

II-554 - AVALIAÇÃO DAS ALTERNATIVAS DE APROVEITAMENTO DO LODO GERADO PELAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO (ETE'S) E ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA (ETA'S) DE PALMAS-TO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Lucas Diego Costa Oliveira⁽¹⁾

Graduando em Engenharia Civil na Fundação Universidade Federal do Tocantins.

Lucas Do Ó Oliveira⁽²⁾

Graduando em Engenharia Civil na Fundação Universidade Federal do Tocantins.

Marianna Carvalho Sousa⁽³⁾

Graduando em Engenharia Civil na Fundação Universidade Federal do Tocantins.

Tâmara Lorrane Melo Martins⁽⁴⁾

Graduando em Engenharia Civil na Fundação Universidade Federal do Tocantins.

Tatiana Ferreira Wanderley⁽⁵⁾

Engenheira Ambiental pela Fundação Universidade Federal do Tocantins. Mestre em Ciências do Ambiente pela Fundação Universidade Federal do Tocantins. Professora titular do Curso de Engenharia Civil da Fundação Universidade Federal do Tocantins.

Endereço⁽¹⁾: Quadra103 Norte Rua de Pedestres NO 3, Lote 35 – Plano Diretor Norte - Palmas - TO - CEP: 77001-018 - Brasil - Tel: (63) 98132-8775 - e-mail: lucasdgo@gmail.com.

RESUMO

Universalizar os sistemas de saneamento básico é um desafio a ser vencido no país, Palmas – TO já conseguiu atingir essa meta, disponibilizando água tratada e rede de coleta e tratamento de esgoto a quase toda a população. Atrélado a esse êxito está a geração de resíduos sólidos, tanto nas estações de tratamento de esgoto quanto nas estações de tratamento de água. Trata-se de um problema mundial, quanto mais se avança no oferecimento de serviços de saneamento mais se gera o dito Lodo de ETA e de ETE. A constituição desses materiais varia muito, tanto de uma cidade para outra, como na mesma cidade em diferentes épocas do ano, o tipo de tecnologia adotada também gera produtos completamente diferentes. Na ETA 006, a principal de Palmas, está instalada uma estação de ciclo completo com captação no Ribeirão Taquarussu e no Lago da Usina Hidroelétrica Luís Eduardo Magalhães. Na ETE Norte utiliza-se reatores UASB seguido de lagoas de lodos ativados e um decantador secundário. Nas duas estações o lodo é destinado a bags de geotêxteis para adensamento e redução da umidade, o processo só é finalizado após a estabilização do lodo para posterior deposição final. O limitante para a utilização desses materiais é, principalmente, a constituição rica em matéria orgânica, e o risco a saúde atribuída sobretudo ao lodo da ETE, como também problemas relativos aos impactos negativos causados nas construções por seus usos. O presente trabalho fez um levantamento bibliográfico das produções realizadas sobre os resíduos da cidade, como também dos experimentos feitos com matéria-prima de outras cidades. O objetivo foi reunir o máximo de informações para então se ter um direcionamento de quais linhas de pesquisas já demonstraram efetividade para destinação final desse material dentro da engenharia civil. Os estudos encontrados já testaram a aplicação em diversos campos, principalmente em cerâmica vermelha, concreto e pavimentação, com aplicação em diversas formas, *in natura*, seco ou incinerado. Contudo, não é possível encontrar uma solução que seja adotada em todos os locais, cada caso exige uma análise específica e profunda. Portanto, para se ter uma composição de Palmas serão necessários mais estudos a fim de determinar o uso que seja ambiental e financeiramente executável.

PALAVRAS-CHAVE: Lodo de ETA, Lodo de ETE, Alternativas de Reúso, Tratamento de Água, Tratamento de Esgoto.

INTRODUÇÃO

Atrélado aos processos de transformação das atividades humanas, surge, dentre outros, a produção de resíduos sólidos. Em início, devido à baixa densidade populacional das cidades, a resiliência da natureza foi capaz de absorver esses resíduos por meio de processos espontâneos. Contudo, essa capacidade de autodepuração foi,

em muito, superada frente ao crescimento da população e ao avanço industrial. Nesse contexto, a necessidade de adequar o processamento e a destinação final dos resíduos torna-se *sine qua non* para a manutenção do equilíbrio ambiental (ENGENHARIA SANITÁRIA, 1977; SORG, 1970; ANDREOLI, 1999 *apud* GEYER, 2001).

Uma forma de contribuição positiva para o meio ambiente, é o saneamento, cujo objetivo é manter dentro do aceitável as variáveis que afetam direta ou indiretamente, de maneira nociva, o ambiente físico, ocasionam danos à saúde e desaceleram o desenvolvimento humano (CARVALHO; OLIVEIRA, 2003 *apud* MACIEL; MACHADO, 2015). Entre as atribuições do saneamento está a de assegurar o fornecimento de água potável e em quantidade adequada para o consumo humano, coleta, tratamento e destinação final ambientalmente adequada, de águas residuárias e resíduos sólidos, garantindo condições higiênicas e sanitárias, além de conservar os recursos hídricos (RIBEIRO; ROOKE, 2010).

A disposição dos resíduos produzidos durante as etapas de tratamento, tanto de água quanto de esgoto é um problema mundial. Apesar de grande parte dos países desenvolvidos possuírem sistemas adequados de gerenciamento desses resíduos, muitas ETA's, principalmente em países em processo de desenvolvimento, ainda fazem o descarte desse material em cursos d'água. Este processo, se realizado em desconformidade com os padrões ambientais acaba por gerar o que a Lei n° 6.938/81 entende como degradação da qualidade ambiental, que consiste na "alteração adversa das características do meio ambiente". Em relação as ETE's, estas também geram grandes volumes de resíduo sólido, denominado lodo de esgoto. Assim como o lodo proveniente das ETA's, este resíduo exige uma destinação final adequada. Nos países desenvolvidos, essa destinação se dá principalmente em aterros sanitários, aplicação moderada no solo e reciclagem (ANDREOLI, 2001; BRASIL, 1981).

De acordo com os estudos de Iwaki (2017), estima-se que, diariamente para cada ser humano sejam produzidos 120g de sólidos secos dispostos nas redes de esgoto. Quando não há o descarte de resíduos industriais na rede, o lodo é composto em sua maioria por água com 99,87%, 0,04% de sólidos sedimentáveis, 0,02% de sólidos não sedimentáveis e 0,07% de outras substâncias dissolvidas.

No Brasil, com o crescimento da população e o avanço urbano acelerado, houve um acréscimo do número de conexões nas redes e surgiu então a necessidade da construção de novas estações de tratamento. Com isso a geração de lodo proveniente das ETA's e ETE's aumentou significativamente (GODOY, 2013). Em 2010, estudos apontavam que, no Brasil, seriam produzidos de 150 a 220 mil toneladas de lodo seco por ano, considerando que apenas 30% da população urbana dispunha de tratamento de esgoto, o qual, se fosse tratado integralmente resultaria uma produção de 325 a 473 mil toneladas ao ano (IWAKI, 2017; ANDREOLI, 2001).

O lodo produzido pelas ETA's é composto sobretudo, pelas substâncias utilizadas nos processos de coagulação, clarificação e floculação, pelas partículas sólidas sedimentadas, areia, organismos, bactérias, sólidos em suspensão e pela água utilizada na lavagem dos filtros (JORDÃO; PÊSSOA, 2005).

Já na maioria das ETE's o tratamento é realizado através de processos biológicos, que têm por objetivo coagular e remover coloides que não sedimentam e fazer sua degradação parcial ou estabilização. O material orgânico restante no esgoto após o tratamento é modificado através do metabolismo celular. Em sistemas convencionais de tratamento de esgoto, este passa por um decantador primário, tanque de aeração e decantador secundário, respectivamente, onde ocorre a formação de lodo primário e lodo secundário. As tecnologias mais recentes, no Brasil, usam reatores anaeróbios de fluxo ascendente do tipo *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB), que retêm o lodo por até três meses, e realiza assim a sua estabilização (MELO, 2000; FERNANDES, 2000; MIKI *et al.*, 2001; SOBRINHO, 2001 *apud* SANTOS, 2009).

Levando esse contexto para um nível regional, tem-se a cidade de Palmas, capital do estado do Tocantins, que possui 99% da população urbana atendida com abastecimento de água com padrões de qualidade satisfatórios (PALMAS, 2014). Em relação ao esgoto, a cidade completou em 2016, 80% de construção e interligação da rede coletora e de tratamento de esgoto. Sendo este feito, consagrado com o primeiro selo de universalização da rede de saneamento básico para uma capital brasileira. Todo o esgoto coletado em Palmas é tratado, para isso, foram construídas estações de tratamento e mais de 290 km de redes coletoras de esgoto, com capacidade de tratar até 400l/s e atender mais de 210 mil habitantes (PALMAS, 2016).

O Sistema de Abastecimento de Água (SAA) da capital está integrado majoritariamente à ETA 006, que é responsável pelo abastecimento da região central da cidade (Plano Diretor) e da região sul (Aureny's, Taquaralto e Taquari). Outros sistemas de menor porte integram as vazões necessárias ao abastecimento do município, os distritos de Taquaruçu e Buritirana dispõem de sistemas de produção e distribuição independentes (PALMAS, 2014). Com relação ao Sistema de Esgotamento Sanitário, apenas a região Taquaruçu e Buritirana não contam com atendimento.

Um dos resultados negativos da melhora do sistema de abastecimento de água e da coleta de esgoto de Palmas é a produção de grande quantidade de lodo. A destinação final desse rejeito torna-se uma de questão grande relevância, nesse sentido, este artigo visa buscar alternativas viáveis com base em estudos anteriores, de outras estações de tratamento de esgoto como também de levantamentos produzidos sobre as ETA's e ETE's de Palmas.

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado através de uma dialética sobre o problema em questão, a destinação final do lodo frente a viabilidade de sua aplicação. Foram levantadas informações técnicas em relação a este tema, o que permitiu a formação de novas linhas de pesquisa. Logo, caracterizou-se esse artigo como sendo de análise bibliográfica, com o objetivo de reunir subsídios para proporcionar uma visão geral das alternativas possíveis de disposição final dos lodos gerados nas ETA's e ETE's, e avaliar seus aspectos técnicos e ambientais. O trabalho foi dividido em quatro etapas, descritas a seguir:

- **Determinação das características físicas e operacionais das ETA's:** diversos fatores podem influenciar nas características do lodo sanitário, como o consumo de água, que é sazonal, e o tipo de tratamento. Por isso, a análise das tecnologias e técnicas utilizadas nos processos de tratamento foram levados em consideração. A fim de elucidar esse ponto, foi realizado um estudo acerca da caracterização do lodo das ETE's e ETA's como também um estudo das publicações sobre os processos e tecnologias utilizadas no tratamento de água nas ETA's da cidade.
- **Determinação das características físicas e operacionais das ETE's:** o comportamento do lodo como material de construção depende de alguns fatores, entre eles: composição da água residuária a ser tratada; tipo de tratamento; grau de estabilização ou mineralização e tipo de processo (DAMASCENO; CAMPOS, 1998). Sendo assim, as características das ETE's influenciam nas características do lodo, logo, tem ligação direta com a destinação final, podendo ou não influenciar no uso. Dessa forma, foi colocado em evidência os detalhes do sistema de tratamento de esgoto de Palmas, apoiando-se em publicações sobre o tema.
- **Revisão bibliográfica:** nos últimos anos o crescimento dos grandes centros urbanos forçou a construção de novas estações de tratamento e o aumento do número de conexões nas redes de esgoto. Consequentemente, a produção de lodo tem disparado no país, o que levou as autoridades a se preocuparem com as alternativas possíveis de disposição (LOPES, 2015). As bases desse trabalho foram os diversos estudos já publicados, e apesar da variabilidade do lodo, serviram como direcionadores, dando rumo ao prosseguimento da solução do problema.
- **Avaliação da reutilização do lodo das ETA's e ETE's em Palmas –TO:** como os resultados podem variar conforme as características do lodo, nessa etapa foi feita uma análise do material utilizado nos estudos, para então propor possíveis usos para a cidade de Palmas – TO. A base dessa comparação foi o perfil da cidade, o tipo de tecnologia empregada no tratamento, bem como estudos das características do lodo de cada local.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

• Caracterização dos sistemas de tratamento de água

Com relação ao abastecimento de água, Palmas conta com sete sistemas produtores, desses, cinco estão localizados na sede da cidade. De todas, a mais importante é a ETA 006, que é responsável por parte da região

central e da região sul, as outras são sistemas menores que servem apenas para complemento. A ETA 006 está localizada nas coordenadas geográficas: 10°17'16,66" S e 48°17'41,69" O, conforme a Figura 01.



Figura 01: Localização da ETA 006.

A ETA 006 tem sua captação no Ribeirão Taquaruçu por meio de uma barragem de nível e um canal de derivação com gradeamento. Atende cerca de 85% da demanda da cidade e opera com uma vazão média de 800L/s. Tratando-se de uma ETA de ciclo completo, constituída por unidades de coagulação, floculação, decantação e filtração, o lodo é proveniente dos decantadores e da lavagem dos filtros (LIMA, R.M., 2016).

O sistema de tratamento desse lodo permite a recuperação da água clarificada por um Tanque de Clarificação da Água de Lavagem dos Filtros (TCALF), um Tanque de Recepção das Descargas dos Decantadores e Sólidos da Água de Lavagem dos Filtros (TRDD/SALF), Sistema de Desaguamento de Lodo em Bags de Geotêxtil e o Tanque de Água Recuperada (TAR), sendo novamente encaminhada para tratamento. A destinação final do lodo é em bags de geotêxtil, que permitem a redução da umidade e retenção da porção sólida. A Figura 2 traz um esquema dos processos de tratamento do lodo utilizados na ETA (PALMAS, 2014; LIMA, R.M., 2016).

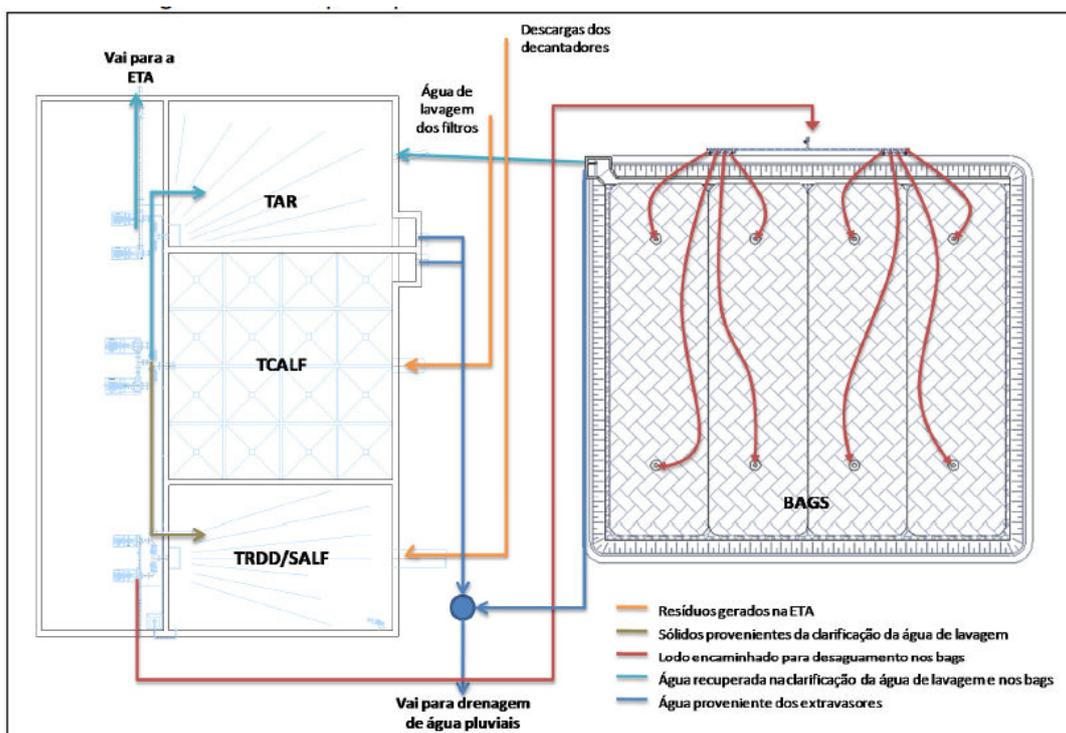


Figura 02: Esquema de tratamento do Lodo na ETA 006.

- **Caracterização do Lodo da ETA 006**

Lima, D.P. (2016) realizou uma caracterização abrangente do lodo da ETA 006, a análise foi feita em dois períodos do ano, no período chuvoso e no período seco. Com relação a granulometria, constatou-se que, no período seco a amostra apresentou predominância de areia, cerca de 81%, e 19% de silte. Já a análise do lodo coletado em período chuvoso tinha em sua amostra 90% de areia e 10% de silte. Esse teste, juntamente com outros, serve para determinar utilidade desse material. Por exemplo, quanto melhor a distribuição dessas partículas melhor será o seu adensamento.

No estudo de Ribeiro (2012) foi encontrado um resultado bem diferente para a ETA de Campo Mourão – PR, sendo 94,75% de areia, 1,8% de silte e 3,4% de argila. Machado e Araujo (2014) obtiveram resultados parecidos para a ETA de Volta Redonda – RJ, tendo cerca de 97% de areia e 2,3% de silte. Porras, Isaac e Morita (2008) também trabalharam o lodo de ETA, as amostras foram coletadas em várias unidades de tratamento de Campinas – SP, obtendo grande variabilidade, de 30 a 85% de areia e 15 a 65% de silte, chegando a apresentar, também, até 9,8% de argila.

Levando em consideração apenas a granulometria, não é possível caracterizar com exatidão o comportamento do solo. Logo, pode-se ter solos com a mesma quantidade de argila e comportamentos completamente diferentes, algo que está ligado a estrutura mineralógica das partículas (PINTO, 2006). Os índices de consistência, Limites de Atterberg, medem a atividade da argila por meio de procedimentos empíricos. No período chuvoso, o lodo coletado da ETA 006 apresentou limites de Atterberg nulos, já para o período seco, o limite de liquidez, limite de plasticidade e o índice de plasticidade foram de 29, 23 e 6% respectivamente (LIMA, D.P., 2016). A tabela 01 faz um resumo dos dados obtidos nos testes.

Tabela 01: Limites de Atterberg do Lodo da ETA 006

PARÂMETROS	LODO	
	Período Chuvoso	Período Seco
Limite de Liquidez (LL)	0%	29%
Limite de Plasticidade (LP)	0%	23%
Índice de Plasticidade (IP)	0%	6%

Fonte: LIMA, D.P., 2016

A difratometria de raios X consiste em um método de análise não destrutivo para a caracterização microestrutural de materiais cristalinos (CULLITY, 1959 apud LIMA, D.A., 2010). Na difração por raio x pode-se identificar a presença de caulinita, quartzo e hematita nas proporções 76,7, 13,1 e 10,2% para o período chuvoso e para o período seco 86,6, 7,6 e 5,8% respectivamente (LIMA, D.P., 2016).

Tabela 02: Fases identificadas pela difratometria

FASE IDENTIFICADA	LODO	
	Período Chuvoso	Período Seco
Caulinita	76,7%	86,6%
Ilita	0%	0%
Quartzo	13,1%	7,6%
Hematita	10,2%	5,8%

Fonte: LIMA, D.P., 2016

A constituição química do lodo é bem diversificada, a tabela 03 mostra as porcentagens de cada elemento encontrado na amostra testada. A constituição mostrada na tabela 03 deixa evidente que os principais componentes do lodo da ETA, seja no período chuvoso ou no período seco, é o dióxido de silício (SiO₂) e o óxido de alumínio (Al₂O₃). O dióxido de silício se apresenta como pequenos grãos de areia carregados pelo fluxo natural de água do rio. Já o óxido de alumínio se apresenta nessa quantidade por ser o principal produto utilizado no tratamento da água. Ainda em grande quantidade se apresenta o óxido férrico, tendo haver com as características do solo da bacia.

Tabela 03: Composição química, em porcentagem, da matéria prima em estudo.

ELEMENTOS	LODO CHUVOSO	LODO ESTIAGEM
Al ₂ O ₃	26,4	24,63
CaO	0,88	1,12
Fe ₂ O ₃	15,90	16,61
K ₂ O	1,03	1,18
MgO	0,28	0,23
MnO	0,09	0,08
Na ₂ O	0,16	0,28
P ₂ O ₅	0,25	0,27
SiO ₂	34,90	34,71
TiO ₂	0,75	0,91
Perda ao Fogo	19,3	19,75

Fonte: LIMA, D.P., 2016.

A fim de relacionar a composição com isso, foi feita a tabela 04, que mostra os constituintes do lodo de outras ETA's testada por vários autores. Nota-se que no geral os lodos têm composição similar, contudo as porcentagens de cada um diferem em muito, em outras palavras, isso serve para dar um indicativo dos possíveis usos para Palmas, já que a composição influencia no comportamento desse material.

Tabela 04: Composição do lodo de outras ETA's

ELEMENTOS	HOPPEN, 2004	TARTARI et al, 2011	PEDROSO; DOLL, 2016
Al ₂ O ₃	13,07	31,6	59,29
CaO	0,43	-	-
Fe ₂ O ₃	4,15	18,6	14,81
K ₂ O	0,06	0,3	-
MgO	0,15	-	-
MnO	0,22	-	-
Na ₂ O	0,04	-	-
P ₂ O ₅	0,25	-	-
SiO ₂	16,55	24,1	20,79
TiO ₂	0,19	2,2	-
Perda ao Fogo	49,79	20,4	-

No geral a constituição do lodo varia muito, Hoppen (2004) foi o que mais apresentou perda ao fogo, indicando uma grande quantidade de matéria orgânica, já Pedroso e Doll (2016) destaca-se pela grande quantidade de óxido de alumínio. Em comparação com os resultados encontrados para ETA 006 de Palmas nota-se que a quantidade de matéria orgânica é próxima ou inferior as demais. Isso pode indicar mais possibilidades na utilização, já que um dos principais empecilhos para utilização são as limitações pela grande quantidade de matéria orgânica.

- **Caracterização dos sistemas de tratamento de esgoto**

A partir dos objetivos da presente pesquisa, e do estudo bibliográfico levantado, para o município de Palmas – TO realizou-se a caracterização do lodo proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Norte, por ser a maior estação de tratamento de esgoto da cidade e por consequência a maior geradora em volume de lodo. Dispondo dessas informações, foram traçadas as diretrizes de soluções viáveis tanto tecnicamente como

ambientalmente para o aproveitamento do lodo, dando uma aplicação sustentável a este resíduo na área da construção civil.

Apesar de nem toda a população dispor de rede de esgoto, 100% do que é coletado passa por tratamento, sendo assim, tem-se: a ETE Aureny, que atende os bairros Aureny I, II e III; a ETE Prata e a ETE Norte que atendem a região central da cidade. Na tabela 05 são demonstradas as características básicas das referidas estações de tratamento:

Tabela 05: Descrição das ETE's em operação em Palmas - TO.

ETE	TECNOLOGIA DE TRAMENTO	Q (L/s)	CORPO RECEPTOR
Aureny	Lagoas de estabilização + Flotação	30	Reservatório da UHE de Lajeado
Prata	Reator Anaeróbio de fluxo ascendente (UASB) + Flotação	55	Córrego Prata
Norte	UASB + Lodos Ativados com remoção biológica de nutrientes	240	Reservatório da UHE Lajeado

Fonte: PALMAS, 2016.

A ETE Norte destaca-se pelo volume de tratamento, o sistema de lodos ativados proporciona a saída do lodo já totalmente estabilizado, devido ao grande tempo de contato entre o substrato e os microrganismos, não necessitando de digestores de lodo. Segundo Matos (2017) a ETE Norte atende cerca de 64 quadras, totalizando 28 mil números de ligações, com um volume micromedido de 405.343m³. O sistema correspondente a estação de tratamento de esgoto atende atualmente a uma vazão média de 141 L/s. Sendo que a capacidade atual de tratamento corresponde a uma vazão média de 240 L/s.

A tecnologia empregada no tratamento de esgoto na ETE Norte, consiste inicialmente em tratamento preliminar (figura 04), etapa na qual ocorre a remoção dos materiais grosseiros em geral, areia, óleos, gorduras e medição de vazão por meio de um dispositivo conhecido como calha *Parshall*. Esse processo se dar em duas fases: a primeira consiste na injeção de ar no esgoto por meio do sistema *Air Lift*, promovendo a suspensão de partículas que posteriormente através de uma raspagem superficial são removidos. As partículas mais densas, como as partículas de areia, mediante a decantação são depositadas na parte inferior do canal dos desarenadores, e posteriormente são succionadas. As partículas decantadas e as suspensas são conduzidas para caixa de gordura e para separadores de água e sólidos, e em seguida, são dispostos em contêineres, e a parte líquida é reconduzida ao sistema. Em relação a segunda fase, ocorre em uma grade mecanizada conhecida como *Step Screen*, onde ocorre a remoção de partículas com granulometria superior a 3mm, estas, são por fim direcionadas para contêineres (MATOS, 2017).

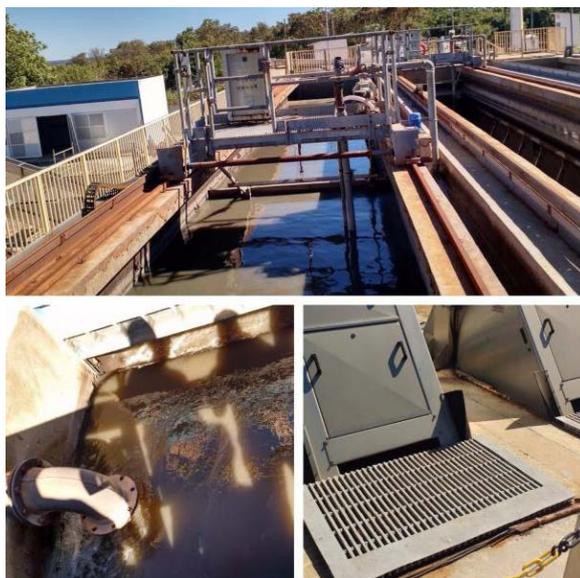


Figura 04: Tratamento preliminar da ETE Norte

Seguido do tratamento preliminar, o esgoto é encaminhado para os Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendentes, conhecidos também como reatores UASB (figura 05), nos quais, Jordão e Pessôa (2005) afirmam que nessa etapa, ocorre o processo de decomposição da matéria orgânica e se dar a produção de lodo e gás, este, por sua vez é incinerado, enquanto aquele é direcionado para a lagoa de lodo.



Figura 05: Reatores UASB da ETE Norte

Subsequente aos reatores UASB, o esgoto é conduzido para os Reatores de Lodos Ativados (figura 06), Miguel (2004) *apud* Oliveira (2006) afirma que nesse momento incorpora-se matéria orgânica a um tanque, e sob determinadas condições, bactérias aeróbias são suspensas, de modo a degradar a matéria orgânica restante da etapa anterior (reatores UASB), nessa etapa também ocorre a remoção dos nutrientes.



Figura 06: Reatores de lodos ativados da ETE Norte

Posterior aos reatores de lodos ativados, o esgoto é conduzido para os decantadores, nessa etapa separa-se a parte líquida do lodo remanescente, ocorre a separação dos sólidos em suspensão, possibilitando a saída de um efluente clarificado, além disso, nessa dá-se também a sedimentação do lodo no fundo do decantado (OLIVEIRA, 2006).



Figura 07: Decantadores da ETE Norte

Uma ponte rolante possibilita acúmulo do lodo sedimentado em um poço de sucção, no qual, através de um conjunto elevatório é bombeado e assim retorna para ao tanque de aeração, sendo o efluente tratado coletado na parte superior do decantador e lançado no reservatório da Usina Hidrelétrica Luís Eduardo Magalhães. O lodo produzido no sistema da ETE Norte é destinado ao tanque de lodo e em seguida encaminhado a bags de geotêxtil (figura 08).



Figura 08: Bag de geotêxtil da ETE Norte

- **Quantificação volumétrica, custo e caracterização do lodo de esgoto proveniente da ETE Norte**

De acordo com Matos (2017) são gerados na ETE Norte diariamente cerca de 11,5 m³ de lodo. O qual é direcionado ao tanque de lodo do sistema, e após um processo de agitação, mistura, dissolução e suspensão por meio de misturadores submersíveis, são bombeados e acondicionados em BAG's. Cada unidade de BAG comporta um volume de 440 m³ de lodo desidratado, visto que, para a ETE Norte a disposição desse resíduo se dar em três unidades que recebem também o lodo proveniente de outra estação de tratamento de esgoto da cidade, a ETE Prata. Nesse sentido, para o ano de 2016 foi gerado 4916m³ de lodo, sendo que o custo relacionado ao lodo, em um período de 4 meses equivale a R\$ 33.420,00, conforme mostra a tabela 06 a seguir.

Tabela 06: Custo atual referente ao lodo de esgoto da ETE Norte

Item	Quantidade	Custos
BAG	1 unidade	R\$ 19.200,00
Mão de Obra	4 meses	R\$ 6.000,00
Aditivos Químicos	5 meses	R\$ 4.220,00
Energia Elétrica	6 meses	R\$ 4.000,00
Total		R\$ 33.420,00

Para destinação final do lodo de esgoto, faz-se necessário o processo de caracterização desse resíduo, para adquirir conhecimento acerca do material que será manipulado ao longo dos procedimentos de estudo, para determinar sua composição, de forma a verificar sua funcionalidade mediante a determinada frente de pesquisas bem como prevenir riscos associados a saúde pública, visto que a Resolução do CONAMA n° 375/2006 classifica o lodo de esgoto como: [...] uma fonte potencial de riscos à saúde pública e ao ambiente e potencializam a proliferação de vetores de moléstias e organismos nocivos [...]resíduos que podem conter metais pesados, compostos orgânicos persistentes e patógenos em concentrações nocivas à saúde e ao meio ambiente [...] (CONAMA, 2006).

Nesse contexto, para conhecimento da composição do lodo da ETE Norte e da possibilidade para a disposição final ou aplicação na área da construção, a caracterização físico-química e microbiológica do lodo oriundo da ETE Norte torna-se necessário, tendo como resultados os quantitativos dos seguintes parâmetros dispostos na tabela 07 a seguir.

Tabela 07: Caracterização do lodo da ETE Norte

PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS			
PARÂMETROS ANALISADOS	UNIDADE	AMOSTRA	VMP*
Carbono orgânico total	%	32,6	-
pH	-	7,5	-
Cálcio total	mg/kg	0,03	-
Teor de Sólidos	g/ g-1	0,074	-
Sólidos Totais Voláteis	g/ g-1	0,389	-
Alumínio total	mg/kg	0,001	-
Ferro total	mg/kg	0,092	-
Cádmio	mg/kg	0,090	39
Cobre	mg/kg	0,0204	1500
Cromo total	mg/kg	0,002	1000
Zinco	mg/kg	0,0	2800
Teor de umidade	%	48,20	-
PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS			
PARÂMETROS ANALISADOS	UNIDADE	AMOSTRA	VMP*
Coliformes Termotolerantes	NMP/g/ ST	101	103 g/ ST
Ovos de helmintos	ovos/g/ ST	11	0,25 ovos/g/ST

Fonte: Laboratório de Saneamento – LABSAN/UFT

A partir da tabela 07, observa-se os parâmetros analisados na sua caracterização estão em conformidade com os limites toleráveis estabelecidos pela Resolução do CONAMA n° 357/2006, com exceção ao parâmetro microbiológico relacionado aos ovos de helmintos, pois por se tratar de um lodo no estado bruto, não foi submetido a tratamentos relativos aos agentes patogênicos, para a resolução de tal problema, faz-se necessário a incorporação de cal ao lodo, conforme indica Matos (2017). O processo conhecido como caleação consiste na incorporação de cal no lodo oriundo de estações de tratamento de esgotos em proporções necessárias para a manutenção do pH acima de 12, restabelecendo-o em um local inadequado para a sobrevivência de patógenos, bem como o seu desenvolvimento. (EPA, 1992, apud GODINHO, 2003).

- **Levantamento de alguns experimentos já realizados com lodo de ETA**

Com o intuito de avaliar a viabilidade da utilização dos lodos provenientes dos decantadores das ETA's de Campinas –SP, Porras, Isaac e Morita (2008) incorporaram lodo parcialmente seco, juntamente com agregado reciclado miúdo, proveniente de resíduos da construção civil, na fabricação de tijolos estabilizados com cimento. Na realização dos testes, procurou-se introduzir a maior quantidade de lodo possível e minorar a quantidade de cimento. Outro fator importante, foi a variação no teor de umidade das amostras de lodo, este influenciou expressivamente na qualidade dos tijolos produzidos, já que sua confecção só foi possível com o teor de umidade abaixo de 50%. Com base nos resultados, os autores concluíram que nenhum dos tijolos produzidos atendeu as normas de qualidade vigentes no Brasil - dimensões, absorção de água e resistência a compressão.

Machado e Araújo (2014) fizeram tijolos adicionando resíduos de construção e demolição (RCD) com lodo *in natura*, proveniente de uma ETA localizada no vale do Paraíba –RJ e cimento CPII. A partir dos testes realizados pode-se concluir que os materiais precursores utilizados, como um todo, estão na faixa ideal quanto ao PH, já no teste de resistência a compressão, o mínimo, preconizado pela NBR 10836/94, não foi atendido. Os autores ainda recomendaram a utilização de um solo com maior incidência de silte e argila para conseguir uma melhor compressão dos tijolos e utilização do lodo 100% seco.

Outro autor que estudou o assunto foi Hoppen (2004), em seu experimento utilizou lodo de ETA centrifugado em substituição ao agregado miúdo, chegando ao máximo de 10% da massa total. Os teores de lodo de até 8% atenderam a valores moderados de resistência. Costa (2011) avaliou a viabilidade da utilização do lodo de

ETA em concreto para calçadas, com teores entre 10% e 20% a resistência a compressão axial permaneceu acima de 15Mpa.

Para confecção de objetos cerâmicos, Silva et al (2011) buscou investigar o comportamento físico de blocos cerâmicos comerciais produzidos em escala industrial. As proporções testadas foram de 0 a 15%. E o observado foi a melhora da resistência a compressão dos corpos de prova na proporção de até 10%.

Na pavimentação, Coelho et al (2015) inseriu lodo como parte da base, sub-base e subleito do pavimento, e obteve resultados positivos para utilização para subleito com uma mistura de 1:1 (solo argiloso:lodo) e 1:0,25 (solo arenoso:lodo). E para base só foi possível garantir as características mínimas com 10% de cimento na mistura de arenosa.

Seguindo um caminho diferente, Domingos (2012) em sua contribuição, buscou utilizar o lodo da ETA para produção de tintas. No caso em questão, a coagulação no processo de tratamento utiliza cloreto férrico, esse composto tem coloração marrom-avermelhado. Resultados aceitáveis foram obtidos utilizando uma resina sintética como agente de diluição.

- **Levantamento de alguns experimentos já realizados com lodo de ETE**

Desenvolver formas de utilização do lodo de esgoto requer mais cuidado devido a sua constituição. Pensando nisso, Geyer (2001) e Fontes (2008) em suas teses decidiram trabalhar com a cinza do lodo de esgoto. A incineração foi usada como processo de inertização e remoção da matéria orgânica. Os resultados mostram uma pozolanicidade próxima, mas abaixo, do mínimo para ser considerado como pozolana. Já com relação a qualidade da argamassa e do concreto obtidos notou-se que com o aumento da porcentagem de cinza tinha-se uma piora das características. Fontes (2008), no entanto, detectou que com o aumento da concentração de cinza de lodo a trabalhabilidade aumentava, de maneira que para concretos mais fluidos teve aumento da resistência por diminuição do teor de água.

Na tentativa de uma solução para o problema, Eckert (2016) realizou diversos experimentos com a cinza do lodo da ETE Norte. A granulometria encontrou uma grande quantidade de areia (fina, média e grossa) e silte, e no ensaio de compactação foi possível perceber nitidamente que quanto maior o teor de cinza na mistura menores eram os valores de massa específica. No teste de resistência a compressão simples houve tendência de crescimento da resistência. Contudo, no índice de suporte Califórnia os valores foram inferiores ao limite estabelecido pelo DNIT. Na mistura do cinza do lodo com solo e cimento, a única condição de aplicabilidade foi na proporção de 9% de cimento.

Gasparim (2013) trabalhou com areia do caixa de areia e com a cinza do lodo, o objetivo foi confeccionar alvenarias estruturais de concreto. Com a areia lavada da caixa de areia o efeito sobre o bloco de concreto foi o aumento da resistência e da absorção de água. Já o cinza do lodo funcionou como um microfiller e, também, com uma pequena atividade pozolânica.

Outro que se aprofundou no tema foi Kelm (2014), utilizando lodo *in natura*, seco e calcinado na. A mistura que melhor se comportou, podendo ser utilizada para base e sub-base em pavimentação, foi utilizando lodo *in natura* junto a pó de pedra e cimento.

Assim como o lodo de ETA, também já foram feitas investigações quanto ao direcionamento do lodo da ETE para fabricação de cerâmica vermelha. Pillar (2011) fez testes com alvenaria de vedação nas proporções 5, 10, 20 e 40%, no qual obteve alvenarias totalmente de acordo com as normas vigentes na proporção de até 10%, as outras proporções até atenderam critérios de resistência, mas quantos aos outros parâmetros deixaram a desejar.

Foram feitos testes, também, na tentativa de substituir a água de hidratação do concreto pela água do lodo. O estudo determinou que a redução máxima da porcentagem de água no concreto gira em torno de 15%. Alguns pontos deixaram a desejar, principalmente quanto ao abatimento e na resistência a ataques de ácidos ao concreto (CHATTVEERA et al, 2005 apud ECKERT, 2016).

ANÁLISE DOS RESULTADOS

O sistema de abastecimento de água e coleta de esgoto de Palmas atendem quase toda a população, de maneira que a produção de lodo demanda esforços grandiosos para destinação final desse rejeito. A ETA 006 é que atende a maior parte da população e a ETE Norte trata a grande parte o efluente produzido pela cidade. Essas são as maiores produtoras de lodo. Felizmente, ambas contam com um sistema eficiente de tratamento e acondicionamento, compartilhando a mesma tecnologia de redução de umidade, por meio dos bags de geotêxtil.

Os dois materiais em questão, lodo da ETA e da ETE, tem a maior parte de seus experimentos, dentro da engenharia civil, voltados para obtenção de cerâmica vermelha, concreto e pavimentação, salvo alguns estudos que fogem essas áreas. O lodo de ETE apresenta maior variação quanto à forma de utilização: *in natura*, parcialmente seco, totalmente seco e calcinado. E, os resultados obtidos para o lodo ETA apresentam-se mais promissores, o que se motiva pelas diferenças na origem dos materiais.

O concreto, apesar de ser um dos elementos mais consumidos na engenharia civil, só aceita lodo dentro de critérios de viabilidade, para algumas situações que não exijam elevada resistência. Uma forma comum de utilização do lodo de ETE é depois de calcinado, mesmo assim, a redução de resistência é considerável. Um ponto que desestimula o uso na forma de cinza é o impacto ambiental gerado pela queima do material.

Na utilização para cerâmica vermelha, ambas as matérias primas, se mostraram adequadas, em baixas porcentagem. As alvenarias de vedação foram as que melhor se comportaram nos testes, outro destino, como a telha, pode não ser viável pela exigência de baixa porosidade e, os dois tipos de lodo tem uma alta concentração de matéria orgânica. No uso nas camadas de uma pavimentação os resultados mostraram-se tecnicamente viáveis, foram necessárias algumas correções do solo misturado ao lodo.

No processo de seleção das alternativas John (2000) coloca que, em princípio, considera-se as que melhor aproveitam as características físico-químicas deste resíduo. Primeiro, faz-se a seleção das alternativas tecnicamente viáveis, seguido do casamento da caracterização do resíduo com a levantamento das características obtidas.

No caso de Palmas, as estações entregam o lodo parcialmente desidratado, processos que envolvem a queima antes da utilização demandariam equipamentos de custo elevado. Sendo assim, por questões de viabilidade técnica e econômica, as frentes de pesquisa devem focar na limitação imposta pela tecnologia de tratamento da fase sólida que é empregada nas ETE's da cidade. Das alternativas exemplificadas, a reutilização na cerâmica vermelha e na pavimentação foram as que melhor se adequaram nessas condições.

Visualizando o volume que se utiliza de concreto, cabe ainda pesquisas que aperfeiçoem a incorporação no traço. Quanto a forma de incorporação é preciso considerar na forma de cinza o efeito mais evidente é como microfíler, não se justificando esse fim para o caso de Palmas visto que reduz a qualidade final da mistura e ainda demanda primeiro a calcinação do lodo.

CONCLUSÃO

Levando em consideração os resultados obtidos, sabe-se que ainda há uma lacuna entre o que já se tem desenvolvido e a aplicação direta e comercial. Com esse levantamento, espera-se continuar a pesquisa atuando em diversas frentes de estudo, buscando caracterizar e destinar os resíduos em questão para fins que melhor se enquadrem, focando na aplicabilidade comercial desse produto bem como nas limitações e desafios que esse resíduo sólido apresenta.

Para trabalhos futuros recomenda-se uma caracterização completa do Lodo em épocas diferentes do ano, isso do ponto de vista físico-químico e do comportamento como material de construção. Como passo seguinte deve ser determinado a forma de incorporação e a porcentagem adequada para se manter a viabilidade técnica e financeira. Outra recomendação é estudar a forma de incentivar a utilização dos produtos a base de lodo, visto que, o estigma trazido pela origem do material pode dificultar sua aceitação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDREOLI, Cleverson Vitório. **Resíduos sólidos do saneamento: Processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro: Abes, 2001. 282 p.
2. BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Lex: Coletânea de Legislação e Jurisprudência**, Brasília. Legislação Federal e margina. lía.
3. COELHO, Rodrigo Vaz et al. USO DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA NA PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA. **Reec - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, [s.l.], v. 10, n. 2, p.11-22, 21 set. 2015.
4. CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBEINTE. **Resolução n. 375 de 29 de agosto de 2006**. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, 29 de agosto de 2006.
5. DAMASCENO, Simone; CAMPOS, José Roberto. Caracterização de lodo de estação de tratamento de esgotos sanitários para uso agrícola. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, 26., 1998, Lima. **Anais... .** Lima: Aidis, 1998.
6. DOMINGOS, Gabriel Estevam. Estudo Sobre a Reutilização de Lodo de ETA para Produção de Tintas ecológicas. In: ODEBRECHT. **Livro Comemorativo 2012: Compilação dos Melhores Projetos**. Rio de Janeiro: Construtora Norberto Odebrecht, 2012, p. 91-109.
7. ECKERT, Yuri Valadares. **Avaliação do Potencial de Utilização da Cinza de Lodo de Esgoto para Uso em Pavimentação Rodoviária**. 2016. 60 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Fundação Universidade Federal do Tocantins, Palmas - To, 2016.
8. FONTES, Cintia Maria Ariani. **Utilização das Cinzas de Lodo de Esgoto e de Resíduo Sólido Urbano em Concretos de Alto Desempenho**. 2008. 273 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Coppe, Programa de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.
9. GASPARIM, José Carlos. **Viabilidade de aproveitamento de resíduos de tratamento de esgotos na construção civil**. 2013. 129 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Unicamp, Campinas, 2013.
10. GEYER, André Luiz Bortalacci. **Contribuição ao Estudo da Disposição Final e Aproveitamento da Cinza de Lodo das Estações de Tratamento de Esgoto Sanitários Como Adição no Concreto**. 2001. 238 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
11. GODINHO, Valéria Martins. **Estudo sobre a ocorrência de ovos de helmintos e viabilidade de *Ascaris sp* em lodos anaeróbios *in natura* e submetidos à higienização por caleação e por tratamento térmico. 2003. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.**
12. GODOY, Lucia Camilo de. A Logística na Destinação do Lodo de Esgoto. **Tecnologia – Gestão – Humanismo**, São Paulo, v. 2, n. 1, p.79-90, nov. 2013.
13. HOPPEN, Cinthya. **Reciclagem de Lodo de ETA Centrifugado na Construção Civil, Método Alternativo Para Preservação Ambiental**. 2004. 149 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Programa de Pós-graduação, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.
14. IWAKI, Gheorge. **Destinação Final de Lodos de ETAs e ETES**. 2017. Disponível em: <<https://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/destinacao-final-de-lodos-de-et-as-e-et-es/>>. Acesso em: 19 jan. 2017.
15. JANUÁRIO, Gladys Fernandes; FERREIRA FILHO, Sidney Seckler. Planejamento e aspectos ambientais envolvidos na disposição final de lodos das estações de tratamento de água da Região Metropolitana de São Paulo. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 2, p.117-126, 5 mar. 2007.
16. JOHN, Vanderley M.. **Reciclagem de Resíduos na Construção Civil: Contribuição para Metodologia de Pesquisa e Desenvolvimento**. 2000. 113 f. Tese (Doutorado) - Curso de Livre Docência, Departamento de Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
17. JORDÃO, E.P.; PESSÔA, C.A., **Tratamento de esgotos domésticos**. 6ª ed. Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), 2011.
18. JORDÃO, Eduardo Pacheco; PESSÔA, Constantino Arruda. **Tratamento de esgotos domésticos**. 4. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2005. 906 p.

19. KELM, Tamile Antunes. **Avaliação do uso de lodo de estação de tratamento de esgoto na estabilização de materiais para pavimentação.** 2014. 209 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.
20. LESSA, Gilberto Teixeira. **Contribuição ao estudo da viabilidade da utilização de lodo de estação de tratamento biológico de esgoto misto na construção civil.** 2005, 135 f. Mestrado (Mestrado profissional em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
21. LIMA, Diogo Pereira. **Caracterização de lodo da estação de tratamento de água utilizado como agregado na construção civil em elementos de telhas vermelhas.** 2016. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Fundação Universidade Federal do Tocantins, Palmas - TO, 2016
22. LIMA, Ricardo Mateus de. **Desguamento do Lodo da Estação de Tratamento de Água (Eta) 006 da Cidade de Palmas-To, Por Meio de Polímeros de Filtração em Geotêxtil.** 2016. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Programa de Pós-graduação, Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2016.
23. LOPES, Thiara Reis. **Caracterização do esgoto sanitário e lodo proveniente de reator anaeróbio e de lagoas de estabilização para avaliação da eficiência na remoção de contaminantes.** 2015. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Tecnologias Ambientais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2015.
24. MACHADO, Amanda Ozório; ARAUJO, Joice Andrade de. Avaliação de Tijolos Ecológicos Compostos por Lodo de ETA e Resíduos da Construção Civil. In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 11., 2014, Resende. **Anais...** - Resende: Seget, 2014.
25. MACIEL, Patricia Rocha; MACHADO, Lygia Ravanelli. Alternativas para a utilização de lodo das Estações de Tratamento de Água (ETA) como agregado na construção civil. **Revista Acadêmica Oswaldo Cruz - Graduação e Pós-graduação**, São Paulo, v. 7, n. 2, p.1-7, set. 2015. Trimestral.
26. MATOS, Douglas Bernardes de. **Estudo de viabilidade técnica e econômica da utilização do lodo produzido na ETE Norte como material de cobertura para as células do aterro sanitário de Palmas – TO.** 2017. 90 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Tocantins, Palmas - TO, 2017.
27. OLIVEIRA, Aline da Silva. **Tratamento de esgoto pelo sistema de lodos ativados no município de Ribeirão Preto, SP:** Avaliação da remoção de metais pesados. 2006. 172 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Enfermagem, Departamento Enfermagem Materno-infantil e Saúde Pública, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2006.
28. ONU. **2,5 bilhões de pessoas não têm acesso a saneamento básico em todo o mundo, alerta ONU.** 2014. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/25-bilhoes-de-pessoas-nao-tem-acesso-a-saneamento-basico-em-todo-o-mundo-alerta-onu/>>. Acesso em: 24 mar. 2014.
29. PALMAS. Decreto n. 700, de 15 de janeiro de 2014. Institui o Plano Municipal de Saneamento Básico: Água e Esgoto. Lex: coletânea de legislação, Palmas, v. 2.
30. PALMAS. Secretaria de Infraestrutura, Serviços Públicos, Trânsito e Transporte. **Universalização do saneamento básico de Palmas.** Palmas: [s.n.], 2016.
31. PILLAR, Rebecca Iva C. S. do. **Viabilidade da produção de blocos cerâmicos utilizando o lodo da Estação de Tratamento de Esgoto de Chapecó (SC).** 139f. Dissertação apresentada ao Mestrado em Ciências Ambientais – Universidade Comunitária da Região de Chapecó (SC), 2011.
32. PINTO, Carlos de Sousa. **Curso Básico de Mecânica dos Solos.** 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 359 p.
33. PORRAS, Álvaro Chávez; ISAAC, Ricardo de Lima; MORITA, Dione. Incorporação do lodo das estações de tratamento de água e agregado reciclado de resíduo da construção civil em Elementos de alvenaria - tijolos estabilizados com cimento. **Ciencia e Ingeniería Neogranadina**, Bogotá, v. 18, n. 2, 2 dez. 2008.
34. RIBEIRO, Júlia Werneck; ROOKE, Juliana Maria Scoralick. **Saneamento básico e sua relação com o meio ambiente e a saúde pública.** 2010. 36 f. TCC (Graduação) - Curso de Curso Especializado em Análise Ambiental, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2010.
35. SANTOS, Ednaldo Ramos dos. **Caracterização Química, Microbiológica e Toxicidade do Lodo de Esgoto da Estação.** 2009. 68 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento em Processos Ambientais, Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2009.



36. SILVA, Juliana Karla da et al. Utilização de lodo de ETA na produção de blocos cerâmicos- escala industrial. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 26., 2011, Porto Alegre. **Anais...** . Porto Alegre: Abes, 2011.