



## APLICAÇÃO DO COAGULANTE NATURAL *Moringa oleífera* Lam. NA REMOÇÃO DE COR E TURBIDEZ DE EFLUENTE LÁCTEO

Gustavo Affonso Pisano Mateus<sup>1</sup>, Aline Takaoka Alves Baptista<sup>2</sup>, Laura Adriane de Moraes Pinto<sup>3</sup>, Angélica Marquettoti Salcedo Vieira<sup>4</sup>, Rosângela Bergamasco<sup>5</sup>, Raquel Gutierrez Gomes<sup>6</sup>

**RESUMO:** A indústria de laticínios gera resíduos sólidos, líquidos e emissões atmosféricas passíveis de impactar o meio ambiente. O efluente lácteo é o resíduo obtido no beneficiamento do leite e seus derivados, sendo considerado um dos principais responsáveis pela poluição causada pela indústria de laticínios. Atualmente no Brasil, os efluentes lácteos são pouco reaproveitados sendo que cerca de 90%, não descartados de maneira imprópria, tornando-se um grande problema ambiental em termos de tratamento, devido sua complexa biodegradação, sendo necessário o desenvolvimento de tecnologias para o tratamento desses resíduos. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi de avaliar a capacidade de remoção de cor e turbidez de um efluente lácteo sintético após processos de coagulação/ floculação/ sedimentação utilizando como coagulante soluções a base de *Moringa oleífera* em comparação ao coagulante sulfato de alumínio em pH 5 e 7. Os coagulantes apresentaram remoções de cor variando de 4 a 18% para o pH 7 e de 14 a 25% em o pH 5 para o sulfato de alumínio e para *Moringa oleífera* de 12 a 40% em pH 7 e 68 a 91% em pH 5. Para turbidez os resultados variaram de 84 a 92% e 1 a 5% para moringa e sulfato de alumínio respectivamente para o pH 5 e variaram de 1 a 71% para moringa e 1 a 58% para sulfato de alumínio para o pH 7. Podemos concluir que a *M. oleífera* apresenta uma boa alternativa para o tratamento de efluentes lácteos. Uma vez que os melhores resultados foram obtidos com o uso do coagulante a base de Moringa em pH 5, onde foram alcançadas remoções de cor e turbidez variando de 91 e 92% respectivamente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cor; Efluente lácteo; *Moringa oleífera*; Turbidez.

### 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores produtores de leite do mundo, o que coloca a cadeia produtiva do leite como uma atividade de grande importância econômica para o país (EMBRAPA, 2014).

O setor lácteo é uma das indústrias de alimentos que mais consomem água potável e geram poluentes (BENSADOK et al., 2011). Os processos de beneficiamento de leite produzem em média um volume de efluente líquido, três vezes maior que o volume de leite utilizado, resultando em um grande volume águas residuárias. Atualmente no Brasil, os efluentes lácteos são muito pouco reaproveitados, uma parcela inexpressiva é destinada a utilização em subprodutos e ração animal e, a maior parte do resíduo gerado, cerca de 90%, não recebem nenhum tipo de tratamento e são descartados de maneira imprópria, tornando-se um grande problema ambiental em termos de tratamento devido sua complexa biodegradação (CASTRO et al., 2006; TCHAMAGO et al., 2010).

A geração de efluentes em laticínios está em constante aumento e o gerenciamento, reaproveitamento e tratamento destes resíduos têm se tornado uma preocupação cada vez maior no Brasil e no mundo, estudar técnicas para o aprimoramento do descarte destes efluentes traz benefícios não apenas econômicos, mas também sociais e ambientais para a sociedade, uma vez que a preservação dos recursos hídricos, diminui a incidência de doenças e custos para com recuperação do meio ambientes.

As características dos resíduos oriundos das indústrias lácteas variam de acordo com o tipo de produto produzido processamento. No beneficiamento do leite e seus derivados podem surgir uma série de resíduos como soro, leite ácido, leite liofilizado, entre outros. Os efluentes líquidos gerados nos processos de produção de laticínios

<sup>1</sup> Mestrando do Curso de Pós-graduação em Biotecnologia Ambiental da Universidade Estadual de Maringá - UEM, Maringá – PR. gustavoapisano@gmail.com.br.

<sup>2</sup> Doutoranda do Curso de Pós-graduação em Ciência de Alimentos da Universidade Estadual de Maringá - UEM, Maringá – PR. alinetakaoka17@gmail.com.br.

<sup>3</sup> Mestranda do Curso de Pós-graduação em Ciência de Alimentos da Universidade Estadual de Maringá - UEM, Maringá – PR. laurampinto@gmail.com.br.

<sup>4</sup> Professora Doutora do Departamento de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Maringá - UEM, Maringá – PR. angelicamsalcedo@gmail.com.br.

<sup>5</sup> Professora Doutora do Departamento de Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá - UEM, Maringá – PR. ro.bergamasco@hotmail.com.br.

<sup>6</sup> Professora Doutora do Departamento de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Maringá - UEM, Maringá – PR. rgutti02@gmail.com.br.



possuem elevados teores de matéria orgânica, gorduras, sólidos suspensos e nutrientes, e que podem ser considerados umas das principais fontes de poluição dessas indústrias.

O desenvolvimento de tecnologias adequadas para o tratamento destes resíduos é considerado de grande importância, não apenas pela intensificação das regulamentações ambientais, mas também pela crescente conscientização com a preservação dos recursos naturais e minimização dos impactos ambientais (BRIÃO ;TAVARES, 2007).

A coagulação e a floculação consistem na clarificação das águas pelo arraste do material em suspensão por agentes coagulantes, tais agentes podem ser químicos ou naturais.

A utilização de agentes coagulantes/floculantes tradicionais à base de sais inorgânicos metálicos, como, por exemplo, sais de alumínio, requer um rígido controle sobre os seus resíduos e o residual de alumínio presente na água após tratamento (BONGIOVANI et al. 2010). Os coagulantes e floculantes naturais apresentam uma série de vantagens em relação aos coagulantes químicos, já que estes possuem baixa toxicidade, alta disponibilidade, baixo custo e biodegradabilidade.

Dentre os diversos materiais naturais utilizados como coagulantes/floculantes, podemos destacar o emprego de algumas plantas, tais como: o quiabo (*Abelmoschus esculentus*), a mutamba ou “chico magro” (*Guazuma ulmifolia*), cacau (*Theobroma cacao*) e moringa (*Moringa oleífera* Lam.) (SANTOS et al., 2010).

A Moringa (*Moringa oleífera* Lam.) é uma planta originária do nordeste da Índia é conhecida pelo seu alto valor nutricional e medicinal, bem como por sua importância industrial devido as suas propriedades de coagulação e clarificação de soluções aquosas na remoção de poluentes (MENEGHEL et al.,2013). Awad e colaboradores (2013) ressaltam que a moringa é um potencial substituto aos coagulantes sintéticos, uma vez que aliado a suas boas propriedades e biodegradabilidade, gera menos volume de lodo quando comparado ao gerado por coagulantes químicos (BAZRAFESHAN et al.,2013).

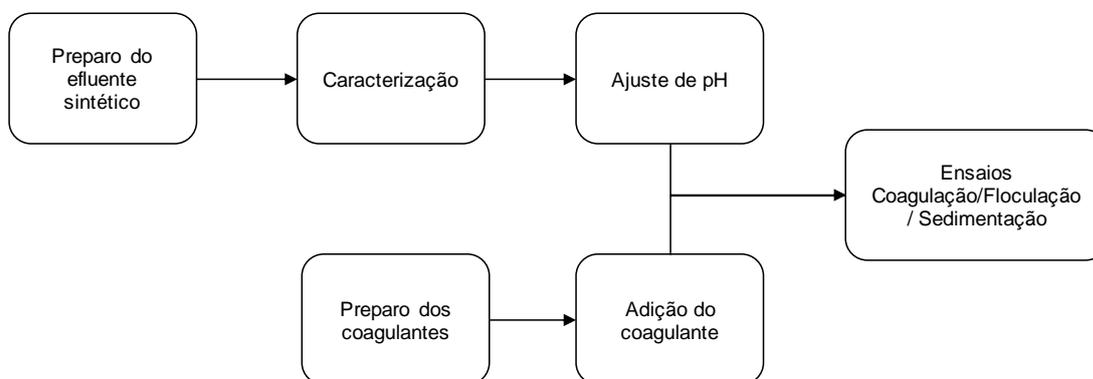
De acordo com Abaliwano *et al.* (2008) o uso de *M. oleífera* como auxiliar de coagulação pode reduzir o consumo dos coagulantes sintéticos como o sulfato de alumínio em até 50%. Dalen *et al.* (2009) destacam que a associação dos coagulantes pode melhorar efetivamente o saneamento de água em países subdesenvolvidos, principalmente porque a *M. oleífera* pode ser cultivada localmente.

Neste contexto, a fim de contribuir na busca de soluções que sejam viáveis economicamente e ambientalmente corretas o presente estudo objetivou avaliar a eficiência de remoção dos parâmetros cor e turbidez após processos de coagulação/floculação/sedimentação utilizando coagulante de *M. oleífera* em comparação ao coagulante sulfato de alumínio no tratamento de um efluente lácteo sintético.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Gestão, Controle e Preservação Ambiental (LGCPA) do Departamento de Engenharia Química (UEM).

A análise da eficiência dos coagulantes sulfato de alumínio e coagulante a base de moringa no processo de coagulação/floculação e sedimentação em efluente lácteo foi realizada no equipamento Jar Test, o fluxograma abaixo (Fig 1.) ilustra as etapas do estudo.



**Figura 1- Etapas de Estudo. Preparo do efluente e caracterização do efluente**

A avaliação da eficiência dos coagulantes foi realizada utilizando-se efluente lácteo sintético na concentração de 0,1% de massa de leite em pó /volume de água destilada.



A caracterização do efluente sintético foi realizada avaliando-se os parâmetros cor e turbidez obtidos em espectrofotômetro DR 5000 Hach, turbidímetro 2100P Hach e de pH, realizado por meio da medição em pHmetro Thermo Scientific Orion VSTAR92 Versastar.

#### Preparo e dosagem dos coagulantes

O coagulante de *Moringa oleífera* foi preparado seguindo a metodologia proposta por Madrona et al. (2012), onde as sementes foram descascadas (Fig. 2) e moídas até a obtenção de um pó fino. Em seguida 1g de semente foi adicionado de solução salina de NaCl na proporção de 1:1 m/v. A extração foi realizada em um liquidificador doméstico por 3 minutos seguida de agitação em agitador magnético por 30 minutos, após agitação, o coagulante foi filtrado em papel filtro e armazenado para posterior utilização. O coagulante a base de moringa recebeu o nome de COM.



**Figura 2** - Sementes de *Moringa oleífera* Lam.

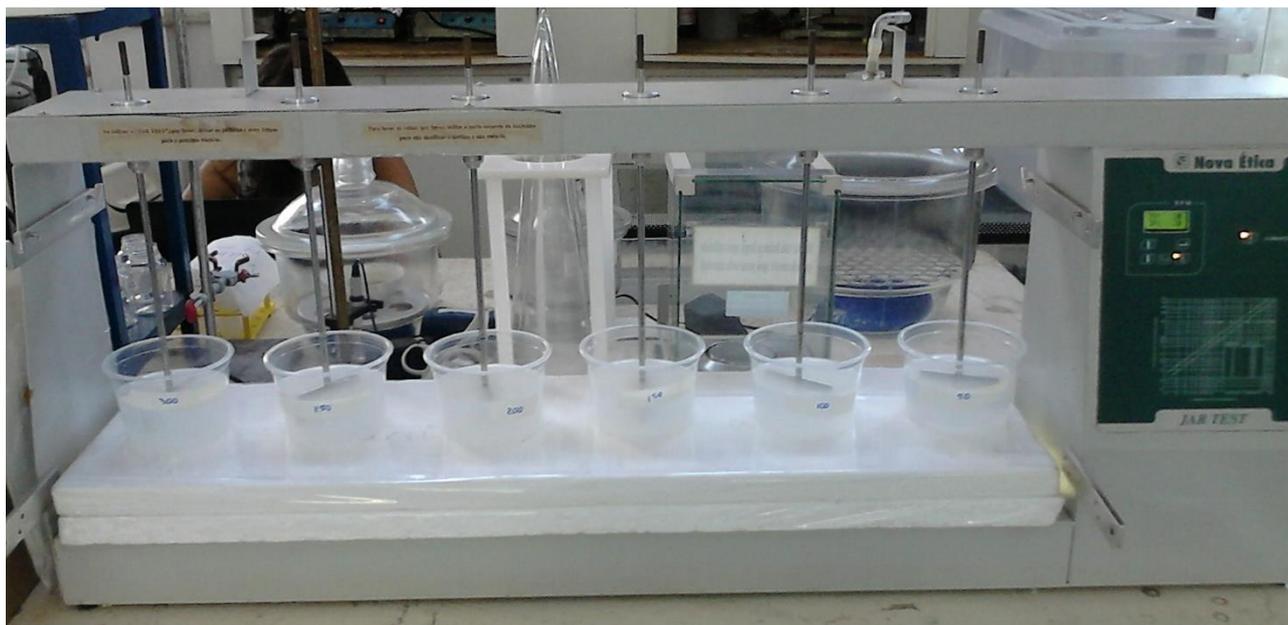
O coagulante Sulfato de alumínio foi preparado na proporção de 1:1 m/v, onde o mesmo foi diluído em água destilada. A solução foi submetida a agitação a 100 rpm durante 10 minutos, objetivando total dissolução do coagulante. Ao final a solução recebeu o nome de CSA.

#### Ensaio de coagulação/floculação e sedimentação

Os ensaios de coagulação/floculação/sedimentação foram realizados seguindo as metodologias de Bhatia et al. (2007) e Bhuptawat et al. (2007) em Jar Test, modelo 218/LDB06 de seis provas (Fig. 3), com regulador de rotação das hastas misturadoras, em recipientes contendo 300 mL de efluente lácteo sintético, com condições operacionais de tempo de mistura rápida de 2 minutos, gradiente de mistura rápida de 100 rpm e tempo de mistura lenta de 20 minutos com gradiente de mistura de 20 rpm, seguido de 60 minutos de decantação ao final deste processo.

Após os ensaios de coagulação/floculação e sedimentação, amostras do efluente sintético tratado foram coletadas para análise dos parâmetros de cor e turbidez, sendo a avaliação do processo de coagulação baseada na redução percentual destes parâmetros entre o efluente sintético inicial e o efluente após o tratamento com o coagulante M. oleífera e Sulfato de Alumínio.

A influência da concentração de coagulante foi medida para ambos coagulantes variando-os na faixa de 50 a 600 mg/L. O efeito do pH também foi avaliado equilibrando a solução inicial com NaOH (0,1 mmol) ou solução de HCl (0,1 mol L<sup>-1</sup>) para pH ajustado de 5.0 e pH natural de 7.0, mantendo-se fixas as demais condições.



**Figura 3** - Equipamento para realização dos ensaios de coagulação/floculação.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As características do efluente lácteo sintético utilizado nos experimentos estão apresentadas na Tabela 1.

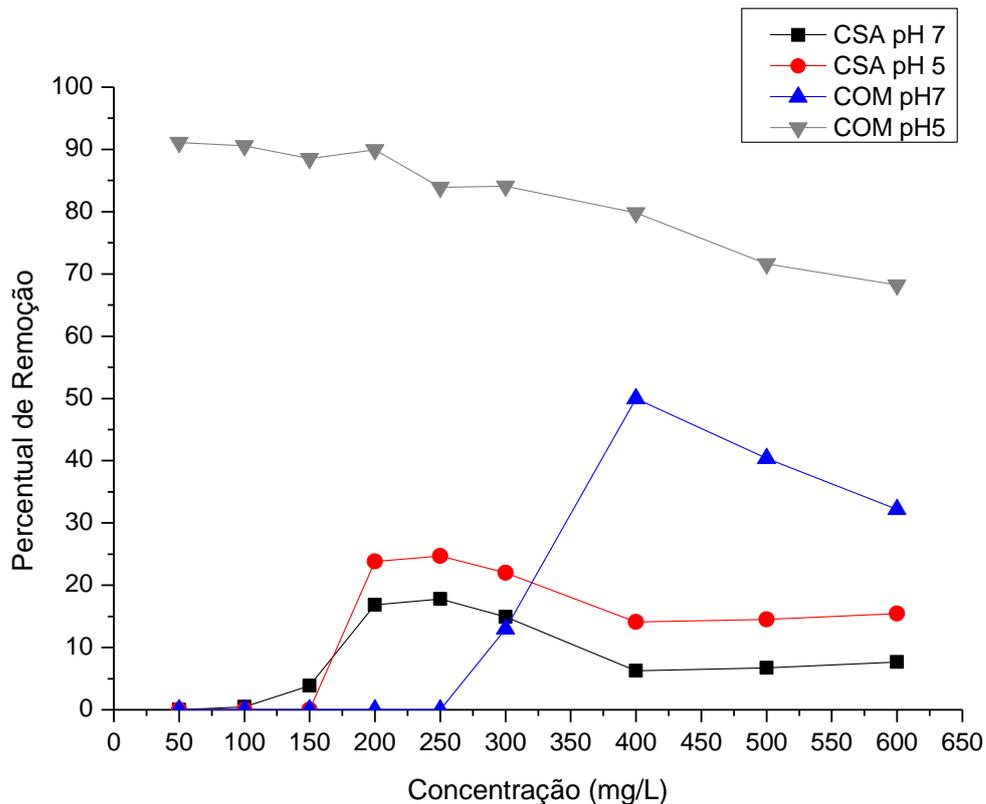
Tabela 1. Características do efluente sintético utilizado nos ensaios de coagulação/floculação

Parâmetros	Valores
Cor (mgPtCo/L)	2323
Turbidez (NTU)	368

Ferreira (2012) ao trabalhar com coagulantes naturais para o pré-tratamento de efluente lácteos, obteve para o parâmetro de turbidez aproximadamente 242 (NTU), valor este próximo ao efluente produzido sinteticamente no presente trabalho. Já Begnini e Ribeiro (2012), estudando um plano para redução de carga poluidora em um laticínio, obtiveram valores de turbidez variando entre 388 a 5200 (NTU), tal variação é justificada uma vez que as coletas ocorreram em dias distintos, nos quais os processos produtivos foram variados, resultando assim em diferentes cargas poluidoras no efluente.

Conforme Schmitt (2011) ao realizar o tratamento de águas residuárias da indústria de laticínios pelos processos combinados coagulação/ floculação/ adsorção/ ultrafiltração utilizando semente de *Moringa oleífera* como coagulante, obteve valor de 2541 para cor (mgPtCo.L-1).

A divergência de valores encontrados na bibliografia para os parâmetros analisados pode ser devido a heterogeneidade do efluente final, variável em função dos diferentes processos produtivos envolvidos na cadeia produtiva do leite. Os resultados obtidos para os parâmetros de cor do efluente sintético ajustado pHs (5 e 7) utilizando coagulante COM e CSA estão representado na Figura 4.

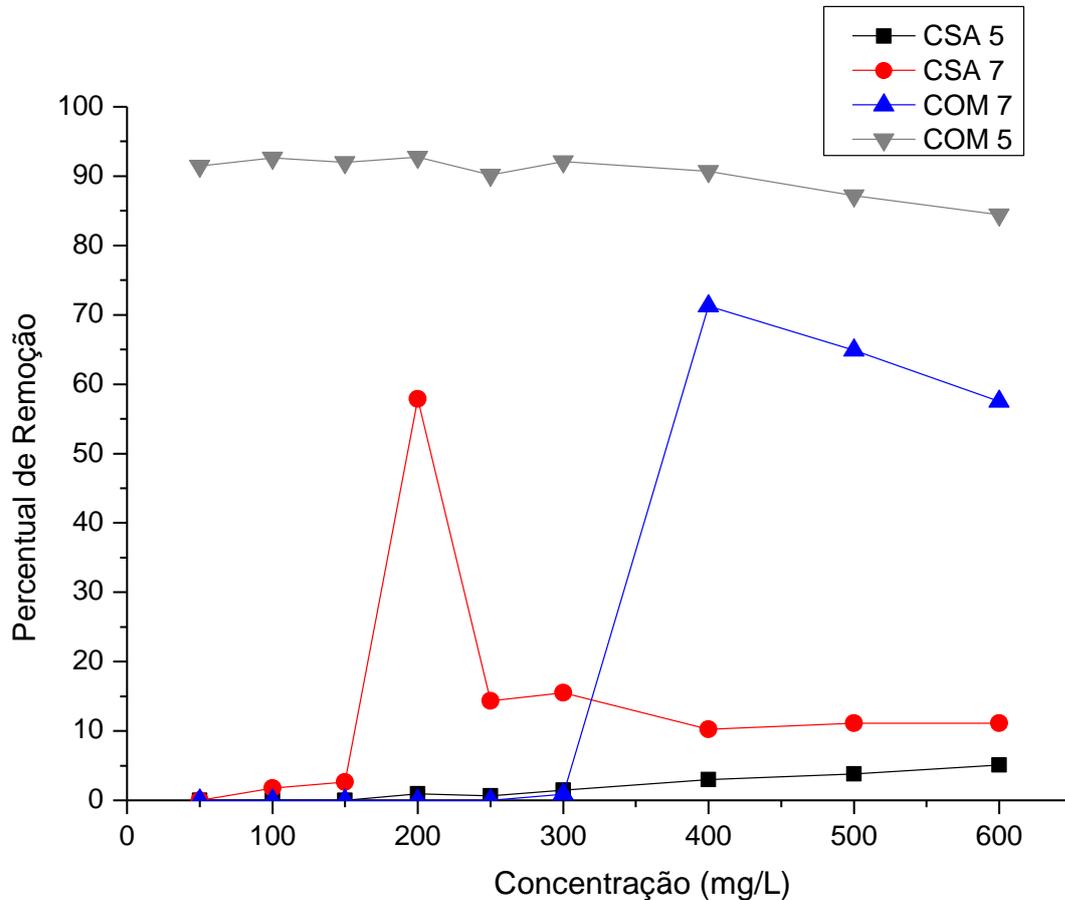


**Figura 3** - Porcentual de remoção de cor para os coagulantes a base de Moringa oleífera e o coagulante sintético Sulfato de Alumínio em diferentes pHs

Ao analisar a Figura 4 podemos observar o CSA apresentou valores de remoção de cor variando de 4 a 18% em pH 7 e de 14 a 25 % pH 5. Para COM as remoções variaram de 12 a 40% em pH 7 e 68 a 91% em pH 5. As melhores remoções de cor ocorreram em pH 5,0 para ambos coagulantes (COM e CSA) nas concentrações aplicadas neste estudo. O aumento do pH promoveu a diminuição da capacidade de remoção de ambos coagulantes, tal fato pode ser associado ao distanciamento do ponto isoelétrico das proteínas. De acordo com Couto (2003) durante o processo de coagulação o ponto isoelétrico tem papel fundamental na formação dos flocos. Para efluentes lácteos o ponto isoelétrico é aproximadamente 4,6, ponto esse que propicia a aglomeração das proteínas e formação dos flocos. Tal fato, pode justificar a queda na eficiência de redução dos parâmetros a medida que o pH aumentou.

Schmitt e colaboradores (2014) estudando a eficiência do composto ativo de *moringa oleífera* extraída com soluções salinas na tratabilidade de águas residuárias da indústria de laticínios, obtiveram um percentual de remoção superior a 70% para a cor de suas amostras, porém a quantidade de coagulante por eles utilizada foi aproximadamente 2,5 vezes maior que a utilizada neste estudo portanto a utilização de moringa como coagulante em efluente lácteo é satisfatória.

Os resultados obtidos na remoção de turbidez para os coagulantes COM e CSA estão apresentados na Figura 5.



**Figura 5** - Porcentagem de remoção de turbidez do efluente sintético utilizando os coagulantes COM e CSA em diferentes pHs.

A influência do pH é conhecida por interferir o processo de coagulação, a concentração dos íons de nitrogênio não só governa a carga das impurezas coloidais, mas também determina a natureza dos produtos formados (PIANTÁ, 2008). A Figura.5 mostra o percentual de remoção de cor de efluente lácteo pelos coagulantes COM e CSA em diferentes pHs. Os resultados obtidos mostram que para o pH 5 as remoções variam de 84 a 92% e 1 a 5% para COM e CSA respectivamente e para o pH 7 variaram de 1 a 71% para COM e 1 a 58% para CSA.

Apesar de o coagulante CSA em pH 7 apresentar remoções superiores para as concentrações iniciais quando comparados ao coagulante COM, a partir de 400 mg/L este já superou os percentuais de remoção obtidos com o coagulante sintético, justificando assim sua aplicação. O coagulante COM foi o que apresentou a melhor percentual de remoção de cor nos parâmetros aplicados.

Santos e colaboradores (2009) trabalhando com o tratamento de efluente lácteo por coagulação e sedimentação, encontraram valores médios de remoção de turbidez por volta de 93% ao utilizar o coagulante sintético sulfato de alumínio. Ferreira (2012) ao avaliar o uso de coagulantes naturais como pré-tratamento de efluente de laticínio, relata percentuais de remoção de 90% para suas amostras. No que se refere a eficiência dos coagulantes, a *M. oleifera* foi superior ao sulfato de alumínio, em pH 7 na remoção de turbidez, pois segundo Soares (2009), a faixa de atuação ótima do sulfato de alumínio no processo de coagulação encontra-se entre 5,5 a 8,0. Ainda sobre a eficiência dos coagulantes analisados, de acordo com Trindade e Manuel (2006), a eficiência dos coagulantes está diretamente relacionada com o pH, uma vez que alterações podem propiciar a solubilização do alumínio, prejudicando o processo de coagulação.

#### 4 CONCLUSÃO

A partir dos estudos realizados, com coagulante natural *Moringa oleifera* nas etapas de coagulação/floculação e sedimentação podemos concluir que este apresentou uma boa alternativa para o



tratamento de efluentes lácteos. Os melhores resultados foram os obtidos com o uso do coagulante de Moringa em pH 5, onde alcançaram remoções de cor e turbidez de 91 e 92 % respectivamente.

Desta forma a utilização de *Moringa oleífera* como coagulante natural pode ser uma excelente alternativa viável do ponto de vista ambiental e econômico, visto que estes produtos naturais, em sua maioria, são de fácil obtenção e custo inferior ao dos demais coagulantes sintéticos usados atualmente para o tratamento de efluentes industriais e possibilitando a redução de compostos inorgânicos durante o tratamento de efluentes, além de ser biodegradável, a utilização da *M. oleífera* apresenta resultados compatíveis com as questões ambientais.

## REFERÊNCIAS

- ABALIWANO, J. K.; GHEBREMICHAEL, K. A.; AMY, G. L. Application of the purified *Moringa oleifera* coagulant for surface water treatment. **WaterMill**, n. 5, p. 1-19, 2008.
- AWAD, M.; WANG, H.; LI, F. Preliminary study on combined use of *Moringa* seeds extract and PAC for water treatment. **Res. J. Recent Sci.**, v. 2, p. 52-55, 2013.
- BAZRAFSHAN, E. et al., Removal of Arsenic from Aqueous Environments Using *Moringa peregrina* Seed Extract as a Natural Coagulant, **Asian Journal of Chemistry**; v.25, p.3557-3561. 2013.
- BEGNINI, B.C, RIBEIRO, H. B. PLANO PARA REDUÇÃO DE CARGA POLUIDORA EM INDÚSTRIA DE LACTICÍNIOS. **Meio ambiente**, v. 3, n. 1, p. 19-30, 2014.
- BENSADOK K., HANAFI N. EI, LAPICQUE F.. Electrochemical treatment of dairy effluent using combined Al and Ti/Pt electrodes system. **Desalination**, v. 280, p. 244 - 251, 2011.
- BHATIA, S.; OTHAMAN, Z.; & AHMAD, A. B. Pretreatment of palm oil mill effluent (POME) using *Moringa oleifera* seeds as natural coagulant. **Journal of Hazardous Materials**, v. 145, p. 120–126, 2007.
- BHUPTAWAT, H.; FOLKARD, G. K.; & CHAUDHAR, S. Innovative physico-chemical treatment of wastewater incorporating *Moringa oleifera* seed coagulant. **Journal of Hazardous Materials**, v. 142, n. 1–2, p. 477–482, 2007.
- BRIAO, V. B.; TAVARES, C. R. G. Ultrafiltração como processo de tratamento para o reúso de efluentes de laticínios. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro , v. 12, n. 2, p. 134-138, 2007.
- BONGIOVANI, M. C. et al. Os benefícios da utilização de coagulantes naturais para a obtenção de água potável. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 32, n. 2 p. 167-170, 2010.
- CASTRO, H. F.; PERREIRA, E. B.; MENDES, A. A. Biodegradação de águas residuárias de laticínio previamente tratadas por lipases. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 9, n. 3, p. 143 - 149, 2006.
- COUTO, H. J. B. Tratamento de efluentes através da flotação por ar dissolvido, PPGEQ/Universidade Federal do Rio de Janeiro, p. 97, Rio de Janeiro, RJ. **Dissertação de Mestrado**, 2003.
- DALEN, M. B.; PAM, J. S.; IZANG, A.; EKELE, R. Synergy between *Moringa oleifera* seed powder and alum in the purification of domestic water. **SWJ**, v. 4, p. 6-11, 2009.
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Relatório anual de produção agropecuária 2014. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1015927/transferencia-de-tecnologia-relatorio-anual-2014>> Acesso em: 23 Jul. 2015.
- FERREIRA, R. P. Uso de coagulantes naturais como pré-tratamento de efluente de laticínio. **Monografia**. Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo, 76p.,Lorena, SP, 2012.
- MADRONA, G. S.; BRANCO, I. G.; SEOLIN, V. J.; ALVES FILHO, B. de A.; FAGUNDES-KLEN, M. R.; BERGAMASCO, R. Evaluation of extracts of *Moringa oleifera* Lam seeds obtained with NaCl and their effects on water treatment. **Acta Scientiarum Technology**, , v. 34, n.3, p. 289-293, 2012.
- MENEGHEL, A. P. et al., Biosorption of Cadmium from Water Using *Moringa* (*Moringa oleifera* Lam.) Seeds, **Water Air Soil Pollut** v.224 p.1383-1396. 2013.



PIANTÁ, C. A. V. Emprego de Coagulantes Orgânicos Naturais como Alternativa ao uso do Sulfato de Alumínio no Tratamento de Água. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 78 p., Porto Alegre, RS, 2008. **Trabalho de Diplomação** (Graduação em Engenharia Civil).

SANTOS, A. M. et al. Tratamento de efluentes lácteos através de coagulação química e sedimentação. In...**VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica**, Uberlândia, Minas Gerais, 2009.

SCHITT, D. F. Tratamento de águas residuárias da indústria de laticínios pelos processos combinados coagulação/floculação/adsorção/ultrafiltração utilizando semente de *Moringa oleifera* como coagulante. Universidade do Oeste do Paraná, 105p., Toledo, PR, 2011, **Dissertação de Mestrado**.

SCHMITT, D. M. F.; FAGUNDES-KLEN, M. R.; VEIT, M. T.; BERGAMASCO, R.; FERRANDIN, A. T. Estudo da eficiência do composto ativo de *Moringa oleifera* extraída com soluções salinas na tratabilidade de águas residuárias da indústria de laticínios. **Engevista**, v. 16, n. 2, p. 221-231, jun. 2014.

SOARES, T. F.L. Remoção da carga orgânica afluyente à ETAR de Tolosa por coagulação-floculação química. Universidade Nova de Lisboa, 111p., Lisboa, 2009. **Dissertação de mestrado**.

TCHAMANGO, S.; NANSEU-NJIKI, C. P.; NGAMENI, E.; DARCHEN, A. Treatment of dairy effluents by electrocoagulation using aluminium electrodes. **Science of the Total Environment**. 2010. n, 408.p. 947-952.

TRINDADE, T.; MANUEL, R. – Ensaio de Tratabilidade em Águas Residuais (Tratamentos Físicoquímicos: Coagulação/Floculação). Lisboa: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2006. 33 p. **Protocolo experimental de Laboratórios Integrados do Departamento de Engenharia Química**.