

II-173 - ESTUDOS DE DISPOSIÇÃO FINAL DE LODO DE ETE DE INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA VISANDO REÚSO DESTES PASSIVO AMBIENTAL

Viviane Ramos de Carvalho⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pelo Centro Universitário Newton Paiva. Mestranda em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Itajubá.

Izabelle Ayrolla Beloni Lorenzini⁽²⁾

Engenheira Ambiental e Pós-graduanda em Gerenciamento de Projetos pelo Centro Universitário Newton Paiva.

Marcos Vinicius Ribeiro⁽³⁾

Químico, Pós-graduado em Engenharia Sanitária e Tecnologia Ambiental e Mestre em Engenharia Metalúrgica e de Minas pela Universidade Federal de Minas Gerais. Professor Adjunto do Centro Universitário Newton Paiva.

Endereço^(1,2,3): Centro Universitário Newton Paiva, Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas, Campus Buritis, Rua José Claudio Rezende, 420 - Buritis - Belo Horizonte/MG - CEP: 30494-230 - Brasil - Tel: (31) 3508-5873. E-mail: vivianerc.amb@gmail.com

RESUMO

A geração de lodo obtido nas Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs) é considerada um grande problema por se tratar de um resíduo, que devido a sua composição, pode ser caracterizado com um grande potencial de contaminação ambiental. Quando destinado inadequadamente, o mesmo é capaz de trazer inúmeras consequências, podendo até mesmo causar problemas sanitários afetando a saúde da população. Diante disto, o presente trabalho discorre sobre o processo de geração do lodo na ETE de uma indústria do ramo automobilístico localizada em Contagem/MG que atualmente direciona o seu resíduo para aterros sanitários, além de buscar alternativas sustentáveis para destinação do mesmo. Estudos e análises laboratoriais físico-químicas foram realizadas para verificar a possibilidade e a viabilidade de incorporá-los em processos de co-processamento e/ou como componente na fabricação de tijolos ou produtos cerâmicos, com o propósito de minimizar e evitar os impactos gerados. Os resultados obtidos demonstraram que o processo de co-processamento é o mais adequado para este resíduo.

PALAVRAS-CHAVE: Lodo, ETE, Resíduos, Co-processamento, Impactos.

INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e os avanços tecnológicos no mundo têm demandado uma grande expansão da atividade industrial, sendo este, considerado um dos setores que mais consomem água durante o seu processo produtivo. Consequentemente, essa atividade é capaz de gerar uma grande quantidade de efluentes que são descartados, em algumas situações, de maneira inadequada. Frente à degradação intensa provocada nos recursos hídricos, os esgotos e efluentes industriais de diversas cidades estão sendo tratados em Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs).

De acordo com a definição da ABNT NBR 12.209:2011, uma ETE pode ser estabelecida como um conjunto de unidades de tratamento, equipamentos, órgãos auxiliares, acessórios e sistemas de utilidades, cuja finalidade é a busca pela redução das cargas poluidoras do esgoto sanitário ou industrial e acondicionamento da matéria residual resultante do tipo de efluente tratado. Logo, este tipo de sistema permite que a água retorne aos mananciais com os padrões físicos, químicos e biológicos adequados, conforme é estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05. As Estações de Tratamento de Efluentes possuem mecanismos semelhantes ao de uma indústria. Determinada matéria prima, neste caso o efluente bruto, é trabalhado em diversas operações e processos, resultando em um produto final, o efluente tratado, e consequentemente em um resíduo, sendo este conhecido como Lodo ou Biossólido. (ACHON, 2008).

Para Oliveira e Rondon (2016), o lodo pode ser considerado um aglomerado de substâncias retiradas da água durante as fases de tratamento. Sua formação é referente ao tipo e dosagem dos coagulantes, produtos químicos e floculantes utilizados para remover as impurezas, sólidos suspensos e partículas coloidais presentes na água. Sendo assim, quanto mais deteriorado for o efluente bruto, maior será a quantidade de produtos adicionados ao tratamento. Por isso, é de grande importância conhecer as características do resíduo com a finalidade de se implementar um gerenciamento e uma destinação final adequada.

A Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010, instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que dispõe diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos no país, concebendo critérios e responsabilidades aos geradores e ao poder público visando o reaproveitamento dos resíduos sólidos. Desta forma, um plano microrregional que integre as ações de empreendimentos pode diminuir custos para o reaproveitamento adequado do lodo. O gerenciamento do lodo gerado em ETE's é de extrema importância, e se torna um grande problema ambiental quando sua destinação ocorre de forma indevida. Como destaca Von Sperling (2014) para que ocorra um planejamento e gerenciamento do lodo corretamente, os aspectos seguintes são primordiais e devem ser quantificados e levados em consideração:

- a) Produção e descarte de lodo na fase líquida (remoção para a linha e tratamento do lodo);
- b) Descarte de lodo na fase sólida (remoção da ETE para local de disposição final ou reuso).

É importante considerar que os lodos possuem propriedades químicas, físicas e biológicas diferenciadas de acordo com cada particularidade de efluente tratado. Desta forma, não se pode estabelecer uma condição única para o tratamento e disposição final dos mesmos, considerando os aspectos técnicos, econômicos, ambientais, sociais e políticos. Portanto, entende-se que “o lodo é normalmente classificado de acordo com a fase de tratamento o qual o mesmo se origina.” (BIELSCHOWSKY, 2014, p.11). Nos tratamentos mais convencionais, os lodos são classificados como primário, secundário (ou biológico) e terciário, enquanto que, no tratamento em que são utilizados produtos de característica química, o lodo é identificado como lodo químico, como ocorre no caso em estudo.

Além disso, os lodos são classificados segundo a ABNT NBR 10.004:2004 como resíduos sólidos, de classe II - não inerte e não sendo permitido seu lançamento in natura em águas superficiais. O lançamento inadequado de resíduos produzidos em ETEs pode ser considerado crime ambiental de acordo com a Lei 9.605/1998, devido aos efeitos diretos causados ao ambiente aquático do corpo receptor. (ACHON, 2008).

Por conseguinte, o grande volume de lodo produzido pelas indústrias pode ser reutilizado em algumas atividades, seguindo os parâmetros estabelecidos para tais. Segundo Santos et al. [200-], uma das alternativas viáveis e sustentáveis é a utilização do resíduo sólido em áreas agrícolas, sendo considerado uma proposta promissora quando se avalia o ponto de vista econômico, visto que este material é constituinte em grande parte por matéria orgânica, água e nutrientes. Porém, em alguns casos, esta aplicação se depara com diversos fatores limitantes. Compostos orgânicos tóxicos, agentes patogênicos, e nitratos permitem a contaminação do solo e das águas superficiais.

O reuso industrial do lodo também é uma opção interessante do ponto de vista não só ambiental, como também econômico, sendo utilizado na incorporação de cerâmicas e tijolos, considerando também o aumento considerável da construção civil no país. Devido à possibilidade da indústria cerâmica em aceitar novos materiais em sua composição como componentes na matéria-prima, umas das alternativas promissoras de disposição correta desse material é a incorporação em materiais cerâmicos (ARAÚJO, 2008).

Outra forma de reaproveitamento seria como combustível auxiliar para os fornos de empresas cimenteiras, sendo uma estratégia de destinação ambientalmente correta para os resíduos que não podem ser reciclados ou reutilizados. Este método, conhecido como co-processamento, é capaz de:

- 1-Diminuir a disposição dos resíduos em aterros, prolongando a vida útil dos mesmos;
- 2-Aproveitar o poder calorífico dos resíduos para a geração de energia térmica;
- 3-Destruir o resíduo sem a geração de cinzas;
- 4-Controlar as emissões atmosféricas quando o resíduo estiver sendo coprocessado, pois os fornos clínquer possuem este equipamento de controle.

A utilização de lodos nos fornos de produção de clínquer é um método utilizado em vários países, inclusive no Brasil. De acordo com Chao e Less (2004), a experiência em utilizar lodo em fornos de cimenteiras com a finalidade de redução de emissão de poluentes teve início em Los Angeles na Indústria Cimenteira Mitsubishi. A mesma alcançou resultados satisfatórios diminuindo significativamente a emissão de NOx de 36% a 50%, além da diminuição de consumo de combustível fóssil. Portanto, analisando as restrições existentes que impedem o lançamento do lodo no meio ambiente e considerando os custos elevados para envio à aterros sanitários, o presente trabalho teve como objetivo verificar as alternativas viáveis para o gerenciamento adequado e reaproveitamento do lodo gerado na estação de tratamento de uma indústria automobilística. Considerou-se a possibilidade de utilizá-lo em processos de co-processamento, e/ou incorporá-lo na argamassa como componente na construção civil, tendo em vista a minimização dos impactos gerados à saúde pública e ao meio ambiente.

MATERIAIS E MÉTODOS

Em visita ao empreendimento, foi observado todo o processo de tratamento do efluente. É importante considerar que o empreendimento em estudo firmou compromisso da utilização do resíduo para fins experimentais. A Figura 1 demonstra a Estação de Tratamento de Efluentes da empresa responsável pela fabricação de faróis e lanternas de veículos automotivos.

Figura 1 - Tanques localizados na ETE



Fonte: Autores, 2017.

Posteriormente foi realizada uma coleta do lodo residual proveniente do tratamento de água na ETE do empreendimento, conforme mostra a Figura 2.

Figura 2 – Produto final da ETE: ponto de coleta do lodo úmido



Fonte: Autores, 2017.

Coletou-se aproximadamente 1,5kg de lodo. Em seguida, o mesmo foi devidamente armazenado em saco plástico, identificado e mantido no interior de uma caixa de isopor para que o mesmo permanecesse a uma temperatura estável, sendo posteriormente transportado para os laboratórios do campus Buritis do Centro Universitário Newton Paiva em Belo Horizonte/MG onde foram feitos o teste de compressão e as análises físico-químicas de pH, condutividade, umidade, sólidos voláteis e poder calorífico.

Para a execução do teste de compressão, realizou-se a secagem do lodo em uma estufa a uma temperatura média de 105°C, obtendo assim, o resíduo conforme demonstrado na Figura 3.

Figura 3 - Lodo seco em torrões



Fonte: Autores, 2017.

Foi possível observar que após realizar a secagem do resíduo o odor característico ficou imperceptível. Em seguida, foi feita a diminuição dos torrões com o auxílio de um almofariz e uma mão de gral. Os fragmentos de lodo foram peneirados utilizando a peneira de 30 Mesh para que o lodo atingisse uma granulometria similar à da argamassa, permitindo assim que a pesagem e a mistura do resíduo acontecessem de maneira mais precisa e homogênea, conforme demonstra a Figura 4.

Figura 4 - Lodo em granulometria fina



Fonte: Autores, 2017.

Na fabricação dos corpos de prova foram analisadas dosagens de adição de lodo junto com a argamassa de composição pura para averiguar a capacidade de aderência e resistência do lodo ao material. Seguindo instruções da embalagem da argamassa de reboco pronto - BR MASSA, para cada corpo de prova utilizou-se 400g de argamassa pura e 68mL de água. As seguintes dosagens de lodo foram também adicionadas aos 4 corpos de prova, cada um representando uma porcentagem: 0%, 20%, 30% e 60%, respectivamente constituídos por 0, 80, 120 e 240g de lodo. A mistura foi realizada por uma argamassadeira por alguns minutos até que atingisse uma mistura em estado homogêneo. Em seguida, compactou-se as respectivas misturas separadamente em 4 moldes de tamanho 5x10cm, e os corpos de prova foram para a estufa, para que os mesmos atingissem o estado de solidez.

A Figura 5 demonstra os exemplares de corpos de prova após 07 dias de secagem em laboratório, com respectivamente 20%, 60% e 0% de lodos adicionados à argamassa, enquanto a amostra de 30% estava em teste de compressão. Desta forma, os mesmos já se encontravam secos e desmoldados.

Figura 5 - Corpos de prova com 20%, 60%, 0% de lodo

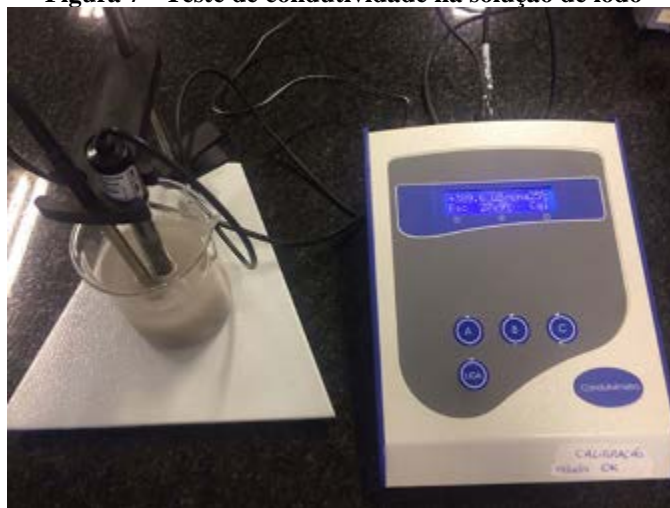


Fonte: Autores, 2017.

Posteriormente realizou-se o ensaio de compressão nos corpos de prova, com o intuito de averiguar a resistência do material. A prensa universal de concreto, equipamento responsável por realizar este teste, fornece uma carga de 720 kgf sob o corpo de prova, e em seguida é feita a compressão do mesmo até seu rompimento.

Em laboratório químico foi realizado primeiramente o teste de condutividade. Colocou-se em um béquer determinada quantidade de lodo e foi adicionada água destilada. Em seguida esses elementos foram misturados utilizando um bastão de vidro. Com a utilização de um condutivímetro foi medida a condutância do sobrenadante dessa solução, conforme Figura 7.

Figura 7 - Teste de condutividade na solução de lodo



Fonte: Autores, 2017.

Posteriormente foi medida a condutância da água destilada pura para efeitos de comparação. Mediu-se também o pH da água destilada e do lodo dissolvido por meio de um pHmetro calibrado. A seguir realizou-se a medição de sólidos voláteis. Para isso, colocou-se em um cadinho de porcelana 5,0000g de lodo, em seguida este foi levado para a mufla em temperatura de 600°C, conforme a Figura 8:

Figura 8 - Cadinho contendo lodo no forno mufla



Fonte: Autores, 2017.

Após cerca de 30 minutos, retirou-se o cadinho do forno e pesou-se a amostra, que apresentou peso de 1g. Para medir o teor de umidade, pesou-se 10,0000g de lodo em uma cápsula de porcelana que foi levada para a mufla em temperatura de 120°C por 1 hora. Em seguida a cápsula foi levada ao dessecador de vidro e depois de resfriado foi realizada a pesagem. A próxima etapa consistiu em realizar o teste do poder calorífico, onde foi pesado 0,4993g da amostra em um recipiente de metal próprio do calorímetro.

Após isso, colocou-se o recipiente no calorímetro para mensurar o conteúdo energético. O calorímetro possui uma câmara de combustão que contém oxigênio e que fica mergulhada em um frasco de aço contendo água,

onde o recipiente de metal é encaixado. Assim sendo, uma descarga elétrica provoca a queima da amostra e um termômetro mede a temperatura inicial e final da água. Com isso, o equipamento fornece o valor de calor liberado pela amostra contida no recipiente, conforme Figura 9:

Figura 9 - Teste de poder calorífico no lodo seco



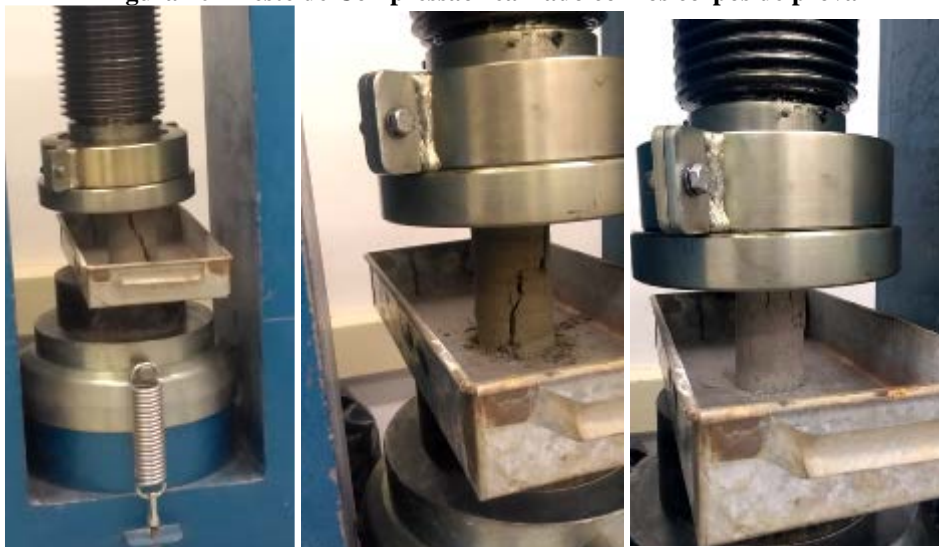
Fonte: Autores, 2017.

Na amostra de lodo úmido, não houve aumento de temperatura, portanto o calorímetro não forneceu nenhum valor.

RESULTADOS

Com os corpos de prova secos foi avaliada a resistência mecânica do material por meio do ensaio de compressão com cada amostra separadamente conforme a Figura 10, obtendo os resultados apresentados na tabela 1. Ressalta-se que não foi possível realizar o ensaio de compressão com a amostra de 60%, pois a mesma apresentou fragilidade em sua estrutura devido ao seu maior percentual de lodo, impedindo a realização do teste de compressão.

Figura 10 - Teste de Compressão realizado com os corpos de prova



Fonte: Autores, 2017.

TABELA 1 - Análise do corpo de prova executado com lodo seco

Corpo de prova	Aparência	Resistência à compressão axial (MPa)
Sem adição de lodo	Excelente	6,14
Com 20% de lodo	Boa	3,60
Com 30% de lodo	Regular	1,70
Com 60% de lodo	Frágil	0

Fonte: Autores, 2017.

Os resultados de ensaio de compressão axial indicam um decréscimo da resistência com o aumento da porcentagem de lodo incorporado à argamassa. Logo, o corpo de prova sem adição de lodo apresentou o maior valor de resistência se comparado aos demais. Já o corpo de prova com 30% de lodo apresentou a menor resistência.

Os corpos de prova executados com lodo perdem qualidade sob o ponto de vista de resistência à compressão axial. Também apresentam uma textura irregular, necessitando de um estudo mais aprofundado para sua posterior utilização em alvenarias aparentes.

Observou-se que os corpos de prova apresentaram algumas irregularidades na superfície de topo, as quais ocasionam uma distribuição não uniforme da tensão de compressão em determinados pontos, o que pode ter interferido nos resultados de resistência.

Foi possível observar que a secagem do lodo foi essencial para que os corpos de prova apresentassem uma maior resistência, além de proporcionar uma diminuição no volume do material, o que facilita o transporte.

Segundo DN COPAM 154 de 25/08/2010, para que um resíduo seja utilizado como substituto de combustível para fins de reaproveitamento de energia, seu poder calorífico inferior, na base seca, deve ser superior a 8368 J/g. O poder calorífico do lodo apresentou valor de 11829 J/g de lodo seco, logo, o resíduo apresenta alto poder energético e pode ser usado como combustível no co-processamento.

Na amostra de lodo úmido, não houve aumento de temperatura, sendo impossível enviá-lo úmido para co-processamento. Isso significa que para a utilização do lodo neste método seria necessário secar o lodo, o que pode ser feito na indústria geradora após a recuperação de água por meio da implantação de um leito de secagem.

Para medição de sólidos voláteis foi utilizado uma amostra de 5,0000g de lodo, dos quais 4,0000g volatilizaram, sendo que ao final do procedimento o cadinho pesava 1,000g. Sendo assim, a amostra de lodo apresenta cerca de 80% de sólidos voláteis.

A alta volatilidade do lodo provoca uma melhor queima e diminui a produção de resíduos em forma de cinza no produto final dos fornos de clínquer. (ROCHA, 2011). No teste de umidade o lodo apresentou um peso seco de 3,2300g indicando um teor de aproximadamente 67,7%. Uma boa combustão requer, portanto, elevado teor de sólidos voláteis e baixos teores de umidade e cinzas.

A água destilada apresentou um valor de 230 $\mu\text{S}/\text{cm}$, e a solução de lodo apresentou 389,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Portanto, a condutância da solução de lodo apresentou valor de 159,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$. O baixo valor de condutividade sugere ausência ou baixa concentração de metais na composição do lodo. Com relação ao pH, a solução de lodo apresentou uma maior basicidade com valor de 8,75, se comparado com a água destilada, com valor de 6,92 em termos de pH. A basicidade do lodo é resultado do tratamento realizado no tanque de neutralização na empresa em estudo.

CONCLUSÕES

O presente trabalho procurou demonstrar uma metodologia de reúso de resíduos gerados em ETE, reforçado pela dificuldade de definição de critérios ambientalmente seguros e corretos para disposição final.

Os ensaios mecânicos realizados nos corpos de prova fabricados com incorporação de lodo de ETE com teores variando de 0 a 60% em peso comprovam que a resistência mecânica é inversamente proporcional ao teor de lodo incorporado.

É importante ressaltar que a diminuição da resistência à compressão não representa, necessariamente, um impeditivo para sua utilização na construção civil. Porém para a utilização nesse setor, é necessário um estudo mais aprofundado sobre a porcentagem de lodo adicionada que não iria impactar diretamente na resistência do material. Não há uma legislação específica do CONAMA que regulamente propostas neste sentido.

O lodo apresenta alto poder energético, atendendo ao valor mínimo exigido pela legislação para ser coprocessado, sendo essa alternativa a mais viável de acordo com as análises realizadas. Para a utilização do lodo em coprocessamento seria necessário a implantação da etapa de desaguamento do mesmo, pois o lodo úmido não pode ser substituído de combustível para fins de reaproveitamento de energia.

Alguns aspectos devem ser considerados na utilização do lodo em co-processamento, dentre eles:

- a) Não há necessidade de direcioná-lo a um aterro sanitário, uma vez que todo o lodo gerado no sistema é reutilizado no forno de clínquerização;
- b) O sistema necessário para secagem do material pode ser implantado junto à ETE após o reaproveitamento da água utilizando um leito de secagem,
- c) A geração de lodo na ETE é constante, como há uma demanda contínua de cimento, todo o lodo poderá ser aproveitado no co-processamento;
- d) A qualidade energética do lodo permitirá a empresa geradora negociar um preço mais atrativo com a cimenteira.

Finalmente, sabe-se que a implementação do trabalho aqui proposto requer ampliação dos estudos, representando investimentos específicos como ampliação do sistema de desaguamento final, cuja avaliação extrapola o escopo do presente estudo.

O aproveitamento do lodo em quaisquer alternativas deve passar pela avaliação do órgão ambiental responsável, que após a análise do projeto de aplicação apresentado pela parte interessada, definirá a viabilidade ambiental ou não do projeto.

Os estudos de viabilidade, bem como monitoramento do processo devem estar presentes na opção escolhida de aproveitamento, de modo a garantir a manutenção da qualidade ambiental e cumprimento da legislação em vigor.

O desempenho ambiental de qualquer processo industrial depende de uma boa gestão de resíduos sólidos, neste contexto pesquisas envolvendo o reúso de passivos podem reduzir os custos produtivos e a poluição causada pela disposição final inadequada.

AGRADECIMENTOS

Ao Centro Universitário Newton Paiva pelo suporte durante a realização da pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ACHON, C.L.; BARROSO, M.M.; CORDEIRO, J.S.; Leito de drenagem: Sistema natural para redução de volume de lodo de estação de tratamento de água. *Eng. Sanit. Ambient*, 54, 13(1), 54-62, 2008.
2. ARAÚJO, F.S.D. Influência do lodo de ETE na massa para fabricação de massa vermelha. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais). Universidade Federal do Rio Grande do Norte: Natal/RN, 2008, 76p.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004. Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro/RJ, 2004, 71p.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12209. Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários. Rio de Janeiro/RJ, 2011, 12p.
5. BIELSCHOWSKY, M. Modelo de gerenciamento de lodo de estação de tratamento de esgotos: aplicação do caso da bacia da baía de Guanabara. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Rio de Janeiro: Rio de Janeiro/RJ, 2014, 185p.
6. CHAO, I.; LESS, J. O potencial de utilização de lodo de tratamento de esgoto como redutor de poluentes atmosféricos na indústria cimenteira. *Saneas*, 17, 1-8, 2004.
7. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005. 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.
8. DELIBERAÇÃO NORMATIVA COPAM 154, de 25 de agosto de 2010. Dispõe sobre o co-processamento de resíduos em fornos de clínquer.
9. JERÔNIMO, V.L., SOUZA, L.A.A., SILVA, B.S., MARQUES, G.G., FILHO, L.C.P.S. Análise da influência da regularização dos topos de corpos-de-prova cilíndricos sobre a resistência à compressão do concreto. Anais do 53º Congresso Brasileiro do Concreto, IBRACON, Florianópolis/SC, 2011, 16p.
10. OLIVEIRA, I.Y.Q.; RONDON, O.C. Diagnóstico de gestão de lodo de estação de tratamento de água em Mato Grosso do Sul. *Interações*, 17(4), 687-698, 2016.
11. ROCHA, S.D.F.; LINS, V.F.C.; SANTO, B.C.E. Aspectos do co-processamento de resíduos em fornos de clínquer. *Eng Sanit Ambient*, 16(1), 1-10, 2011.
12. SANTOS, H.M., ARRUDA, A.F., TAVARES, M.G.O., MOREIRA, R.C. Caracterização de lodo e efluente de ETE e água de rio a partir de avaliação química ecotoxicológica. Anais da 63ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, Goiânia/GO, 1-5, 2011.
13. VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Belo Horizonte: Ed.UFMG, 4ª edição, 2014, 452p.