

II –1531 - AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA REMOÇÃO DE AMÔNIA E FÓSFORO DE EFLUENTE AGROINDUSTRIAL POR PRECIPITAÇÃO DE ESTRUVITA

Bianca Kristhine Santos Nascimento⁽¹⁾

Bacharela em Ciências e Tecnologia das Águas pela Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA). Engenheira Sanitarista e Ambiental (UFOPA). Especialização em Saneamento e Tecnologia Hídrica (UFOPA)

Rose Caldas de Souza Meira⁽²⁾

Engenheira Sanitarista pela Universidade Federal do Pará - UFPA. Mestre em Engenharia Civil pela UFPA. Doutora em Geologia e Geoquímica pela UFPA. Professora do Instituto de Ciências e Tecnologias das Águas - ICTA, UFOPA. Coordenadora da Especialização em Saneamento e Tecnologia Hídrica - UFOPA.

Camila Carneiro dos Santos Rodrigues⁽³⁾

Oceanógrafa pela Universidade Federal do Pará - UFPA. Mestra e Doutora em Geoquímica Ambiental (UFPA).

Jolene Rodrigues Lopes⁽⁴⁾

Graduanda do Bacharelado Interdisciplinar em Ciências e Tecnologia das Águas pela Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA).

Ellen Kaline Miranda de Figueiredo⁽⁵⁾

Engenheira Sanitarista e Ambiental (UFOPA). Mestranda em Recursos Naturais da Amazônia (UFOPA).

Endereço⁽¹⁾: Rua/Av. Travessa NS1, Número 61, COHAB - Diamantino - Santarém - PA - CEP: 68020-600 - Brasil - Tel: +55 (93) 99175-0224 - e-mail: biancakristhine@gmail.com

RESUMO

O efluente proveniente de atividades agroindustriais, pode conter quantidades significativas de material orgânico e inorgânico dependendo da atividade de origem; esses efluentes podem ser bastante impactantes ao meio ambiente, quando descartado nos corpos hídricos sem o devido tratamento estabelecido pela legislação e normas vigentes no país. A remoção de nutrientes em efluentes é um desafio em função das maiores restrições e critérios estabelecidos pelos órgãos. Uma técnica de recuperação de nutrientes em crescente destaque nacional e internacional é a recuperação de íons de fosfato de águas residuais por meio da precipitação de sais de fosfato moderadamente solúveis. A estruvita é um fertilizante de liberação lenta de excelente qualidade que pode ser usada diretamente na horticultura e agricultura. Este trabalho buscou avaliar a eficiência da remoção de amônia e fósforo de efluente agroindustrial através da precipitação de estruvita. O efluente estudado foi coletado na comunidade de Santa Luzia, contida no Projeto Agroextrativista (PAE) Eixo Forte, localizado no município de Santarém, oeste do estado do Pará. Para essa pesquisa experimental foram coletados 30 litros do efluente para análise, que ocorreram no laboratório de Química Aplicada à Toxicologia Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA). As análises de amônia e fósforo foram feitas por meio de aparelho espectrofotômetro de bancada multiparâmetro – Hanna Instruments. O método de síntese de otimização de estruvita utilizado foi desenvolvido por Meira (2020). A caracterização inicial do efluente bruto obteve como resultado a concentração inicial de fosfato (P) de 760 mgL^{-1} e nitrogênio amoniacal ($\text{NH}_3\text{-N}$) com 192 mgL^{-1} . Foram realizados 17 ensaios utilizando um planejamento fatorial composto central denominado Design of Experiments – DOE. Foi possível notar que todos os ensaios apresentaram valores de remoção maiores que 50%, estando dentro dos padrões descritos por Meira (2020). Os resultados demonstraram um ótimo desempenho na eficiência do tratamento por precipitação de estruvita, considerando que todas as condições apresentaram resultados significativamente elevados, com destaque às condições impostas pelos ensaios 3 (99,94%) e 13 (99,84%). Foi possível concluir que remover nitrogênio de amônia e fósforo através da precipitação de estruvita pode ser adequada às atividades agroindustriais, proporcionando um destino economicamente viável para as águas tratadas.

PALAVRAS-CHAVE: Amônia, Fósforo, Efluente Agroindustrial, Precipitação de Estruvita.

INTRODUÇÃO

Os efluentes industriais são considerados potencialmente poluidores; a Resolução CONAMA Nº 54/2005 enquadra os efluentes líquidos agroindustriais tratados ou não como água residuária, e o reuso da água como sendo a utilização de água residuária; deste modo o reaproveitamento dessas águas, principalmente as oriundas de agroindústrias, podem contribuir significativamente para o gerenciamento dos recursos hídricos, bem como o seu manuseio para contribuir em outras atividades (JUCHEN *et al.*, 2013).

O efluente relacionado à agroindústria, proveniente de atividades agroindustriais pode conter quantidades significativas de material orgânico e inorgânico dependendo da atividade de origem; esses efluentes podem ser bastante impactantes ao meio ambiente, quando descartado nos corpos hídricos sem o devido tratamento prévio estabelecido pela legislação e normas vigentes no país (OLIVEIRA; PREDOZA FILHO, 2020). Na legislação vigente do Brasil, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e Órgãos Estaduais de Meio Ambiente atuam em conformidade ao estabelecido nas legislações ambientais pertinentes quanto às variáveis e parâmetros para determinação da qualidade da água e os limites relacionados ao descarte, por meio da Resolução CONAMA Nº 357/2005, alterada pela Resolução CONAMA Nº 430/2011.

O manejo alimentar inadequado desse tipo de atividade reduz a absorção de alimento pelos organismos, resultando na abundância de nutrientes com altas quantidades de nitrogênio (N) e fósforo (P) dissolvidos e no acúmulo de material disperso no meio; esses são alguns dos impactos ocasionados pelos efluentes agroindustriais que podem desencadear eutrofização sobre os ecossistemas aquáticos (TOLEDO *et al.*, 2003; EMBRAPA, 2013).

O Nitrogênio (N), quando em ambiente aquático, pode ser encontrado sob diferentes espécies químicas como: nitrito, nitrato, amônia, óxido nitroso e amoníaco (MACEDO e SIPAÚBA TAVARES, 2010). Nas atividades de aquicultura ele provém, principalmente, da proteína das rações, considerando que parte desse composto é excretado pelos organismos na forma de amônia, enquanto o restante é eliminado pelas fezes na forma de nitrogênio orgânico (HENRY-SILVA; CAMARGO, 2008).

O fósforo (P) é uma fonte esgotável, com utilização ampla na agricultura mundial. Esse elemento apresenta forte interação com o solo (fixação), o que reduz a eficiência da adubação fosfatada. O P é composto vital em processos e estruturas que propiciam o desenvolvimento das plantas sendo fundamental na produção de energia metabólica. O Brasil é o 4º maior consumidor de P do mundo e apresenta predomínio de solos classificados como latossolos, no entanto, há carência generalizada de P nos solos brasileiros (ARAÚJO *et al.*, 2021).

A remoção de nutrientes em efluentes é um desafio em função das maiores restrições e critérios estabelecidos pelos órgãos, e apesar de os tratamentos biológicos convencionais serem viáveis economicamente, existe neles uma eficiência limitada com relação a remoção desses nutrientes; dessa forma é imprescindível o desenvolvimento de novas técnicas na recuperação de nutrientes, considerando o reuso na agricultura (KUMAR; PAL, 2013).

Uma técnica de recuperação de nutrientes em crescente destaque nacional e internacional é a recuperação de íons de fosfato de águas residuais por meio da precipitação de sais de fosfato moderadamente solúveis. O mais frequente, é o fosfato hexahidratado de magnésio (Mg) e amônio (NH_4^+), denominado estruvita ($\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), cuja precipitação depende de condições físico-químicas como pH, concentração dos íons e temperatura. Essa técnica atende a um maior nível de rigor as legislações vigentes sobre condições de descarga de fosfato e aos crescentes preços dos fertilizantes, o que torna o processo de recuperação e reutilização de fosfato proveniente de efluentes domésticos e industriais um tema de relevância ambiental e de grande interesse econômico (MEIRA, 2020).

A estruvita é um fertilizante de liberação lenta de excelente qualidade que pode ser usada diretamente na horticultura e agricultura. Enquanto fertilizante recuperado de águas residuais é um produto de fácil manuseio. Isso se deve a esse fosfato fornecer, simultaneamente, nutrientes fosforosos e nitrogenados, e apresentar a vantagem de prolongar a liberação de nutrientes sem o risco de danificar as raízes das plantas (MEIRA, 2020). Dentro desse contexto, este trabalho buscou avaliar a eficiência da remoção de amônia e fósforo de efluente agroindustrial através da precipitação de estruvita.

MATERIAIS E MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO

A coleta de efluente agroindustrial realizada para esse estudo, ocorreu na comunidade de Santa Luzia, que faz parte do Projeto Agroextrativista (PAE) Eixo Forte, com ramal de acesso pela Rodovia Everaldo Martins (PA-457), próximo ao Km 15, município de Santarém, oeste do estado do Pará (Figura 1). De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021), o Município de Santarém está situado na microrregião do Médio Amazonas, a 29 m de altitude, na confluência dos rios Amazonas e Tapajós, sendo o 3º município mais populoso do Pará; ocupando uma área de 17.898,389 km²; possui um total de 308.339 habitantes. O clima predominante da região é o equatorial úmido característico de florestas tropicais, com temperatura média de 25° a 28° C, umidade relativa média de 86% e precipitação média anual de 2000 mm (IBGE, 2010; PREFEITURA DE SANTARÉM, 2023).

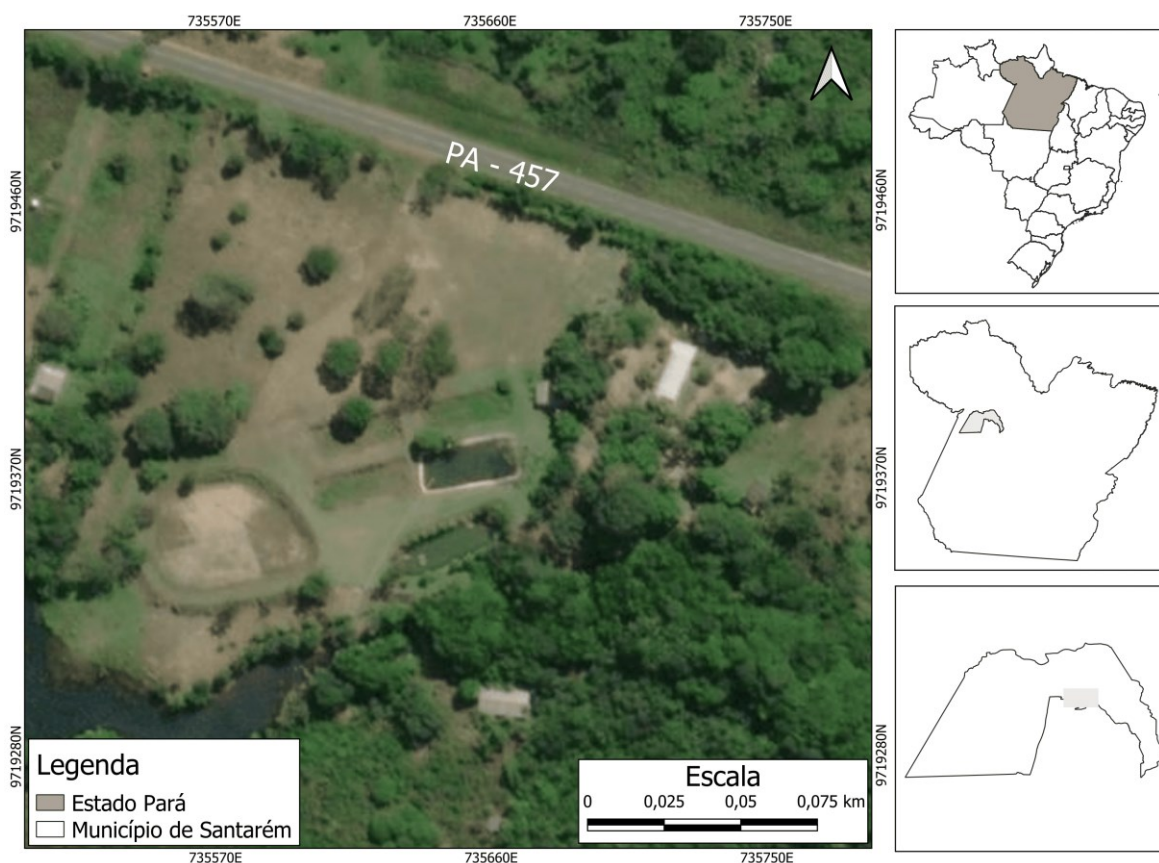


Figura 1: Mapa de localização do efluente de estudo. Fonte: direta, 2023.

Foram coletados 30 litros de efluente (Figura 2A e 2B) para análise e realização do experimento. As amostras foram fracionadas em galões de 5 L e encaminhadas ao laboratório de Química Aplicada à Toxicologia Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), para ser preservada sob refrigeração a 5°C, local onde os experimentos ocorreram.



Figura 2A: coleta de amostras; 2B: amostras do efluente estudado. Fonte: direta, 2023.

As análises de amônia e fósforo foram feitas por meio de aparelho espectrofotômetro de bancada multiparâmetros – Hanna Instruments (Figura 3A); para realização da análise foram adicionados 10 ml da amostra de água residual em cubetas (figura 3B), e adicionado reagentes para aferição e posterior leitura dos resultados; os reagentes utilizados para aferição de leitura dos nutrientes nas amostras foram amônia gama média (HI 93715-01) A e B e fosfato gama alta (HI93717-01) A e B.



Figura 3A: Aparelho utilizado para realizar as análises de fósforo e nitrogênio; 3B: Cubetas após a leitura das análises de fósforo e nitrogênio. Fonte: direta, 2023.

Por meio da ferramenta DOE (Design of Experiments), cujo objetivo é minimizar gastos e tempo, elaborou-se o planejamento de experimentos fatorial completo do tipo composto central com 3 replicatas, totalizando 17 corridas, o qual definiu a ordem dos ensaios de forma aleatória através de sorteio. As condições impostas para cada ensaio variaram entre tempo, volume das soluções, concentrações de fósforo, razão molar, tempo de agitação e tempo de descanso da água pós síntese, com o objetivo de obter como variável resposta o percentual de remoção de amônia e fósforo e, assim determinar a condição mais promissora (tabela 1).

Tabela 1. Matriz Experimental.

Variáveis reais				Variáveis codificadas			Respostas Percentual de remoção (%)
	Conc. P.	RM					

Ensaio(n)	pH	(mg L ⁻¹)	P:Mg:N	X1	X2	X3	NH ₃ -N	P
1 (6)	10	600	2:1:1	-1	-1	-1		
2 (10)	10	600	2,5:1:1	-1	-1	1		
3 (11)	10	1200	2:1:1	-1	1	-1		
4 (5)	10	1200	2,5:1:1	-1	1	1		
5 (7)	10	600	2:1:1	1	-1	-1		
6 (14)	10	600	2,5:1:1	1	-1	1		
7 (4)	10	1200	2:1:1	1	1	-1		
8 (12)	10	1200	2,5:1:1	1	1	1		
9 (2)	10	900	2,25:1:1	-1,68	0	0		
10 (13)	10	900	2,25:1:1	1,68	0	0		
11 (9)	10	400	2,25:1:1	0	-1,68	0		
12 (8)	10	1400	2,25:1:1	0	1,68	0		
13 (1)	10	900	1,16:1:1	0	0	-1,68		
14 (3)	10	900	2,84:1:1	0	0	1,68		
15 (16)	10	900	2,25:1:1	0	0	0		
16 (15)	10	900	2,25:1:1	0	0	0		
17 (17)	10	900	2,25:1:1	0	0	0		
(n): ordem na qual os ensaios foram realizados								

O método aplicado metodologia desenvolvida por Meira (2020), que estabelece uma condição ótima síntese de estruvita. Essa condição de síntese é formada a partir de uma proporção estequiométrica Mg:P:N igual a 1:2:1 em meio alcalino é obtida com sucesso a uma temperatura ambiente e pH alcalino moderado, igualando-se a 10 na presença de P, Mg e NH₄⁺. Segundo a autora, o mais próximo à perda de massa teórica da estruvita está em uma condição em que a remoção seja superior a 50%. Isso significa dizer que os valores de remoção que superam esse percentual representam boas condições de remoção de amônia e fósforo.

Após determinação do planejamento DOE, realizou-se a síntese de estruvita a partir da mistura simultânea de três soluções básicas, Mg (cloreto hexahidratado de magnésio), P oriundo do efluente bruto e NH₄⁺ (cloreto de amônio). Ao final da mistura, acrescentou-se água destilada, onde o volume dependeu da concentração e razão molar pretendida, resultando em um volume final de 2 litros.

A mistura do experimento foi feita por meio de agitador mecânico em 250 RPM (modelo 711 da Fisatom). Durante a mistura no agitador, adicionou-se solução de NaOH para ajustar o pH em 10, como descrito por Meira (2020). Após a agitação, obteve-se como resultado a água tratada, que ficou em descanso de acordo com a variável de tempo estabelecido na matriz inicial. Após descanso, o efluente tratado pós-síntese passou por processo de filtragem para separação do material líquido e sólido. E por fim, obteve-se a água reciclada pós-tratamento que foi analisada para verificação dos teores de amônia e fósforo por meio da espectrofotometria. O processo de síntese até a geração do produto final é apresentado na figura 4.

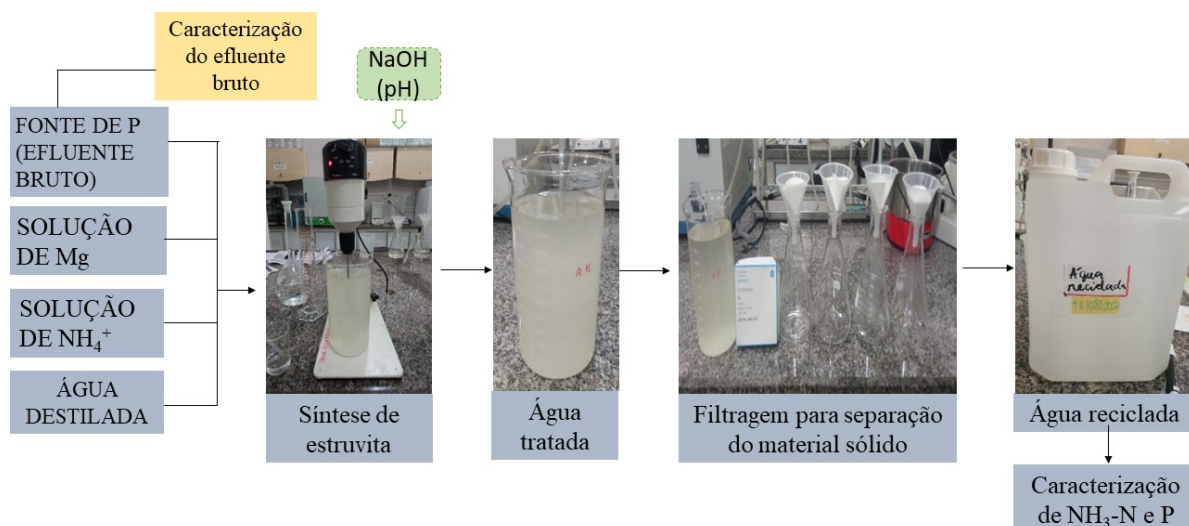


Figura 4: Fluxograma do processo de síntese.

RESULTADOS OBTIDOS

A caracterização inicial do efluente bruto obteve como resultado a concentração inicial de fosfato (P) de 760 mgL⁻¹ e de nitrogênio amoniacal (NH₃-N) com 192 mgL⁻¹. A determinação dos nutrientes no efluente bruto fez-se necessária para ajustes de concentração na matriz experimental. As concentrações de NH₃-N e P no efluente tratado, ou seja, pós síntese de estruvita estão dispostas na Tabela 2.

Tabela 2: Concentração dos nutrientes NH₃-N e P no efluente tratado, após ensaios de síntese de estruvita.

Ensaio (n)*	NH ₃ -N (mg L ⁻¹)	P (mg L ⁻¹)
1 (6)	2,25	3,10
2 (10)	2,21	2,40
3 (11)	4,61	0,77
4 (5)	4,67	3,70
5 (7)	2,38	0,75
6 (14)	2,31	2,60
7 (4)	5,83	6,10
8 (12)	5,05	3,70
9 (2)	3,95	2,60
10 (13)	3,45	2,90
11 (9)	1,79	2,30
12 (8)	7,51	4,00
13 (1)	4,09	1,40
14 (3)	2,95	2,20
15 (16)	3,55	2,20
16 (15)	3,19	2,90
17 (17)	2,99	2,10
*(n): ordem na qual os ensaios foram realizados		

A partir da quantidade de nutrientes presentes nas amostras após a caracterização da água reciclada, e os valores iniciais de concentração dos nutrientes ajustados pela razão molar apresentados, determinou-se o percentual de remoção dos nutrientes para cada ensaio. Os resultados desse percentual estão expressos na tabela 3.

Tabela 3: Valores de percentual de remoção pela entrada e saída de nutrientes.

Ensaio (n)*	NH ₃ -N (mg L ⁻¹)			P (mg L ⁻¹)		
	Inicial	Final	Remoção (%)	Inicial	Final	Remoção (%)
1 (6)	300	2,25	99,25	600	3,10	99,48
2 (10)	240	2,21	99,08	600	2,40	99,60
3 (11)	600	4,61	99,23	1200	0,77	99,94
4 (5)	480	4,67	99,03	1200	3,70	99,69
5 (7)	300	2,38	99,21	600	0,75	99,88
6 (14)	240	2,31	99,04	600	2,60	99,57
7 (4)	600	5,83	99,03	1200	6,10	99,49
8 (12)	480	5,05	98,95	1200	3,70	99,69
9 (2)	400	3,95	99,01	900	2,60	99,71
10 (13)	400	3,45	99,14	900	2,90	99,68
11 (9)	177,77	1,79	98,99	400	2,30	99,43
12 (8)	622,22	7,51	98,79	1400	4,00	99,71
13 (1)	775,86	4,09	99,47	900	1,40	99,84
14 (3)	316,9	2,95	99,07	900	2,20	99,76
15 (16)	400	3,55	99,11	900	2,20	99,76
16 (15)	400	3,19	99,20	900	2,90	99,68
17 (17)	266,66	2,99	98,88	600	2,10	99,65
*(n): ordem na qual os ensaios foram realizados						

Esse percentual foi obtido utilizando o cálculo da diferença entre o volume inicial do nutriente (entrada) e o volume final (saída), ou seja, a quantidade que havia antes do tratamento e quantidade que restou após o tratamento, considerando a concentração inicial determinada pela matriz experimental (tabela 1), demonstrado na equação (1).

$$\frac{Conc. inicial - 100\%}{(vol. inicial - vol. final) - x} \quad (1)$$

A partir dos resultados dos cálculos de remoção, cujos resultados estão apresentados na Tabela 3, foi possível encontrar as respostas do percentual de remoção esperadas pelo planejamento experimental fatorial (DOE) expressas na Tabela 4.

Tabela 4: Matriz experimental de planejamento fatorial.

Ensaio (n)*	Variáveis reais		Variáveis codificadas			Respostas Percentual de remoção (%)
	P	RM				

	pH	(mg L ⁻¹)	P:Mg:N	X1	X2	X3	NH ₃ -N	P
1 (6)	10	600	2:1:1	-1	-1	-1	99,25	99,48
2 (10)	10	600	2,5:1:1	-1	-1	1	99,08	99,60
3 (11)	10	1200	2:1:1	-1	1	-1	99,23	99,94
4 (5)	10	1200	2,5:1:1	-1	1	1	99,03	99,69
5 (7)	10	600	2:1:1	1	-1	-1	99,21	99,88
6 (14)	10	600	2,5:1:1	1	-1	1	99,04	99,57
7 (4)	10	1200	2:1:1	1	1	-1	99,03	99,49
8 (12)	10	1200	2,5:1:1	1	1	1	98,95	99,69
9 (2)	10	900	2,25:1:1	-1,68	0	0	99,01	99,71
10 (13)	10	900	2,25:1:1	1,68	0	0	99,14	99,68
11 (9)	10	400	2,25:1:1	0	-1,68	0	98,99	99,43
12 (8)	10	1400	2,25:1:1	0	1,68	0	98,79	99,71
13 (1)	10	900	1,16:1:1	0	0	-1,68	99,47	99,84
14 (3)	10	900	2,84:1:1	0	0	1,68	99,07	99,76
15 (16)	10	900	2,25:1:1	0	0	0	99,11	99,76
16 (15)	10	900	2,25:1:1	0	0	0	99,20	99,68
17 (17)	10	600	2,25:1:1	0	0	0	98,88	99,65
*(n): ordem na qual os ensaios foram realizados								

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os ensaios que apresentaram menor quantidade de nutrientes na amostra, representam maior eficiência em relação à remoção por precipitação de estruvita, destacando-se os ensaios 11 em relação à amônia e 5 em relação ao fósforo apresentando melhor desempenho.

Os resultados remanescentes de P nas amostras apesar da eficiência de remoção ainda não atendem aos valores limites para lançamento de efluentes estabelecidos na Resolução do CONAMA Nº 357/05 estabelece que o valor máximo permitidos para fósforo total em ambiente intermediário, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambiente lântico seja equivalente a 0,025 mg L⁻¹, enquanto que para fósforo total em ambiente lântico e tributários de ambientes intermediários seja de 0,1 mg L⁻¹.

Foi possível observar que todos os ensaios apresentaram valores de remoção maiores que 50%, estando dentro dos padrões descritos por Meira (2020), demonstrando a eficiência do tratamento por precipitação de estruvita com efluentes agroindustriais como fonte de fósforo. Em relação à remoção de nutrientes, a amônia apresentou maior porcentagem no ensaio 13 com 99,47%. Já em relação ao fósforo, o ensaio em que obteve maior remoção foi o de número 3 com 99,94%.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados demonstraram um ótimo desempenho no tratamento por precipitação de estruvita, considerando que todas as condições apresentaram resultados significativamente elevados, com destaque às condições impostas pelos ensaios 3 (99,94%) e 13 (99,84%).

A quantidade de fósforo remanescente em todas as condições experimentais excedeu os valores dos parâmetros legais previstos na normativa Nº 430 do CONAMA relacionados ao fósforo total (ambiente lântico) caracterizando o efluente tratado (pós-síntese) como inapto ao descarte nos corpos hídricos. Porém, por apresentar valores consideráveis desse nutriente, o efluente tratado pode ser considerado apto a ser usado na fertirrigação.

A metodologia disponibilizada se caracteriza como altamente eficiente no que diz respeito à remoção de nutrientes por precipitação de estruvita, sendo uma alternativa ambientalmente viável e dá um destino mais sustentável para as águas tratadas com o intuito de possibilitar novas técnicas de aproveitamento de nutrientes, além de favorecer a economia circular.

Em relação à eficiência de recuperação dos nutrientes apresentada foi possível concluir que remover nitrogênio de amônia e fósforo através de precipitação de estruvita pode ser adequada às atividades agroindustriais, proporcionando um destino economicamente viável para as águas tratadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARAÚJO, M. S.; OLIVEIRA, C. S.; JÚNIOR, J. E. D. C.; BARRETTO, V. C. M.; RODRIGUES, F. Fósforo no crescimento inicial de mogno-africano. Adv. For. Sci, Cuiabá, v. 8, n.1, p. 1301-1309, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.34062/afs.v8i1.9728>. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/afor/article/view/9728>. Acesso em 27 de julho de 2022.
2. BRASIL. Conselho Nacional Do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 54 de 28 de novembro de 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para prática de reúso direito não potável de água. Ministério do meio ambiente. Disponível: <http://conama.mma.gov.br/>. Acesso em 30 de dez de 2022.
3. BRASIL. Conselho Nacional Do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Ministério do meio ambiente. Disponível: www.mma.gov.br/Conama. Acesso em: 21 de jan. de 2022.
4. BRASIL. Conselho Nacional Do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Ministério do meio ambiente. Disponível: www.mma.gov.br/conama. Acesso em: 29 Mai 2022.
5. CLIMA Santarém. Prefeitura De Santarém, Santarém, 2023. Disponível em: <https://turismo.santarem.pa.gov.br/história-de-santarem> Acesso em: 12 abr. 2023.
6. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Embrapa pesca e aquicultura. 1ª ed. Brasília – DF, 2013. 440 p.
7. HENRY-SILVA, Gustavo Gonzaga; CAMARGO, Antônio Fernando Monteiro. Impacto das atividades de aquicultura e sistemas de tratamento de efluentes com macrófitas aquáticas – relato de caso. 2007. B. Inst. Pesca, São Paulo, 34(1): 163 – 173, 2008.
8. IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Estimativas da população residente. 2021.
9. IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Santarém 2010. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/santarem/panorama> Acesso: 12 abr. 2023.
10. JUCHEN, C. R.; SUSZEK, F. L.; VILAS BOAS, M. A. IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO PARA PRODUÇÃO DE ALFACE FERTIRRIGADA COM ÁGUAS RESIDUÁRIAS AGROINDUSTRIAIS. IRRIGA, [S. l.], v. 18, n. 2, p. 243–256, 2013. DOI: 10.15809/irriga.2013v18n2p243. Disponível em: <https://irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/408>. Acesso em: 24 jan. 2023.
11. KUMAR, R.; PAL, P. Turning hazardous waste into value-added products: production and. Characterization of struvite from ammoniacal waste with new approaches. Journal of Cleaner Productions, v. 43, p. 59-70, 2013.
12. MACEDO, C.F.; SIPAÚBA-TAVARES, H.L. Eutrofização e qualidade da água na piscicultura: Consequências e recomendações. Boletim de instituto de pesca, São Paulo, v.36, n.2. p.149-163, 2010.
13. MEIRA, R. C. S. Otimização da síntese de estruvita e seus análogos visando a recuperação de fósforo, magnésio, nitrogênio e potássio de águas residuais. 2020. 129 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2020.
14. OLIVEIRA, Bruna de; PREDOZA FILHO, Manoel Xavier. Perspectivas para o desenvolvimento da cadeia produtiva da piscicultura no Tocantins. Humanidades e Inovação, [s. l.], v. 7, n. 14, 2020. Disponível em: <https://revista.unitins.br/index.php/humanidadesinovacao/article/view/3446>. Acesso at: 27 apr. 2022.
15. TOLEDO, J. J. de et al. **Avaliação do impacto ambiental causado por efluentes de viveiros da estação de piscicultura de Alta Floresta – Mato Grosso**. Revista do Programa de Ciências Agroambientais, Alta Floresta, v. 2, n. 1, p.13-31, 2003.