens do experimento de Jar-Test foram obtidas levando-se em consideração somente um dia de processamento da indústria, o que pode não proporcionar as melhores eficiências de remoção da turbidez em efluentes gerados pelos diversos tipos de produtos.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, L. H.. **Tratamento de efluente de indústria de laticínios por duas configurações de biorreator com membranas e nano filtração visando o reuso**. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

ANDRADE, M. M. A.; PORTO, C. A.; ROCHA, E. M. R.; SILVA, E. L.; ANJOS, R. H. J.. Pré-tratamento de lixiviado antigo de aterro sanitário por coagulação/floculação: Influência do pH no processo. In: CONGRESSO ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Anais**. São Paulo, 2017.

ANDRADE, R. L. P.; MARTINS, J. F. P.. Influência da adição da fécula de batata-doce (*Ipomoea batatas* L.) sobre a viscosidade do permeado de soro de queijo. **Ciência e Tecnologia Alimentar**, Campinas, v.22, n.3, p.249-253, 2002.

APHA. American Public Health Association. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. Washington: American Public Health Association, 2005.

AZZOLINI, J. C.; FRINHANI, E. M. D.; FABRO, L. F.. Águas industriais: controle físico-químico e biológico do efluente e medida da eficiência do tratamento na agroindústria. **Unesc & Ciência – ACET**, Joaçaba, v.2, n.1, p.7-18, 2011.

BARTIKO, D.; JULIO, M.. Construção e emprego de diagramas

de coagulação como ferramenta para o monitoramento contínuo da floculação em águas de abastecimento. **Rev. Ambient. Água**, Taubaté, v.10, n.1, p.71-81, 2015

CASTRO, V. C.. **Diagnóstico do consumo de água e geração de efluentes e de resíduos sólidos em um laticínio de pequeno porte**. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

CAVALCANTI, J. E. W.. **Manual de Tratamento de Efluentes Industriais**. São Paulo: Engenho/ Técnica, 2009. 4

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Guia Técnico Ambiental da Indústria de Produtos Lácteos: Série P+L**. São Paulo: CETESB, 2006.

CHEN, W.; LIU, J.. The possibility and applicability of coagulation-MBR hybrid system in reclamation of dairy waste water. **Desalination**, v.285, p.226-231, 2012.

FERNANDES, J. J.; CICILINSKI, A. D.; DÖLL, M. M. R.. Avaliação da eficiência do processo de coagulação/floculação como tratamento de efluentes de lava car. **Revista de engenharia e tecnologia**, v.11, n.2, p.220-226, 2019.

FRANCO, C. S.; BATISTA, M. D. A.; OLIVEIRA, L. F. C.; KOHN, G. P.; FIA, R. Coagulação com semente de *Moringa oleifera* preparada por diferentes métodos em águas com turbidez

de 20 a 100 UNT. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.22, p.781-788, 2017.

GONÇALVES, L. V.; COSTANZI, R. N.; PINHEIRO, A. L. N.; SOTTI, G. Flotação por ar dissolvido para remoção de cor em efluente de lavanderia industrial têxtil. **Enciclopédia Biosfera**, v.10, n.18; p.3712-3721. 2014.

GUERRA, D. F.. **Estudo do tratamento de efluentes de laticínio utilizando processo oxidativos avançados a sistemas biológicos (lodos ativados)**. Tese (doutorado em Biotecnologia Industrial) – Universidade de São Paulo, Lorena, 2007.

LEMO, M. S.; MATOS, L. N.; FLORIDO, P. L.; LACERDA, J. A. S.; YOKOYAMA, L.. Estudo da influência de polímeros catiônicos e aniônicos na clarificação de efluente da produção de biodiesel. In: CONGRESSO ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Anais**. São Paulo, 2017.

LIBERATTI, A. S.. **Tratamento de efluente de abatedouro avícola visando o reuso da água.**, Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina. 2018.

LIMA, L. P.; PEREZ, R.; CHAVES, J. B. P.. A indústria de laticínios no Brasil: um estudo exploratório. **B.CEPPA**, Curitiba, v.35, n.1, p.1-13, 2017.

LUCAS, L. M.; CUNHA, S. B.. Rede de drenagem urbana em área tropical: mudanças na morfologia do canal e níveis de poluição das águas-Rio dos Macacos-Rio de Janeiro-RJ. **GEOUSP: Espaço e Tempo**, n.22, p 39-64, 2007.

NUNES, J. A.. **Tratamento Físico-Químico de Águas Residuárias Industriais**. 3 ed. Aracaju: Triunfo, 2001.

PAPP, G. T.; CORSO, A.; MEES, J. B. R.. Pós-tratamento físico-químico por flotação FAD em efluentes de laticínios. **TECNO-LÓGICA**, Santa Cruz do Sul, v.23, n.2, p.77-86, 2019.

PORTO, L. M.; SANTOS, R. C.; MIRANDA, T. L. S.. Determinação das Melhores Condições Operacionais do processo de Produção da Ricota. **B.CEPPA**, v.23, n.1, p.173-182, 2005.

ROZENO, N. S.; RIBEIRO, E. A. M.; TOMÉ, A. G.; RODRIGUES FILHO, G.; CANOBRE, S. C.; AMARAL, F. A.. Uso de tanino como coagulante primário para tratamento de efluente de

biodiesel. **Braz. J. of Develop.**, Curitiba, v.5, n.6, p.4599-4608. 2019.

SALAZAR, R. F. S.. **Aplicação de Processo Oxidativo Avançado (POA) Como Pré-Tratamento de Efluente de Laticínio Para Posterior Tratamento Biológico**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade de São Paulo, Lorena, 2009.

SANTOS, H. R.. **Coagulação/precipitação de efluentes de reator anaeróbio de leite expandido e de sistema de lodo ativado precedido de reator UASB, com remoção de partículas por sedimentação ou flotação**. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

SANTOS, J. P. V.; PEREIRA, C. L. L. F.. Alternativas para o aproveitamento de soro de queijo nos pequenos e médios laticínios. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**. v.56, n.321, p.44-50, 2001.

SARAIVA, C. B.. **Potencial poluidor em laticínio de pequeno porte: um estudo de caso**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

SILVA, D. J. P.. Gestão ambiental em uma indústria de produtos lácteos. **Revista Leite e Derivados**. n.94, p.52-63, 2006.

SILVA, G.; SILVA, A. M. A. D.; FERREIRA, M. P. de B.. **Processamento de Leite**. Recife: EDUFRPE, 2012.

SPERLING, M.. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. 3. ed. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 2005.

VILELA, D.; FERREIRA, R. P.; FERNANDES, E. N.; JUNTOLLI, F. V.. **Pecuária de leite no Brasil**: cenários e avanços tecnológicos. Brasília: Embrapa, 2016.

VILLAR, L. D.. **Estudo da lixiviação bacteriana de metais presentes em lodo de esgoto sanitário**. Tese (Doutorado em Química) –Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2003.

ZACARCHENCO, P. B.. Permeado de soro: aplicações que agregam valor aos coprodutos do leite. **Leite e Derivados**, n.131, p.48-55, 2012.

Os autores detêm os direitos autorais de sua obra publicada. A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detêm os direitos materiais dos trabalhos publicados (obras, artigos etc.). Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas ou digitais sob coordenação da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.

Todas as obras (artigos) publicadas serão tokenizadas, ou seja, terão um NFT equivalente armazenado e comercializado livremente na rede OpenSea (https://opensea.io/HUB_CBPC), onde a CBPC irá operacionalizar a transferência dos direitos materiais das publicações para os próprios autores ou quaisquer interessados em adquiri-los e fazer o uso que lhe for de interesse.



Os direitos comerciais deste artigo podem ser adquiridos pelos autores ou quaisquer interessados através da aquisição, para posterior comercialização ou guarda, do NFT (Non-Fungible Token) equivalente através do seguinte link na OpenSea (Ethereum).

The commercial rights of this article can be acquired by the authors or any interested parties through the acquisition, for later commercialization or storage, of the equivalent NFT (Non-Fungible Token) through the following link on OpenSea (Ethereum).



<https://opensea.io/assets/ethereum/0x495f947276749ce646f68ac8c248420045cb7b5e/44951876800440915849902480545070078646674086961356520679561157794507708694529/>