II-1167–DETERMINAÇÃO DE METAIS PESADOS POR FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X EM LODO DE ETE UNIVERSITÁRIA

Ellen Beatriz de Oliveira Correia Freitas[(1)]
Formação: Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental (IFRN); Técnica em Controle Ambiental.
Italo Felipe da Silva[(2)]
Formação: Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental (IFRN).
Cleonilson Mafra Barbosa[(3)]
Formação: Licenciado em Química; Especialista em Docência no Ensino Superior; Mestre e Doutor em Ciências e Engenharia de Materiais.
Dayana Melo Torres[(4)]
Formação: Doutora em Engenharia Ambiental, Docente do IFRN - Campus Natal Central.
Pablo Emanuel Dias de Oliveira[(5)]
Formação: Técnico em Mineração

Endereço[(1)]**:** Avenida Senador Salgado Filho, 1559. Bairro Tirol. Natal-RN.CEP: 59.015-000 – Brasil – Tel: (84) 99492-3645 - e-mail: freitasellen953@gmail.com.

RESUMO

O artigo discute a importância da gestão dos recursos hídricos devido à contaminação dos mananciais, levando à escassez de água potável. Os sistemas de saneamento são essenciais para garantir a remoção dos poluentes das águas residuais, sendo o lodo um subproduto desses sistemas. O lodo tem potencial para ser usado como condicionador de solo, mas deve ser testado para metais pesados. O uso de metais pesados como fertilizantes no solo pode ser potencialmente prejudicial, levando à bioacumulação e biomagnificação. Este artigo tem como objetivo determinar os metais pesados presentes no lodo da estação de tratamento de efluentes da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), com o objetivo de identificar possíveis possibilidades de reaproveitamento com redução de impactos ambientais. A metodologia inclui o uso de espectrometria de fluorescência de raios X para determinar a concentração de metais pesados no lodo.

PALAVRAS-CHAVE: Lodo, Metais Pesados, Espectrometria, Fluorescência de Raios X, ETE.

INTRODUÇÃO

A água é o elemento vital para o homem e demais espécies do planeta Terra. Desde a Grécia antiga, era considerada um bem ímpar. Tales de Mileto, considerava que “tudo é água”. Biologicamente falando, os seres vivos devem manter-se hidratados, do contrário, morrem. O filósofo grego Empédocles de Agrigento elaborou a teoria em que a água, o ar, o fogo e a terra são os quatro elementos fundamentais, irredutíveis e formadores de todas as coisas do mundo.

A Política Nacional de Recursos Hídricos visa assegurar à atual e às futuras gerações a disponibilidade de água de qualidade. Porém, a água potável se torna um recurso escasso devido a contaminação dos recursos hídricos, acarretando na necessidade de um gerenciamento dos mesmos para que todos tenham direito ao meio ambiente ecologicamente correto, sendo um bem de uso comum da população e essencial à sadia qualidade de vida, como previsto no Artigo nº 225 da Constituição Federal Brasileira.

As águas residuais domésticas são advindas de banhos, cozinhas e lavagem de pavimentos domésticos, já as residuais industriais são provenientes dos processos de fabricação (CETESB, 2022), sendo assim, chamado de esgoto (Sistema Autônomo de Água e Esgoto – SAAE, 2022).

Conforme a CETESB, o esgotamento sanitário abrange os processos de coleta, transporte através de redes coletoras compostas por troncos, interceptores e coletores, depois há um pré-tratamento com grades, para retirar a sujeira, e caixa de areia, que vai retirar a areia contida nele, seguindo pelo tratamento, compostos por decantador primário, tanque de aeração e decantador secundário, e, por fim, disposição dos efluentes sanitários e/ou industriais para haver a remoção de poluentes (MINCATO e CARVALHO, 2005).

O decantador primário é onde ocorre a sedimentação de partículas mais pesadas, os tanques de aeração fornecem ar, promovendo condições de reprodução e alimentação dos microrganismos ali presentes, os quais degradam a

matéria orgânica existente, formando o lodo. O decantador secundário é onde a parte sólida remanescente decanta. Este processo descrito, o qual o sistema é biológico e com presença de oxigênio, é o mais comum utilizado para tratamento. Ele foi utilizado primeiro na Inglaterra em 1914, conforme a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP).

Os lodos produzidos pelos microrganismos decantadores e a matéria orgânica consumida, é decantada e se acumulam nos tanques das Estações de Tratamento de Esgotos. Segundo a EMBRAPA, 2018, ele é rico em nutrientes, mas ao mesmo tempo, pode conter risco à saúde pela sua infecção.

No processo de tratamento, cerca de 1% a 2% do volume tratado na Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) se transforma em lodo, os quais são chamados de subprodutos sólidos. Os aspectos físico-químicos dos lodos os fazem um excelente condicionador e estruturador dos solos (MINCATO e CARVALHO, 2005).

Cada vez mais são realizados estudos voltados ao tratamento e disposição de resíduos para diminuir o impacto ambiental acarretado por eles e agregar um valor econômico-ambiental para serem úteis ao ambiente. Os esgotos são os que mais causam preocupação, assim maior foco de estudos (MORAES, 2003).

Por possuir nitrogênio, fósforo, cálcio, magnésio e outros micronutrientes, a utilização do lodo no solo é comum, mas para que isso ocorra, deve ser determinado os metais pesados (MORAES, 2003). O biossólido apresenta composição, na sua maioria, orgânica e a quantidade de metais pesados contidos é variável (MORAES, 2003).

A Resolução 375 de 2006 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) estabelece critérios e procedimentos para o uso, em áreas agrícolas, de lodo de esgoto gerado em ETEs e seus produtos derivados, visando beneficiar a agricultura sem ocasionar riscos à saúde pública e ao ambiente.

Os metais pesados utilizados para fertilização do solo são contaminantes potenciais na agricultura podendo apresentar um grau de toxicidade por efeitos de bioacumulação e biomagnificação (BAIRD, 2002). No Brasil, ainda não há legislação específica para a regulação de solos, porém, em São Paulo, é adotado a norma P.4.230/1999 da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), para utilização na agricultura.

Consequentemente, a determinação de metais pesados do lodo para utilização se faz necessária para, assim, destinar corretamente e poder o rejeito se tornar resíduo. Uma forma de realizar a determinação de metais pesados no lodo é a espectrometria de fluorescência de raios X (FRX). Esta tecnologia permite determinar a concentração dos metais e metalóides responsáveis pela contaminação.

A espectrometria de fluorescência de raios X (FRX) é uma técnica rápida e de baixo custo que também é interessante pela diminuição da possível contaminação que a amostra possa ter. Ela determina desde elementos maiores como Na, Mg, AI, Si, P, K, Ca, Ti, Mn até elementos como Rb, Sr, Nb, Y, Zr, Cr, Ni, Cu, Zn, Ga, Ba, Pb, Th e U.

Ela se baseia a partir da excitação da amostra por raio X primário para provocar emissão fluorescente na amostra. Os raios possuem alta frequência e comprimento de onda na faixa de 0,003 a 3 nm. Segundo Moraes, 2003, os raios X primários produzidos no tubo por ddp - diferença de potencial e posterior emissão é o princípio da técnica.

A interação dos fótons de raios X com átomos da amostra raios X secundários (fluorescência de raios X) vão determinar os teores dos elementos, pois cada elemento possui um comprimento de onda (λ) específico e sua intensidade acarreta na obtenção dos resultados (MINCATO E CARVALHO, 2005). A classificação dos λ é dado pela difração, a partir da lei de Bragg ($n\lambda=2d\text{sen}\boldsymbol{\theta}$).

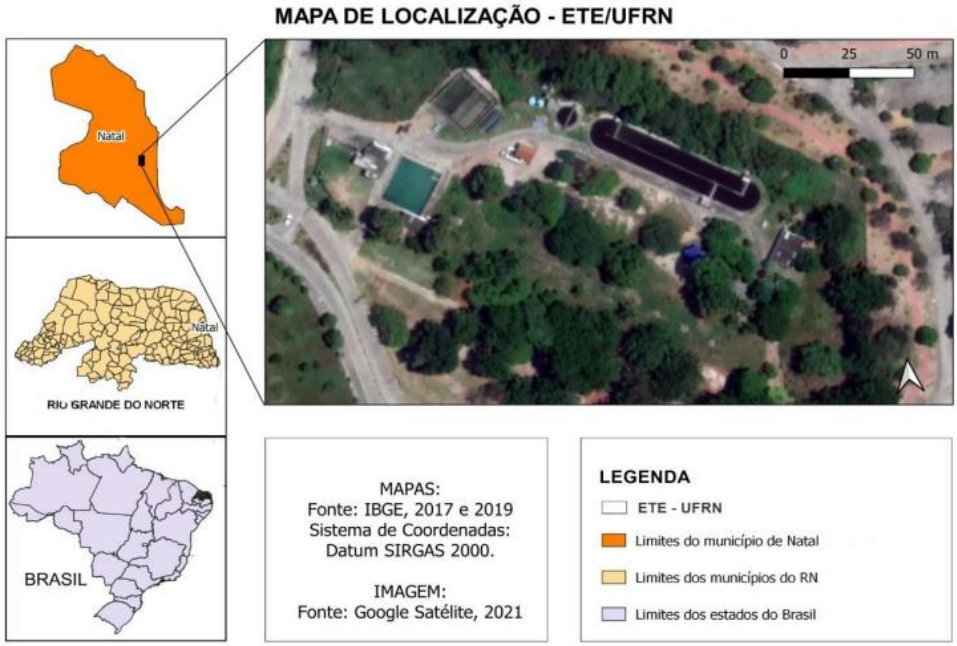
OBJETIVO

O presente trabalho possui como objetivo determinar os metais pesados no lodo proveniente da ETE da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, campus Natal, por meio da técnica de fluorescência de raios-x (FRX), visando agregar valor ao rejeito, diminuir o impacto ambiental relacionado ao descarte do lodo, e indicar possibilidades para seu reaproveitamento.

METODOLOGIA

A amostra de lodo foi coletada na Estação de Tratamento de Esgoto da UFRN, campus Central, a qual é localizada na cidade de Natal (RN) nas coordenadas de latitude 6º37” Sul e longitude 36º53’’ Oeste, a cerca de 10 km do centro de Natal-RN (Figura 1), (PEREIRA, 2021).

Figura 1 - Localização da ETE/UFRN



Fonte: Pereira, 2021

A ETE é constituída pelas seguintes etapas de tratamento preliminar: gradeamento, caixa de areia e Calha Parshall, conforme visualizado nas Figura 2 e Figura 3 a seguir.

Figura 2 - Gradeamento

Fonte: autoral

Figura 3 – Caixa de areia e Calha Parshall

Fonte: autoral

Seguindo pela estação elevatória de esgoto bruto, valo de oxidação (Figura 4), decantador secundário, recirculação do lodo, filtro ascendente, tanque de cloração, reservatório de esgoto tratado (Figura 5) e leito de secagem do lodo (Figura 6).

Figura 4 - Valo de oxidação

Fonte: autoral

Figura 5 – Reservatório de esgoto tratado

Fonte: autoral

Figura 6 - Leito de Secagem do Lodo

Fonte: autoral

O leito possui área de 240 m². Logo depois da secagem, o lodo é acondicionado na ETE e posteriormente destinado ao aterro metropolitano de Natal, localizado em Ceará-Mirim/RN. O efluente é utilizado para irrigação do campo de futebol, áreas verdes da ETE e na arborização da UFRN.

Nesta pesquisa, foi realizada uma análise semiquantitativa de uma amostra composta de lodo coletada dia 24 de outubro de 2022 (Figura 7), na ETE da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). A amostragem envolveu tratamento prévio (secagem, destorroamento, identificação, homogeneização pela técnica de pilha cônica, quarteamento - Figura 9 - e pulverização - Figura 10), e preparação dos copinhos para análise por FRX (Figura 11).

Figura 7 - Coleta do lodo

Fonte: autoral

Em 3 (três) vasilhas plásticas os lodos foram armazenados para perder a umidade, posteriormente foram colocados em placas metálicas e levados à estufa da marca Nova Ética à 100°C para total secagem. Após esse processo, com almofariz e pistilo foi destorroado metade da amostragem.

Figura 8 – Lodo recém coletado na ETE da UFRN

Fonte: Autoral

Para realizar o ensaio de FRX é necessário que a granulometria da amostra seja menor igual que 200 mesh, como o lodo não foi completamente destorroado devido a sua dureza, foi realizado o quarteamento pelo método de pilha cônica para haver homogeneização e separação de uma quantidade estatisticamente significativa para realizar o ensaio.

Esse processo permite que a amostra original de minério seja dividida em porções menores e mais manejáveis, sem comprometer a sua representatividade. Além disso, ele ajuda a minimizar a variabilidade inerente à distribuição do metal na amostra original, o que aumenta a precisão da análise final.

Figura 9 - Quarteamento

Fonte: autoral

Assim, foi feito 4 (quatro) vezes o quarteamento até conter um volume de cerca de 10 g. O restante do material foi descartado e as 10 g passaram pelo processo de pulverização pelo moinho de discos (Figura 10).

Figura 10 – Panela de moinho com a amostra

Fonte: autoria

Para realizar a pulverização, a amostra foi colocada na panela de moinho (Figura 10) junto com os corpos moedores (Figura 11), os quais são responsáveis pela pulverização do material.

Figura 11 – Corpos moedores

Fonte: autoral

O processo de pulverização garante uma granulometria menor igual que 400 mesh.

No laboratório em que foi realizado, é importante ressaltar que esse processo pode gerar poeira e partículas finas, que podem ter impactos ambientais negativos. Por isso, os técnicos de laboratório implementaram medidas de controle de poeira, como a instalação de sistemas de exaustão, para minimizar os efeitos do processo de pulverização no meio ambiente e na saúde humana.

Figura 12 – Moinho de discos

Fonte: Autoral

Figura 13 - Amostra pulverizada

Fonte: autoral

A partir da pulverização, a amostra foi transferida para um saco de plástico etiquetado (conforme pode ser observado na Figura 14) e, então, realizada a montagem dos copinhos (Figura 15) para análise por FRX.

Figura 14 – Amostra acondicionada

Fonte: autoral

Figura 15 - Copinhos Para Análise Por FRX

Fonte: autoral

Para realizar a determinação de metais pesados, a metodologia adotada consiste em utilizar um Espectrômetro de bancada de Energia Dispersiva (EDX), da Marca *Thermo Fisher Scientific*, modelo *ARL QUANT'X*, a partir do método à ar. A aparelhagem é equipada com detectores SDD de última geração com alto desempenho, com altas taxas de contagem e sensibilidade grande aos elementos de toda a tabela periódica, desde elementos leves, como o flúor, até os pesados, como o carbono.

O equipamento é do Centro de Tecnologia Mineral (CT Mineral) professor José Yvan Pereira Leite do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN) campus Currais Novos. Para

computar os dados do equipamento a qual fez análise de FRX, foi usado o aplicativo UniQuant 6.34, avaliando as linhas espectrais (Figura 16).

Figura 16 - Espectrômetro de Bancada de Energia Dispersiva

Fonte: autoral

RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos das análises em triplicata por FRX utilizando o UniQuant 6.34 estão na Quadro 1.

Quadro 1 - Resultados

Óxidos	m/m% Médio	Valor Máximo	Valor Mínimo	Elementos	m/m% Médio	Valor Máximo	Valor Mínimo
SiO2	26,5733	31,1800	23,8900	Si	12,4233	14,5800	11,1700
Fe2O3	18,7433	19,8800	16,7300	Fe	13,1266	13,9000	11,7000
SO3	15,9900	16,4000	15,2300	Sx	6,4033	6,5700	6,1000
CaO	10,2633	10,7400	9,4900	Ca	7,3366	7,7800	6,7800
P2O5	8,9166	9,4600	8,4200	Px	3,8900	4,1300	3,6700
TiO2	5,5533	5,9100	5,1600	Ti	3,3266	3,0900	3,5400
Al2O3	4,9233	5,3300	4,6900	Al	2,6033	2,4800	2,5100
K2O	3,6100	3,7400	3,3900	K	2,9933	3,1000	2,8100
Cl	1,3833	1,4200	1,3100	Cl	1,3833	1,4200	1,3100
ZnO	1,5233	1,7500	1,2700	Zn	1,2266	1,4100	1,0200
BaO	0,5890	0,6810	0,4900	Ba	0,5276	0,6100	0,4390
CuO	0,4833	0,5560	0,4010	Cu	0,3863	0,4440	0,3210
Co3O4	0,2963	0,3190	0,2620	Co	0,2173	0,2340	0,1920
ZrO2	0,2456	0,2960	0,2040	Zr	0,1816	0,2190	0,1510
SrO	0,1676	0,1920	0,1380	Sr	0,1416	0,1460	0,1170
MnO	0,1526	0,1640	0,1350	Mn	0,1180	0,1270	0,1040
Cr2O3	0,1183	0,1280	0,1040	Cr	0,0813	0,0879	0,0715
NiO	0,1085	0,1230	0,0915	Ni	0,0852	0,0966	0,0719
PbO	0,0755	0,0870	0,6220	Pb	0,0701	0,0808	0,0577
I	0,0577	0,0680	0,0502	I	0,0577	0,0680	0,0502
Br	0,0528	0,0618	0,0437	Br	0,0530	0,0618	0,0437
As2O3	0,0378	0,0429	0,0292	As	0,0286	0,0325	0,0221
MoO3	0,0253	0,0288	0,0214	Mo	0,0169	0,0192	0,0143
Y2O3	0,0225	0,0251	0,0196	Y	0,0177	0,0192	0,0154
Nb2O5	0,0181	0,0207	0,0151	Nb	0,0127	0,0145	0,0106
Rb2O5	0,0166	0,0187	0,1370	Rb	0,0152	0,0171	0,0125

SnO2	0,0629	0,0203	0,0134	Sn	0,0129	0,0160	0,0106
Ag20	0,0021	0,0064	0,0000	Ag	0,0020	0,0060	0,0000
SeO2	0,0018	0,0053	0,0000	Se	0,0013	0,0038	0,0000

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Analisando os elementos mais abrangentes nas amostras, destaca-se a influência que eles possuem para o plantio:

- Silício: Estudos revelam a influência do elemento à resistência ao ataque de insetos, nematóides e microrganismos, maior resistência à seca, salinidade, além de contribuir para a melhora no estado nutricional, transpiração e, possivelmente, em alguns aspectos da eficiência fotossintética das plantas. (MENEGALE at al, 2015)
- A dissolução dos óxidos de Fe é muito importante porque governa não somente a disponibilidade do Fe para plantas, mas também a liberação de ânions e cátions (metais pesados) associados às suas superfícies, e que podem ter um impacto na qualidade ambiental do solo. (CORINGA, 2010)
- O enxofre é fundamental para a planta, pois é um macronutriente com papel estrutural em diversas moléculas – a exemplo do grupo dos aminoácidos, como metionina e cistina, necessárias para a formação de proteínas. **(**DUARTE, 2020).
- O cobalto é um nutriente essencial para as plantas, absorvido pelas raízes na forma de Co2+, e é essencial para a fixação do nitrogênio atmosférico. Na maioria dos solos, é encontrado em baixas concentrações, dependendo do material de origem. (MACHADO, 2022)
- Nas plantas, o Fósforo desempenha papel fundamental na formação de ATP (Trifosfato de adenosina), sendo ela a principal fonte de energia para a realização de processos como a fotossíntese, divisão celular, transporte de assimilados e carga genética. (MAIS SOJA, 2020). Em consequência do seu papel e importância na participação de processos internos da morfologia das plantas, o Fósforo apresenta relação com a produtividade das culturas, na soja por exemplo, NETO et. al, (2010).
- Óxidos de cálcio têm sua solubilidade imediata com mobilidade mais eficiente no solo, podendo trazer resposta de produtividade, além do aumento de pH (VELOSO et al., 1992). Também contribui no aumento de produtividade em lavoura de soja. Correção de solo e melhora na fertilidade são mais evidenciados com a utilização de produtos à base de Óxido de cálcio, especialmente na camada de 10 a 20 cm. (MMAIS SOJA, 2019)

Assim, o biossólido é rico em nutrientes e pode, por essas características, ser utilizado como fertilizante natural. Entretanto, no § 2º do Artigo 7° da CONAMA 375 afirma que, para a caracterização química deste tipo de lodo de efluente sanitário ou produto derivado, deverão ser determinadas as seguintes substâncias presentes nele:

I – Arsênio;
II – Bário;
III – Cádmio;
IV – Chumbo;
V – Cobre;
VI – Cromo;
VII – Mercúrio;
VIII – Molibdênio;
IX – Níquel;
X – Selênio; e
XI – Zinco.

O Art. 7° da CONAMA 375 estabelece as possibilidades de destinação dos resíduos sólidos provenientes de sistemas públicos de esgotamento sanitário que possuam o Certificado de Destinação Final de Resíduos - CADRI, desde que atendam às exigências e requisitos estabelecidos pelos órgãos competentes e autorizados.

A técnica de FRX, ao determinar os metais pesados, mostrou que este lodo pode ser utilizado para aplicação em solo, pois atende ao que estabelece a Norma Técnica P4.230/1999. A norma estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para o projeto, operação e aplicação de lodo na agricultura. Seus valores são os mesmos adotados pela Resolução 375/06 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). A Norma de São Paulo é referência no país para tal uso, mesmo não sendo aplicada para demais regiões do Brasil. Assim, o lodo analisado está dentro do limite máximo de teores de substâncias, conforme o Quadro 2, portanto, há benefício agronômico.

Quadro 2 - Limites máximos de substâncias inorgânicas no lodo

Substâncias inorgânicas	Limite máximo no lodo (mg/kg, base seca)	Valores obtidos (mg/kg, base seca)
Arsênio (As)	41	28,60
Bário (Ba)	1300	527,60
Cádmio (Cd)	39	0,00
Chumbo (Pb)	300	70,10
Cobre (Cu)	1500	386,30
Crómio (Cr)	1000	81,30
Mercúrio (Hg)	17	0,00
Molibdênio (Mo)	50	16,90
Níquel (Ni)	420	85,2
Selênio (Se)	100	1,30
Zinco (Zn)	2800	1226,6

Fonte: autoral

Além do uso agrícola, o lodo pode ser utilizado na fabricação de agregados leves. Segundo Araújo (2008), a argila e o lodo apresentam quantidades significativas de óxidos alcalinos e alcalinos terrosos que diminuem o ponto de sinterização do lodo com a argila. O mesmo autor destaca que o lodo da UFRN pólo Natal pode ser utilizado para fabricação de telhas sob temperatura de 1200° C, e afirma também que não há uma composição adequada de lodo para produção de cerâmica vermelha.

Pode-se afirmar que o lodo, nesta composição, não pode ser utilizado para agregados leves da construção civil, conforme análise feita por Souza *et al.*, (2020) a partir da obtenção de resultados de pesquisas de determinação de metais pesados em lodos, os resultados obtidos se assemelham aos resultados desta pesquisa.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A reutilização do lodo proveniente das estações de tratamento de águas residuais pode ser uma alternativa sustentável para a gestão desse resíduo. No entanto, é preciso tomar alguns cuidados para garantir que a reutilização seja segura e eficaz, como:

- Análise do lodo: Antes de reutilizar o lodo, é preciso analisá-lo para determinar sua composição e características. Isso ajudará a determinar o tipo de reutilização mais adequado.

- Tratamento adequado: O lodo deve ser tratado adequadamente antes de ser reutilizado, para remover microrganismos patogênicos e contaminantes químicos.

- Controle de qualidade: É importante ter um sistema de controle de qualidade para garantir que o lodo reutilizado esteja dentro dos padrões de qualidade exigidos.

- Seleção do uso: O lodo pode ser reutilizado para várias finalidades, como adubação agrícola, produção de biogás e compostagem. É importante selecionar o uso mais adequado, considerando a composição do lodo e o local onde será aplicado.

- Cumprimento das normas: É importante cumprir as normas e regulamentações locais que regem a reutilização de lodo. Isso inclui limites para a quantidade de metais pesados e outros contaminantes permitidos no lodo reutilizado.

- Monitoramento: É importante monitorar a qualidade do lodo reutilizado e seu impacto no meio ambiente e na saúde humana.

É importante, portanto, ainda ter um plano de gestão adequado para garantir que o lodo seja reutilizado de forma segura e sustentável.
Quanto ao lodo estudado, foi observado que é rico em nutrientes e possui composição semelhante aos lodos utilizados como fertilizantes na agricultura. Os valores encontrados de Si, Fe, Sx, Ca e Px mostram que o lodo está apto para ser utilizado como fertilizante e os valores de metais pesados estão abaixo da CONAMA 375, significando que o risco quanto a esse tipo de contaminação é baixo.
Vale salientar que parâmetros microbiológicos e físico-químicos são necessários ser analisados para dispor corretamente o lodo, pois apresentam parâmetros específicos para sua utilização. Assim sendo, a análise referente ao presente trabalho apresenta um dos parâmetros a ser analisado para disposição em agricultura e, com ele saber se entra em consonância com os padrões. Como comprovado, ele atende aos parâmetros químicos, pois a sua análise mostrou que apresentam concentrações menores que os limites estabelecidos pela Norma Técnica P4.230/1999.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARAÚJO, Franciolli da Silva Dantas de. Influência de Lodo de ETE na Massa Para Fabricação de Cerâmica Vermelha. 2008. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Unversidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/12670/1/nflu%C3%AAnciaIodoETE_Araujo_2008.pdf. Acesso em: 28 nov. 2022.

2. Baird, C. Química Ambiental. 2nd Edition, Bookman, Porto Alegre. 2002.

3. BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil. Artigo 225 da Constituição Federal de 1988. Disponível em: https://www.jusbrasil.com.br/busca?q=Constitui%C3%A7%C3%A3o+Federal%2C+art.+225%2C+caput. Acesso em: 07 nov. 2022.

4. CETESB. Norma Técnica nº P4.230, de 1999. Aplicação de Lodo de Sistemas de Tratamento Biológico de Efluentes Líquidos Sanitários em Solo - Diretrizes e Critérios Para Projeto e Operação. São Paulo, SP: Cetesb, Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2021/09/P4.230_Aplicacao-de-lodo-de-sistema-de-tratamento-biologico-de-efluentes-liquidaos-sanitarios-em-solo-diretrizes-e-criterios-para-projeto-e-operacao-2a-Edicao-Maio-2021.pdf. Acesso em: 07 nov. 2022.

5. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006. Dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 30 ago. 2006. Seção 1, p. 103-105.

6. CORINGA, E. A. O. (IFMT) ; GORGONHA, E. N. (IFMT) ; COUTO, E. G. (UFMT) ; OTERO, X. L. (USC - ESPANHA). Fracionamento químico de óxidos de ferro em solos. 50° Congresso Brasileiro de Química. 2010. Disponível em: <http://www.abq.org.br/cbq/2010/trabalhos/5/5-306-8300.htm#:~:text=A%20dissolu%C3%A7%C3%A3o%20dos%20%C3%B3xidos%20de,na%20qualidade%20ambiental%20do%20solo.>. Acesso em: 22 mar 2023.

7. DUARTE, Giuliana Rayane Barbosa. ENXOFRE PARA AS PLANTAS: FUNÇÃO, ADUBAÇÃO E OUTRAS RECOMENDAÇÕES DE MANEJO. Blog da Aegro para negócios rurais. 2020. Atualizado em: 22 nov 2022. Disponível em: https://blog.aegro.com.br/enxofre-para-as-plantas/. Acesso em: 03 mar 2023.

8. MACHADO, Anderson Wolf. Cobalto nas plantas: tudo o que você precisa saber. AGROLINK. 2022. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/fertilizantes/nutrientes/cobalto-nas-plantas---tudo-o-que-voce-precisa-saber_469878.html>. Acesso em: 04 abr 2023.

9. MAIS SOJA. Efeito na produtividade e condição de solo no plantio de soja, sob diferentes dosagens de Oxido de Cálcio e Magnésio. 2019. Disponível em: <https://maissoja.com.br/efeito-na-produtividade-e-condicao-de-solo-no-plantio-de-soja-sob-diferentes-dosagens-de-oxido-de-calcio-e-

magnesio/#:~:text=%C3%93xido%20de%20c%C3%A1lcio%20e%20magn%C3%A9sio,de%2010%20a%2020%20cm.>. Acesso em: 15 fev 2023.

10. MAIS SOJA. Fósforo: importância, manejo e sintomas de deficiência. 2020. Disponível em: <https://maissoja.com.br/fosforo-importancia-manejo-e-sintomas-de-deficiencia2/#:~:text=Nas%20plantas%2C%20o%20F%C3%B3sforo%20desempenha,de%20assimilados%20e%20carga%20gen%C3%A9tica.>. Acesso em 15 fev 2023.

11. MENEGALE, M. L. de C.; CASTRO, G. S. A.; MANCUSO, M. A. C. Silício: interação com o sistema solo-planta. Journal of Agronomic Sciences, Umuarama, v. 4, n. especial, p. 435-454, 2015. Disponivel em: < https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1025188/silicio-interacao-com-o-sistema-solo-planta#:~:text=Estudos%20revelam%20a%20influ%C3%AAncia%20do,da%20efici%C3%AAncia%20fotossint%C3%A9tica%20das%20plantas.>. Acesso em 10 nov. 2022.

12. Mincato, R. L., & Carvalho, W. A. (2012). Determinação de metais pesados em lodos de estação de tratamento de esgotos. Bioikos - Título não-Corrente, 19(1/2). Recuperado de https://periodicos.puc-campinas.edu.br/bioikos/article/view/860

13. MORAES, Maira Priscila Guimiero de. DETERMINAÇÃO DE METAIS PESADOS EM LODOS DE ESGOTO POR ESPECTROMETRIA DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X. 2003. 65 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Campinas, Campinas, 2003. Disponível em: file:///C:/Users/20201012110007/Downloads/Moraes_MairaPriscilaGumierode_M.pdf. Acesso em: 07 nov. 2022.

14. NETO, et. al,. ADUBAÇÃO FOSFATADA NA CULTURA DA SOJA NA MICROREGIÃO DO ALTO MÉDIO GURGUÉIA. Rev. Ciênc. Agron., v. 41, n. 2 p. 266-271, abr. 2010.

15. PEREIRA, Josicleide de Moura. INFLUÊNCIA DA ÁGUA PLUVIAL NA ETE DO CAMPUS CENTRAL DA UFRN. 2021. 40 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/37147/1/InfluenciaAguaPluvial_Pereira_2021.pdf. Acesso em: 28 nov. 2022.

16. SOUZA, Maelson Mendonça de et al. Uso do lodo de esgoto na produção de agregados leves: uma revisão sistemática de literatura. Matéria (Rio de Janeiro), [S.L.], v. 25, n. 1, p. 1-20, 2020. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620200001.0922. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rmat/a/TCBLXChCgDVbQyMM8YfZZVF/?lang=pt#. Acesso em: 28 nov. 2022.

17. VELOSO, C.A.C. ; Borges A.L.; Muniz A.S.; I.A. de J.M. Veigas. Efeito de diferentes materiais no pH do solo. Sci. agric. (Piracicaba, Braz.) vol.49 Piracicaba, 1992.