

II-214 – ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA PARA REUSO DA AREIA REMOVIDA NAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO

Priscila A. de Andrade Pires⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pelo Centro Universitário FAESA. Tecnóloga em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal do Espírito Santo (IFES). Mestranda em Tecnologias Sustentáveis pelo Instituto Federal do Espírito Santo (IFES).

Marcia Regina Pereira Lima⁽²⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal do Espírito Santo. Mestra em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo. Doutora em Hidráulica e Saneamento pela USP. Professora do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental e do Mestrado em Tecnologias Sustentáveis do Instituto Federal do Espírito Santo-campus Vitória.

Christian Mariani Lucas dos Santos⁽³⁾

Engenheiro Mecânico pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Mestrado em Mecânica dos Sólidos pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Doutor em Ciências dos Materiais pelo Instituto Militar de Engenharia (IME).

Flavia Albuquerque Ataíde⁽⁴⁾

Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental pelo Instituto Federal do Espírito Santo (IFES).

Poliana Daré Zampiroli Pires⁽⁵⁾

Engenheira Agrônoma pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Mestrado em Produção Vegetal pela Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF). Doutora em Produção Vegetal pela Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF).

Endereço⁽¹⁾: Avenida Gelu Vervloet dos Santos, 1050 - Jardim Camburi - Vitória - ES - CEP: 29090-100 - Brasil - Tel: (27) 3207-1538 - e-mail: priaparecida@gmail.com

RESUMO

Nas Estações de Tratamento de Esgoto - ETE são gerados/extraídos vários resíduos, dentre eles, a areia removida na etapa do pré tratamento. Na maioria das ETE, a areia removida é encaminhada à aterro sanitário. No entanto, estudos realizados com esta areia mostram o seu grande potencial de reuso, como agregado miúdo em obras da construção civil. Para sua reutilização, a areia deve passar por tratamento específico que vise, principalmente, a eliminação de patógenos, aderido ao material em razão do seu contato com o esgoto. Alguns produtos desinfetantes já foram testados como cal, hipoclorito de sódio, desinfecção térmica, entre outros. Destes produtos, a cal vem se mostrando eficiente como produto desinfetante, com diminuições significativas da densidade de patógenos. Na tentativa de se encontrar material alternativo para atuar como produto desinfetante e assim proporcionar um tratamento mais sustentável, o presente trabalho visa avaliar a possibilidade de se utilizar um subproduto gerado em indústria siderúrgica como material desinfetante no tratamento da areia removida das Estações de Tratamento de Esgoto. Este material apresenta características semelhantes à cal virgem, possibilitando a diminuição de patógenos com a elevação do pH no meio. Para a avaliação foram selecionados três artigos que utilizaram diferentes produtos desinfetantes no tratamento de areia extraída de ETE e um que utilizou subproduto de indústria siderúrgica (cal de panela) na etapa de desinfecção de lodo. Inicialmente, executou-se um pré-teste com a areia a ser tratada para melhor conhecimento de suas características e, com os resultados dos estudos selecionados, pode-se definir a melhor metodologia para o tratamento desta areia.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de esgoto, Areia, Patógenos, Resíduo Siderúrgico, Reuso.

INTRODUÇÃO

Uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) possui níveis de tratamento de acordo com o objetivo do efluente que se deseja. Os níveis sequenciais são o tratamento preliminar, o tratamento primário, o tratamento secundário e o tratamento terciário. Cada nível remove partículas ou elementos com diferentes características

como no caso da matéria orgânica que é removida no tratamento primário e no tratamento secundário (VON SPERLING, 2005).

No tratamento preliminar tem-se a retirada da areia, entre outros resíduos. Esta areia é proveniente de ligações irregulares na rede de esgoto, além de infiltrações na rede coletora e demais situações que acabam carregando a areia para as ETE (AZEVEDO, 2014).

Juntamente com a areia removida, há também cascalho, cinzas, e outros materiais sólidos pesados, que sedimentam por apresentarem velocidade de sedimentação maior que os sólidos orgânicos presentes no esgoto (TCHOBANOGLOUS; BURTON; STENSEL, 2010). É importante salientar que a areia removida apresenta matéria orgânica aderida a ela, assim, sua destinação deve ocorrer de maneira breve, antes de iniciar sua putrefação.

No caso de se reutilizar esta areia nas obras de construção civil, considerando a presença significativa de impurezas orgânicas, é necessário que se proceda o tratamento adequado do material. Estas impurezas prejudicam as reações de hidratação do cimento, interferindo na sua capacidade de resistência (NEVILLE, 1982 apud MEIER, 2011). De acordo com a NBR 7211 (2005), a quantidade de matéria orgânica máxima permitida na massa do agregado miúdo é 10%.

Além disso, o contato com o esgoto faz com que a areia apresente patógenos aderidos a ela tais como *Escherichia Coli* e Ovos viáveis de Helmintos, e sua remoção visa a segurança do operador que irá lidar com este resíduo (YAMANE, 2007).

Possibilitar o reuso da areia extraída de ETE permitirá a redução do consumo de areia comercial, refletindo na diminuição do impacto ambiental ocasionado pela sua extração, como também irá repercutir na vida útil dos aterros sanitários, considerando que, atualmente, em grande parte das estações de tratamento de esgotos a areia extraída é encaminhada para aterro sanitário.

No entanto, a reutilização da areia extraída das estações de tratamento de esgotos, ainda não é uma prática usual no gerenciamento das ETE. Isso pode estar associado à questão do pequeno volume que é retirado de algumas estações devido a sua localização, fazendo com que o gerenciamento seja simplificado. Por outro lado, ETE de grande porte localizadas em cidades litorâneas, removem quantidades expressivas de areia. No entanto, independentemente da origem das areias, a partir do instante em que houve o contato do material com esgoto, ela deixa de ser um produto inerte pois são agregadas às suas características elementos nocivos ao ambiente e ao ser humano. Assim, o tratamento da areia é fundamental para o seu reuso, inclusive, deve-se considerar a desinfecção como uma etapa fundamental.

Neste caso, este trabalho apresenta um levantamento de alternativas para o tratamento da areia, focando, principalmente, nos produtos utilizados na desinfecção, além de levantamento de trabalhos que utilizaram produtos desinfetantes alternativos. Logo, o objetivo foi avaliar o desempenho de subproduto gerado em indústria siderúrgica como material desinfetante na desinfecção da areia removida nas Estação de Tratamento de Esgoto, visando seu reuso. A proposta desta pesquisa é tratar a areia e torná-la apta para uso como agregado miúdo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Considerando a desinfecção uma etapa fundamental do tratamento da areia, este estudo busca definir uma metodologia de tratamento de areia extraída de estação de tratamento de esgoto tendo um produto desinfetante alternativo, buscando tornar o processo mais sustentável.

A areia que será tratada é proveniente de uma ETE com capacidade nominal de tratamento do esgoto de 400 L/s. A ETE possui tecnologia de tratamento do tipo lodos ativados (Sistema Unitank), com tratamento terciário do efluente por intermédio de radiação ultravioleta.

Na busca por publicações sobre as possibilidades de reaproveitamento das areias extraídas das ETE, notou-se uma escassez de pesquisas sobre o assunto e que o lodo, o biogás e a água de reuso são os mais estudados. Isso

pode ser associado ao fato da quantidade gerada destes produtos, dos riscos associados e a existência, no caso do lodo, de legislação específica para seu gerenciamento. Nesta busca foram utilizadas bases do Portal de Periódicos da Capes, sites de empresas de saneamento e instituições de pesquisa e, também, anais de eventos da área de saneamento ambiental. Dos trabalhos encontrados, foram escolhidos três, considerando o tipo e a eficiência dos tratamentos utilizados e tiveram como produtos desinfetantes a cal, a desinfecção térmica e o hipoclorito de sódio. São elas:

- Estudo 1 (E1) - “Avaliação da higienização do resíduo de caixa de areia de Estações de Tratamento de Esgoto”, realizada no município de Vitória, Espírito Santo (YAMANE, 2007);
- Estudo 2 (E2) - “Viabilidade de aproveitamento de resíduos de tratamento de esgotos na construção civil”, realizada no município de Barueri, São Paulo (GASPARIM, 2013);
- Estudo 3 (E3) - “Aproveitamento dos resíduos gerados no tratamento preliminar de Estações de Tratamento de Esgoto”, realizada no município de São Carlos, São Paulo (BORGES, 2014).

No entanto, considerando que o objetivo principal era encontrar um material alternativo para ser utilizado na etapa de desinfecção do tratamento da areia, procurou-se também por trabalhos que estudaram tratamentos de outros resíduos extraídos de ETE. Neste caso, foi selecionada uma pesquisa que avaliou a possibilidade de uso de um subproduto gerado em indústria siderúrgica no tratamento do lodo de esgoto, intitulado “Utilização de coproduto siderúrgico e cal virgem no processo e higienização de biossólido para aplicação agrícola” (MAYERHOFER, 2017). As características deste material e os resultados obtidos na pesquisa com lodo serão confrontados com resultados encontrados em estudo com areia, para avaliar a possibilidade da sua utilização como desinfetante, por ser um produto de fácil acesso na região da instalação da ETE de onde será extraída a areia a ser tratada.

Para melhor conhecer as características da areia que será submetida a tratamento e definir algumas condições do tratamento, foi realizado um pré-teste que avaliou a necessidade da etapa de lavagem e secagem da areia antes do tratamento de desinfecção e, também, avaliar a interferência das intempéries nesta fase. Para análise da etapa de secagem, foram montados dois pilotos, sendo um com exposição à radiação solar e intempéries (Piloto 1) e o outro foi montado em local coberto, arejado, protegido da radiação solar e intempéries (Piloto 2). A areia foi colocada em recipiente plástico com volume de 5,7 L e a cada três dias o material era revolido, peneirado e realizado o registro fotográfico. Antes do revolvimento, coletava-se uma amostra de areia de 0,42 L de volume para o peneiramento, realizado em peneira de malha de 600mm, a fim de avaliar a interferência da secagem na segregação da matéria orgânica aderida aos grãos. O Piloto 1 foi monitorado no período de 13/09/2017 a 03/10/2017 e o Piloto 2 de 30/10/2017 a 20/11/2017. Foram acompanhados os registros da precipitação ocorrida no período dos testes, mediante dados repassados por órgão ambiental (IEMA, 2017), para avaliar sua influência nos resultados.

Após a realização dos testes com os pilotos 1 e 2 foi montado o Piloto 3, onde parte da areia foi submetida a processo de lavagem, realizado com o próprio efluente final da ETE, e outra parte da areia não foi lavada. Após repouso em local coberto, foi realizada análise de matéria orgânica nas amostras de areia (lavada e bruta), conforme a NBR 49 (ABNT, 2001). Cabe destacar que o efluente final da ETE apresenta características interessantes para o reuso por ser submetido a desinfecção com ultravioleta.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Características da areia a ser tratada (Pré-teste)

Inicialmente, apresentam-se as condições da ETE de onde se retirou a areia a ser tratada e o volume a ser disposto. A areia é retirada de desarenador que possui uma intervenção mecânica, com a existência de raspadores de fundo que direcionam o material até um ponto onde a rosca transportadora promove o seu deslocamento até as caçambas para armazenamento. Estas caçambas comportam um volume aproximado de 5m³ e são, normalmente, substituídas a cada 15 dias, podendo variar de acordo com a quantidade retirada, tendo, assim, um volume mensal aproximadamente de 10 m³ de areia para disposição final. Toda areia da estação é encaminhada para aterro sanitário particular localizado em município vizinho.

Durante o pré-teste, observou-se que a areia, após período de repouso, apresentava alteração de coloração e segregação da matéria orgânica aderida aos grãos. Estas mudanças do estado físico demonstram que, após determinado tempo, houve perda de umidade e degradação desta matéria orgânica, justificando sua alteração de cor e odor. Esta condição foi também apontada por Yamane (2007) em sua pesquisa.

A interferência da pluviosidade foi notada durante o monitoramento do Piloto 1 (montado em área externa) que demandou um tempo maior para a secagem da areia quando comparado ao Piloto 2 (montado em área interna – abrigado), visto que no período de testes com o Piloto 1 houve registros de precipitações (Tabela 1). Pela análise das fotos, nota-se que a umidade pode ter interferido na segregação da matéria orgânica aderida à areia (Figuras 1 e 2).

Tabela 1 – Pesquisas que utilizaram diferentes

Data	Precipitação (mm)	Data	Precipitação (mm)
13/09/2017	0,8	24/09/2017	0
14/09/2017	0,2	25/09/2017	7,4
15/09/2017	0,2	26/09/2017	1,2
16/09/2017	3,4	27/09/2017	0
17/09/2017	1,4	28/09/2017	0
18/09/2017	8	29/09/2017	0
19/09/2017	10,4	30/09/2017	0,2
20/09/2017	3,2	01/10/2017	4,8
21/09/2017	0,2	02/10/2017	0
22/09/2017	0	03/10/2017	0
23/09/2017	0		

Fonte: IEMA (2017)

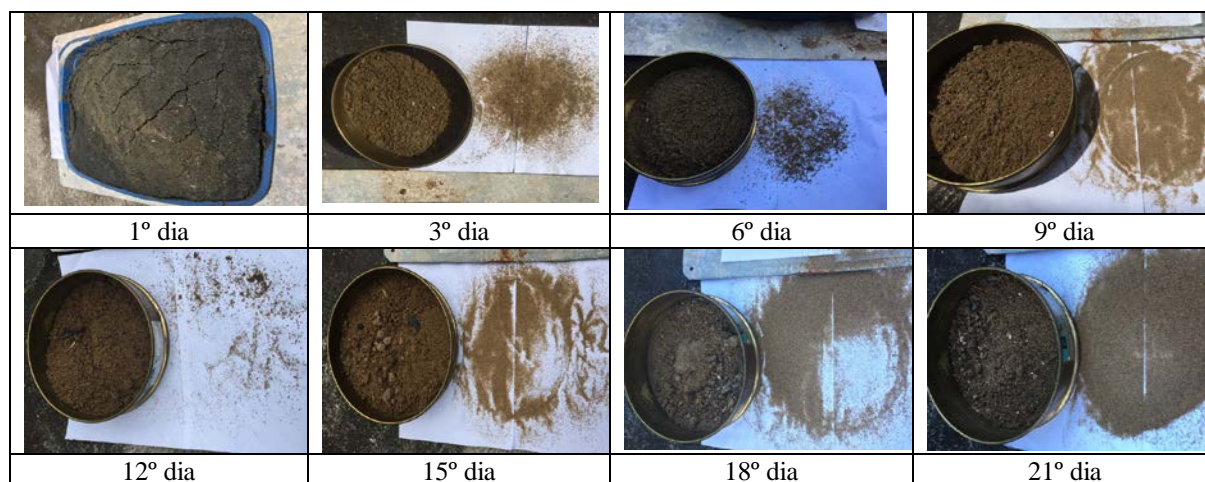


Figura 1 - Comportamento da areia durante o período de testes - Piloto 1

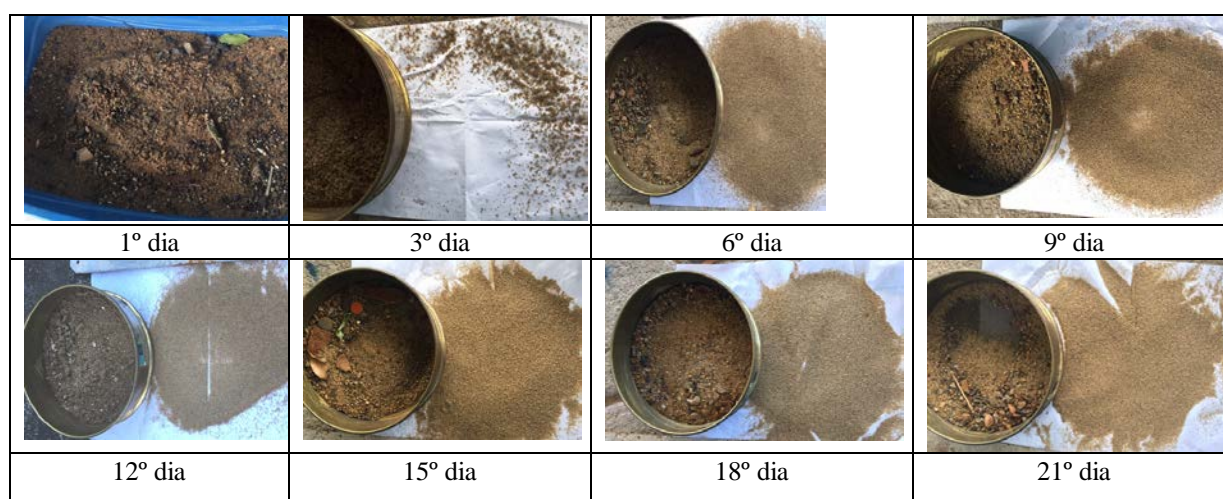


Figura 2 – Comportamento da areia durante o período de testes - Piloto 2

Considerando o comportamento apresentado pela areia durante o período de secagem, definiu-se que antes da etapa de desinfecção, a areia seria submetida a processo de secagem durante um período de 15 dias, em local protegido da chuva e bem arejado.

Na avaliação quanto a necessidade de se implantar a etapa de lavagem da areia (Piloto 3) foi utilizado o teste descrito na NBR 49 (ABNT, 2001) que estabelece o método de determinação colorimétrica de impurezas orgânicas em agregado miúdo. Neste caso, os testes mostraram que existe a presença de impurezas orgânicas nas amostras de areia lavada e areia bruta quando comparadas com a solução padrão. Observou-se, também, que não existe diferença significativa da coloração entre as amostras das areias lavada e bruta (Figura 3), indicando não haver necessidade de se realizar a etapa de lavagem. A não adoção desta etapa simplifica bastante o gerenciamento da areia e minimiza os recursos envolvidos na implantação e no monitoramento deste processo.

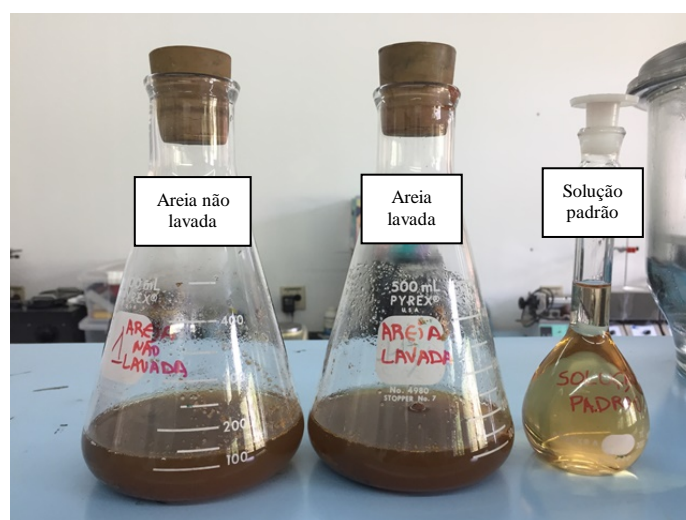


Figura 3 – Análise de matéria orgânica nas amostras de areia não lavada e lavada e solução padrão utilizada – Piloto 3

Tratamento de areia extraída de ETE

A necessidade de proceder o gerenciamento adequado da areia com a alternativa de reuso é destacada nos três estudos escolhidos que foram unânimes em ressaltar as dificuldades de destinação deste resíduo, seja pela falta

de aterro sanitário, seja pela preocupação de impactos negativos que podem ocorrer com a destinação inadequada do material.

O tratamento da areia antes de seu uso visa torná-la semelhante à areia comercial, satisfazendo os requisitos previstos na NBR 7211 - Agregados para concreto – Especificação, na qual preconiza que, para ser considerado apto para ser utilizado, o agregado miúdo deve satisfazer às condições de Granulometria, Substâncias Nocivas e Durabilidade (ABNT, 2015).

Os resultados apresentados na Tabela 2 e as conclusões dos autores demonstram que há possibilidade de substituição da areia comercial pela areia removida nas ETE para determinados fins na construção civil após a realização de tratamento para desinfecção.

Tabela 2 – Melhores resultados dos estudos relativos aos parâmetros monitorados

Parâmetro	Estudo E1		Estudo E2			Estudo E3	
	Areia bruta	Areia tratada	Areia bruta	Resultados por autoclave à 90°C	Resultados por forno rotativo à 140°C	Areia bruta	Areia tratada
Coliformes Totais	1,00E+07 NMP/100mL	Nas dosagens acima de 15% de cal hidratada houve remoção total após 48h (<1 NMP/100mL)	NA	<10 ³ NMP/gST	<1 NMP/gST	3,84E+07 NMP/100mL	1,96E+02 NMP/100mL
<i>Escherichia Coli</i>	1,00E+05 NMP/100mL	Em todas as dosagens, houve remoção total após 2 dias de contato (<1 NMP/100mL)	NA	<10 ³ NMP/gST	<1 NMP/gST	5,22E+05 NMP/100 mL	Ausência
Ovos Viáveis de Helmintos	1,75 ovos/gST	Em todas as dosagens, houve remoção total após 2 dias de contato	NA	NA	NA	NA	NA
pH	6,00	No período total de contato (7 dias), a variação média de pH das campanhas do Estudo Piloto foi de 12,29	4,65	5,89	5,43	NA	NA
Sólidos Totais Voláteis	NA	Não realizado	NA	NA	NA	3,1±1,0 %	1,0±0,13 %
Umidade	18,22%	No período total de contato (7 dias), a variação média de umidade das campanhas do Estudo Piloto foi de 9,93%	NA	22,76% da areia tratada por autoclave	0,40% da areia tratada por forno rotativo	14,8±3,6%	0,10±0,3%
Matéria Orgânica	Coloração acima do limite conforme NBR 49/2001	As dosagens de 10% e 15%, apresentaram coloração abaixo do limite estabelecido conforme NBR 49/2001	NA	4,58% da areia tratada por autoclave	2,80% da areia tratada por forno rotativo	Sem referencial	As amostras ficaram mais escuras do que a solução padrão da NBR 49

Fonte: Yamane (2007), Gasparim (2013), Borges (2014).

Nota: NA – não apresentado pelo autor.

Em E1, a metodologia aplicada envolveu 4 fases antes da realização do estudo piloto, no qual definiu-se as dosagens apropriadas de cal hidratada. Nas Fases 1 e 2, houve a caracterização do resíduo e testes com diferentes formas de desinfecção, como a caleagem, a cloração e a insolação natural. Pelos resultados obtidos, observou-se redução de contaminação nos três tipos de tratamento, contudo, a areia tratada com cal foi a que apresentou decaimento melhor. Diante deste resultado, foi realizada a Fase 3 para verificar a dosagem de cal

necessária para desinfecção da areia úmida. Foi realizado o tratamento da areia com variações de dosagem entre 15% e 30%. Na Fase 4 foram realizados ajustes, considerando os resultados obtidos na Fase 3 para a definição da dosagem ótima.

No estudo em Escala Piloto, foram realizadas testes com dosagens de cal virgem entre 10% a 30% em relação ao peso úmido da areia (intervalo que apresentou melhor eficiência na desinfecção). Concluiu-se que a dosagem de 10% de cal com 1 semana de tratamento apresentou remoção total de bactérias e ovos viáveis de helmintos.

Se comparado aos valores propostos pelo “Guideline for microbiological Quality of Sands” para areia de contato primário, os resultados atendem, visto que para Coliformes Totais o máximo permitido é 1,00E+06 NMP/gST e Coliformes Termotolerantes é 1,00E+05 NMP/gST.

No trabalho E2, foi proposto tratar o lodo e a areia removidos do tratamento de esgoto por meio de desinfecção térmica com uso de autoclave e alto forno. Além disso, utilizou-se estes resíduos tratados para fabricação de blocos de concreto para alvenaria. Os blocos produzidos foram submetidos a testes regulamentados por legislação específica que apresentaram resultados satisfatórios.

Neste estudo ~~são~~ foram realizadas análises de matéria orgânica após diferentes procedimentos térmicos pelos quais a areia é submetida (autoclave a 90°C e forno rotativo a 140°C). Na autoclave o funcionamento é por meio de energia elétrica e o forno foi alimentado diretamente pelo gás produzido no digestor da ETE (Biogás). Não foram apresentados os resultados conforme preconiza a NBR 49/2001, com utilização do método colorimétrico, sendo expresso em percentual referente à areia seca (após tratamento pela autoclave e pelo forno rotativo).

O resultado foi analisado conforme a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente Conama nº 375/06 (BRASIL, 2006), visto que não há legislação específica para a areia, demonstrando que a areia estava apta para o uso nos corpos de prova, visto que foram satisfatórios para coliformes totais, termotolerantes e matéria orgânica.

Apesar de os resultados terem se mostrado promissores, as técnicas utilizadas demandam de energia elétrica (no caso da autoclave), da construção de um alto forno e da captação de biogás, o que encarece o investimento e a manutenção do processo. Esta alternativa pode se mostrar viável, dependendo das características da ETE.

Com relação à análise de substâncias nocivas – impurezas orgânicas, após tratamento final, não houve a presença destas substâncias nas amostras de E1 e E2, conforme estabelecidos pela NBR 49/2001 (método colorimétrico).

Em E3, a proposta também era produzir corpos de prova de concreto e argamassa com a areia tratada, utilizando na etapa de desinfecção o hipoclorito de sódio. Entre os resultados de E3, a amostra da areia da ETE se mostrou mais escura que a solução padrão, conforme estabelecido pela NBR 49 (ABNT, 2001), mesmo após lavagem e secagem do material.

A presença de matéria orgânica no agregado miúdo é prejudicial aos concretos e argamassas, visto que esta impureza afeta o endurecimento destas misturas, pois o húmus presente na matéria orgânica dificulta a aderência entre o cimento e o agregado (MEIER, 2011).

Das pesquisas relacionadas no tratamento da areia, a mais interessante foi a de Yamane (2007), considerando os resultados obtidos, o produto utilizado na etapa de desinfecção (Cal) e da simplicidade da metodologia adotada. Assim, esta será a pesquisa utilizada como referência para a definição da metodologia a ser utilizada no tratamento da areia.

Material desinfetante – subproduto de indústria siderúrgica (Cal de Panela)

O subproduto avaliado é a cal de panela (Figura 4), formada após beneficiamento da escória do forno de panela, e que apresenta teores de Óxido de Cálcio (CaO) bastante significativos (MAYERHOFER, 2017).

Na pesquisa selecionada foram testadas diferentes misturas de cal com cal de panela para a desinfecção do lodo e o resultado foi bastante favorável. Nas análises dos resultados foi verificado o atendimento à Resolução Conama nº 375/2006 (BRASIL, 2006), que estabelece condições para o uso do lodo na agricultura.

Este subproduto é proveniente do resfriamento e posterior beneficiamento (recuperação metálica e britagem) da escória de forno panela. A escória é gerada no forno panela onde se realiza ajustes da composição química do aço com a adição de elementos para alcançar a composição final desejada (FeSi, FeCr, FeSiMn, Grafite, CaO, CaF₂, dentre outros). A composição varia de acordo com o tipo de aço a ser produzido. Por diferença de densidade, durante esse processo, as impurezas do aço ficam concentradas na superfície em forma de escória e são retiradas da panela separadamente do aço líquido (MAYERHOFER, 2017).

A cal de panela tem granulometria < 12mm e apresenta composição química (Tabela 3) bastante semelhante à cal utilizada como desinfetante no tratamento do lodo de esgoto. Considerando a importância de se conhecer o pH do material, a amostra fornecida pela empresa foi submetida a análise, apresentando pH igual a 12.

Tabela 3 – Composição química do subproduto de siderurgia (Cal de Panela), cal virgem e cal hidratada

Elemento	Cal de Panela (%)	Cal Virgem (%)	Cal Hidratada (%)
CaO	42,16	55	49,35
MgO	11,66	35	26,45
SiO ₂	20,11	3	1,88
Al ₂ O ₃	4,19	-	0,26
MnO	1,45	-	-
Cr ₂ O ₃	0,47	-	-
P ₂ O ₅	0,2	-	-
S	0,54	-	-
FeT	11,46	-	-
FeO + MnO	16,18	-	-

Fonte: ArcelorMittal (2017), Silva (2013), Batista *et. al.* (2016).

O estudo desenvolvido por Mayerhofer (2017) contou com quatro campanhas, sendo que as três primeiras tiveram como objetivo a definição da dosagem que apresentou melhores resultados, de acordo com os limites estabelecidos pelo Conama nº 375/06 (BRASIL, 2006) e a quarta campanha testou a melhor dosagem com repetições para proceder a análise estatística (Tabela 4).



Figura 4 – Subproduto de indústria siderúrgica - Cal de Panela

As dosagens de cal de panela sempre foram associadas a dosagens de cal, para possibilitar a elevação de pH com a formação de hidróxido de cálcio (Ca(OH)₂) em condições satisfatórias e, com isso, propiciar ambiente inóspito à proliferação de microrganismos. As campanhas foram desenvolvidas com a intenção de testar dosagens (cal de panela + cal) em que fossem diminuídas as quantidades de cal adicionadas à mistura. As dosagens avaliadas em cada campanha estão apresentadas na Tabela 4, com relação ao lodo, em peso seco.

Segundo Mayerhofer (2017), no monitoramento do pH durante 24 horas, todas as dosagens apresentaram pH acima de 12 nas primeiras 2h e acima de 11,5 durante as 22h restantes, a uma temperatura de 25°C, em conformidade com a Resolução CONAMA nº 375/2006.

Tabela 4 – Quantidade de cal virgem e cal de panela adicionada ao lodo em peso seco

Campanha 1		Campanha 2		Campanha 3		Campanha 4	
Cal de Panela (%)	Cal Virgem (%)	Cal de Panela (%)	Cal Virgem (%)	Cal de Panela (%)	Cal Virgem (%)	Cal de Panela (%)	Cal Virgem (%)
0	40	33	7	20	15	30	10
10	30	35	5	25	15	30	10
20	20	37	3	20	10	30	10
30	10	39	1	25	10	30	10

Fonte: Mayerhofer (2017)

Os parâmetros monitorados na pesquisa foram Sólidos Totais (ST) e Sólidos Voláteis (SV), pH, Temperatura, e Coliformes Termotolerantes (CT). De acordo com os resultados da Campanha 1, a dosagem 30/10 (30% de cal de panela e 10% de cal virgem) foi a que apresentou maior eficiência, quando comparada às outras dosagens. Na tabela 5 encontram-se apresentados os resultados médios obtidos para a dosagem 30/10 (campanha 1) e 0/40 (0% de cal de panela e 40% de cal virgem), afim de avaliar o seu desempenho com os testes que utilizaram apenas a cal virgem.

Tabela 5 – Resultados obtidos Campanha 1

Parâmetro	Lodo Bruto	Lodo + Cal de panela/cal virgem	
		Lodo + 30/10	Lodo + 0/40
ST (%)	15,98	22,91	20,80
SV (%)	76,51	46,53	50,29
SV/ST	0,77	0,47	0,50
Coliforme Termotolerante (NMP/g ST)	$1,6 \times 10^6$	$< 1,8 \times 10^0$	$< 1,8 \times 10^0$
Ovos viáveis de helmintos (Ovo/g ST)	< 0,25	< 0,25	< 0,25

Fonte: Mayerhofer (2017)

Os resultados de ovos viáveis de helmintos e coliformes termotolerantes foram satisfatórios, conforme pode ser visto na Tabela 5, considerando os limites definidos pela Resolução CONAMA nº 375/2006.

Com os resultados apresentados, pode-se então perceber, que a mistura de cal de panela e cal virgem na proporção 30/10 é tão eficiente quanto o uso somente de cal virgem na desinfecção do lodo, contudo a vantagem de se utilizar a mistura é a possibilidade de redução de custos com a diminuição da cal e a utilização de um coproduto até então sem aplicação e que possui um teor considerável de óxido de cálcio (MAYERHOFER, 2017). Assim, pôde-se inferir que o biossólido produzido está apto para ser utilizado na agricultura, segundo os padrões estabelecidos na Resolução Conama nº 375/2006. Assim, entende-se que este material pode se apresentar interessante na desinfecção, também, da areia.

Proposta de tratamento da areia

Diante das condições apresentadas nas pesquisas selecionadas, definiu-se como tratamento da areia, visando seu reuso como agregado miúdo:

- **Material desinfetante** – Cal de Panela. Serão realizados testes utilizando-se a cal de panela pura e também associada à cal hidratada.
- **Metodologia** - Yamane (2007). Porém, não será realizada a lavagem da areia considerando os resultados obtidos no pré-teste. Serão realizados testes no tempo T_0 (caracterização da amostra de areia antes da adição do desinfetante), T_{48h} (48 horas após a adição do desinfetante) e T_{7dias} (7 dias após a adição do

desinfetante). Após a adição do desinfetante será realizado o revolvimento da amostra para melhor homogeneização da mistura.

- Parâmetros a serem monitorados: *Escherichia coli*, ovos viáveis de helmintos, matéria orgânica, pH e umidade.

Como não há uma legislação específica para reuso da areia, a Resolução CONAMA nº 375 (ABNT, 2006) será utilizada como referência para os parâmetros microbiológicos monitorados. *Escherichia coli* e ovos viáveis de helmintos estão relacionados à segurança do operador que irá manusear a areia, a fim de evitar possível contaminação; a análise de Matéria Orgânica visa acompanhar a evolução do tratamento e o atendimento à NBR 7211 (ABNT, 2005) no que diz respeito às impurezas orgânicas no agregado miúdo; os parâmetros pH e umidade são dados complementares, que também serão importantes para acompanhamento da evolução do tratamento da areia e sua característica final.

CONCLUSÃO

Considerando os resultados apresentados, entende-se que a utilização da cal de panela, subproduto de indústria siderúrgica, no tratamento da areia extraída de ETE terá resultados satisfatórios no que diz a desinfecção, tornando-a apta para utilização na construção civil para fins menos nobres.

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento deste trabalho conta com o apoio da Companhia Espírito Santense de Saneamento (CESAN) e do Instituto Federal do Espírito Santo-Campus Vitória.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação*. Rio de Janeiro, 2005.
2. _____. *NBR 49: Agregado Miúdo – Determinação de impurezas orgânicas*. Rio de Janeiro. 2001.
3. AZEVEDO, L. S. *Aproveitamento dos subprodutos gerados nas Estações de Tratamento de Esgoto de Juiz de Fora*. Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora, 2014.
4. BATISTA, W. R. R. F., AZEVEDO, L. M. M., NUNES, C. G. L., NETO, V. F. S., MENDONÇA, A. M. G. D. Determinação das propriedades físicas, químicas e mineralógicas da cal hidratada visando uso na construção civil. *I Congresso Nacional de Pesquisa em Ensino em Ciências*. Campina Grande, V. 1, 2016, ISSN 2525-3999, 2016.
5. BORGES, N. B. *Aproveitamento dos resíduos gerados no tratamento preliminar de estações de tratamento de esgoto*. São Paulo: Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2014.
6. CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. *Resolução nº 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.
7. GASPARIM, José Carlos. *Viabilidade de aproveitamento de resíduos de tratamento de esgotos na construção civil*. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, 2013.
8. INSTITUTO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS – IEMA. *Rede Automática de Monitoramento da Qualidade do Ar da Região da Grande Vitória* [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <centrosup@iema.es.gov.br> nos dias 05 e 24/10/2017.
9. MAYERHOFFER, K.M. *Utilização de coproduto siderúrgico e cal virgem no processo de higienização de biossólido para aplicação agrícola*. Universidade Vila Velha, 2013.
10. MEIER, Denis. *Análise da qualidade do agregado miúdo fornecido em Curitiba e Região Metropolitana*. Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2011.
11. NEVILLE, Adam M. Tad. S. G. *Propriedades do Concreto*. São Paulo, PINI, 1982 *apud* MEIER, Denis. *Análise da qualidade do agregado miúdo fornecido em Curitiba e Região Metropolitana*. Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2011.

12. SILVA, J. M. *Higienização do lodo de Estação de Tratamento de Esgoto para utilização como material de cobertura de aterro sanitário*. Universidade Federal de Santa Catarina, 2013.
13. TCHOBANOGLOUS, G.; BURTON, F.L.; STENSEL, H.D. (2010) METCALF & EDDY. Inc. *Wastewater engineering: treatment and Resource recovery*. 5. Ed. New York: McGraw Hill.
14. YAMANE, L. H. *Avaliação da higienização do resíduo de caixa de areia de estações de tratamento de esgoto*. Espírito Santo: Universidade Federal do Espírito Santo, 2007.
15. VON SPERLING, M. *Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos*. 3. ed. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.