

149 – A PROBLEMÁTICA DA AREIA NAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO – ESTUDO DE CASO: ETES DA BAIXADA SANTISTA

Nayara Batista Borges⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa. Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Doutora em Hidráulica e Saneamento na EESC/USP.

Cleber Fernando de Souza⁽²⁾

Engenheiro Civil pela Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS/UNESP).

José Geraldo Sartori Brandão⁽³⁾

Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP).

José Guilherme Perí Rocha⁽⁴⁾

Engenheiro Eletricista pela Faculdade de Engenharia de São José dos Campos (FEAU/UNIVAP)

Antonio Carlos Mansoldo⁽⁵⁾

Engenheiro Eletricista pela Escola Politécnica da USP (EPUSP).

Endereço⁽¹⁾: Rua Maestro João Seppe, nº 303, apartamento 802b – Jardim Paraíso – São Carlos-SP – CEP: 13561-180 – Brasil – Tel: +55 (16) 3372-9112 – Cel: +55 (16) 9 9151-2945 – e-mail: nayara.borges@engecorps.com.br

RESUMO

A qualidade de um efluente está diretamente ligada às etapas e condições a que ele é submetido nas estações de tratamento de esgoto. É fundamental que todas as unidades sejam capazes de receber, tratar e repassá-lo adiante, cada vez mais limpo. Um agravante enfrentado pelas ETES atualmente é a afluência de areia fina incorporada ao esgoto, uma vez que as unidades projetadas tradicionalmente utilizam o parâmetro de 0,20 mm como referência para remoção de areia. Como as partículas que chegam hoje são menores, acabam depositadas em unidades subsequentes do tratamento, ocasionando deficiência no processo de tratamento e avaria nos equipamentos. Somada à carência de pesquisas acadêmicas, a falta de caracterização e conhecimento da gramatura das partículas é fator determinante para dificultar a operação e prejudicar o processo de tratamento. Nesse contexto, a análise granulométrica da areia afluente às ETES da Baixada Santista serve como subsídio para discutir os parâmetros empregados em projeto, visto que a maior parcela do material coletado apresentou diâmetro entre 0,10 mm e 0,15 mm. Assim, é necessário se pensar em soluções alternativas para amenizar o problema, garantindo um efluente tratado de maior qualidade, facilidade e eficiência na operação e redução dos danos ambientais.

PALAVRAS-CHAVE: Areia no esgoto, Tratamento de Esgoto, Análise Granulométrica.

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO E IMPORTÂNCIA DO TRATAMENTO PRELIMINAR

Para garantir o nível de eficiência desejada em uma Estação de Tratamento de Esgoto, é primordial que todas as unidades envolvidas no processo (Tratamento Preliminar, Primário, Secundário e Terciário) operem adequadamente, sem influências de materiais particulados como, por exemplo, a areia incorporada ao esgoto afluente.

O Tratamento Preliminar consiste na remoção de sólidos grosseiros, areia e gordura, mediante operações físicas de gradeamento, peneiramento, sedimentação e retenção; na degradação de óleos, graxas, e sólidos flutuantes (escuma) pelo tratamento biológico (reator de degradação de gordura); e no tratamento adequado dos gases produzidos nessas unidades (BORGES, 2014).

Historicamente, o Tratamento Preliminar sempre foi visto como a parte do processo considerada menos “nobre”, o que, segundo WILSON (1985) pode gerar grandes prejuízos, visto que só os desarenadores (responsáveis pela remoção da areia) chegam a custar quase um terço do custo operacional total de uma ETE. Além disso, o custo associado à manutenção e operação de equipamentos para bombeamento, manuseio e

transporte de lodo contendo material abrasivo (areia e pequenos pedregulhos) chega a quintuplicar, em relação às despesas de um lodo livre desse tipo de material.

Prado (2006) enfatiza a deficiência acadêmica de pesquisas voltadas para o desenvolvimento de novas tecnologias do tratamento preliminar, principalmente no que diz respeito à remoção de areia; e alerta sobre as consequências que a acumulação da areia em novos sistemas, como àqueles com Reatores UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) – que praticamente eliminam o problema do lodo não-digerido que se acumula no decantador primário – podem causar.

A falta de estudos aprofundados na área, segundo afirmações de PRADO & CAMPOS (2009) relaciona-se à inexistência de métodos padronizados para se determinar a eficiência de, no mínimo, um desarenador, o que dificulta o desenvolvimento de novos estudos e gera desinteresse em se realizar pesquisas na área. Ainda segundo os autores, a experiência realizada por CAMP em 1942 revelou não ser necessário quantificar todos os materiais passíveis de remoção em desarenadores, já que um desarenador capaz de remover grãos de areia de tamanho maior ou igual a 0,2 mm (200 µm) removerá também a maior parte do material que ocasiona problemas operacionais nas ETEs. Assim, a aceitação dessa afirmativa estabeleceu como “parâmetro” de controle nas unidades de desarenação a quantidade de areia e, mais precisamente, 0,2 mm (200 µm) como a menor granulometria que deve ser removida nos desarenadores, e mesmo esse sendo o padrão estabelecido mundialmente há décadas, ainda não há técnicas analíticas padronizadas para medi-lo.

A carência metodológica para quantificação do material a ser removido e o desconhecimento da distribuição granulométrica da areia presente no esgoto dificulta as negociações entre empresas fornecedoras de desarenadores e seus clientes (municipalidades, autarquias municipais, companhias de saneamento, empresas privadas), uma vez que não há comprovação da eficiência desses produtos.

A falta de um tratamento preliminar sólido e eficiente desencadeia uma série de problemas ao longo do processo de tratamento de esgoto, tais como (1) dano ou obstrução dos equipamentos de processos subsequentes, (2) redução da confiabilidade e da eficiência de todo o processo ou (3) contaminação das tubulações (METCALF & EDDY, 2016). No caso da areia, o material abrasivo que deveria ser retido na entrada da estação passa a permear por etapas do processo que não deveria, implicando diretamente em maior dificuldade de controlar e efetivamente tratar esse efluente.

A remoção da areia tem como objetivo (1) reduzir a formação de depósitos pesados em tanques de aeração, digestores anaeróbios, emissários, canais e condutos, (2) reduzir a frequência de limpeza de digestores causada pela acumulação excessiva da areia e (3) proteger as partes móveis de equipamentos contra a abrasão e identificar desgastes anormais (METCALF & EDDY, 2016).

Além disso, a operação de equipamentos com superfície de metal muito próximas, como trituradores, centrífugas, grades finas, bombas diafragmas de alta pressão e trocadores de calor depende, essencialmente, da ausência de areia. Assim, também a remoção desse material é necessária para produzir um produto final que seja adequado para a disposição final em aterro e livre de todo material sedimentável, tanto no período normal de operação da ETE quanto nos de picos de vazão, além de minimizar os impactos nos corpos receptores, principalmente devido ao assoreamento.

Com a constatação da heterogeneidade da areia incorporada ao esgoto, a partir dos dados levantados e consultados em literatura, é possível indicar a grande variação dos parâmetros quantitativos e qualitativos como possível responsável por problemas operacionais dos desarenadores, uma vez que os projetistas tomam como base valores típicos encontrados na literatura exterior, como aqueles apresentados por METCALF & EDDY. É de extrema importância que cada estação de tratamento de esgoto faça o levantamento das características principais do esgoto (DBO, DQO, fósforo, nitrogênio e sólidos) e que se conheça o resíduo a ser removido no desarenador a partir de ensaios com peneiras de diferentes aberturas e quantificação do material retido.

As Tabelas 1 e 2 apresentam dados de levantamentos da quantificação de areia retida nos desarenadores, sendo que a primeira aglomera várias referências internacionais diferentes e a segunda diz respeito a um levantamento realizado pela Water Environment Federation de 1998, que considerou 22 estações de tratamento de esgoto dos Estados Unidos, cujo recebimento de esgoto se dá por meio de sistema de coleta do tipo separador absoluto.



Tabela 1: Quantificação de areia segundo várias referências de literatura.

AUTOR OU REFERÊNCIA	ORIGEM	FAIXA L. (1.000 m ³) ⁻¹		MÉDIA
		MÍNIMO	MÁXIMO	L. (1.000 m ³) ⁻¹
Mara, D.	Escocesa	-	170	50 a 100
Metcalf & Eddy	Americana	0,3	180	-
Imhoff, K. (1)	Alemã	68	160	-
Dégremont (1)	Francês	-	160	-
Azevedo & Hess	Brasileira	13	40	15 a 29
ETE Pinheiros (2)	Brasileira	3	73	41
ETE Vila Leopoldina (2)	Brasileira	-	22	12

(1) Valores transformados com base em 200 L.hab⁻¹.d⁻¹ (2) Valores reais medidos entre jan/76 e mar/77.

Fonte: Jordão e Pessoa (2005).

Tabela 2: Dados da quantificação de areia, obtidos de levantamento feito em vinte e duas ETES dos Estados Unidos, que recebem esgoto de sistema de coleta tipo separador absoluto.

ETES DOS EUA	VAZÃO	AREIA	AREIA
	(m ³ .dia ⁻¹)	L. (1000 m ³)	(L.dia ⁻¹)
Norwalk	44.474	25	1.112
Portsmouth	36.715	3	110
East Hartford	15.140	18	273
Oklahoma City	94.625	15	1.419
Waterbury	56.775	30	1.703
Duluth	45.420	6	273
East Bay	484.480	9,5	4.578
Chicago	3.440.000	3,1	10.578
New York (Jamaica)	378.500	16,8	6.359
New York (Port Richmond)	227.100	3,8	852
New York (North River)	832.700	11,3	9.368
Boston	423.920	5,1	2.162
St. Louis	632.095	20,2	12.753
Passaic Valley Treatment Plant	851.625	28,7	24.399
Allegheny Country	757.000	24,9	18.849
Forth Worth	170.325	9,7	1.648
Country of Milwaukee	454.200	3,6	1.635
Twin of City Metro	825.130	36,2	29.828
San Jose	451.255	18,8	10.149
Los Angeles (Hyperion)	1.589.700	15	23.846
Santa Rosa	45.420	37,5	1.703
Livermore	23.656	7,5	177

Fonte: Adaptado. Water Environment Federation (1998).

Além desses dados, Borges (2014) ainda apresenta dados de taxas de geração de resíduos no desarenador em ETES brasileiras:

- ETE Piçarrão (Campinas – SP), apresentou remoção média mensal nos anos de 2007 e 2008 de 42 L. (1.000 m³), sendo esses dados disponibilizados pelo Setor de Operação de Esgoto da Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento S.A (SANASA) de Campinas – SP;



- ETE Dr. Hélio Seixo de Britto (usualmente chamada ETE-Goiânia) apresentou remoção em torno de 13 L. (1.000 m⁻³) nos meses de janeiro a dezembro de 2005 (SILVA E CARVALHO, 2007).

Os dados referentes à ETE Piçarrão encontram-se próximos da faixa estimada por Jordão e Pessoa (compreendido entre 20 a 40 litros de areia por 1.000m³ de esgoto tratado), enquanto os da ETE Goiânia remetem ao limite recomendado por Metcalf & Eddy, de 15 litros por 1.000 m³ de esgoto tratado. A contraposição desses valores àqueles encontrados para as ETES americanas permite concluir que as características regionais da ETE Goiânia assemelham-se aquelas apresentadas em 1998 por Oklahoma City e New York (North River). Já as condições regionais e de urbanização atendidas pela ETE Piçarrão são mais próximas às de cidades como Santa Rosa e Twin of City Metro.

Além desses dados, a experiência de Borges (2014) realizada na ETE Monjolinho de São Carlos-SP verificou que a granulometria do resíduo removido do desarenador encontra-se dentro da zona utilizável prescrita na NBR 7211/2016, que especifica a recepção e produção de agregados miúdos. O módulo de finura e o diâmetro máximo característico desse resíduo foram de 2,15 mm e 4,75 mm, respectivamente.

Um estudo realizado por Tomiello (2008), também utilizou ensaios de granulometria para caracterização do resíduo removido no desarenador da ETE 02 Sul, de Maringá-PR. As análises demonstraram que a maior parte dos resíduos ficou retida na peneira com abertura de 0,600 mm, seguida da peneira de abertura de 2,4 mm. Além dos ensaios de granulometria, o autor também efetuou análise da fração orgânica (MOt) e mineral (RMT) das frações retidas no peneiramento. O resultado encontrado indica que a maior quantidade de matéria orgânica (62,02%) está na fração retirada da peneira com abertura de 2,4 mm e que a maior concentração de resíduos minerais ocorreu nas peneiras de abertura maior, menor e no fundo, como consequência de que nas peneiras maiores ficam retidos resíduos como pedras e seixos e nas peneiras menores e no fundo são retidos a areia, silte e argila.

Em 2009, a SABESP já havia realizado ensaios de caracterização granulométrica, indício de que o problema causado pela areia nas estações de esgoto não é novidade. O objeto de estudo na época foram os resíduos retidos em três desarenadores de ETES da região litorânea de São Paulo: ETE Bichoró, de Mongaguá; EPC Vila Zilda, do Guarujá; e ETE Bertioiga, localizada no município homônimo à ETE. Os resultados obtidos nesse estudo estão agrupados na Tabela 3.

Tabela 3: Distribuição granulométrica dos resíduos removidos nos desarenadores de ETES da região litorânea do Estado de São Paulo, ensaios realizados em Janeiro de 2009.

FRAÇÃO		PENEIRA (MM)	PORCENTAGEM RETIDA EM CADA PENEIRA (%)			Média
			ETE BICHORÓ	EPC VILA ZILDA	ETE	
			MONGAGUÁ	GUARUJÁ	BERTIOGA	
Seixo		4,000	0,32	0	0	0,11
Grânulo		2,800	0,14	0	0	0,05
		2,000	0,39	0,04	0,01	0,15
Areia	Muito Grossa	1,400	0,23	0,37	0,01	0,2
		1,000	0,74	2,02	0,12	0,96
	Grossa	0,710	1,26	5,08	0,26	2,2
		0,500	2,14	3,19	0,67	2
	Média	0,350	2,14	1,09	1,18	1,47
		0,250	3,9	2,25	2,53	2,89
	Fina	0,177	21,71	7,15	3,86	10,91
		0,125	42,24	39,82	13,62	31,89
	Muito Fina	0,088	21,6	34,46	69,74	41,93
		0,062	0,88	1,16	5,36	2,47
Silte	Grosso	0,031	0,79	0,89	0,97	0,88

FRAÇÃO	PENEIRA (MM)	PORCENTAGEM RETIDA EM CADA PENEIRA (%)				Média
		ETE BICHORÓ	EPC VILA ZILDA	ETE	Média	
		MONGAGUÁ	GUARUJÁ	BERTIOGA		
Médio	0,020	0,33	0,61	0,5	0,48	
Fino	0,006	0,22	0,34	0,27	0,28	
Muito Fino	0,004	0,11	0,25	0,16	0,17	
Argila	<0,004	0,86	1,26	0,7	0,94	

Fonte: SABESP, 2009.

Os dados da Tabela 3 foram organizados de forma gráfica e podem ser melhor observados na Figura 1.

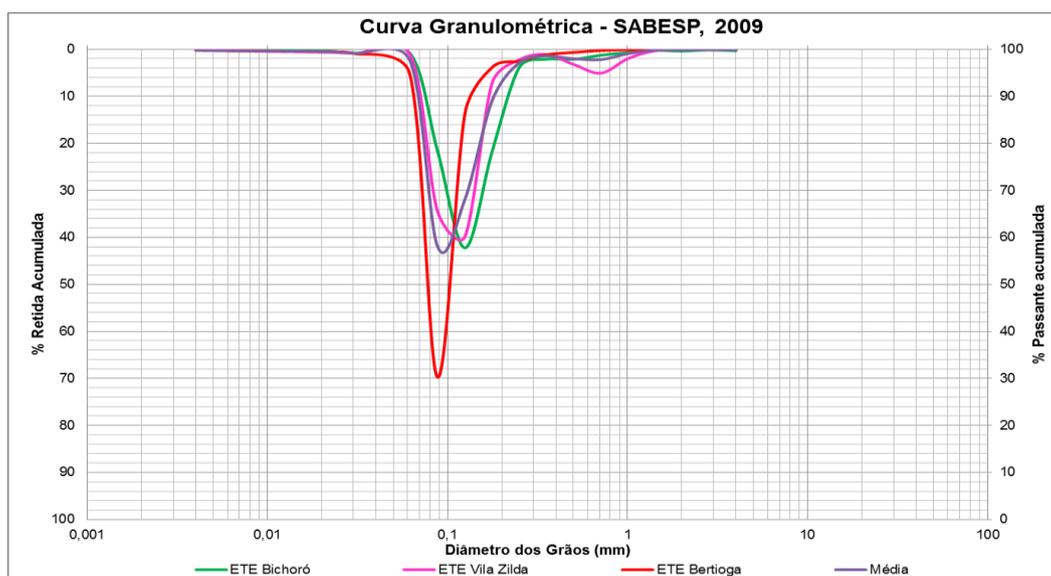


Figura 1: Curva granulométrica dos ensaios realizados pela SABESP na região da Baixada Santista. Fonte: Elaboração dos autores.

De acordo com a classificação granulométrica, os resíduos apresentaram as seguintes porcentagens médias: 0,11% de seixos, 0,19% de grânulos, 96,93% de areia, 1,81% de silte e 0,94% de argila.

A SABESP aponta a inexistência de parâmetros práticos de monitoramento dos processos relacionados à caixa de areia como responsável pelas operações deficientes e o acúmulo excessivo de areia, tanto nessas unidades como nas subsequentes, e ainda assinala problemas relacionados ao descarte da areia que é removida, como: procedimentos mal definidos de lavagem, limpeza, secagem e higienização como causadores de odores e dificuldades operacionais nas Estações.

O estudo aponta alguns possíveis problemas relacionados à remoção da areia, e os correlaciona com aqueles apontados pela CAGECE – Companhia de Água e Esgoto do Ceará. São eles:

- Inexistência de dados regionais de taxas de aplicação de areia em zonas de praia;
- Baixa produtividade de remoção de areia utilizando equipamentos do tipo Clamshell, no caso da EPC Vila Zilda;
- Comportas (stop-logs) de caixas de areia de pequeno porte não isolam os canais com eficiência.

Para reafirmar que a problemática da areia não é exclusiva das regiões litorâneas, há registros de acúmulo de areia em outras estações de tratamento de esgoto instaladas em localidades distantes do litoral, como por exemplo a ETE Limoeiro, de Presidente Prudente-SP. A Figura 2 ilustra a quantidade de areia fina que fica retida nos tanques de aeração da referida estação.



Figura 2: Areia fina acumulada no tanque de aeração da ETE Limoeiro – Presidente Prudente-SP.

Fonte: SABESP, 2009.

Tal fato reforça a necessidade de se aprofundar e reavaliar os parâmetros de dimensionamento utilizados atualmente para se projetar as ETEs.

1.2. ETAPAS DO SISTEMA DE REMOÇÃO DE AREIA DE UMA ETE

A quantidade de areia que deve ser removida deve ser decidida caso a caso, pois depende das características do esgoto que adentram a estação e do nível requerido para proteger os processos e equipamentos envolvidos. A principal característica determinante para a areia chegar às estações de tratamento de esgoto é a sua velocidade de sedimentação, que varia de acordo com o ponto de entrada no sistema de coleta e da sua posição na ETE.

De acordo com Metcalf & Eddy (2016), a presença dos agentes tensoativos (ATAs), que são partículas de matéria orgânica que se aderem às partículas de areia, é, na maioria das vezes, mais leve do que as previsões em projeto e o impacto observado é o aumento da partícula de areia. Considerando que a gravidade específica da areia limpa seja constante, então sua velocidade de sedimentação aumenta proporcionalmente ao tamanho das partículas. Entretanto, o efeito de flotação dos ATAs faz com que a velocidade de sedimentação da areia independa de sua dimensão. Assim, a areia fica suspensa e passa pelos sistemas de remoção e se deposita nos tanques de aeração. Quando são expostos à atividade biológica, os ATAs se decompõem e as partículas com elevada densidade se depositam rapidamente, o que ocasiona o acúmulo excessivo de areia nos reatores biológicos. METCALF & EDDY (2016) afirmam que sempre que possível, um estudo de remoção de areia deve ser conduzido para se determinar a dimensão equivalente da areia (DEA) – relação entre a velocidade de sedimentação da areia do esgoto (recobertas de ATAs) e a da areia limpa – uma vez que os projetos se baseiam em partículas de areia de gravidade específica de 2,65 (similar à sílica) e dimensão predominante de 0,21 mm, com características de sedimentação similares à areia limpa, o que não ocorre por conta do efeito dos ATAs.

O fluxograma apresentado na Figura 3 ilustra as etapas e processos de um sistema de remoção de areia completo.

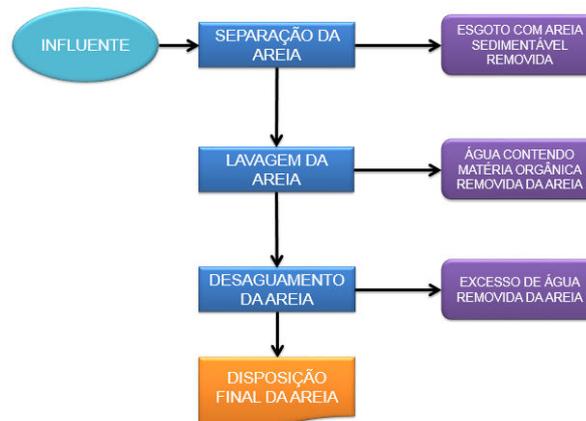


Figura 3: Principais etapas e processos de um sistema de remoção de areia completo. Fonte: Adaptado. METCALF & EDDY, 2016.

- **Separação da areia:** geralmente realizada em caixas de areia independentes e projetadas para separar por processos físicos as partículas de areia das partículas orgânicas que são mais leves. Usualmente, as caixas de areia localizam-se entre as grades e os reatores biológicos, a fim de evitar que os resíduos gradeados prejudiquem a operação e a manutenção dos equipamentos de remoção de areia. Porém, em estações de tratamento em que há trituradores, as caixas de areia devem se posicionar a montante, para impedir o desgaste nas lâminas cortantes.

Após a separação da areia, o produto residuário que segue para tratamento é o esgoto com areia sedimentável removida.

- **Lavagem da areia:** após a separação da areia, parte do material orgânico pesado ainda permanece, podendo atingir 50% ou mais de sua composição antes da lavagem, o que ocasiona um odor distintamente desagradável e atrai insetos e roedores. Para reduzir esse efeito, são utilizadas lavadoras de areia, que proporcionam um segundo estágio de separação dos sólidos voláteis e pode resultar em uma areia limpa com conteúdo de sólidos voláteis inferior a 20% e reter, no mínimo, 95% da areia sedimentável.

Um sistema de lavagem de areia é equipado com jato de água para auxiliar a ação de limpeza e também apresentam, usualmente, separadores de Hidrociclone, que são instalados na entrada do lavador para potencializar a eficiência do processo. Há dois tipos de sistemas disponíveis no mercado: um opera com um raspador inclinado submerso que proporciona a agitação necessária para a separação do material orgânico da areia e simultaneamente a eleva a um ponto de descarga acima da superfície da água, através de uma rampa; e outro que consiste de um parafuso sem fim inclinado para transportar a areia até o topo da rampa.

A Figura 4 apresenta um desenho esquemático dos componentes típicos de um lavador de areia.

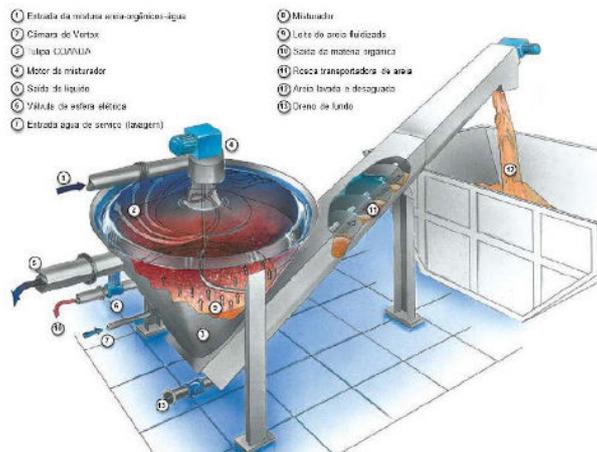


Figura 4: Componentes de um lavador de areia em desenho esquemático. Fonte: Catálogo Huber.

O produto da lavagem da areia, além da própria areia limpa, é a água contendo a matéria orgânica que foi removida no processo. Essa água é encaminhada para estações elevatórias de esgoto de recirculação, que a direcionam para dar continuidade ao processo de desinfecção.

- **Desaguamento da Areia:** após a lavagem, a areia limpa deve ter toda a água livre que ainda está incorporada à sua massa extraída por meio de secagem, que pode ser natural ou com a utilização de estufas agrícolas, ou dispositivos mecânicos (geralmente incorporados ao sistema de lavagem), cujo objetivo é obter uma areia limpa e seca, com uma concentração de sólidos totais maior que 60% e reter, no mínimo, 95% da areia sedimentável.

O excesso de água removido da areia resultante desse processo também é enviado para estações elevatórias de recirculação e volta para o processo de tratamento e desinfecção.

- **Disposição final da areia:** depois de limpa e seca, a areia é tipicamente disposta em aterros sanitários, lixões ou até mesmo sem nenhum cuidado nos jardins das próprias ETEs ou estradas não pavimentadas (valas), taludes, erosões, etc.

Algumas grandes estações dos Estados Unidos incineram a areia juntamente com outros sólidos, como o material gradeado e lodos diversos. Em alguns estados americanos há leis que exigem a estabilização da areia com cal antes de ser depositada nos aterros (METCALF & EDDY, 2016).

No Brasil, o mais comum é que o descarte da areia proveniente dos desarenadores seja realizado no próprio terreno da estação (enterramento ou empilhamento) ou enviá-la para aterros sanitários. BORGES (2014) realizou um estudo voltado para os usos potenciais do aproveitamento desse material, uma vez que não há preocupações relacionadas a essas potencialidades, associadas à redução ou recuperação do volume gerado e dos impactos ambientais; ela afirma ainda que a disposição em aterros brasileiros, além de representarem custos altos (cerca de R\$160 por tonelada de material disposto – referência: ETE Monjolinho de São Carlos-SP, maio de 2014, contabilizados gastos somente com transporte e disposição) também ocupam volumes que poderiam ter outra destinação, como a disposição de resíduos domésticos.

O transporte até o destino final da areia pode ser realizado por caminhões, cujo carregamento é realizado via unidades de armazenamento de areia elevadas, dotadas de comportas de descarga pelo fundo ou baldes de coleta operando em um sistema de monotrilhos. Para distâncias pequenas, uma esteira pneumática pode ser utilizada ao invés do caminhão. Nesse caso, a principal vantagem é que a construção de unidades reservatórias elevadas é dispensável e os odores ocasionados pelo armazenamento desse material são eliminados. A desvantagem do sistema pneumático é o alto desgaste nas tubulações, principalmente nas curvas.

Nos casos em que não se utiliza caixa de areia para a desarenação do esgoto, a areia é removida por bombeamento de quantidades diluídas de lodo primário para um desarenador de ciclone, que atua como um separador centrífugo no qual as partículas de areia e de sólidos são separadas pela ação de um vórtice, sendo descarregadas separadamente de partículas leves e da massa do líquido. A principal vantagem do desarenador de ciclone é a eliminação dos custos de construção, operação e manutenção das caixas de areia. As desvantagens são (1) o bombeamento de quantidades diluídas de sólidos, requer, geralmente, espessadores de sólidos, e (2) o bombeamento de areia com sólidos líquidos primários aumentam os custos de operação e manutenção dos coletores de sólidos e das bombas de lodo primário (METCALF & EDDY, 2016).

2. OBJETIVOS

Avaliar a eficiência de remoção da areia no tratamento preliminar de estação de tratamento de esgoto. Para tanto, foi realizado um estudo de caso em 10 ETEs da Baixada Santista, onde foram coletadas amostras em três pontos distintos do processo de tratamento: tratamento preliminar (desarenadores, canais de gradeamento), tanques de aeração (reatores biológicos) e tanques de contato. Posteriormente, realizaram-se ensaios de granulometria para caracterizar a porcentagem e diâmetro da areia.

3. METODOLOGIA UTILIZADA

3.1. ETEs DA BAIXADA SANTISTA

As Estações de Tratamento de Esgoto aqui estudadas englobam os municípios de Bertioga, Guarujá, Cubatão, Mongaguá, Itanhaém e Peruíbe, localidades do litoral do estado de São Paulo, pertencentes à microrregião de Santos e mesorregião metropolitana de São Paulo. A Tabela 4 apresenta alguns dados sobre cada município, como a distância até a capital paulista, altitude média, as áreas territoriais e coordenadas geográficas.

Tabela 4: Localização dos municípios, altitudes e área territorial.

MUNICÍPIOS	DISTÂNCIA DA CAPITAL (KM)	ALTITUDE MÉDIA (M)	ÁREA TERRITORIAL (KM ²)	COORDENADAS GEOGRÁFICAS	
				LATITUDE	LONGITUDE
Bertioga	111,0	2,0	490,2	23°51'14"S	46°08'20"O
Guarujá	86,4	10,0	143,6	23°59'34"S	46°15'21"O
Cubatão	57,6	4,0	142,9	23°53'42"S	46°25'30"O
Mongaguá	101,0	18,0	141,9	24°05'13"S	46°37'44"O

Itanhaém	112,0	5,0	601,9	24°10'58"S	46°47'20"O
Peruíbe	140,0	5,0	324,6	24°19'12"S	46°59'52"O

Fonte: SEADE (2015).

O Distrito de Vicente de Carvalho localiza-se no Guarujá, nos arredores do porto, cujas coordenadas geográficas são: 23°57'07" S e 46°17'05" O.

A Figura 5 expõe um panorama dos municípios em relação ao estado de São Paulo, com os limites municipais e a localização das ETEs, todas operadas pela SABESP.

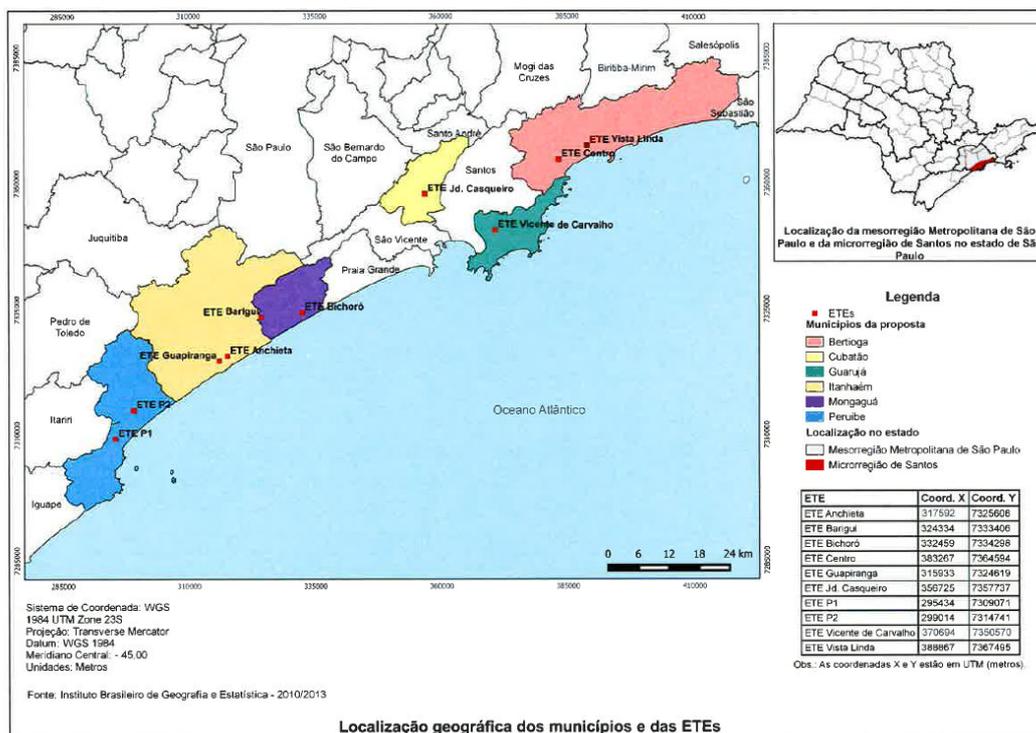


Figura 5: Localização geográfica dos municípios e das ETEs. Fonte: Consórcio ENGECORPS-SHS, 2017.

3.2. HISTÓRICO DO SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO (SES) DA BAIXADA SANTISTA

Até 1999, os Sistemas de Esgotamento Sanitário dos municípios da Baixada Santista, em sua maioria, não possuíam ETEs, apresentando apenas Estações de Pré-Condicionamento (EPCs), nas quais o efluente passa pelo tratamento primário, constituído de peneiramento e caixa de areia e depois segue para a desinfecção – normalmente com gás cloro – e são lançados no mar por meio de emissários terrestres ou submarinos. Porém, essa prática vem sendo cada vez mais questionada pela CETESB e por órgãos ambientais, que forçam e exigem a adoção de um tratamento secundário.

Assim, com o intuito de melhorar as condições sanitárias do litoral paulista, foi criado, em parceria do Governo do Estado de São Paulo com a SABESP, o Programa de Recuperação Ambiental da Região Metropolitana da Baixada Santista, conhecido como Programa Onda Limpa.

O objetivo principal desse programa é garantir a despoluição das praias e para isso tem como meta alcançar 90% de coleta e tratamento do esgoto local. Desse modo, as condições de vida das populações, tanto as fixas quanto as flutuantes da região, sofrerão mudanças positivas e a balneabilidade das praias durante todo o ano será garantida.

Os investimentos desse programa somam mais de R\$ 1 bilhão para financiamento de inúmeras obras, como redes, coletores, interceptadores, construção de ETEs e emissários terrestres e submarinos.

A implantação do programa foi dividida em etapas, e a primeira foi finalizada em 2013. Com a conclusão dessa etapa, o atendimento dos SES da Região Metropolitana da Baixada Santista – RMBS teve um salto de 55% para 66%, sendo tratados 100% dos esgotos coletados. Desde então, para se atingir a meta estabelecida de 90% de coleta e 100% de tratamento de todo o efluente, novos estudos, projetos e obras foram e estão sendo desenvolvidos.

As novas ETEs resultantes da aplicação do Programa Onda Limpa são o objeto de estudo desta pesquisa, sendo que todas tiveram seu funcionamento iniciado entre 2010 e 2011.

Todas as estações são operadas pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, a SABESP e, com exceção da ETE Anchieta, as demais ETEs apresentam como processo de tratamento o sistema de lodos ativados por batelada, com aeração por meio de ar difuso de bolhas finas, e estão projetadas para obter uma eficiência de remoção de DBO suficiente para atender aos padrões de lançamento e qualidade do corpo receptor.

Resumidamente, o esgoto coletado é recalcado diretamente para a unidade de tratamento preliminar da estação, passando pelas grades finas mecanizadas, pela calha Parshall e pelos desarenadores. Em seguida, é encaminhado para os tanques onde ocorre o tratamento biológico, mediante utilização do processo de lodos ativados em batelada. Após o tratamento biológico, o esgoto é encaminhado para a unidade de desinfecção, que acontece no tanque de contato com aplicação de hipoclorito de sódio ou cloro-gás. Por fim, o esgoto tratado é lançado no corpo receptor. Parte do efluente tratado é armazenado no reservatório de reúso com capacidade de 20 m³.

O lodo gerado no processo de lodos ativados em batelada é encaminhado para o tanque de armazenamento, a partir de dois conjuntos elevatórios, e em seguida, para a centrífuga. O lodo desaguado é enviado ao aterro sanitário de Cubatão, denominado Terrestre Ambiental. Já o clarificado da centrífuga e todo efluente produzido na própria ETE (banheiros, cozinha, laboratórios, lavagem de pisos e equipamentos, etc.) é enviado para elevatória de recirculação, que recalca para o tratamento preliminar.

Os resíduos sólidos e as areias retidos no gradeamento e no desarenador, respectivamente, também são enviados para o mesmo aterro em Cubatão. Na Figura 6, apresenta-se o fluxograma de processo de tratamento das referidas estações.

O Consórcio ENGECORPS-SHS foi contratado para realizar os projetos de ampliação e melhorias nessas estações, visto que o horizonte de projeto da primeira etapa de implantação de todas elas está quase no fim. Desse modo, foram levantados todos os problemas que as ETEs enfrentam hoje e, em todas elas, a maior vilã identificada é a areia que aflui incorporada ao esgoto e se acumula nas unidades do tratamento, dificultando a operação e a manutenção das mesmas, além do efeito abrasivo, que danifica muitos equipamentos.

A Figura 7 ilustra o maior problema sofrido hoje pelas estações de tratamento de esgoto da Baixada Santista: as imagens (a) e (b) referem-se à dois reatores biológicos da ETE Barigui, completamente tomados pela areia; a imagem (c) diz respeito à ETE Bichoró, revelando a areia acumulada no canal de by-pass, localizado ao lado do gradeamento; e a imagem (d) expõe um desarenador da ETE Guapiranga, também com elevada quantidade de areia presente na unidade.

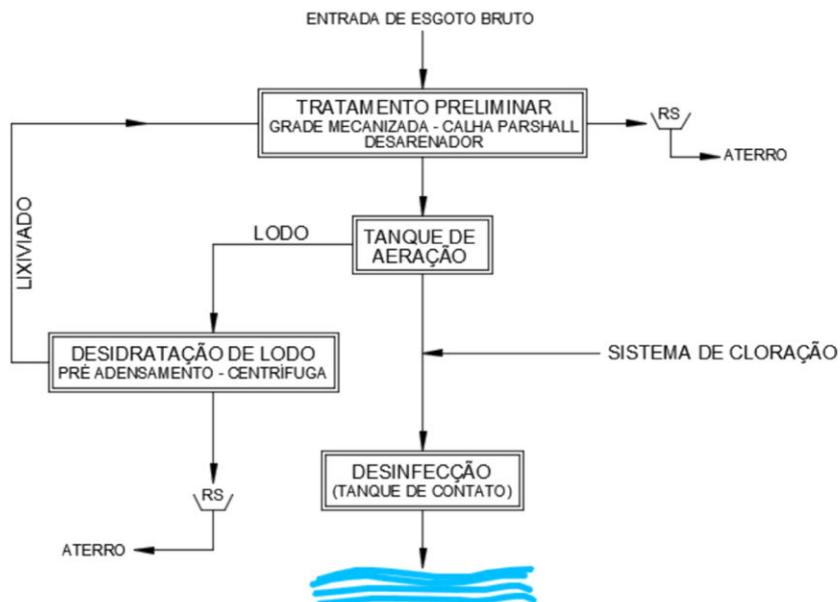


Figura 6: Fluxograma de processo de tratamento das ETEs da Baixada Santista. Fonte: SABESP.



Figura 7: Areia acumulada nas unidades das ETEs da Baixada Santista. Fonte: Consórcio Engecorps-SHS, 2018.

A fim de se obter maiores informações e caracterizar esse material, foi solicitado à empresa GEOCORING que realizasse ensaios de granulometria para determinar o tamanho e variação da gramatura das partículas presentes no efluente. A partir desses dados se torna possível identificar soluções para reduzir significativamente a quantidade de areia que chega às estações e facilitar o trabalho dos operadores, além de melhorar a qualidade do efluente tratado que vai para o corpo receptor. O item a seguir traz uma descrição detalhada de como foram realizadas as coletas, os ensaios e os resultados obtidos para cada uma das estações.



3.3. ENSAIOS DE ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DAS ETES DA BAIXADA SANTISTA

Os ensaios de análise granulométrica das ETES da Baixada Santista foram realizados pela subcontratada do Consórcio ENGECORPOS-SHS, a empresa GEOCORING Serviços de Sondagens e Ensaio Geotécnicos LTDA, no período de 25 de julho de 2018 a 20 de setembro de 2018. Ao todo foram coletadas 24 amostras, seguindo os procedimentos previstos na NBR 6457/2016: Amostras de Solo – Preparação de Ensaio de Compactação e Ensaio de Caracterização. A Tabela 5 apresenta dados das amostras coletadas.

Tabela 5 – Identificação e local das amostras coletadas.

NÚMERO DA AMOSTRA	LOCAL DE COLETA	ETE
0190/2018	Tanque de contato	Barigui - Mongaguá
0191/2018	Tanque de aeração	Barigui - Mongaguá
0192/2018	Caçamba de armazenamento da areia retida no tratamento preliminar	Barigui - Mongaguá
0193/2018	Desarenador - tratamento preliminar	P1 - Peruíbe
0194/2018	Tanque de contato	P1 - Peruíbe
0195/2018	Canal, após gradeamento - tratamento preliminar	Casqueiro - Cubatão
0196/2018	Tanque de aeração 04	Guapiranga - Itanhaém
0197/2018	Jusante do gradeamento (antes da calha Parshall) - tratamento preliminar	Guapiranga - Itanhaém
0198/2018	Desarenador - tratamento preliminar	Guapiranga - Itanhaém
0199/2018	Caçamba de armazenamento da areia retida no tratamento preliminar	Guapiranga - Itanhaém
0200/2018	Caçamba de armazenamento da areia retida no tratamento preliminar	Vicente de Carvalho - Guarujá
0201/2018	Caixa de lavagem	Anchieta - Itanhaém
0202/2018	Montante do gradeamento - tratamento preliminar	Anchieta - Itanhaém
0203/2018	Tanque de contato	Centro - Bertioga
0204/2018	Tanque de aeração 04	Centro - Bertioga
0205/2018	Desarenador - tratamento preliminar	Centro - Bertioga
0206/2018	Canal lateral de by-pass - gradeamento	Bichoró - Mongaguá
0207/2018	Tanque de contato	P2 - Peruíbe
0208/2018	Caçamba de armazenamento da areia retida no tratamento preliminar	P2 - Peruíbe
0209/2018	Tanque de contato	Vista Linda - Bertioga
0210/2018	Jusante do gradeamento (antes da calha Parshall) - tratamento preliminar	Vista Linda - Bertioga
0211/2018	Tanque de Aeração (TQ3)	Vista Linda - Bertioga
0212/2018	Montante da Calha Parshall	Bichoró - Mongaguá
0213/2018	Jusante da Calha Parshall	Bichoró - Mongaguá
0214/2018	Tanque de contato	Barigui - Mongaguá
0215/2018	Tanque de contato	Centro - Bertioga
0216/2018	Tanque de aeração	Centro - Bertioga

NÚMERO DA AMOSTRA	LOCAL DE COLETA	ETE
0217/2018	Caçamba de armazenamento da areia retida no tratamento preliminar	P2 - Peruíbe
0218/2018	Tanque de Aeração (TQ3)	Vista Linda - Bertioga

Fonte: Adaptado. Consórcio ENGECORPS-SHS, 2018.

3.3.1. COLETA DA AREIA

A coleta da areia foi realizada pelos próprios operadores da SABESP, sob orientações e tutoria de profissionais do Consórcio e o procedimento de coleta consistiu das seguintes etapas:

- Em cada unidade (tratamento preliminar, tanque de aeração e tanque de contato), foram coletadas aproximadamente 4 kg de areia;
- A areia foi colocada no balde (um balde para cada coleta) e acrescentaram-se cerca de 8 litros de água potável e 50 mL de hipoclorito de sódio, a 12% de concentração;
- Na sequência, a amostra foi homogeneizada e ficou reagindo por aproximadamente 30 minutos. Depois desse período, o sobrenadante foi descartado e a areia despejada em uma lona plástica, que foi armazenada na sala de painéis para secagem;
- Depois de secas, as amostras foram alocadas em sacos plásticos devidamente identificados e entregues à equipe da GEOCORING para realização dos ensaios em laboratório.

A seguir, há um registro fotográfico do procedimento de coleta e preparo das amostras realizadas na ETE Vicente de Carvalho, de Guarujá. O mesmo procedimento foi repetido para todas as outras nove estações.



Figura 8: Etapas do procedimento de coleta e preparo das amostras. Fonte: Consórcio ENGECORPS-SHS, 2018.

Na Figura 8 é possível identificar os procedimentos como: (a) Areia coletada pelo operador na caçamba do desarenador; (b) Aplicação de hipoclorito de sódio para desinfecção da areia; (c) Aspecto da areia após a aplicação do hipoclorito de sódio, indo para descanso de 30 minutos; (d) Descarte do sobrenadante após o descanso; (e) Despejo da areia em lona plástica para secagem na sala de painéis; (f) areia espalhada aguardando a secagem.

3.3.2. ENSAIO DE ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Os ensaios de granulometria foram realizados segundo as recomendações e procedimentos descritos na NBR 7181/2016: Solo – Análise Granulométrica. O procedimento seguido é descrito a seguir.

- As quantidades das amostras foram tomadas, preparadas de acordo com a NBR 6457 e suas massas secas foram medidas;
- O material foi passado na peneira de abertura 2,0 mm, tomando-se a precaução de desmanchar os torrões eventualmente existentes;
- O material retido nessa peneira foi lavado e seco em estufa a 105°C/110°C, até constância da massa. Em seguida, foi submetido a um peneiramento grosso.

Peneiramento grosso:

Pesagem do material retido na peneira de 2,0 mm. Com o auxílio de um agitador mecânico, passou-se o material nas peneiras de 50 mm; 38 mm; 25 mm; 19 mm; 9,5 mm e 4,8 mm. A quantidade de massa retida acumulada em cada peneira foi anotada.

Peneiramento fino:

Do material passante da peneira 2,0 mm foram lavados cerca de 120 g na peneira de abertura 0,075 mm. Na sequência, o material retido foi seco em estufa de 105°C a 110°C, até constância da massa e, com o auxílio de um agitador mecânico, o material foi passado nas peneiras de abertura 1,2 mm; 0,6 mm; 0,42 mm; 0,25 mm; 0,15 mm e 0,075 mm. As massas retidas acumuladas de cada peneira foram anotadas, com resolução de 0,01 g.

4. RESULTADOS OBTIDOS

Durante a etapa de peneiramento, observou-se que o material tem comportamento friável, ou seja, os grãos se quebram facilmente quando submetidos a energia. Além disso, muitas amostras apresentaram elevado teor de matéria orgânica, identificadas pelo odor característico e materiais presentes.

Não foram realizados ensaios de sedimentação, uma vez que, nos resultados obtidos, não se observou valores maiores que 5% passando na peneira #200 (0,074 mm).

Ressalta-se ainda que as seguintes amostras não foram ensaiadas:

- Amostra 0199/2018 – Caçamba de armazenamento de areia retida no tratamento preliminar – ETE Guapiranga - Itanhaém;
- Amostra 0207/2018 – Tanque de Contato – ETE P2 – Peruíbe;
- Amostra 0196/2018 – Tanque de aeração 04 – ETE Guapiranga;
- Amostra 0209/2018 – Tanque de Contato – ETE Vista Linda – Bertioga.

As duas primeiras amostras foram descartas por apresentarem material particulado de baixa densidade, que flutua na água. Assim, a metodologia empregada não permitia a melhor definição de curva granulométrica. Já as duas últimas apresentavam elevado teor de matéria orgânica. A Figura 9 apresenta uma imagem das amostras descartadas.

Foram ensaiadas as amostras 0190/2018 a 0213/2018 e os resultados granulométricos fornecidos pela GEOCORING foram separados em três setores distintos, de acordo com o local de coleta da areia: Tratamento Preliminar (amostras coletadas nas unidades de gradeamento e desarenadores), Tanque de Aeração (amostras provenientes dos reatores biológicos) e Tanque de Contato. Os resultados da amostra 0200/2018 foram

descartados, por não se enquadrar em nenhum local dos setores estabelecidos. Estabeleceu-se então, uma curva granulométrica média para cada setor, englobando todas as ETEs. A Figura 10 apresenta os resultados em forma gráfica.



Figura 9: Amostras descartadas. Fonte: Consórcio ENGECORPS-SHS, 2018.

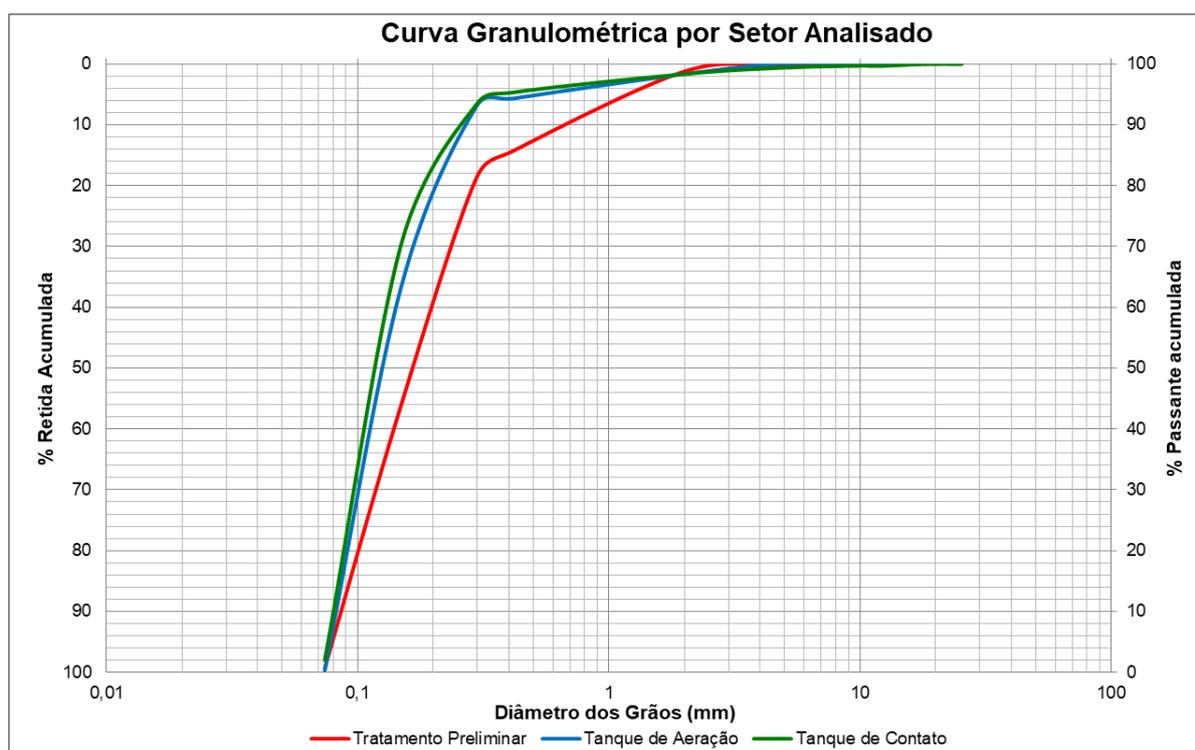


Figura 10: Curva granulométrica média por setores analisados. Fonte: Elaboração dos autores.

É possível notar que as curvas apresentam comportamento semelhante e a maior parcela dos resíduos ficou retida entre as peneiras 0,149 mm e 0,074 mm de abertura. Para refinar a caracterização da areia, foram realizados novos ensaios de granulometria para 5 amostras com a utilização da peneira #140 (0,105 mm de abertura), não prevista no ensaio descrito em norma. Assim, as amostras 0214/2018 a 0218/2018 foram utilizadas para esse propósito, utilizando as peneiras de abertura 3/4", 1/2", 3/8", #4, #10, #40, #50, #100, #140 e #200. Os resultados desses ensaios estão sintetizados na Tabela 6.

Tabela 6 – Resultados dos ensaios de granulometria para 5 amostras

Amostras	Porcentagem retida (%) nas aberturas das peneiras em mm									
	25,4	19,0	12,4	9,5	2,0	0,42	0,297	0,149	0,100	0,074
0214/18	0,0	0,0	1,0	2,0	3,9	6,5	7,8	29,2	43,7	5,8
021518	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	1,0	7,8	74,1	15,0
0216/18	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	3,0	4,8	21,0	60,4	9,7
0217/18	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	5,9	6,4	24,0	50,6	10,9
0218/18	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	12,6	33,3	37,9	6,1
Média	0,0	0,0	0,4	0,4	1,4	5,3	6,5	23,0	53,3	9,5

Fonte: Elaboração dos autores.

Os dados da Tabela 6 foram organizados de forma gráfica e a Figura 10 apresenta a visualização desses resultados.

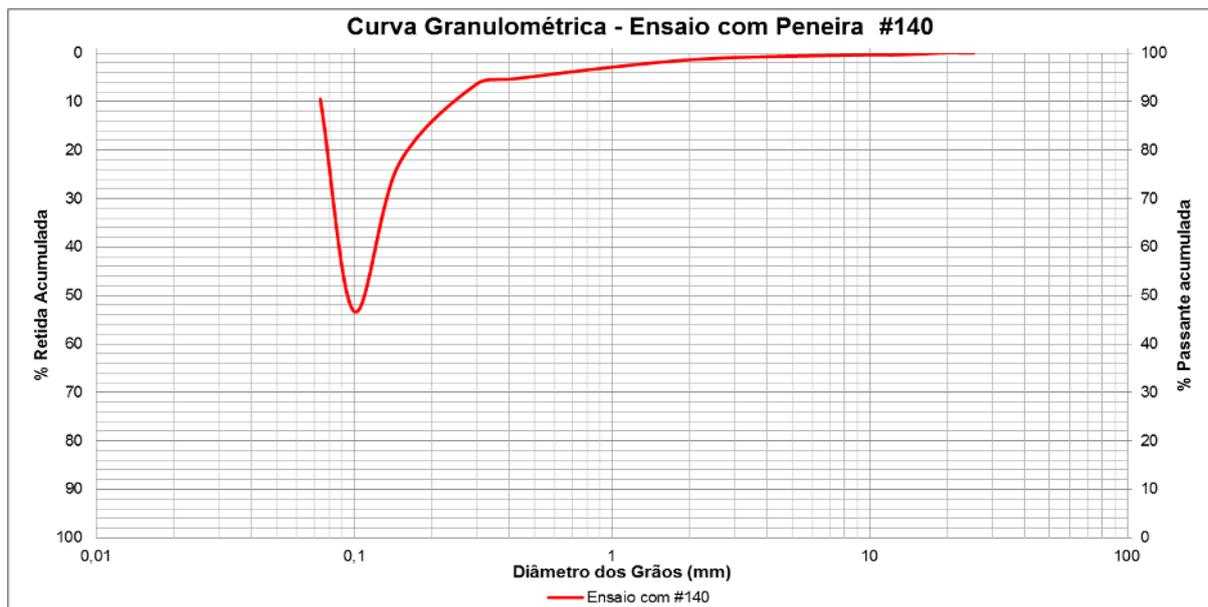


Figura 10: Curva granulométrica média referente aos ensaios com a peneira #140. Fonte: Elaboração do próprio autor.

De acordo com os dados da Tabela 6 e da Figura 11, verificou-se que a maior parte da areia avaliada apresenta diâmetro de 0,10 mm (média de 53,3% ficaram retidos na peneira de 0,10 mm). De acordo com o estudo realizado Tomiello (2008) para ETE 02 Sul de Maringá-PR, a maior parte dos resíduos ficou retida na peneira com abertura de 0,600 mm, seguida da peneira de abertura de 2,4 mm. Portanto, constatou-se que a areia retida nas unidades de tratamento das ETES da Baixada Santista é mais finas.

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados permitem concluir que, de fato, o material afluente às ETES apresenta grande parte das partículas com diâmetro menor do que aquele utilizado como parâmetro para dimensionamento das unidades de desarenação, de 0,2 mm, o que implica diretamente no mau funcionamento dos desarenadores, gênese de complicações de operação e efetividade do sistema de tratamento. Além disso, os operadores afirmam que com as chuvas, a quantidade de areia incorporada ao esgoto aumenta, indicando possíveis ligações pluviais clandestinas na rede coletora de esgoto.

Uma maneira de reduzir o problema seria aumentar a capacidade do sistema de desarenação, com a implantação de mais unidades de remoção de areia, como caixas de areia ou outras tecnologias. Como a maior parte das estações avaliadas têm instaladas caixas de areia do tipo quadrada, geralmente em pares (2 unidades), a instalação de mais uma ou duas caixas similares às existentes pode garantir uma retenção maior das partículas, já que a taxa de aplicação superficial será reduzida. Atualmente a norma prevê que os desarenadores apresentem taxa entre 600 e 1.300 m³/m².dia para remoção de partículas superiores a 0,2 mm. A

construção de novas unidades de caixa de areia garante taxas menores que 600 m³/m².dia, que reteria partículas de dimensão inferiores a 0,2 mm. Além disso, com um maior número de unidades de desarenação implantadas é possível gerar uma flexibilização da operação, e esgotar unidades cheias de areia para limpeza sem prejudicar a eficiência das ETEs. Porém, por questões espaciais, como disponibilidade limitada de área para a construção de outras caixas, ou dificuldade de se fazer a interligação entre os sistemas existentes e novos, essa solução pode se tornar inviável.

Devido à dificuldade em retirar partículas mais finas (entre 100 e 200 micra), o que também pode levar a deposição conjunta de matéria orgânica particulada, foram consideradas outras tecnologias de remoção de areia, além da caixa quadrada, como caixa de areia aerada e os desarenadores do tipo vórtice.

Tendo em vista a operação mais complexa e maior custo operacional das caixas de areia aeradas e desarenadores do tipo vórtice, optou-se por manter a caixa de areia quadrada. Na Tabela 7 são apresentadas as principais vantagens e desvantagens das soluções aventadas.

Tabela 7 – Comparativo – Alternativas Desarenador

	CAIXA DE AREIA TIPO “VORTEX”	CAIXA DE AREIA AERADA	CAIXA DE AREIA QUADRADA
VANTAGENS	<ul style="list-style-type: none"> • Requer pouco espaço; • Pequena perda de carga; • Alta eficiência na remoção de areia, inclusive de granulometria mais simples; • Partes mecânicas submersas não necessitam de manutenção; 	<ul style="list-style-type: none"> • Comporta grandes variedades de vazão; • Pequena perda de carga ao longo do tanque; • Baixo teor de matéria orgânica putrescível da areia removida; • As condições sépticas podem ser eliminadas ou reduzidas pela pré-aeração, garantindo melhor desempenho das unidades subsequentes; 	<ul style="list-style-type: none"> • Pequena perda de carga; • Mecanismo de limpeza de operação simples, contínua e de fácil manutenção; • Mecanismos de acionamento e rolamento acima do nível d’água; • Braços raspadores simples e robustos; • Não há necessidade de controlar o escoamento;
DESvantagens	<ul style="list-style-type: none"> • Fornecedores do equipamento detêm o projeto desta unidade; • Nas unidades providas de agitadores pode ocorrer acúmulo de trapos nas hélices; • Problema com compactação da areia retida, o que requer equipamentos de alta pressão para ressuspensão e remoção da areia 	<ul style="list-style-type: none"> • Maior consumo de energia elétrica; • Maior custo de investimento; • Maior complexidade operacional e maior demanda de manutenção, devido ao sistema de aeração; 	<ul style="list-style-type: none"> • Ocupa área maior, comparado às demais alternativas; • Pode ocorrer deposição de matéria orgânica junto com areia. Neste caso, faz-se necessário instalar lavador de areia; • Em unidades rasas, o raspador de fundo pode provocar perda de sólidos

Fonte: Jordão e Pessôa (2009); Prado (2006) APUD Water Environment Federation (1998).

Outra maneira de amenizar a problemática da areia é prever dispositivos que facilitem a limpeza da areia acumulada nas unidades a jusante dos desarenadores. No caso das ETEs em questão, foram previstos meios dos operadores adentrarem nos reatores biológicos, como instalação de escada marinheiro com guarda corpos e bocas de inspeção com diâmetro de 1.000 mm, além de bags de mantas geotêxteis capazes de receber e desaguar a areia, a fim de torná-la própria para disposição em aterro, sem contaminar o entorno.

O bag proporcionará a filtração do efluente e retenção dos sólidos com sua considerável redução do teor de umidade e consequente redução de volume. O líquido será enviado por gravidade para elevatória de recirculação da ETE.

Verificou-se também o potencial de utilização desse material para emprego em concreto. A Tabela 8 apresenta os dados de diâmetro máximo característico e módulo de finura médios para os setores em estudo. Esses

parâmetros são utilizados para se definir a granulometria de agregados miúdos e graúdos, de acordo com a NBR 7211/2005 – Agregados para concreto.

Tabela 8 – Diâmetros máximos característicos e módulos de finura médios das amostras analisadas.

PARÂMETRO	TRATAMENTO PRELIMINAR	TANQUE DE AERAÇÃO	TANQUE DE CONTATO
Diâmetro Máximo Característico (mm)	2,0	2,0	2,0
Módulo de Finura (mm)	1,57	1,38	1,31

Fonte: Elaboração dos autores.

De acordo com a norma NBR 7211/2009 - Agregados para concreto – Especificações, a distribuição granulométrica deve atender aos seguintes limites: o módulo de finura da zona utilizável inferior deve estar compreendido entre 1,55 e 2,50; sendo o intervalo de 2,20 a 2,90 considerado como zona ótima de utilização. Os resultados obtidos demonstram que não é possível a utilização do material acumulados nas ETEs como agregado miúdo, uma vez que o máximo valor encontrado para o módulo de finura das amostras analisadas foi de 1,57 mm, valor inferior ao encontrado no estudo de Borges (2014), em que o módulo de finura da areia retido no desarenador da ETE Monjolinho foi de 2,15 mm.

Por último, aponta-se como solução melhorar a operação do sistema como um todo, através da programação e realização de manutenções preventivas e corretivas tanto nas unidades como nos equipamentos e nas redes coletoras, para impedir que ligações clandestinas afluam às ETEs.

Como considerações finais, reforça-se a urgência no desenvolvimento de novas pesquisas voltadas a esse assunto, cuja importância se transmite em economias operacionais e incremento significativo da qualidade do efluente tratado e alerta-se sobre a necessidade de reavaliar e desenvolver tecnologias capazes de quantificar a capacidade de remoção do material retido nos desarenadores, e, por fim, enfatiza-se a importância de conhecer e caracterizar os resíduos que afluem às Estações de Tratamento de Esgoto, pois só assim será capaz de melhorar o tratamento de esgoto e, por consequência, a qualidade dos corpos receptores e de todo o entorno diretamente afetado pelo lançamento dos efluentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457: Amostras de Solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização – Método de Ensaio. Rio de Janeiro. 2016.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181: Solo – Análise Granulométrica. Rio de Janeiro. 2016.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro. 2009.
4. BORGES, N. B. Aproveitamento dos resíduos gerados no tratamento preliminar de estações de tratamento de esgoto. São Carlos, 2014. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Hidráulica e Saneamento – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2014.
5. JORDÃO, E. P., PESSÔA, C. A. Tratamento de esgotos domésticos. 4 ed. Rio de Janeiro: SEGRAC, 2005. 932 p.
6. METCALF, EDDY. Tradução: Ivanildo Hespagnol, José Carlos Mierzwa. Tratamento de efluentes e recuperação de recursos – 5. ed. – Porto Alegre: AMGH, 2016. xxvii, 1980 p.
7. PRADO, G. S. Concepção e estudo de uma unidade compacta para tratamento preliminar de esgoto sanitário composta por separador hidrodinâmico por vórtice e grade fina de fluxo tangencial. São Carlos, 2006. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, 2006.
8. PRADO, G.S., CAMPOS, J.R. *O emprego da análise de imagem na determinação da distribuição de tamanho de partículas da areia presente no esgoto sanitário. Eng. Sanit. Ambient.* v. 14, n. 3. Jul/set 2009.
9. SABESP. Tratamento Preliminar (gradeamento, desarenadores, medição de vazão e coleta de amostra de efluentes, etc. 1ª Oficina de trabalho sobre operação de tratamento de esgotos sanitários da câmara temática de tratamento de esgotos da ABES.

10. SILVA, M.F., CARVALHO, E. H. Otimização do tratamento preliminar da ETE-Goiânia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24., 2007, Belo Horizonte. Anais...Belo Horizonte: ABES. 2007.
11. TOMIELLO, E. C. Análise dos resíduos sólidos de desarenador do tratamento preliminar de esgotos sanitários da Cidade de Maringá – PR. Maringá – PR. 2008. Dissertação de Mestrado em Engenharia Urbana. Universidade Estadual de Maringá, 2008.
12. WATER ENVIRONMENT FEDERATION. Design of municipal wastewater treatment plants. Water Environment Federation of practice, n. 8, 4ed. V2. Alexandria, USA: Water Environment Federation and American Society of Civil Engineers, 1998.
13. WILSON, G. E. *Is There Grit in Your Sludge?* *Civil Engineering Magazine*, v.55, n.4, p-61-63. Apr. 1985.