



## **UTILIZAÇÃO DE DIFERENTES COAGULANTES NO TRATAMENTO DE EFLUENTES DE LATICÍNIOS EM ESCALA DE BANCADA**

Alexander Rocha Inácio<sup>1</sup>

Rosângela Francisca de Paula Vitor Marques<sup>2</sup>

Charles da Silva Alvim<sup>3</sup>

Luciano dos Santos Rodrigues<sup>4</sup>

Claudiomir da Silva Santos<sup>5</sup>

Fabrcício Santos Ritá<sup>6</sup>

### **Reaproveitamento, Reutilização e Tratamento de Resíduos (sólidos e líquidos)**

#### *Resumo*

A atividade de laticínios é definida como de grande potencial poluidor, necessitando de tratamento. Neste sentido, objetivou-se verificar a dosagem e pH ótimos dos coagulantes químicos sulfato de alumínio e Policloreto de Alumínio (PAC), a eficiência de remoção de efluente de laticínio por meio dos testes de jarros em escala de bancada. Para tanto, foram realizadas análises de turbidez e pH do efluente bruto e tratado. Para os ensaios de Jarrest foram introduzidos os coagulantes (sulfato de alumínio e PAC em ensaios separados a 260 RPM para a unidade de mistura rápida e após baixou-se a velocidade de rotação para 40RPM durante 7 minutos para a floculação e o tempo de sedimentação de 1 hora. Estimou-se a melhor dosagem de coagulante e após fez novo ensaio variando os valores de pH. Foi calculada a eficiência de remoção e análise de regressão para a obtenção da dosagem de coagulante e pH ótimos. Posteriormente comparou-se o efluente tratado com a legislação vigente para lançamento em corpos hídrico. As dosagens e pH ótimas de coagulante foram de 1,05 mL e 0,727 mL e de 8,65 e 7,89 para o sulfato de alumínio e PAC respectivamente. As eficiências de remoção foram de 95,4% para sulfato de alumínio e de 98,5% para o PAC. Assim, o PAC é o melhor coagulante a ser utilizado. A utilização de sulfato de alumínio deve ser aplicada juntamente a um agente floculante devido aos valores de turbidez, acima de 100 NTU, alterando a qualidade de água do corpo receptor.

**Palavras-chave:** Coagulação/Floculação; Jarrest; Eficiência de remoção de turbidez.

---

<sup>1</sup>Engenheiro ambiental e Sanitarista, Universidade Vale do Rio Verde – UninCor, alexander.r.inacio96@gmail.com

<sup>2</sup>Mestre em Sustentabilidade em Recursos Hídricos. Universidade Vale do Rio Verde – UninCor, charlessalvim@yahoo.com.br

<sup>3</sup>Prof. Dra. Universidade Vale do Rio Verde – UninCor, roeflorestal@hotmail.com

<sup>4</sup>Prof. Dr. Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, lsantosrodrigues@gmail.com

<sup>5</sup>Prof. Dr. Instituto Federal Sul de Minas – IFSUL de Minas, Campus Muzambinho, claudiomirsilvasantos@gmail.com

<sup>6</sup>Prof. Dr. Instituto Federal Sul de Minas – IFSUL de Minas, Campus Muzambinho, fabriciosantosrita@gmail.com.



## INTRODUÇÃO

A fabricação de queijos e laticínios são os produtos de maior volume na produção das fábricas de laticínios. Dentre os produtos lácteos, o principal é o leite integral. Outros produtos são os derivados de leite, compostos por 50% de leite fluido juntamente de ingredientes que não danifiquem a formulação como, por exemplo, o chocolate. (FLAKE, 2019). Em 2013 o Brasil produziu cerca de 35 bilhões de litros de leite, com um aumento de 57% desde 2003 (SILVA, 2016).

Para se obter uma proporção quantificada de efluentes decorrentes dos laticínios estima-se que a cada 1 litro de leite utilizado na produção, se tem 2,3 litros de efluentes (TENEDINI, 2016). Neste efluente é encontrado nutrientes, poluentes orgânicos e agentes infectantes (SARAIVA et.al., 2009).

Os efluentes de laticínios possuem um alto potencial poluidor, neste se encontra concentrações de lipídios, proteínas, carboidrato. (PAPP et al., 2019), concentrações elevadas de demanda biológica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO), assim sendo o tratamento deste efluente se torna fundamental para que sua carga poluidora diminua, podendo efetuar seu descarte de uma forma mais límpida, evitando contaminação do corpo hídrico e facilitando a reutilização deste recurso. (SILVA et al, 2012).

Para o tratamento de efluentes de laticínios, comumente se utiliza tratamento físico, químico e biológico (DIAZ, 2013). O processo biológico é uma das opções mais utilizada em tratamentos de águas residuárias, promovendo a remoção da matéria orgânica, e sendo economicamente viável (CARVALHO, 2018). Entretanto, segundo Castro (2012), para que melhore o processo de tratamento do efluente industrial, utiliza-se o tratamento físico químico do qual facilita a remoção de compostos indesejáveis, que não foram removidos no processo biológico, ainda promovendo remoção de DQO e cor, a ponto de pós-tratamento, poderem ser lançados no curso d'água.

Dentre os processos para se adquirir um tratamento, os mais utilizados e economicamente viáveis são os processos de coagulação e floculação (HILLEBRAND, 2020), o uso de coagulação aumenta as partículas coloidais, seguindo pelo processo de floculação das partículas instáveis, onde as partículas se juntam, formando flocos

Realização

Apoio



volumosos que se agrupam, facilitando a remoção de sólidos suspensos e partículas coloidais (MELLO, 2012).

Para se obter as informações paramétricas como pH e turbidez, busca utilizar o método por Jar Test, ou teste de jarros, cujo método laboratorial de bancada, que por sua vez 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).

O processo de coagulação é decorrente do uso de coagulantes, cujo removem partículas microscópicas. Os coagulantes comumente utilizados são os inorgânicos (químicos) como sais trivalentes de ferro e alumínio ou polímero sintético, pois possuem um desempenho comprovável em relação ao custo e benefício (FRANCO, 2017), proporcionando redução de turbidez até de 90% (PAULA, 2018).

Buscando minimizar os impactos causados pelos efluentes de laticínios, as indústrias introduzem a floculação e coagulação (MATEUS, 2015). Sendo assim, objetivou-se verificar a dosagem e pH ótimos dos coagulantes químicos sulfato de alumínio e o Policloreto de Alumínio (PAC) e verificar a eficiência de remoção de efluente de laticínio por meio dos testes de jarros em escala de bancada...

## METODOLOGIA

Para a realização do estudo utilizou-se efluente de um laticínio de médio porte localizado no município de Três Corações/MG. A pesquisa se concretizou nas dependências do laboratório de saneamento, situado na Universidade Vale do Rio Verde – UNINCOR de Três Corações-MG, onde ocorreu ensaios de coagulação/floculação e sedimentação. A avaliação de eficiência dos coagulantes de estudo se define diante dos parâmetros físico-químicos que obteve nos ensaios de Jar Test.

### Coleta de amostras

As amostras obtidas para efetuar o teste, foram coletadas em um laticínio de médio porte, onde conteve as informações de produtos fabricados no empreendimento, se o processo de lavagem tem sido descartado juntamente aos resíduos dos produtos. Assim

Realização

Apoio



obtendo conhecimento prévio dos efluentes, bem como ramo de atividade.

A coleta de amostra foi do tipo simples, sendo realizada somente uma coleta no tanque de equalização, no volume de 20 litros. Posteriormente as amostras foram homogeneizadas em 5 recipientes de 5 litros para cada ensaio.

Sendo que para recolhimento da mesma foram utilizados recipientes específicos, higienizados e etiquetados para análise. Aplicou-se fichas de campo para coleta de dados, marcação de horário e data da coleta, termômetro para medição de temperatura do efluente, assim como também gelo para conservação de temperatura do mesmo.

Os procedimentos de coleta e preservação da amostra são de acordo com as normas estabelecidas pelo Standard of methods (APHA, 2005).

### **Ensaio de Jar Test**

O ensaio foi realizado em triplicata por meio do Jar Test compacto analógico JTC - MILAN de três provas em acrílico transparente, com três cubas graduadas de 500 ml cada, rotor com velocidade de 260 RPM, sistema de iluminação que facilita a visualização da amostra.

A busca pela concentração ótima se deu através da aplicação de dosagens diferentes dos diferentes coagulantes em cada jarro.

Para a realização dos ensaios de Jar Test foi quantificado a turbidez e o pH inicial, ou seja, do efluente bruto e no final da condução do ensaio, após a etapa de clarificação por meio do turbidímetro da marca DIGIMED e o pH por meio de pHmetro digital portátil da Analytical Instruments pH/EC – 983.

Os coagulantes introduzidos no processo foram sulfato de alumínio e Policloreto de Alumínio (PAC) com composição e teor (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) entre 18 a 24%., nas concentrações de 0,1; 0,4; 0,7; 1,1; 1,4 e 2,0 ml e de 0,5; 0,8; 1,1; 1,4; 1, e 2,0 para o sulfato de alumínio e PAC respectivamente.

Para a execução de Jar test na fase de coagulação adicionou-se as dosagens de coagulante na unidade de mistura rápida por 1 minuto a 250 RPM, passado o tempo, diminuiu-se a rotação para 40 RPM por 7 minutos simulando a fase de floculação. Após desligou-se o aparelho e esperou-se decantar por 60 min. Dentre esses tempos foram avaliados pH e Turbidez para os mesmos. Para a medição da turbidez residual, foi coletado

Realização

Apoio



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 melhor concentração de Sulfato de Alumínio e PAC assim como 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 9,16 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 geocál, do qual sua ação ocasiona o aumento do pH.

As informações obtidas foram recolhidas e anexadas a planilhas, tendo no final do processo resultados conclusivos da diferenciação quantitativa dos coagulantes através de gráficos plotados por Excel. Por meio da análise de regressão observando-se a melhor equação por meio do R2 para verificação da dosagem de coagulante e pH ótimos. A eficiência de remoção, bem como as concentrações afluentes foi comparada com Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG 01/2008.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 01 apresenta os resultados médios obtidos nos ensaios de coagulação utilizando os dois tipos de coagulantes.

Para o coagulante sulfato de alumínio observou-se a turbidez do efluente bruto de 2859 NTU (Unidade Nefelométrica de Turbidez) e pH de 7,32. Para o coagulante PAC, o efluente bruto apresentava características turvas, com turbidez de 744 NTU; pH igual a 4,14 e temperatura de 28,1°C.

Observa-se que a maior eficiência média de remoção de turbidez foi obtida para o coagulante PAC encontrada. Para o coagulante inorgânico sulfato de alumínio, o maior valor na remoção de turbidez (95,8%) foi obtido empregando a concentração de 1,1 mL no tempo de sedimentação de 60 min. E para o Policloreto de alumínio PAC, na concentração de 0,8 mL com eficiência de remoção de 98,5%.

Realização



Apoio





Tabela 01: 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	0,5		8,96		2589	174	93,3	
	0,8		8,84		2589	168	93,5	
	1,1	7,32	8,98	8,65	2589	108	95,8	0,55
	1,4		9,14		2589	232	91,0	
	1,7		9,02		2589	433	83,3	
Policloreto de alumínio (PAC)	0,5		8,17		744	13,4	98,2	
	0,8		7,82		744	11,1	98,5	
	1,1	4,14	7,52	7,89	744	16,8	97,7	0,73
	1,4		7,74		744	27,4	96,3	
	2		7,09		744	31,8	97,5	

Pela Figura 1, percebem-se bons ajustes dos polinômios de segundo grau aos dados observados pelos coeficientes de determinação próximos de 1, utilizados no cálculo da concentração ótima de coagulante. Assim, as concentrações ótimas do sulfato de alumínio e do PAC foram de 0,55 mL e 0,73mL e eficiências calculadas de 95,5% e 98,5% para os coagulantes Sulfato de alumínio e PAC respectivamente.

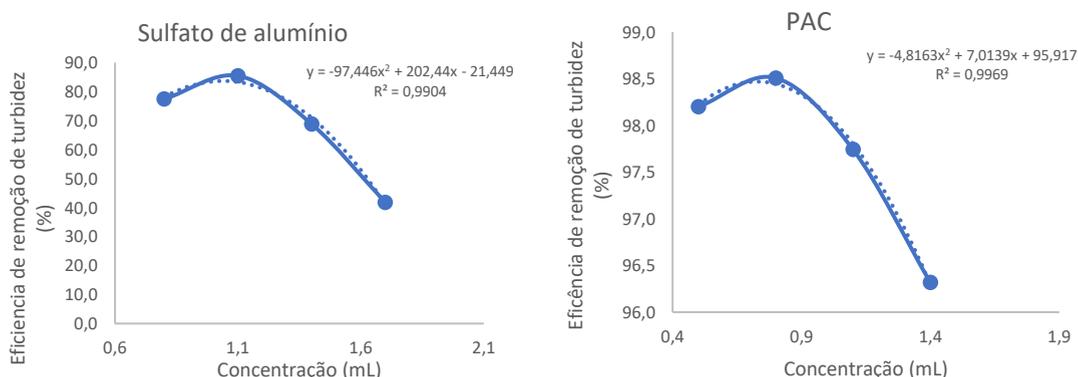


Figura 01. Ajuste polinomial de 2º grau da concentração ótima e R<sup>2</sup> dos coagulantes sulfato de alumínio e PAC.

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 no qual obteve uma remoção de turbidez de até 78,93% para o processo de sedimentação. Valores inferiores ao presente trabalho. Silva et al. (2012) avaliando diferentes agentes coagulantes como alternativa de tratamento físico-químico para remoção de turbidez em efluentes bruto e tratado de uma estação de tratamento de esgoto, obteve remoção de 56% de turbidez, utilizando sulfato de alumínio na concentração de 20 mg.L<sup>-1</sup> no tratamento de esgoto bruto e 38% de turbidez para o esgoto tratado nas mesmas condições, em tempo de sedimentação de 3 horas. Mesmo se tratando de efluentes diferentes, os resultados obtidos no presente trabalho, utilizando os dois tipos de coagulante apresentam melhores eficiências do que os estudos de Silva et al.

Vale destacar que apesar do sulfato de alumínio ter apresentado altas eficiências o PAC apresentou melhor eficiência e, ainda de acordo com o efluente final tratado, a turbidez ainda se apresenta elevada para o sulfato de alumínio com 108 NTU. Ressalta-se que para o lançamento em corpo receptor para os cursos d'água enquadrados na classe 2 esse valor não se encontra compatível, que deve ser de até 100 NTU, alterando a qualidade de água do corpo receptor. Porém pode-se fazer ainda um paralelo, o efluente bruto do sulfato de alumínio apresentou maior turbidez inicial, se o mesmo apresentasse a mesma turbidez do PAC (744) teria uma eficiência de 83,6 e valores de 122,02 NTU. Sugere-se ainda a adição de floculantes para auxiliar na remoção de turbidez e aumentar a eficiência.

NA Figura 02, em relação ao pH ótimo dos coagulantes, observou-se ótimos ajustes dos polinômios de segundo grau aos dados observados pelos coeficientes de determinação com valores de 1.

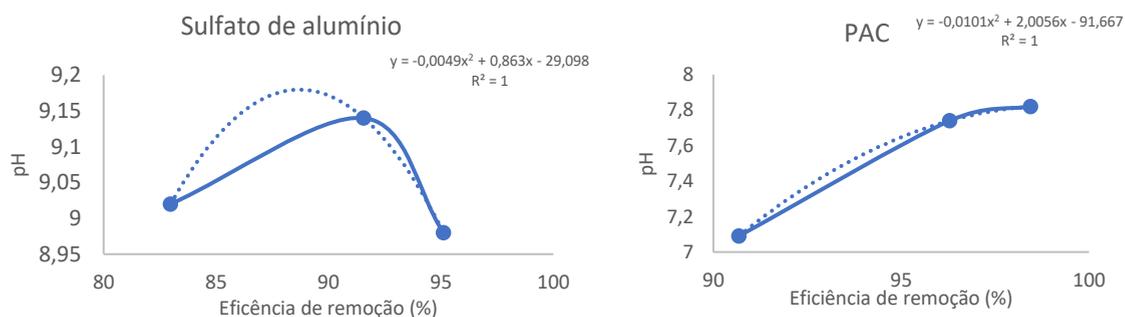


Figura 02 Ajuste polinomial de 2º grau do pH ótimo e R<sup>2</sup> dos coagulantes sulfato de alumínio e PAC



Assim, as concentrações ótimas de pH do sulfato de alumínio e do PAC foram de 8,65 e 7,89 respectivamente. Assim, sugere-se o PAC com a concentração de 0,73mL 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 remoção de eficiência, 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.

## CONCLUSÕES

Avaliando a eficácia da aplicação dos coagulantes, conclui-se que a ação com PAC foi de maior eficácia em comparação ao Sulfato de alumínio, com remoção de turbidez de 95,2% e 98,47% para sulfato de alumínio e PAC respectivamente.

A dosagem e pH ótimos do coagulante PAC foram de 0,727 mL e 7,89 respectivamente do sulfato de alumínio de 1,05 e pH de 8,65.

A utilização de sulfato de alumínio deve ser aplicada juntamente a um agente floculante devido aos maiores valores de turbidez, acima de 100 NTU, alterando a qualidade de água do corpo receptor.

## REFERÊNCIAS

BARTIKO, Daniel; DE JULIO, Marcelo. 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, mar. 2015

CARVALHO, Marta Cristina Silva et al. Combined use of O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and O<sub>3</sub>/Mn<sup>2+</sup> in flotation of dairy wastewater. **Rev. Ambient. Água**, Taubaté, v. 13, n. 2, e2078, 2018.

CASTRO, Anelise Passerine de; YAMASHITA, Fábio; SILVA, Sandra Márcia Cesário Pereira da. Adição de polieletrólito ao processo de floculação no pós-tratamento de lixiviado por coagulação-floculação-sedimentação. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 1, p. 25-32, mar. 2012.

COPAM/CERH-MG (Conselho de Política Ambiental – Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais). Deliberação Normativa COPAM/CERH-MG nº01, de 05 de maio de

Realização

Apoio



2008. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Publicação – *Diário do Executivo* – “Minas Gerais” – 20/05/2008). Disponível em: <<https://bit.ly/3cj2EtQ>>. Acesso em 29 maio de 2020.

CORSO, Andressa; PAPP, Gabriel Taccolini; MEES, Juliana Bortoli Rodrigues. Pós-tratamento físico-químico por flotação fad em efluentes de laticínios. **Tecno-Lógica**, Santa Cruz do Sul, v. 23, n. 2, p. 77-86, jul. 2019. ISSN 1982-6753. Disponível em: <<https://bit.ly/3pR3RRc>>. Acesso em 11 de maio de 2020.

DIAZ, Yudith Gonzalez; HERNANDEZ, José Falcon. Empleo de floculantes inorgánicos en el tratamiento de efluentes lácteos. **RTQ**, Santiago de Cuba, v. 33, n. 2, p. 151-161, agosto 2013.

FLAKE, Oliver. **Dairy and Products Annual**. Brasília: USDA- United States Department of Agriculture, 2019. Disponível em: <<https://bit.ly/2Wd1cF8>>. Acesso em: 10 mar. 2020.

FRANCO, Camila Silva et al. Coagulação com semente de moringa oleifera preparada por diferentes métodos em águas com turbidez de 20 a 100 UNT. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 4, p. 781-788, Aug. 2017.

HILLEBRAND, Felipe José; BENETTI, Antônio Domingues. Caracterização da matéria orgânica dissolvida em processos de tratamento de água para consumo humano usando fracionamento rápido. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 2, p. 237-246, mar. 2020.

MATEUS, Gustavo Affonso Pisano; BAPTISTA, Aline Takaoka Alves; SILVA, Mariana Oliveira; PINTO, Laura Adriane de Moraes; NISHI, Letícia; VIEIRA, Angélica Marquetotti Salcedo; GOMES, Raquel Gutierrez; BERGAMASCO, Rosângela; "**Tratamento de Efluente Lácteo Sintético Utilizando Diferentes Concentrações do Coagulante Natural Moringa oleifera Lam em Comparação ao Coagulante Policloreto de Alumínio**", p. 323. In: In Anais do V Simpósio de Bioquímica e Biotecnologia - VSIMBBTEC [=Blucher Biochemistry Proceedings]. São Paulo: Blucher, 2015, Disponível em: <<https://bit.ly/36EbhOD>>. Acesso em 28 de maio de 2020.

MELLO, Victor Fernandes Bezerra et al. Variáveis no processo de coagulação /floculação/decantação de lixiviados de aterros sanitários urbanos. **Rev. Ambient. Água**, Taubaté, v. 7, n. 2, p. 88-100, jun. 2012.

PAULA, Heber Martins de; FERNANDES, Carlos Eduardo. Otimização do tratamento de água cinza a partir do uso combinado de coagulantes químicos. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v.23, n.5, p.951-961, out. 2018. Disponível em: <<https://bit.ly/2ReTrei>>. Acesso em: 05 abr. 2020.

SARAIVA, C.B.; MENDONÇA, R.c.S.; SANTOS, A.L.; PEREIRA, D.A. Consumo de água e geração de efluentes em uma indústria de laticínios. **Rev. Inst. Latic**, Cândido Tostes, n.367/368, v.64, p.10-18, mar/jun, 2009. Disponível em: <<https://bit.ly/3ca2qpP>>. Acesso em: 06 maio 2020.

SILVA, Claudia Vieira. **Desenvolvimento de uma mistura láctea a base de soro de leite em substituição ao leite condensado para emprego na produção de sobremesas industriais**. Repositório UFMG, Belo Horizonte – MG, fev. 2016. Disponível em: <<https://bit.ly/3fshxwE>>.

Realização

Apoio



Acesso em 06 maio 2020.

SILVA, Francielen Kuball; EYNG, Jonathan. O tratamento de águas residuais de indústria de laticínios: um estudo comparativo entre os métodos de tratamento com biofiltro e com o sistema convencional de lagoas. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [S.l.], v. 1, n. 2, p. 4-22, dez. 2012. ISSN 2238-8753.

TENEDINI, Marcos Vinícius. **Avaliação da Eficiência do Tratamento Biológico, Tipo Lodo Ativado, de uma Indústria de Laticínio**. UNIVATES, Lajeado, nov. 2016. Disponível em: <<https://bit.ly/2xCxIq6>>. Acesso em 06 maio 2020.

Realização



Apoio

