Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Centro de Tecnologia e Ciências
Faculdade de Engenharia

Cleonice Lucia Barbosa Mattos da Cruz

Estudo sobre a viabilidade de incorporação do lodo de estação de tratamento de água no substrato para produção de espécies nativas da Mata Atlântica (Brasil)

Rio de Janeiro
2018

Cleonice Lucia Barbosa Mattos da Cruz

Estudo sobre a viabilidade de incorporação do lodo de estação de tratamento de água no substrato para produção de espécies nativas da Mata Atlântica (Brasil)

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Saneamento Ambiental - Controle da Poluição Urbana e Industrial - Eixo Tratamento e Disposição de Resíduos Sólidos.

Orientadora: Profa. D.Sc. Elisabeth Ritter

Coorientadora: Profa.D.Sc. Ana Silvia Pereira Santos

Rio de Janeiro

2018

CATALOGAÇÃO NA FONTE

UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

C957 Cruz, Cleonice Lucia Barbosa Mattos da Cruz.
Estudo da viabilidade de incorporação do lodo de estação de tratamento de água no substrato para produção de espécies nativas da Mata Atlântica (Brasil) / Cleonice Lucia Barbosa Mattos da Cruz. – 2018.
135f.

Orientadores: Elisabeth Ritter.
Coorientadora: Ana Silvia Pereira Santos.
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia ambiental - Teses. 2. Lodo residual como fertilizante - Teses. 3. Água - Purificação - Tratamento biológico - Teses. 4. Fertilização de plantas - Teses. 5. Mata atlântica - Teses. I. Ritter, Elisabeth. II. Santos, Ana Silvia Pereira dos. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia. IV. Título.

CDU 581.16: 628.355

Bibliotecária: Júlia Vieira – CRB7/6022

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese, desde que citada a fonte.

Assinatura

RJ, 23/08/2018.
Data

Cleonice Lucia Barbosa Mattos da Cruz

Estudo sobre a viabilidade de incorporação do lodo de estação de tratamento de água no substrato para produção de espécies nativas da Mata Atlântica (Brasil)

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Saneamento Ambiental - Controle da Poluição Urbana e Industrial - Eixo Tratamento e Disposição de Resíduos Sólidos

Aprovada em 23 de agosto de 2018

Banca Examinadora

Elisabeth Ritter.

Profa. D.Sc. Elisabeth Ritter (Orientadora)
Faculdade de Engenharia – UERJ

Profa. D.Sc. Ana Silvia Pereira Santos (Coorientadora)
Faculdade de Engenharia – UERJ

Prof. D. Sc. Marcelo Obraczka
Faculdade de Engenharia – UERJ

Profa. D.Sc. Renata de Oliveira Pereira
Faculdade de Engenharia - UFJF

Rio de Janeiro
2018

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu marido Carlos Eduardo e aos meus filhos Eduardo e Lucia que viveram cada momento, entenderam cada dificuldade e me apoiaram em todas as etapas.

AGRADECIMENTO

Tenho muito a agradecer pela execução deste trabalho. Em primeiro lugar gostaria de agradecer ao meu melhor amigo, meu companheiro, meu marido Carlos Eduardo que me apoiou e apoia incondicionalmente em todas as etapas da minha vida, principalmente neste mestrado. Que me incentivou e não me deixou desistir em nenhum momento. Que me consolou nas horas de tristeza e me mostrou que família briga junto para que os objetivos sejam alcançados. É dele que obtenho forças e segurança para continuar lutando e percorrendo meu sonho.

Agradeço ao meu filho mais velho Eduardo, que com sua sensibilidade me mostra todo dia que o mundo é bonito. Ele, com todo seu carinho, me acolheu, entendeu os momentos de separação e me deu muitos beijos que alimentaram minha alma e me acalentaram nas madrugadas de estudos.

Agradeço a minha filhinha Lucia, que mesmo pequena me mostra todo dia que a força de uma mulher nasce com ela. Ela que entendeu os momentos de separação e de pedido de silêncio. Que com sua alegria me faz ter vontade de seguir. Que com seu olhar e carinho me deu garra para concluir essa etapa.

Agradeço a minha coorientadora Ana Silva que para mim é exemplo de profissional, mãe e mulher. Foi minha parceira em todas as etapas da dissertação. Que com sua forma objetiva e clara, soube me direcionar e exigir de mim o melhor possível. Me ensinou que em uma sala de aula o conteúdo somente não é o importante, mas sim, a forma como ele é passado e principalmente a forma como ele é entendido.

Agradeço a minha orientadora Elisabeth Ritter por ser a pessoa responsável pelo direcionamento da minha carreira desde a época da graduação. Por ter me entendido em um momento difícil, me apoiado e incentivado a não abandonar um sonho. Por me mostrar que a orientação não é meramente uma atividade formal e que o lado pessoal e emocional é o diferencial para o sucesso.

Agradeço a instituição UERJ e todos seus docentes que de alguma forma me ajudaram na conclusão deste curso. Essa instituição e profissionais, que mesmo sofrendo pressão deste "governo" que tenta desmobiliza-los e desmotivá-los, abraçam seus alunos com tanto carinho e dedicação. Aqui incluo todos os professores do PEAMB e a secretária Elaine que auxiliam os alunos de mestrado.

Agradeço ao Engenheiro Alan Abreu pelos direcionamentos no experimento e por estar sempre disposto a me ajudar e sanar minhas dúvidas.

Agradeço a toda a Equipe do Replantando Vida, principalmente a equipe do Viveiro de Magé que me ajudou veemente na montagem do experimento e ao longo das medições. Deixo aqui meu agradecimento especial em memória do Sr. Carlinhos que muito me auxiliou no início do experimento, mas que infelizmente não pode presenciar o trabalho sendo concluído.

Agradeço ao chefe de departamento da Gerência Metropolitana Leste da CEDAE José Valter e toda sua equipe, principalemte os operadores da ETA Porto das Caixas que me auxiliou nas visitas de campo a estação.

Agradeço a Engenheira Sabrina Norris por estar do meu lado incansavelmente durante todo experimento executado.E que foi meu braço direito e esquerdo nesta etapa.

Agradeço ao Engenheiro Paulo Eduardo Aragon pelo apoio em algumas etapas da dissertação e por estar sempre disposto a me ajudar.

Agradeço a equipe do Laboratório de Mecânica dos Solos da UERJ pelo auxílio na execução dos ensaios físicos.

Agradeço a equipe do Laboratório de Qualidade de Água da CEDAE pelo auxílio na execução dos ensaios químicos.

Agradeço aos meus chefes Nélio Rodrigues e Paulo Henrique pelo incentivo, compreensão e apoio, principalmente nesta etapa final.

Agradeço a equipe da Assessoria de Gestão Ambiental da CEDAE que sempre me incentivaram., principalmente aos estagiários que fizeram parte e colocaram a “mão na massa” para que esse experimento fosse concluído.

Agradeço ao amigo João Viera por todas as conversas e orientações durante nosso café da tarde. Por ter despertado em mim a vontade de passar a diante meus conhecimentos.

Agradeço aos amigos da vida, aos colegas de mestrado e aos colegas da CEDAE, pelo companheirismo e apoio.

Agradeço a amiga Francine Portela por sempre me emprestar seu ombro e me motivar a ir adiante.

Agradeço a minha família, base da minha vida e aos meus sogros Terezinha e José Carlos pelos incentivos.

Agradeço a minha irmã Cleide por ter cuidado de mim na época que mais precisei.

Agradeço a minha irmã Cleone e ao meu cunhado Silvio por sempre me ajudarem nos momentos difíceis.

Agradeço a minha irmã Cleny e ao meu cunhado Carlos por cuidarem dos meus filhos com tanto amor como se fossem deles.

Agradeço aos meus sobrinhos, Tainara e Júlio pelo apoio. Nane, Hannah e Cadu por estar sempre torcendo por mim. Sylvia pelo carinho e por entender que é o estudo a base para nossas conquistas. Juninho por todo carinho e afeto que demostrou desde o seu nascimento. E Rafaela por essa sobrinha parceira que cuida dos meus filhos como amor de uma irmã mais velha.

E por último, mas não menos importante agradeço a minha mãe, mulher guerreira que mesmo sem instrução soube me encaminhar na direção dos estudos. Meu exemplo de força, perseverança e amor.

Sonho que sonha só é só um sonho que sonha só, mas sonho que se sonha junto é realidade.

Raul Seixas

RESUMO

CRUZ, C. L. B. M. da. *Estudo sobre a viabilidade de incorporação do lodo de estação de tratamento de água no substrato para produção de espécies nativas da Mata Atlântica (Brasil)*. 2018. 135f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

O lodo é o principal resíduo de uma estação e tratamento de água (ETA) e sua destinação inadequada pode acarretar danos à saúde humana e ao meio ambiente. Diversas alternativas de disposição do lodo de ETA podem ser empregadas e principalmente alternativas que permitam a valorização de resíduos como matéria-prima. Neste trabalho foi avaliada a incorporação do lodo de ETA no substrato para produção de mudas de espécies nativas da Mata Atlântica. O lodo utilizado no experimento é proveniente da ETA Porto das Caixas, localizada no município de Itaboraí/RJ. Já o viveiro florestal localiza-se no município de Magé/RJ e ambos são operados pela Companhia Estadual de Águas e Esgotos (CEDAE). Foram utilizadas as espécies *Schinus terenbinthifolius* (Aroeira Pimenteira) e *Pterocarpus violaceus* (Aldrago). Atualmente o viveiro utiliza no substrato 50% de lodo proveniente de estação de tratamento de esgoto (ETE) e 50% de um solo adquirido comercialmente. O objetivo do presente trabalho foi a substituição do solo comercial pelo lodo de ETA. Para isso foram produzidos percentuais de lodo de ETA com percentuais de lodo de ETE. O primeiro traço, traço testemunho (T1), corresponde ao utilizado no viveiro, os demais possuem as seguintes composições: T2 com 100% de lodo de ETA, T3 com 75% de lodo de ETA e 25% de lodo de ETE, T4 com 50% de lodo de ETA e 50% lodo de ETE, T5 com 25% de lodo de ETA e 75% lodo de ETE e T6 com 100% lodo de ETE. Algumas análises foram realizadas para verificação da possibilidade de incorporação do lodo da ETA. Analisando os resultados verificou-se que é possível incorporar o lodo de ETA para produção de mudas, porém a composição do traço é primordial para a utilização. O traço que apresentou melhores resultados foi o traço T5, pois foi o único que alcançou 100% de sobrevivência e maiores taxas de crescimento em relação à altura e ao diâmetro do coleto, assim como o maior Índice de Qualidade de Dickson (IQD). Um fator limitante verificado para o uso do lodo em produção de mudas é o teor de umidade que está diretamente relacionado à quantidade de lodo de ETA incorporado ao traço. Quanto maior o teor de umidade mais difícil é a trabalhabilidade dos traços, o que afeta a produção nos viveiros florestais. Foi verificado que os traços com maior porcentagem e lodo de ETA não possuem nutrientes suficientes para a produção das mudas, visto que as concentrações de nutrientes como Cálcio e Fósforo necessários para crescimento das mudas, ficaram abaixo das concentrações encontradas no lodo de ETE. Em relação aos benefícios econômico e ambiental, verificou-se que é possível evitar o uso anual de aproximadamente 7.500 m^3 de solo, gerando uma economia na compra desse material de aproximadamente R$ 432 mil reais ao ano. Considerando o volume de lodo de ETA que deixaria de ser disposto em aterro sanitário, seria possível obter uma economia anual acima de R$ 290 mil. Assim, de maneira global, a economia anual para a produção de mudas atualmente poderia ser superior a R$ 720 mil reais. Desta forma o trabalho contribui com uma importante ferramenta de gestão do lodo gerado em estações de tratamento de água, que até os dias atuais ainda apresenta deficiência na destinação ambientalmente adequada.

Palavras-chave: Lodo de estação de tratamento de água; Produção de mudas florestais; Uso benéfico de resíduos sólidos.

ABSTRACT

CRUZ, C.L.B.M. da. *Study on viability of incorporating the water treatment plant sludge in the substrate for the production of native species of the Atlantic Forest (Brazil)*. 2018. 135f. Dissertation (Masters in Environmental Engineering) - Faculty of Engineering, Rio de Janeiro State University, Rio de Janeiro, 2018.

The main method of a water treatment plant (WTP) and its inadequate disposal can cause damage to human health and the environment. The different alternatives of disposal of WTP can be employed and mainly alternatives that can be valued as raw material. This study was evaluated the incorporation of the WTP in substrate to production of seedlings of species natives of Atlantic Forest. The sludge used in the experiment comes from WTP Porto das Caixas, located in the municipality of Itaboraí / RJ. The nursery is located in the municipality of Magé / RJ and both are operated by the State Water and Sewage Company (CEDAE). The species *Schinus terenbinthifolius* (Aroeira Pimenteira) and *Pterocarpus violaceus* (Aldrago) were used. Currently, the nursery uses 50% of the sludge from the sewage treatment plant (WTS) and 50% of a commercially purchased soil in the substrate. The objective of this work was to replace the commercial soil with WTP sludge. For this, percentages of WTP sludge with percentages of WTS sludge were produced. The first trace, trace testimony (T1), corresponds to that used in the nursery, the others have the following compositions: T2 with 100% of WTP sludge, T3 with 75% of WTP sludge and 25% of WTS sludge, T4 with 50% of WTP sludge and 50% of WTS sludge, T5 with 25% of WTP sludge and 75% of WTS and T6 sludge with 100% WTS sludge. Some analyzes were carried out to verify the possibility of incorporation of WTP sludge. Analyzing the results it was verified that it is possible to incorporate WTP sludge for seedling production, but the composition of the trace is primordial for the use. The trace that presented the best results was the T5 trace, as it was the only trace that achieved 100% survival and higher growth rates in relation to the height and collection diameter, as well as the higher Dickson Quality Index (DQI). A limiting factor verified for the use of sludge in seedling production is the moisture content that is directly related to the amount of WTP sludge incorporated into the trace. The higher the moisture content the more difficult is the workability of the traces, which affects the production in the forest nurseries. It was verified that the traces with higher percentage and WTP sludge do not have enough nutrients for the seedlings production, since the concentrations of nutrients such as Calcium and Phosphorus needed for seedling growth were below the concentrations found in the WTS. About the economic and environmental benefits, it was verified that it is possible to avoid the annual use of approximately 7,500 m3 of soil, generating an economy in the purchase of this material of approximately R$ 432 thousand a year. Considering the volume of WPA sludge that would no longer be disposed of in a sanitary landfill, it would be possible to obtain annual savings of over R$ 290,000. Thus, overall, the annual savings for seedlings production could currently exceed R $ 720 thousand. In this way the work contributes with an important tool of management of the sludge generated in water treatment plants, that until the present day still presents deficiency in the environmentally adequate destination.

Keywords: Sludge from water treatment plant; Production of forest seedlings; Beneficial use of solid waste.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 - Unidades de um típico sistema de abastecimento de água 21
Figura 2 - Diagrama Esquemático do sistema de abastecimento de água Imunana/Laranjal... 22
Figura 3 - Diferença visual da qualidade da água captada em um manancial situado em uma bacia preservada e um manancial situado em uma bacia degradada 25
Figura 4 - Fluxograma da parte líquida de uma Estação de Tratamento de Água 27
Figura 5 - Ponto de adição do coagulante na Calha Parshal 28
Figura 6 - Floculador hidráulico por Chicana 29
Figura 7 - Decantador de alta taxa e decantador convencional 30
Figura 8 – Etapa de Filtração 31
Figura 9 - Sistema de desinfecção por pastilhas de Hipoclorito de Cálcio 32
Figura 10 - Fluxograma de entrada dos produtos químicos e saída dos resíduos nas etapas de tratamento 34
Figura 11 - Tipos de decantadores e forma de remoção do lodo 37
Figura 12 - Diagrama da produção de lodo de ETA em alguns países no ano 2000 38
Figura 13 - Exemplo de curva granulométrica 40
Figura 14 - Distribuição da água no lodo de ETA 45
Figura 15 - Fluxograma de parte líquida e da parte sólida de uma ETA convencional 46
Figura 16 - Destinação final dos lodos de ETAs. no Brasil 47
Figura 17 - Ordem de prioridade do gerenciamento dos resíduos sólidos segundo a PNRS. .. 49
Figura 18 - Fluxograma de um sistema de esgotamento sanitário 50
Figura 19 - Esquema geral do experimento 56
Figura 20 - Localização da ETA Porto das Caixas no município de Itaboraí, Região Metropolitana do Rio de Janeiro 57
Figura 21 - Vista da ETA Porto das Caixas 58
Figura 22 - Lodo centrifugado da ETA Porto das Caixas com teor de sólidos a 25% 59
Figura 23 - Vista do viveiro florestal localizado em uma unidade prisional no município de Magé 61
Figura 24 - Árvore da Aroeira Pimenteira e Aldrago 62
Figura 25 - Croqui da área do experimento e a forma de distribuição das mudas no local 64
Figura 26 –Coleta das mudas no berçário do viveiro (continua) 65
Figura 27 – Aspecto dos materiais que compõem os traços 67

Figura 28 - Processo de quantificação dos insumos para o preparo dos traços (continua) 68
Figura 29 - Enchimento dos recipientes das amostras..... 70
Figura 30 - Processo de replicagem das mudas (continua) 72
Figura 31 – Etapas da análise do teor de umidade de campo dos traços..... 76
Figura 32– Textura das amostras de cada traço colocadas para secagem em temperatura ambiente 77
Figura 33 - Etapa do peneiramento da análise de granulometria dos traços (continua)..... 78
Figura 34 - Etapa da sedimentação da análise de granulometria dos traços 80
Figura 35 – Mudas consideradas mortas no experimento 81
Figura 36 - Medição da altura das mudas..... 83
Figura 37 – Separação da parte aérea e da raiz das mudas selecionadas (continua) 85
Figura 38 – Curvas Granulométrica de todos os traços..... 93
Figura 39 - Porcentagem de material presente em cada traço 93
Figura 40 - Consistências dos traços utilizados no experimento (continua) 95
Figura 41 – Taxa de Sobrevivências das Mudas..... 97
Figura 42 - Crescimento das mudas ao longo das medições em relação à altura..... 100
Figura 43 - Crescimento das mudas ao longo das medições em relação ao diâmetro..... 101
Figura 44 - Índice de Qualidade de Dickson dos Traços..... 103

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 - Sistema produtor de água do Estado do Rio de Janeiro 22
Tabela 2 - Índices de abastecimento de água por região brasileira e volume de água tratado em ETA e por simples desinfecção 24
Tabela 3 - Classificação das águas de acordo com o tipo de manancial, os parâmetros característicos e o tratamento mínimo necessário conforme NBR 12.216 de 1992 26
Tabela 4 - Relação da produção de lodo de ETA com o tipo de manancial e a qualidade da água bruta captada 35
Tabela 5 - Características típicas do lodo de sulfato de alumínio 39
Tabela 6 - Limites das frações de solo pelo tamanho dos grãos 41
Tabela 7 - Composição granulométrica do lodo de ETAs estudadas por alguns autores 42
Tabela 8 - Composição química de lodos de ETAs estudados por alguns autores 43
Tabela 9 - Concentração dos sólidos em lodos de águas com baixa turbidez 44
Tabela 10 - Classe do lodo com relação à concentração de agentes patogênicos e a restrição para utilização na agricultura 51
Tabela 11 - Resultados dos ensaios de lixiviação e solubilização do lodo da ETA Porto das Caixas realizado pelo INEA em 2013 60
Tabela 12 - Porcentagem de insumos utilizados em cada traço 68
Tabela 13 - Quantidade de recipientes (14L) utilizados para o preparo de cada traço 70
Tabela 14 - Tempo de enchimento dos recipientes utilizados no experimento 71
Tabela 16 - Resultados das análises químicas dos insumos e nutrientes necessários para o crescimento das mudas 90
Tabela 17 - Teor de Umidade 92
Tabela 18 - Relação entre o tempo de enchimento do recipiente o teor de umidade dos traços 95
Tabela 19 - Taxa de Crescimento em relação a altura (Th) 98
Tabela 20 - Taxa de Crescimento em relação ao diâmetro do coleto (Tcd) 99
Tabela 21 - Volume e Custo evitado de recursos naturais 104
Tabela 22 - Volume e Custo evitado de disposição em aterro 104
Tabela 23 - Custo total evitado 105

LISTAS DE EQUAÇÕES

Equação 1- Tempo de enchimento de cada recipiente utilizado.....71
Equação 2 - Teor de Umidade 74
Equação 3 – Massa do Solo Úmido.....75
Equação 4 – Massa do Solo Seco 75
Equação 5 – Massa da Água.....75
Equação 6 - Taxa de Sobrevivência.....81
Equação 7 - Taxa de crescimento em relação a altura das mudas 82
Equação 8 - Taxa de crescimento em relação ao diâmetro do coleto 82
Equação 9 - Índice de Qualidade de Dickson.....84
Equação 10 – Volume de recurso natural evitado.....87
Equação 11 - Volume evitado na disposição de lodo de ETA do aterro. 87
Equação 12 - Custo evitado pela aquisição de solo comercial;.....88
Equação 13 - Custo evitado na disposição de lodo de ETA em aterro sanitário 88
Equação 14 - Custo Total evitado pela companhia de saneamento.....88

LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
IQD	Índice de Qualidade de Dickson
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
EUA	Estados Unidos da América
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
ERJ	Estado do Rio de Janeiro
RMRJ	Região Metropolitana do Rio de Janeiro
CEDAE	Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro
SNIS	Sistema Nacional de Informação sobre o Saneamento
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
SST	Sólidos em Suspensão Total
MO	Matéria Orgânica
DQO	Demanda Química de Oxigênio
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
COMPERJ	Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro
SES	Sistema de Esgotamento Sanitário
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
LMS	Laboratório de Mecânica dos Solos
UERJ	Universidade do Estado do Rio de Janeiro
IPCA	Índice de Preço Consumidor
EMOP	Empresa de Obras Públicas do Estado do Rio de Janeiro

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO 17
1. OBJETIVOS 19
1.1 Objetivo Geral 19
1.2 Objetivos Específicos 19
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 20
2.1 Lodo do Tratamento de Água 20
2.2 Lodo do Tratamento de Esgoto 49
2.3 Espécies da Mata Atlântica 52
2.4 Programa Replantando Vida 54
3. MATERIAIS E MÉTODOS 55
3.1 Caracterização dos Insumos e da Área em Estudo 56
3.2 Aparato Experimental 63
3.3 Análises dos Experimentos 73
3.4 Avaliação dos Benefícios da Incorporação do Lodo de ETA no Substrato 86
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 89
4.1 Análise Química dos Insumos 89
4.2 Análises Física dos Traços 91
4.3 Trabalhabilidade dos Traços. 94
4.4 Taxa de Sobrevivência 97
4.5 Taxa de Crescimento 98
4.6 Índice da Qualidade de Dickson 102
4.7 Análises dos benefícios da incorporação do lodo de ETA no substrato 103
5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS 106
6. RECOMENDAÇÕES 108
REFERÊNCIAS 109
ANEXO A – RELATÓRIO DE ENSAIO – GELAB N° 1175/13 121
ANEXO B – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DOS TRAÇOS 124

INTRODUÇÃO

O lodo é considerado o principal resíduo de uma estação de tratamento de água (ETA) e sua disposição inadequada pode acarretar sérios danos à saúde humana e ao meio ambiente. Na Europa, milhões de toneladas de lodo de ETA são produzidos ao ano e esse número vem crescendo durante as décadas (BASIBUYUK e KALAT, 2004). Di Bernardo, Dantas e Voltan (2012) afirmam que o problema do lodo de ETA é mundial, e suas características variam de acordo com a localidade que a bacia hidrográfica está inserida e que, as alternativas para sua disposição também podem variar de acordo com o país onde a ETA está localizada. Como por exemplo, tem-se nos países nórdicos e em outros da Europa e América do Norte, o congelamento do lodo é uma alternativa comumente considerada, enquanto, é impensável tal possibilidade em países de clima tropical como no Brasil.

Diversas alternativas de disposição do lodo de ETA podem ser empregadas. Conhecer as características desse resíduo é primordial para propor a melhor destinação, principalmente porque as legislações ambientais estão cada vez mais restritivas em relação à disposição dos resíduos (HSIEH e RAGHU, 2008). Propor as alternativas que permitam a valorização de resíduos como matéria-prima é uma tendência mundial nos dias atuais (POZZOBON, LUCAS E MORA, 2013).

Vários estudos sobre o uso benéfico do lodo de ETA vêm sendo desenvolvidos no mundo. Alguns estados, nos Estados Unidos da América (EUA), já possuem legislações próprias para incentivar o seu reaproveitamento, como por exemplo, o estado do Colorado (EUA), onde o departamento de saúde pública e meio ambiente possui uma legislação que regulamenta esta prática (COLORADO, 2004). O Brasil não possui uma legislação específica para o aproveitamento do lodo, porém apresenta dois aspectos legais importantes que devem ser considerados: i) Lei 12.305 de 2010 que aborda a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e prioriza a reutilização e a reciclagem dos resíduos e a diminuição de envio para o aterro sanitário (BRASIL, 2010); ii) Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente – Resolução CONAMA nº 375 de 2006 que define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos gerados em Estações de Tratamento de Esgotos (ETE) (BRASIL, 2006). O primeiro aborda os resíduos sólidos em geral e faz menção à necessidade de reutilização e reciclagem deste como um todo. Apesar de o segundo abordar o lodo de esgoto, ressalta-se aqui que este tema vem sendo estudado no Brasil e que esta legislação encontra-se em fase de revisão.

No desenvolvimento desse trabalho, observou-se que a maioria das pesquisas sobre o tema visa o estudo da aplicabilidade do lodo de ETA na construção civil como incorporação

na indústria cerâmica e na fabricação de cimento. Segundo Ahmad, Ahmad e Alam (2016), estudos também vem sendo realizados para a sua utilização em recuperação de áreas degradadas e adsorção de nutrientes em solos. Sabe-se ainda da relevância de estudos que visam a utilização de lodo de ETA em áreas agricultáveis. Entretanto, poucos estudos relacionados à incorporação do lodo de ETA na produção de mudas foram encontrados na pesquisa bibliográfica.

De acordo com o cenário exposto e no contexto dos principais danos que o descarte inadequado de resíduo de ETA pode causar no meio ambiente, o presente estudo tem como objetivo analisar a viabilidade de incorporação do lodo de ETA no substrato para a produção de mudas de espécies nativas da Mata Atlântica. O trabalho ainda relaciona a possibilidade da redução do consumo de recursos naturais com o custo da destinação desse resíduo em aterros sanitários.

1. OBJETIVOS

1.1 Objetivo Geral

Avaliar o potencial de incorporação do lodo de tratamento de água, em diferentes traços no substrato (composto com lodo de tratamento de esgoto) para a produção de mudas de espécies nativas da Mata Atlântica.

1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar os parâmetros químicos do lodo de ETA de forma a permitir uma análise sobre a interferência destes no desenvolvimento das mudas em função da sua incorporação no substrato.
- Avaliar as propriedades físicas dos traços utilizados para produção das mudas em relação ao teor de umidade e granulometria.
- Avaliar a trabalhabilidade do lodo de ETA incorporado ao substrato em relação ao enchimento dos recipientes utilizados na produção das mudas, de acordo com o tempo de enchimento e o teor de umidade.
- Avaliar o desenvolvimento das mudas produzidas nos diferentes traços em relação a taxa de sobrevivência, taxa de crescimento, e Índice de Qualidade de Dikcson (IQD).
- Avaliar os benefícios da utilização do lodo de ETA na incorporação dos substratos para produção de mudas, em relação à redução de extração de recursos naturais, aumento da vida útil do aterro sanitário, destinação adequada do resíduo gerado e atendimento aos aspectos legais vigentes.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Lodo do Tratamento de Água

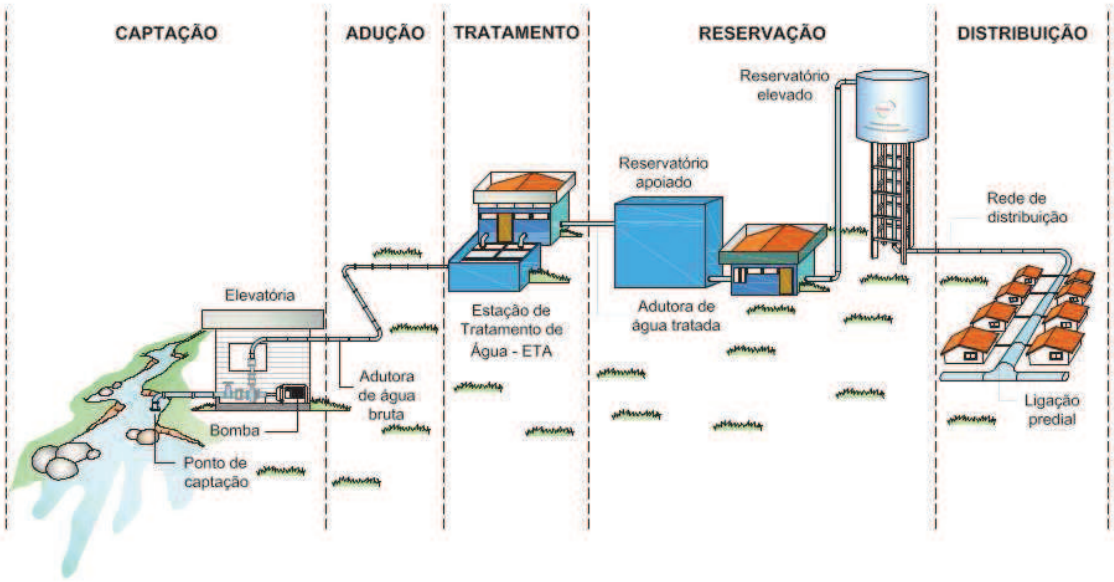
O lodo é o principal resíduo de uma estação De tratamento de água (ETA) que é parte integrante de um sistema de abastecimento de água (SAA) de uma localidade. O lodo é na sua maioria proveniente dos decantadores e em minoria da lavagem dos filtros. A sua composição é de materiais orgânicos e inorgânicos provenientes da água captada e varia de acordo com o uso da bacia hidrográfica na qual o manancial está inserido. Também compõe o lodo, produtos químicos utilizados no tratamento, geralmente sulfato de alumínio adicionado no processo de coagulação, além de cal, polímeros e outros produtos. O lodo de ETA é considerado resíduo sólido, de acordo com a NBR 10004/04 (ABNT, 2004) e por isso deve ser destinado de acordo com as exigências tecnológicas estabelecidas. O descarte do lodo no corpo receptor, além de provocar danos à saúde da população e ao meio ambiente, devido a poluição ou contaminação do corpo hídrico, é considerado crime ambiental de acordo com a Lei 9605/98 (BRASIL, 1998). Para destinar adequadamente o lodo, muitas vezes há a necessidade de redução do teor de umidade, a fim de torná-lo mais sólido e com menor volume. Assim é possível facilitar e diminuir o custo de transporte e de destinação. Existem várias formas de desidratação do lodo e uma delas, adotada na geração do lodo utilizado nesta pesquisa, é a centrifugação. A disposição final de um resíduo sólido, incluindo o lodo de ETA é o aterro sanitário. Porém existem várias formas de reutilizar ou reciclar o lodo de ETA, antes da disposição adequada. Entre eles, pode-se citar a utilização na construção civil, com a incorporação do lodo em blocos cerâmicos e solo-cimento. Também se pode utilizar o lodo como material de cobertura de aterro sanitário, reciclagem de coagulantes, recuperação de áreas degradadas e como substrato no plantio de mudas. A reutilização do lodo é uma prática cada vez mais recorrente nas companhias de saneamento, visto que além da diminuição do custo de destinação final do resíduo, as empresas estão atendendo a Lei 12.305/2010 (BRASIL, 2010) em relação à prioridade do gerenciamento dos resíduos sólidos. Dessa forma, a geração do lodo de ETA em todo o processo do sistema de abastecimento de água, será descrito neste capítulo.

Sistema de Abastecimento de Água

O sistema de abastecimento de água (SAA) caracteriza-se pela retirada da água de um manancial, adequação da qualidade desta água a fim de torná-la portável para consumo

humano e o transporte da água tratada para população. Geralmente o SAA é composto por: manancial, captação, adução, tratamento, reservação, rede de distribuição, estações elevatórias e ramal predial (FUNASA, 2015). Esta estrutura pode variar dependendo da localidade onde sistema será implantado ou até mesmo do tipo de tratamento empregado. A Figura 1 apresenta as unidades de um sistema de abastecimento de água típico.

Figura 1 - Unidades de um típico sistema de abastecimento de água



Fonte: FUNASA, 2015.

Um sistema de produção de água pode ser considerado isolado ou integrado. O sistema isolado atende somente um município e é captado em um único manancial. O integrado é captado em mais de um manancial e pode atender um ou mais municípios. O tipo a ser adotado vai depender da capacidade de abastecimento do manancial e da demanda de consumo da população atendida. Segundo ANA (2010) destaca que nas grandes cidades cerca de 70% dos municípios atendidos são abastecidos predominantemente por manancial superficial. Destes 43% estão ligados ao sistema integrado, representado 80% das demandas de água pela população. No Estado do Rio de Janeiro (ERJ) 67% das sedes urbanas possuem sistema isolado de abastecimento. Já os 33% restantes das sedes que possuem sistema integrado atendem a maioria da população, cerca de 80%, correspondente ao abastecimento da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) e Região dos Lagos. A Tabela 1 apresenta os sistemas produtores do ERJ, informando seus principais mananciais e sedes urbanas atendidas.

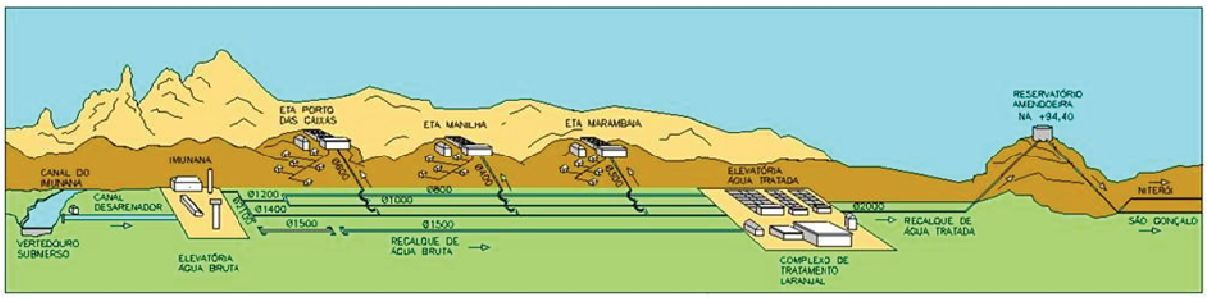
Tabela 1 - Sistema produtor de água do Estado do Rio de Janeiro

Sistema Produtor	Principais Mananciais	Sedes Urbanas Atendidas
Integrado Acari	Nascentes das serras da Bandeira, do Tinguá, do Macuco e do Couto	Belford Roxo, Duque de Caxias, Nova Iguaçu
Integrado Guandu	Rio Paraíba do Sul e Piraí (transposição) e Guandu	Beldord Roxo, Duque de Caxias, Japeri, Mesquita, Nilópolis, Nova Iguaçu, Queimados, Rio de Janeiro, São João de Meriti
Integrado Imunana-Laranjal	Rios Macuco e Guapiaçu	Itaboraí (apenas água bruta), Niterói, Rio de Janeiro (bairro de Ilha de Paquetá), São Gonçalo
Integrado Ribeirão das Lajes	Ribeirão das Lajes, da bacia do rio Piraí	Itaguaí, Japeri, Nova Iguaçu, Paracambi Queimados, Rio de Janeiro, Seropédica
Isolados	Mananciais Superficiais / Mistos	Guapimirim, Magé, Tanguá

Fonte: ANA, 2010.

A Figura 2 apresenta com mais detalhes o diagrama esquemático do SAA Imunana/Laranjal. Este é um sistema integrado operado pela Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro (CEDAE) que abastece os municípios de Niterói, São Gonçalo, Rio de Janeiro (bairro da Ilha de Paquetá) e Itaboraí (água bruta). Itaboraí é a localidade onde está inserido a ETA de estudo deste trabalho, ETA Porto das Caixas.

Figura 2 - Diagrama Esquemático do sistema de abastecimento de água Imunana/Laranjal



Fonte: CEDAE, 2018.

Qualidade da Água

Segundo Richter e Netto (1991), o tratamento a ser adotado para a água após a escolha de um determinado manancial, deverá compreender somente os processos imprescindíveis à obtenção da qualidade que se deseja, com custo mínimo. Para isso a escolha do manancial é de suma importância em um projeto, pois quanto menor a qualidade da água, maior será a necessidade de um tratamento com custos elevados. A Resolução CONAMA nº 357 de 2005 que classifica os corpos hídricos de acordo com seus usos preponderantes, também indica o tipo de tratamento necessário para a água superficial, de acordo com a classe. Esta determina valores para parâmetros de qualidade de água que devem ser obedecidos para o cumprimento do uso. Por exemplo, rios classificados como especial, que possuem uma qualidade da água superior aos demais, necessitam apenas de um tratamento por desinfecção simples. Já corpos hídricos classificados como classes 2 ou 3 necessitam de um tratamento convencional ou até mesmo avançado antes de serem utilizados pela população (Brasil, 2005). Ressalta-se que a Portaria (MS) nº 2.914/2011 que aborda diretrizes e parâmetros de potabilidade de água indica que qualquer água superficial, em contradição com a Resolução CONAMA nº 357/2005, deve passar minimamente por um sistema de filtração antes da desinfecção.

A Tabela 2 demonstra os dados de abastecimento doméstico no Brasil, de acordo com as informações apresentadas no Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento (SNIS) (SNIS, 2018). Ressalta-se que o último Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto do SNIS foi lançado em fevereiro de 2018, com dados relacionados ao ano de 2016. Observa-se assim que naquele ano, mais de 5.000 municípios possuíam sistema de abastecimento de água atendendo uma população de quase 167 milhões de habitantes. Em relação do volume tratado, cerca 13 bilhões de metros cúbicos de água por ano foram tratados em Estações de Tratamento de Água (ETA) e menos de 3 bilhões de metros cúbicos de água por ano foram tratados por desinfecção simples (SNIS, 2018).

Tabela 2 - Índices de abastecimento de água por região brasileira e volume de água tratado em ETA e por simples desinfecção

	Qd. Municípios atendidos com abast de água [município]	Pop. total atendida com abast. de água [habitante]	Volume de água tratado em ETA(s) [1.000 m³/ano]	Vol. tratado por simples desinfecção [1.000 m³/ano]
Norte	361	8.526.856	606.485,08	260.307,18
Nordeste	1.623	39.992.748	2.419.618,58	617.838,11
Sudeste	1.598	78.250.119	7.035.618,16	1.180.203,27
Sul	1.144	26.026.720	1.921.957,43	336.778,63
Centro-Oeste	435	13.815.128	865.221,41	297.030,59
Brasil	**5.161**	**166.611.571**	**12.848.900,66**	**2.692.157,78**

Fonte: SNIS, 2018.

Os padrões de potabilidade fixam valores para os parâmetros da qualidade de uma água para que seja adequada para consumo humano. No Brasil, a portaria que fixa esses padrões atualmente é a Portaria de Consolidação nº 5 de 2017 que consolidou as normas de ações e os serviços de saúde do sistema único de saúde, e entre elas a Portaria nº 2.914 de 2011 que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (BRASIL, 2017). Netto et al. (1998) enfatiza que os processos de tratamento realmente devem atender os padrões de potabilidade exigidos, porém as análises iniciais para elaboração dos projetos nos mananciais de abastecimento devem ocorrer em um período longo de tempo e não somente com uma única análise. Isso porque as características dos mananciais, principalmente os superficiais, podem variar significativamente ou longo do tempo.

O escoamento superficial em períodos chuvosos acaba carreando para os rios partículas e impurezas do solo, o que aumenta a turbidez da água neste período em relação aos dias secos. Este fator se agrava se o manancial não possuir mata ciliar ou mesmo possuir uma mata ciliar pouco densa. O uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica é outra característica que influencia na qualidade da água de um manancial. Os mananciais inseridos nas áreas urbanas das bacias ou localizados a jusante dessas áreas, geralmente são mananciais com a qualidade da água baixa, devido à poluição causada pela cidade ali inserida. E como já visto, a qualidade da água de um manancial é um fator imprescindível para a escolha do tratamento adequado. A Figura 3 apresenta a diferença visível da qualidade da água em relação a um manancial preservado e a de um manancial degradado. Ressalta-se que não necessariamente um manancial com aspecto visual agradável seja de boa qualidade para abastecimento doméstico.

Figura 3 - Diferença visual da qualidade da água captada em um manancial situado em uma bacia preservada e um manancial situado em uma bacia degradada

(a) (b)

Legenda: (a) captação de um manancial preservado por mata ciliar; (b) captação de um manancial degrado.
Fonte: O autor, 2017.

Estação de Tratamento da Água

Pode-se destacar a turbidez como um dos parâmetros mais importantes no dimensionamento de uma estação de tratamento de água. A turbidez decorre da presença de sólidos em suspensão e para Richter (2009) pode ser interpretada como uma medida indireta da quantidade de sólidos em suspensão, o que torna útil para controle do tratamento de água potável. Porém, não é só a turbidez um parâmetro para definir o tratamento mais adequado, diversos outros parâmetros também deveram ser analisados. A NBR nº 12.216 de 1992, que apresenta os procedimentos para elaboração de projeto de ETA, define o tratamento mínimo necessário em relação às características da água bruta superficial ou subterrânea captada a partir de parâmetros como Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), coliformes, pH, cloretos e fluoretos (ABNT, 1992). É importante destacar que essa Norma é antiga, entretanto adotada até os dias atuais. A Tabela 3 resume o tipo de tratamento de água mínimo requerido em função do tipo de água bruta e suas características de acordo com a NBR 12.2016/1992.

Tabela 3 - Classificação das águas de acordo com o tipo de manancial, os parâmetros característicos e o tratamento mínimo necessário conforme NBR 12.216 de 1992

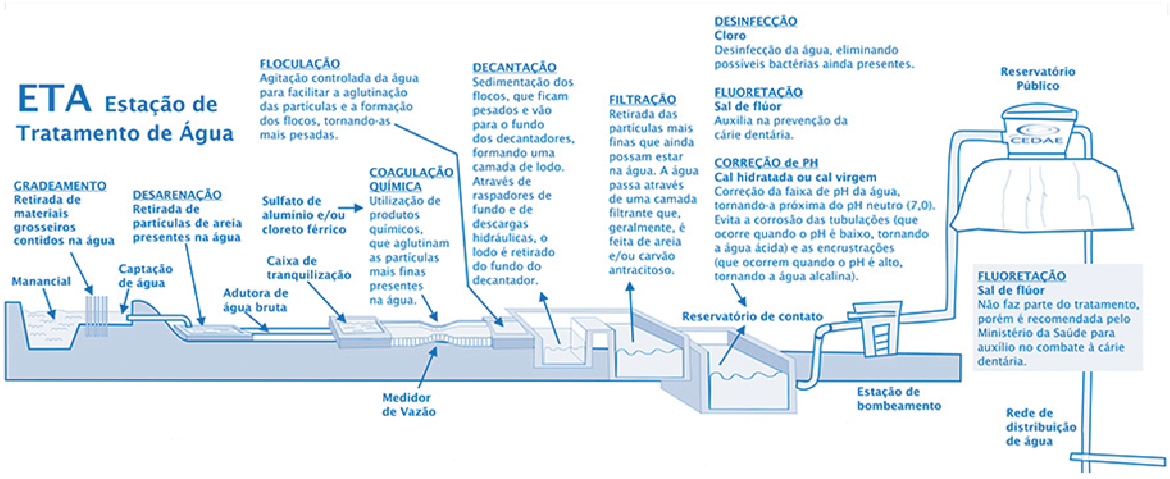
TIPOS	A	B	C	D
		Manancial		
Tipo de Água	superficial ou subterrânea	superficial ou subterrânea	superficial	superficial
Tipo de Bacia	sanitariamente protegidas	não protegidas	não protegidas	não protegidas, sujeito a fonte de poluição
		Parâmetros		
DBO 5 dias, (mg/l)				
média	até 1,5	1,5 – 2,5	2,5 – 4,0	> 4,0
máxima	1 – 3	3 – 4	4 – 6	> 6
Coliformes (NPM/100 ml)*				
média mensal	50 - 100	100 – 5.000	5.000 – 20.000	> 20.000
máximo	> 100 em menos de 5% de amostras	> 5.000 em menos de 20% das amostras	> 20.000 em menos de 5% das amostras	-
pH	5 - 9	5 – 9	5 – 9	3,8 – 10,3
Cloretos	< 50	50 – 250	250 – 600	> 600
Fluoretos	< 1,5	1,5 – 3,0	> 3,0	-
		Tratamento		
Tratamento mínimo necessário	desinfecção e correção de pH	desinfecção e correção de pH e além disso: a) decantação simples b) filtração, precedida ou não de decantação	coagulação, seguida ou não de decantação, filtração, desinfecção e correção de pH	Tratamento mínimo tipo C e tratamento complementar apropriado em cada caso.

* NPM = Número mais provável

Fonte: ABNT, 1992.

Libânio (2010) afirma que a tecnologia de tratamento mais empregada nas cidades brasileiras. O fluxograma da parte líquida de uma ETA convencional de ciclo completo de tratamento compreende das seguintes etapas: i) coagulação; ii) floculação; iii) decantação; iv) filtração; v) desinfecção; e v) correção de pH. Quando necessário se procede com a adição de flúor, recomendado pelo Ministério da Saúde de uma maneira em geral. Porém antes da água bruta ser tratada na ETA muitas vezes há a necessidade de retirada de sólidos grosseiros e material sedimentável, como partículas de areia, que podem prejudicar o processo de tratamento de água, principalmente no bombeamento da água bruta para a ETA. A Figura 4 apresenta o fluxograma da parte líquida de uma ETA desde a captação até a distribuição.

Figura 4 - Fluxograma da parte líquida de uma Estação de Tratamento de Água



Fonte: CEDAE, 2017.

Em seguida serão descritas as etapas envolvidas nos processos de pré-tratamento, tratamento de água de uma ETA convencional e pós-tratamento, segundo Richter (2009) e FUNASA (2015):

Etapas do Pré-Tratamento

Gradeamento e Desarenação

O gradeamento é o processo de retirada de resíduos sólidos grosseiros, presentes na água captada. Após a retirada dos resíduos grosseiros, a água bruta pode apresentar ainda uma grande quantidade de materiais sedimentáveis, que precisam ser retirados do processo. Esses materiais são partículas como areias ou impurezas que possuem peso suficiente para serem depositados ao longo de um canal desarenador. Estes, quando não removidos podem causar abrasão nas tubulações e nos equipamentos.

Etapas do Tratamento de uma ETA de Ciclo Completo

Coagulação

É o processo onde ocorre a desestabilização de suspensão coloidal de partículas sólidas. Essa desestabilização acontece quando é adicionado à água bruta um coagulante, que através de uma reação química, faz com que as partículas tenham mais facilidade para se aglutinar na etapa de floculação. Os coagulantes geralmente utilizados na coagulação são o sulfato de alumínio e o cloreto férrico, sendo o sulfato de alumínio o mais adotado. Para que ocorra a desestabilização, há a necessidade de uma mistura rápida na unidade. Assim, geralmente o coagulante é adicionado na Calha Parshall ou no vertedor, já que este local provoca uma turbulência alta o que propicia a mistura rápida. Na Figura 5 observa-se o ponto de adição do coagulante na Calha Parshall. Dependendo da operação da ETA ou da qualidade da água bruta, muitas ETAs utilizam outros produtos para auxiliar na aglutinação dos flocos, como polímeros por exemplo.

Figura 5 - Ponto de adição do coagulante na Calha Parshal

Fonte: O autor, 2017.

Floculação

É a etapa onde as partículas desestabilizadas se aglutinam formando flocos maiores e mais pesados que facilmente são sedimentados nos decantadores. Os compostos químicos misturados com a água no processo de coagulação possuem cargas elétricas positivas e atraem as impurezas presentes na água, que possuem carga negativa e formam flocos mais pesados que são separados na etapa seguinte. O gradiente de velocidade no floculador é um parâmetro de extrema importância, pois se deve evitar que os flocos quebrem ao se aglutinarem ou que sedimentem antes do processo de decantação. Portanto, neste ambiente, necessita-se de um gradiente de velocidade inferior àquele demandado na etapa de coagulação. Os floculadores podem ser mecanizados (misturadores lentos) ou hidráulico por chicanas. A Figura 6 apresenta um floculador por chicana.

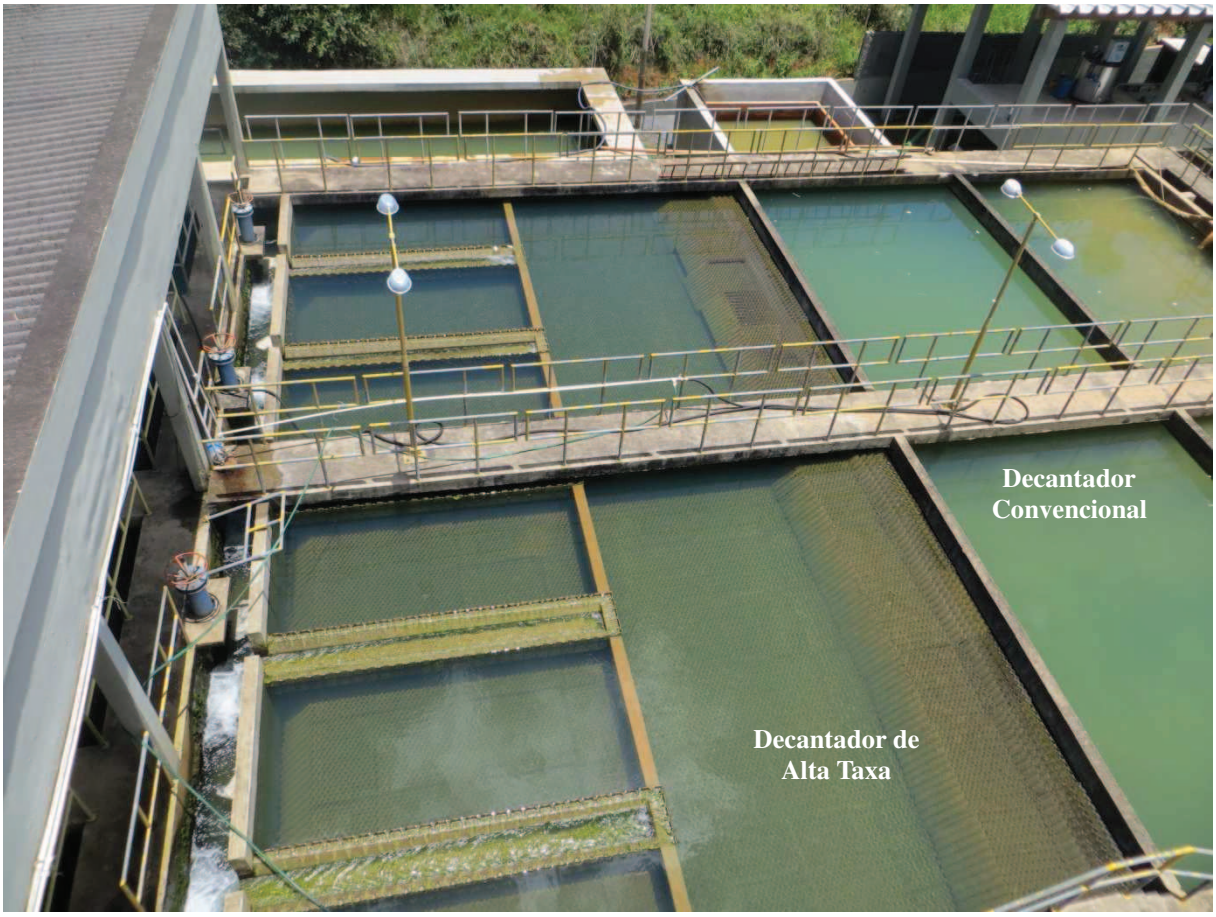
Figura 6 - Floculador hidráulico por Chicana

Fonte: O autor, 2017.

Decantação

Nesta etapa os flocos que se aglutinaram no floculador, se sedimentam devido a diminuição do gradiente de velocidade e formam o lodo no fundo do decantador que necessita ser removido periodicamente. A água decantada passa para a etapa de filtração. A sedimentação é um processo físico que separa partículas sólidas em suspensão da água. Esta consiste na utilização das forças gravitacionais para separar as partículas de densidade superior à da água. Os decantadores podem ser convencionais (baixa taxa) ou com escoamento laminar (elementos tubulares ou placas), denominados decantadores de alta taxa. O decantador é um tanque, geralmente, na forma circular ou retangular com o fundo muitas vezes inclinado para facilitar o processo de remoção das partículas sedimentadas. A Figura 7 apresenta exemplo de decantador convencional e decantador de alta taxa.

Figura 7 - Decantador de alta taxa e decantador convencional

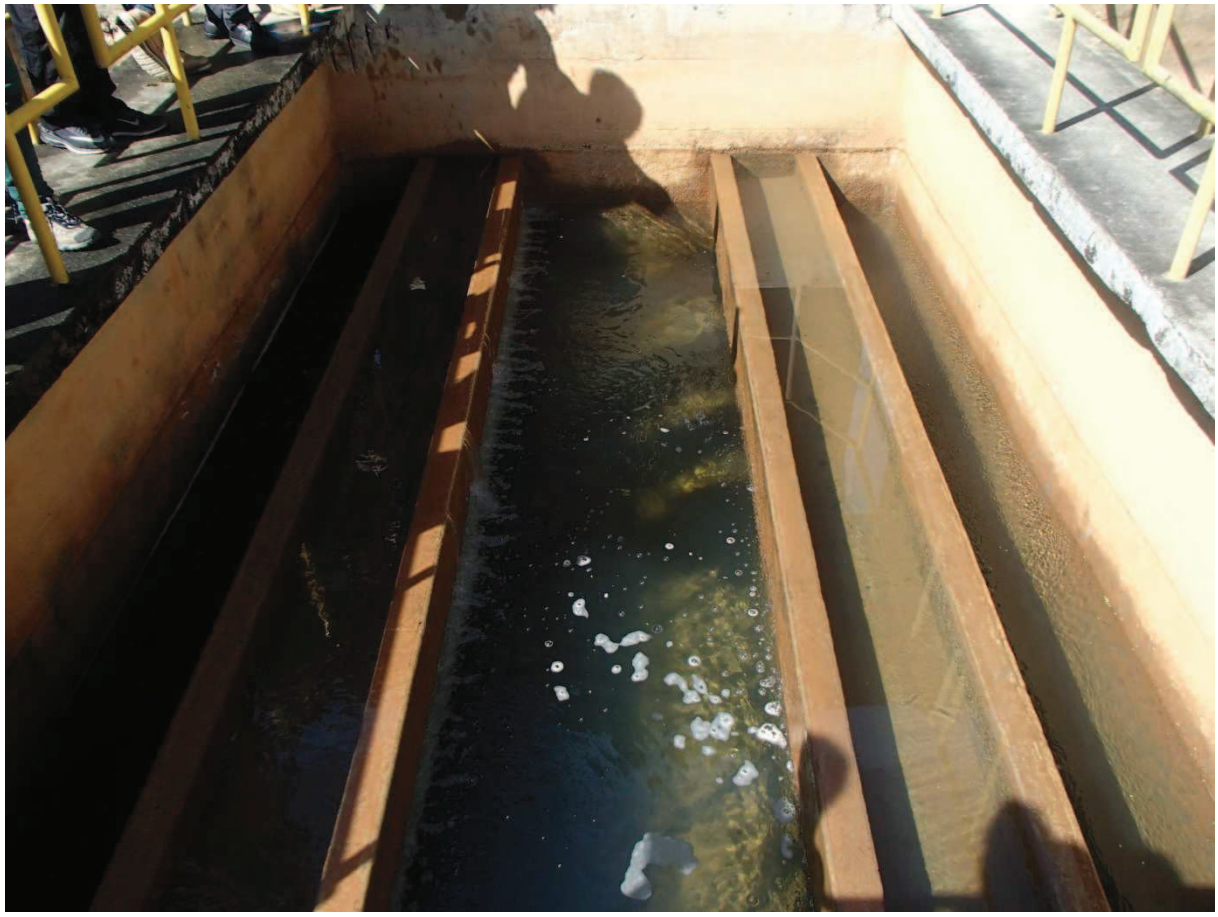


Fonte: O autor, 2017.

Filtração

A água, ao passar para etapa seguinte, ainda pode conter sólidos que não se sedimentaram no decantador. Esses sólidos necessitam ser removidos na etapa de filtração. A filtração é um processo físico e em alguns casos, biológico (filtros lentos) para a separação de impurezas em suspensão na água, mediante sua passagem por um meio poroso. Diversos materiais granulares podem ser usados como meio poroso. A areia é ao mais comum, seguida do antracito, carvão ativado granular, etc. O tamanho dos grãos e o vazio entre os grãos têm grande influência na remoção da matéria em suspensão pelo filtro e no seu desempenho hidráulico. Periodicamente os filtros necessitam de uma limpeza, conhecida como retrolavagem que aumenta a eficiência de remoção dos sólidos. O resíduo da retrolavagem pode retornar ao processo inicial de tratamento ou ser encaminhado, junto com lodo do decantador, para etapa de desidratação do lodo. A Figura 8 apresenta um filtro de uma ETA convencional.

Figura 8 – Etapa de Filtração



Fonte: O autor, 2017.

Desinfecção

A desinfecção tem por finalidade a inativação de microrganismos patogênicos presentes na água. A desinfecção é necessária porque não é possível assegurar a remoção total dos microrganismos pelos processos físico-químicos usualmente utilizados no tratamento de água. Os mecanismos da desinfecção dependem basicamente da natureza do desinfetante e do tipo de microrganismo que pretende desativar. O desinfetante mais utilizado no Brasil é o cloro por ter uma ação bactericida mais prolongada e assim permanece na água durante o percurso na rede de distribuição. Trata-se neste último caso do Cloro Residual Livre. A Figura 9 apresenta um sistema de desinfecção por tabletes de Hipoclorito de Cálcio.

Figura 9 - Sistema de desinfecção por pastilhas de Hipoclorito de Cálcio

Fonte: O autor, 2017.

Correção de pH

O processo de tratamento geralmente ocorre em meio ácido devido a adição de sulfato de alumínio na coagulação, o que diminui o pH da água em tratamento. Para que se alcance a faixa permitida para fornecimento, algumas vezes é necessário adicionar uma solução alcalinizante para elevar o pH (cal hidratada). O pH admitido para consumo humano, de acordo com a legislação vigente tem que estar na faixa entre de 6,0 e 9,5. Muitas vezes a

correção de pH não é necessária. Isso geralmente ocorre quando o manancial apresenta um pH mais alcalino. O controle do pH da água tratada também é importante para evitar corrosão das tubulações quando pH é acido ou incrustação nas tubulações quando o pH é alcalino. A cal hidratada pode ser adicionada tanto no inicio do processo como no final; isso depende da operação da ETA.

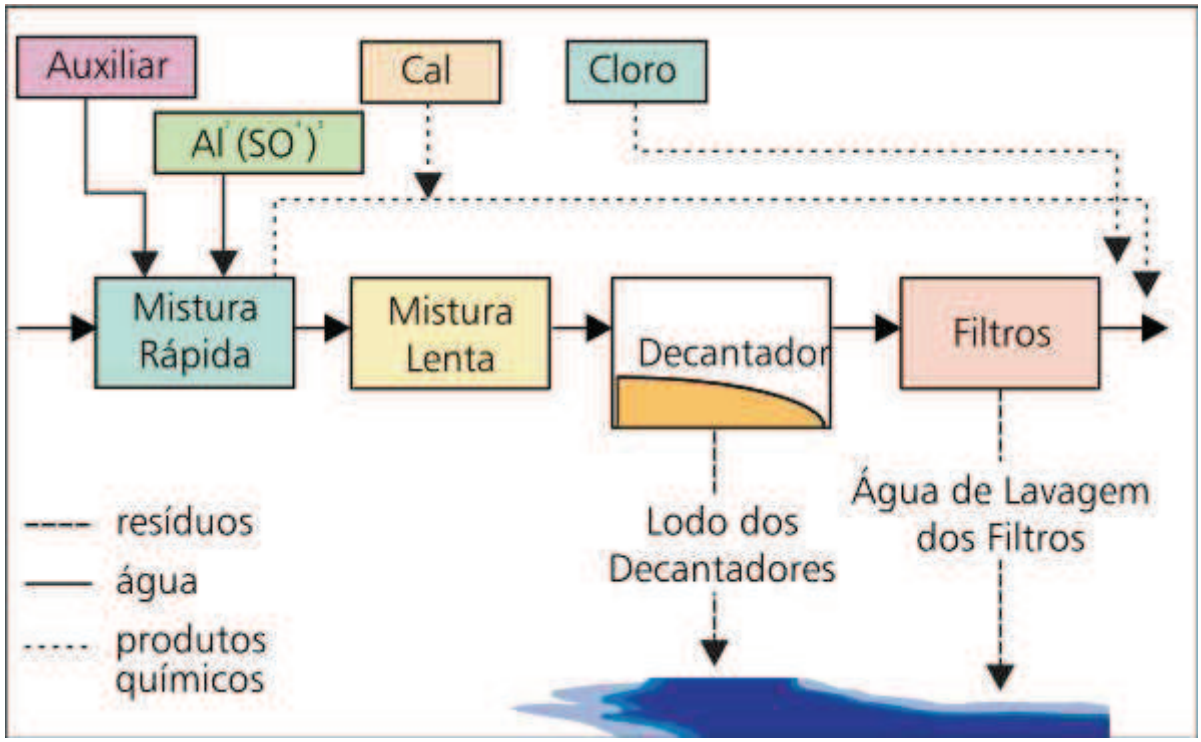
Etapas do Pós-Tratamento

Fluoretação

Em alguns municípios por determinação do Ministério da Saúde, há a necessidade de adição de Flúor na água tratada, para auxiliar na prevenção de cáries em dentição infantil. Nestes casos, adicionam-se sais de flúor após o processo de tratamento.

Como visto, nas etapas de uma ETA convencional, produtos químicos são adicionados na água bruta a fim de realizar o tratamento, porém são gerados resíduos sólidos que devem ser destinados corretamente. O principal resíduo de uma estação de tratamento de água é denominado lodo de ETA. A Figura 10 apresenta o fluxograma com as entradas dos produtos químicos e saída dos resíduos nas etapas de tratamento.

Figura 10 - Fluxograma de entrada dos produtos químicos e saída dos resíduos nas etapas de tratamento



Fonte: Cordeiro, 1999.

Geração de Lodo de ETA

O lodo de ETA é basicamente o produto da coagulação da água bruta, sendo assim, sua característica depende das características do manancial captado acrescido dos produtos químicos utilizados. Sua geração segundo Tartari et al.(2013) depende de vários fatores como: operação da ETA, a periodicidade de limpeza, a dosagem do produto químico que varia em função das características dos mananciais, das variações temporais e do uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica. Na época da chuva a turbidez da água do rio é alterada, devido principalmente à erosão do solo que transporta matéria orgânica e inorgânica para dentro deste. A parte mais fina do solo, constituída principalmente de argila e areia fina é levado para ETA, enquanto a parte mais grossa do solo se deposita nos leitos dos rios provocando assoreamento (TEIXEIRA et al. 2006). Assim, o volume de lodo gerado também varia de acordo com o clima da região. Em dias chuvosos a água bruta fica mais turva e é necessária a adição de mais produtos químicos para clarifica-la. Há então uma relação entre a turbidez e a concentração de sólidos em suspensão totais (SST), já que maior turbidez leva à maior sedimentação de sólidos e, portanto, à maior geração de lodo. Porém Katayama et al. (2015) destaca que a relação de SST com a turbidez da água bruta deve ser analisada através de

experimentos e não somente com a utilização de fórmulas disponíveis na literatura. Nascimento et. al (2017) realizaram um estudo comparando o período de chuva em Itabirito/MG com a produção de lodo de uma ETA convencional que utiliza como coagulante o sulfato de alumínio e concluiu que as condições climáticas estão diretamente relacionada com a produção de lodo da ETA. Reali (1999) também indica que a variação sazonal e a turbidez da água bruta estão diretamente relacionadas com a produção de lodo e apresenta na Tabela 4 as relações da produção de lodo com o tipo do manancial e a qualidade da água bruta.

Tabela 4 - Relação da produção de lodo de ETA com o tipo de manancial e a qualidade da água bruta captada

Tipo de Manancial	**Faixa de Produção de Resíduos (g de sólidos secos por m³ de água tratada)**
Água de reservatório com boa qualidade	12-18
Água de reservatório com média qualidade	18-30
Água de rios com qualidade média	24-36
Água de reservatórios com qualidade ruim	30-12
Águas de rios com qualidade ruim	42-54

Fonte: Reali (1999).

Em uma ETA convencional o lodo basicamente é formado nos decantadores e na água de lavagem dos filtros e sua porcentagem vai depender da sua origem. Para Richter (2001) entre 60 e 95% do lodo gerado em ETA é proveniente dos decantadores. O restante é gerado nos filtros. Já o volume de lodo corresponde a 0,5 a 2% do volume da água tratada. Esta variação vai depender principalmente do tipo de decantador e da periodicidade de limpeza. Os decantadores convencionais possuem uma das taxas mais baixa, cerca de 0,5%, dependendo da frequência das descargas, já os decantadores laminares (alta taxa) possuem entre 0,5 a 2%. Para Di Bernardo, Dantas e Voltan (2012) nas ETAs de ciclo completo o volume médio diário do lodo proveniente dos decantadores é de 0,1 a 3,0% do volume médio diário da água clarificada nesta unidade.

Como visto, um dos principais fatores que influencia na geração de lodo é o tipo de decantador, a forma e o período de limpeza. Decantadores, onde o lodo fica mais tempo armazenado antes da limpeza, tendem a possuir concentrações de sólidos maiores, assim como decantadores que possuem limpeza automática possuem concentrações menores de sólidos. Di Bernardo, Dantas e Voltan (2012) destacam que em decantadores convencionais de

limpeza manual (Figura11a e 11b) a concentração de SST possui um valor médio de 10g/L ou até menor, dependendo do tamanho da unidade, da quantidade de funcionários empregados na limpeza, da qualidade da água floculada no início da unidade, do uso de mangueira auxiliar e do tempo de limpeza. Decantadores convencionais ou de alta taxa (laminares) com remoção de lodo (Figura 11c e 11d) a concentração do SST é na ordem de 8 a 12 g/L e os decantadores de alta taxas com descarga hidráulica (11e e 11f) é entre 3 e 10 g/L. Vale ressaltar que a frequência de limpeza dos decantadores depende da água bruta, do tipo de dosagem de produtos químico e da eficiência de remoção dos flocos.

Figura 11 - Tipos de decantadores e forma de remoção do lodo

(a)

(b)

(c)

(d)

(e)

(f)

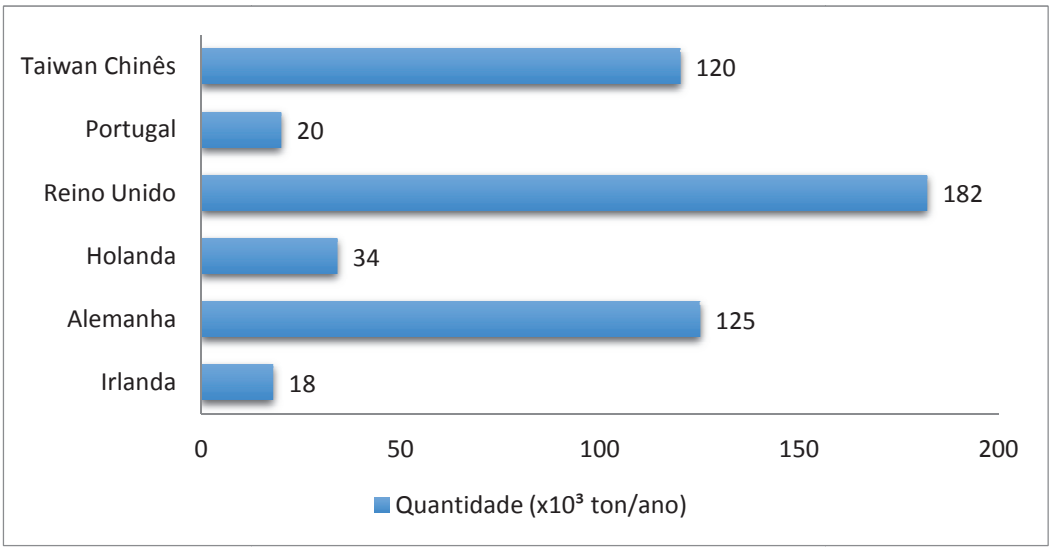
Legenda: (a) e (b) decantador convencional com limpeza manual; (c) e (d) decantador convencional com limpeza mecanizada, (e) e (f) decantador de alta taxa com descarga hidráulica.

FONTE: Bernardo, Dantas e Voltan, 2012.

Souza, Barroso e Cordeiro (2004) realizaram um estudo comparativo da geração de sólidos de duas ETAs convencionais, uma com descantador convencional e outra com decantador de alta taxa e verificou que o decantador de alta taxa produz um lodo com maior concentração de sólidos em relação ao decantador convencional, porém consome grande volume de água devido ao descarte diário. Richter (2001) destaca que a concentração de sólidos na água de lavagem não depende da quantidade de flocos carreada para o filtro, mas da capacidade de acumulação do meio filtrante.

Na Europa, milhões de toneladas de lodo de ETA são produzidos todo ano, e este número vem crescendo durante as décadas (BASIBUYUK, KALAT, 2004). De acordo com Babatunde e Zhao (2007), *apud* Darmappa et al, (1997) destacam que numa escala global estima-se que cerca de 10.000 toneladas de lodo de ETA são produzidas diariamente. A Figura 12 apresenta o diagrama compilado por Babatunde e Zhao (2007) da produção de lodo de ETA em alguns países no ano 2000. Cosin et al (2004) estima que só no Estado de São Paulo são produzidas 30.000 toneladas/ano.

Figura 12 - Diagrama da produção de lodo de ETA em alguns países no ano 2000



Fonte: Babatunde e Zhao, 2007.

Características do Lodo de ETA

O lodo é um líquido não-newtoniano, volumoso e se apresenta em estado gel quando em repouso e relativamente líquido quando agitado. Silva Junior e Issac, (2002) verificaram que o lodo da ETA tem baixa concentração de matéria orgânica (MO), cerca de 5% a 25% dependendo da concentração na água bruta e constataram a baixa degradabilidade e a

estabilidade da MO devido a alta relação ente DQO e DBO. Dermattos et. al (2001) analisaram as ETAs da Região Metropolitana de Belo Horizonte – MG e verificaram que 92% do volume de lodo das ETAs é proveniente do coagulante e apenas 8% são impurezas da água bruta. Tavares e Kato (2003) também analisaram as ETAs da região metropolitana de Recife e constataram o caráter inorgânico do lodo. Ahmad, Ahamad e Alam (2016) também chegaram a essa conclusão quando analisaram o lodo de uma ETA localizada em Ghaziabad na Índia. O lodo resultante de uma água bruta com alta turbidez apresenta maior facilidade de adensamento do que o lodo resultante de uma água com baixa turbidez. Essa relação entre sólidos suspensos totais e a turbidez pode variar entre 0,5 e 2,0 (Richter, 2001). Os valores mais baixos correspondem a águas de baixa turbidez e/ou de elevado teor de matéria orgânica. Já os valores mais altos, correspondem a águas com turbidez elevada e muito mineralizadas.

Na coagulação, geralmente são utilizados como coagulantes, hidróxidos de alumínio (sulfato de alumínio) ou de ferro (sulfato férrico ou cloreto férrico), sendo o sulfato de alumínio o mais utilizado. No presente trabalho serão apenas abordadas as características do lodo de sulfato de alumínio, visto que a ETA do estudo utiliza este coagulante. Para Reali (1999) o lodo de sulfato de alumínio apresenta coloração marrom com viscosidade e consistência que lembra o chocolate líquido. A fração de sólidos do lodo de sulfato de alumínio é constituída de hidróxido de alumínio, partículas inorgânicas, coloides, outros resíduos orgânicos, inclusive bactérias e outros organismos (Richter, 2001). O lodo de sulfato de alumínio sedimenta com relativa facilidade, porém é pouco compacto (difícil adensamento), o que resulta em um volume elevado e baixo teor de sólidos. A Tabela 5 apresenta as características típicas do lodo de sulfato de alumínio.

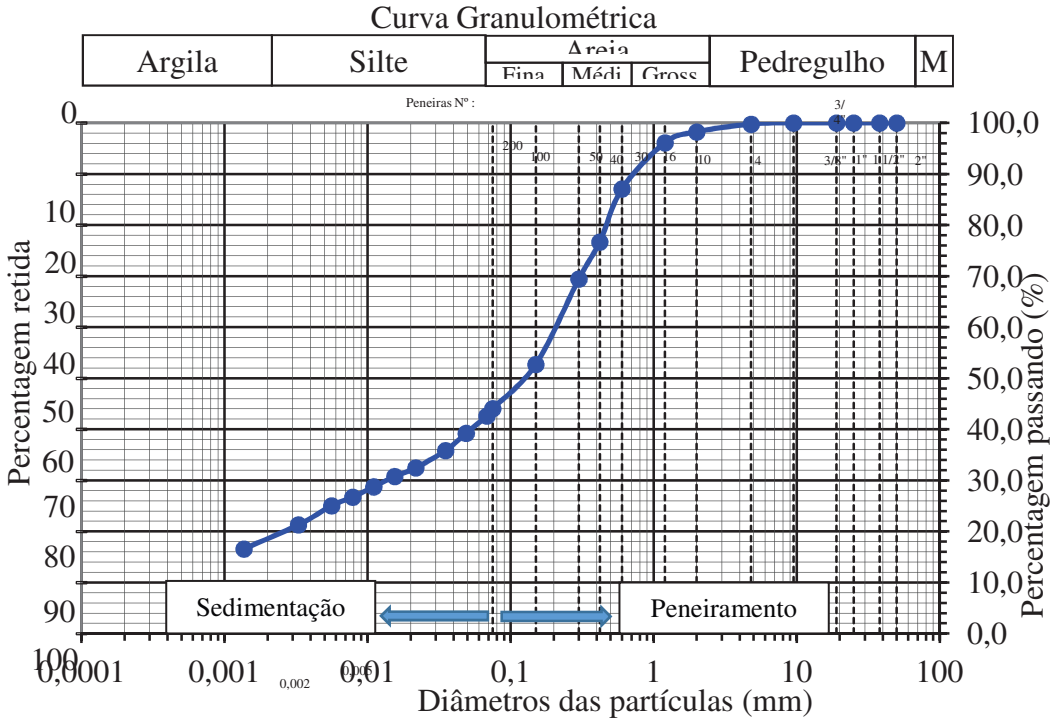
Tabela 5 - Características típicas do lodo de sulfato de alumínio

Parâmetros	**Quantidade**
Sólidos Totais (%)	0,1-4
$Al_2O_3.5,5H_2O$ (%)	15-40
Inorgânicos (%)	35-70
Matéria Orgânica (%)	15-25
pH	6-8
DBO (mg/l)	30-300
DQO (mg/l)	30-5.000

Fonte: Richter, 2001.

Conhecer a granulometria do lodo de ETA é importante para algumas aplicações, como por exemplo, a sua utilização na construção civil ou em outros usos que necessitem conhecer o tamanho dos sólidos (DI BERNARDO, DANTAS e VOLTAN, 2012). A análise granulométrica quantifica a distribuição dos sólidos presentes no lodo e consiste, em geral, de duas fases: peneiramento e sedimentação (PINTO, 2006). O peso do material que passa em cada peneira, referido ao peso seco da amostra, é considerado como "porcentagem que passa" e representado graficamente em função da abertura da peneira. Esta, em escala logarítmica, como demonstra o exemplo da Figura 13. A abertura da peneira é considerada como "diâmetro" das partículas.

Figura 13 - Exemplo de curva granulométrica



Fonte: O autor, 2017.

Os sólidos são denominados de acordo com limites estabelecidos na NBR 6502 de 30 de outubro de 1995 que define as terminologias de rochas e solos (ABNT, 1995). Essa classificação está descrita na Tabela 6. Pinto (2006) destaca que a separação de siltes e areia é frequentemente tomada como 0,075 mm, ou seja, correspondente a peneira nº 200. Essa é a peneira mais fina utilizada no ensaio de granulometria. O que passa da peneira de nº 200,

siltes e argilas, é considerado fração fina do solo e o que fica retido, areia e pedregulho, é considerado fração grossa do solo.

Tabela 6 - Limites das frações de solo pelo tamanho dos grãos

Fração	**Limites estabelecidos pela NBR 6502/95**
Pedregulho	Superior a 2,0 mm
Areia Grossa	0,75 mm – 2,0 mm
Areia Média	0,20 mm – 0,65 mm
Areia Fina	0,075 mm – 0,20 mm
Silte	0,002 mm – 0,075 mm
Argila	Inferior a 0,002mm

Fonte: Adaptado Pinto, 2006.

Basicamente o lodo de ETA possui sólidos finos, como siltes e argilas. A Tabela 7 apresenta o resumo de alguns autores em relação a composição granulométrica das ETAs.

Outro parâmetro físico do lodo da ETA importante é o teor de umidade que é a relação entre o peso da água e o peso do sólido. O teor de umidade vai depender do tipo de solo, podendo ocorrer valores muito baixos (solos secos), ou muito altos (mais de 150%) como é o caso de argilas mais finas (Pinto, 2006). O teor de umidade é muito importante na etapa de tratamento, principalmente no transporte e disposição final deste resíduo.

Tabela 7 - Composição granulométrica do lodo de ETAs estudadas por alguns autores

	Argila (%)	**Silte (%)**	**Areia Fina (%)**
Scalize[1] (1997)	89	11	0
Cornwell et. al [2] (1992)	77	13	10
Cornwell et. al [3] (1992)	20	46	34
Cornwell et. al [4] (1992)	55	37	8
Rodrigues e Holanda[5] (2013)	35	62	3
Araujo et. al[6] (2015)	24	41	32
Teixeira et. al[7] (2006)	43	0,6	56,4
Teixeira et. al[8] (2006)	30	58,6	11,4
Ahamad, Ahamad e Alam[9] (2016)	16	24	60

Nota: (1)ETA de ciclo completo utilizando sulfato de alumínio; (2) ETA com sulfato de alumínio desaguado em leito de secagem; (3) ETA com sulfato de alumínio desaguado por centrífuga, (4) ETA com sal de ferro desaguado em lagoa, (5) ETA no ERJ, (6) ETA de Goias com sulfato de alumínio desaguado em lagoa de secagem, (7) ETA de São Paulo com sulfato de alumínio, (8) ETA de São Paulo com cloreto férrico (7) ETA em Gaziabad na Índia usando polímero

Fonte: O autor, 2018.

Os componentes que mais se apresentam no lodo de ETA são os óxidos e hidróxidos de alumínio e ferro, argilas silicatadas, contaminantes e matéria orgânica. A grande maioria destes componentes é encontrada no solo. Os elementos mais abundantes na crosta terrestre são o oxigênio (O), Silício (Si), Alumínio (Al) e Ferro (Fe). Andreolli et. al (2006) destaca que assim como solo, o lodo de ETA tem esses componentes como os principais. Barroso e Cordeiro (2001) destaca que alguns metais como o cobre (Cu), Zinco (Zn), Níquel (Ni), Chumbo (Pb), Cádmio (Ca), Cromo (Cr), Manganês (Mn) e em especial o alumínio, presentes no lodo de ETA, possuem ações que podem possuir efeitos positivos ou negativos na disposição ou aproveitamento deste resíduo. A Tabela 8 apresenta a composição química de lodos de ETAs estudados por alguns autores.

Tabela 8 - Composição química de lodos de ETAs estudados por alguns autores

Parâmetro	Araújo et. al (2015) [mg/kg]	Carneiro et. al[(1)] (2013) [mg/kg]	Carneiro et. al[(2)] (2013) [mg/kg]	Babatunde e Zhao (2007) [mg/kg]
Alumínio	386,39	89.700	29.400	
Boro	0,497			
Cádmio	< 0,001	10	ND[(3)]	0,5
Cálcio	14,93	6.139	787	
Chumbo	< 0,005			44,1
Cobalto	<0,003			1,06
Cobre	0,465	217	15	33,72
Cromo	< 0,003	77	ND[(3)]	25,0
Ferro	212,47	15.300	6.550	
Magnésio	12,85	6.042	456	
Manganês	9,132	19.580	468	
Níquel	0,273	55	ND[(3)]	44,3
Potássio	11,449	4,7	0,44	
Sódio	4,19	843	79	
Zinco	0,18	114	29	33,9

Nota: (1) maiores valores entre as ETAs estudadas por Carneiro et. al (2013); (2) menores valores entre as ETAs estudadas por Carneiro et. al (2013). (3) ND = abaixo do limite de detecção do método
Fonte: O autor, 2018.

Tratamento do Lodo de ETA

O lodo retirado dos decantadores possui um teor de umidade muito elevado. Dessa forma, para facilitar o transporte e a destinação final, é necessário reduzir a quantidade de água presente. Para isso, podem ser adotadas diferentes tecnologias em processos de adensamento e desaguamento ou desidratação.

Richter (2001) afirma que a relação da quantidade de coagulante aplicada e a concentração de sólidos totais presentes no lodo determinam a eficiência do processo de tratamente e que diversas tecnologias vêm sendo empregadas, desde processos manuais como leito de secagem a processos mecanizados como os filtros prensa e centrífugas. A Tabela 9

resume os resultados esperados das concentrações de sólidos, nos lodos provenientes de coagulação de águas com baixa turbidez, na entrada e saída de cada tecnologia de tratamento.

Tabela 9 - Concentração dos sólidos em lodos de águas com baixa turbidez

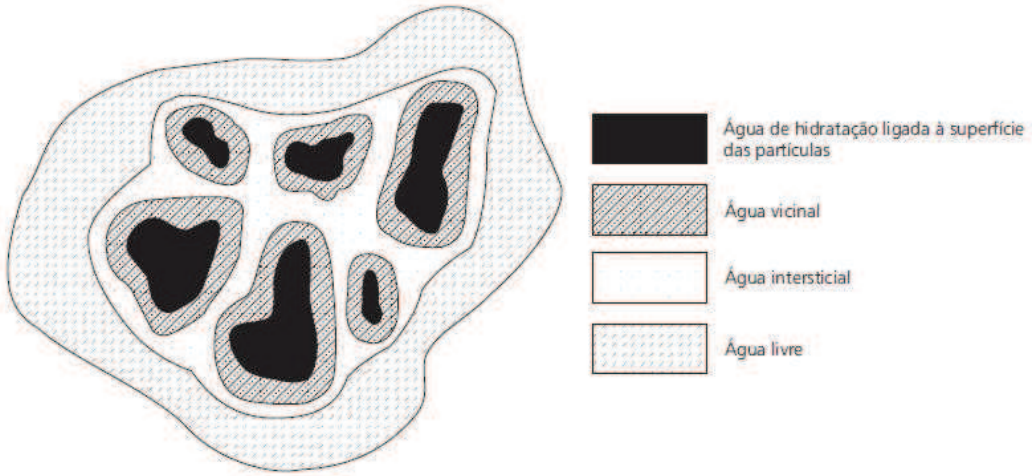
Processos de Tratamento de lodo	Concentração (%)	
	Na entrada	Na saída
Adensamento		
Decantação estática	0,03 – 0,2	1-3
Adensador contínuo		
sem polieletrólito	0,03 – 0,2	2 - 3
com polieletrólito	0,03 – 0,2	2 - 5
Flotação	0,03 – 0,2	3 - 6
Desidratação		
Centrifugação	1 – 5	15 - 20
Prensas desaguadoras	1 - 5	15 - 25
Filtro a vácuo	2 – 6	15 - 17
Filtro Prensa	2 – 6	20 - 25

Fonte: Adaptado de Richter, 2001.

A água pode estar presente no lodo de diferentes formas físicas. Reali (1999) destaca que essas formas podem gerar dificuldades na desidratação do lodo. De acordo com a Figura 14 a água pode estar distribuída no lodo da seguinte forma:

- Água livre – água não associada à partícula sólida do lodo;
- Água intersticial ou capilar – água ligada mecanicamente, a qual se encontra presa aos interstícios dos flocos;
- Água vicinal – constituída por múltiplas camadas de moléculas de água fisicamente ligadas, as quais se encontram firmemente presas à superfície da partícula por meio de pontes de hidrogênio;
- Água de hidratação – água quimicamente ligada à superfície das partículas sólidas.

Figura 14 - Distribuição da água no lodo de ETA



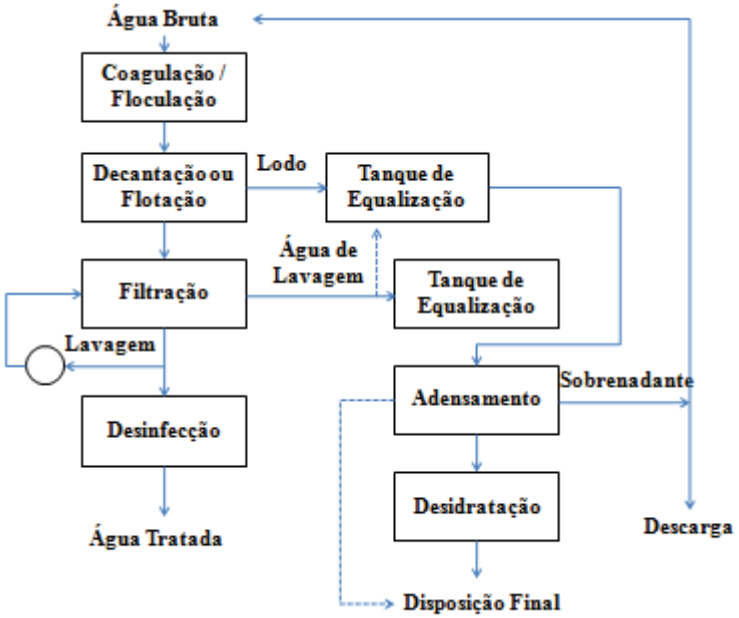
Fonte: Realli, 2009.

A definição de água vicinal e água de hidratação dada por Realli (1999) corresponde ao conceito de água adsorvida e água de constituição da Mecânica dos Solos clássica.

Di Bernardo, Dantas e Voltan (2012) destacam que a água livre é a mais fácil de ser retirada do lodo, porém as demais necessitam de uso de polímeros para auxiliar o adensamento e a desidratação. Segundo Richter (2001) a água livre pode ser separada dos sólidos pela filtração ou por gravidade. Podem-se citar como exemplo os adensadores por gravidade ou por flotação e os decantadores centrífugos. Os leitos de secagem utilizam um meio poroso para o escoamento da água livre e a evaporação complementa essa ação, obtendo um sólido na concentração entre 15 a 25% comparados com os resultados dos dispositivos mecânicos. A água capilar e a água da camada aderida à superfície só podem ser removidas na filtração pela ação de gradientes de pressão e resistências para sua separação. Entre os equipamentos utilizados, podem-se citar o filtro a vácuo, o filtro prensa e a prensa desaguadora.

O tratamento do lodo de ETA, também chamado de fluxograma da fase sólida de uma ETA, compreende a etapa de adensamento e desidratação, conforme já mencionado. As águas captadas desses processos retornam ao início do tratamento. Como já comentado anteriormente o lodo proveniente da lavagem dos filtros pode retornar ao início do processo de tratamento ou ser encaminhada ao tratamento de lodo. A Figura 15 apresenta um fluxograma da fase líquida e da fase sólida de uma ETA convencional.

Figura 15 - Fluxograma de parte líquida e da parte sólida de uma ETA convencional



Fonte: Richter, 2001.

Apesar da apresentação do fluxograma convencional para o tratamento da fase sólida da ETA, o lodo simplesmente adensado pode ser diretamente encaminhado para uso em solo, sem a necessidade de passagem pela etapa de desidratação. Porém, este apresentará um teor de umidade ainda elevado.

Destinação do Lodo de ETA

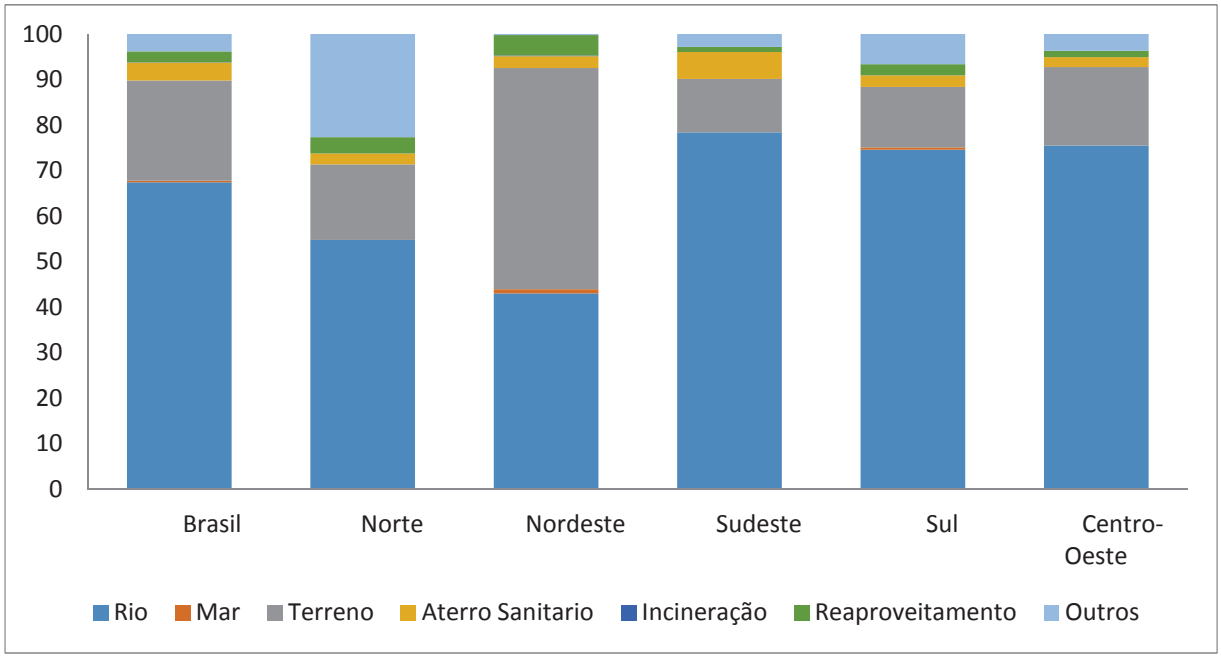
Nos EUA, desde 1972, com a aprovação das emendas ao "National Pollutant Discharge Act", considera-se o lodo como resíduo industrial e assim, sujeito a restrições legais (Richter, 2001). No Brasil a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), na sua classificação em relação a origem, considera o lodo de ETA como resíduo sólido do serviço de saneamento. A NBR 10.004 de 2004 também destaca esse fator na sua definição de resíduos sólidos.

> "Resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou

> exijam para isso soluções técnica e economicamente inviável em face à melhor tecnologia disponível" (ABNT, 2004).

A destinação final do lodo em ETA é uma das tarefas mais difícil e mais dispendiosa para as concessionárias de tratamento de água, tanto no que se refere aos custos de disposição como as dificuldades e custos de transporte do resíduo. Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2008 o Brasil possuía 2.098 municípios gerando lodo de ETA, este número equivale a cerca de 40% do total de municípios do Brasil que era de 5.564. Destes municípios, a sua maioria, cerca de 68%, dispôs o lodo no corpo d'água, e menos de 3% realizou algum tipo de reaproveitamento do lodo. A Figura 16 representa a porcentagem de lodo gerado nas ETAs, conforme a sua disposição final, segundo dados da pesquisa do IBGE (2008).

Figura 16 - Destinação final dos lodos de ETAs. no Brasil



Fonte: Adaptado de IBGE, 2008.

Andreoli et al (2013) destaca que o lançamento inadequado do lodo de ETA nos corpos d'água pode aumentar a quantidade de sólidos e a concentração de material tóxico no sedimento, o que pode provocar dano a biota local ou até mesmo inviabilizar o abastecimento de comunidade a jusante do lançamento. Vale ressaltar que o lodo também possui microrganismos que podem provocar danos a saúde humana e ao meio ambiente.

Araújo (2015) destaca que de acordo com a PNRS, é de responsabilidade da fonte geradora adotar destinação final sustentável aos resíduos sólidos e lançar o lodo no rio causa poluição e caracteriza crime ambiental, conforme Art. 54 da Lei 9.603/1988

> "[...]Art. 54. - Causar poluição de qualquer natureza em níveis tais que resultem ou possam resultar em danos à saúde humana, ou que provoquem a mortandade de animais ou a destruição significativa da flora:
> [...]V - ocorrer por lançamento de resíduos sólidos líquidos ou gasosos, ou detritos, óleos ou substâncias oleosas, em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou regulamentos:
> Pena - reclusão, de um a cinco anos" (BRASIL, 1998) .

Em geral, resultados de análises definidas pela NBR 10.004/2004 levam à classificação do lodo de ETA como resíduo sólido não perigoso e não inerte - classe IIA e por isso sua disposição final pode ser o aterro sanitário. Porém existem outras formas de destinação deste resíduo, como o lançamento em rede de esgoto, lançamento em solo e até mesmo no aproveitamento como matéria prima para a composição de algum material. O aproveitamento do lodo como matéria prima é uma alternativa viável que vem sendo adotada pelas companhias de saneamento, porque assim, reduz os custos de destinação destes resíduos. Além do mais, as companhias estão se adequando as legislações vigentes. O Brasil, não possui uma legislação específica para o aproveitamento do lodo, porém apresenta a PNRS que prioriza a reutilização e a reciclagem dos resíduos e a redução do volume enviado para o aterro sanitário (Brasil, 2010) A Figura 17 apresenta a ordem de prioridade do gerenciamento dos resíduos sólidos segundo a PNRS. Em outros países já existem legislações sobre o assunto, como no estado do Colorado (EUA), onde o departamento de saúde pública e meio ambiente possui uma legislação que regulamenta esta prática (COLORADO, 2004).

Figura 17 - Ordem de prioridade do gerenciamento dos resíduos sólidos segundo a PNRS.

Fonte: Adaptado de BRASIL, 2010

O lodo de ETA pode ser aproveitado para diversas finalidades, como: utilização na construção civil para fabricação de cerâmica vermelha ou na incorporação de solo cimento (POZZOBON, LUCAS, MORA, 2013, RODRIGUES, PUGET, OLIVEIRA, 2009, ANDRADE et al, 2016), aplicação em solo para recomposição de área degradada (MOTTA et al, 2013, BITTENCOUT et al, 2012) e a utilização de lodo de ETA para produção de mudas (FIGUEIREDO NETO, 2011, ROCHA et al, 2014, AUGUSTO, 2016).

A aplicação do lodo em solo é uma alternativa que vem sendo utilizada, já que a aplicação do lodo com sulfato de alumínio torna o solo mais poroso e assim retém a umidade. Porém para o plantio de muda deve-se verificar a quantidade de lodo empregada já que o alumínio, presente no lodo de ETA, tende a fixar o fósforo e dificulta a absorção deste nutriente pelas plantas. Uma alternativa para minimizar esse dano é utilizar junto com o lodo de ETA, lodo de Estação de Tratamento de Esgoto (ETE). Diversos autores, entre eles, Abreu et al (2017), Bittencourt et al (2009) já comprovaram a eficiência da incorporação do lodo de ETE no solo para agricultura.

2.2 Lodo do Tratamento de Esgoto

O lodo do tratamento de esgoto não é foco do presente trabalho e, portanto, não será aprofundando neste item. Entretanto, será citado de maneira geral, já que é adotado na incorporação ao substrato com o lodo de ETA e solo comercial para produção de mudas. Novamente ressalta-se que o foco do trabalho é o aproveitamento do lodo de ETA.

O esgoto é basicamente composto de 99,9% de água e 0,1% de sólidos, sendo que, do total de sólidos, 70% são orgânicos (proteínas, carboidratos, gorduras, etc.) e 30% são

inorgânicos (areia, sais, metais, etc.) (Andreoli, 1999). Dessa forma, o esgoto precisa ser tratado antes de ser lançado no meio ambiente. O sistema de esgotamento sanitário (SES) tem por objetivo coletar a água residuária nas indústrias e domicílios, tratá-la a fim de tornar possível seu descarte no meio ambiente. A Figura 18 apresenta o fluxograma de um SES.

Figura 18 - Fluxograma de um sistema de esgotamento sanitário

Fonte: CEDAE, 2017.

Segundo Bettiol e Camargo (2006), a disposição final do lodo de esgoto é uma etapa problemática no processo operacional de uma Estação de Tratamento de Esgoto, podendo apresentar um custo que pode alcançar até 50% do orçamento operacional de um sistema de tratamento. Pode-se considerar que no Brasil, a principal destinação desse resíduo é o aterro sanitário, apesar de outros destinos como reuso industrial, incineração, construção civil e etc., serem possíveis. Há que se ressaltar que na maioria das vezes não há preocupação com o aproveitamento de nutrientes contidos neste material. Isso se dá em função do risco de contaminação associado ao uso desse lodo em áreas agricultáveis. Sendo assim a aplicação agrícola apresenta uma alternativa que traz vantagens em relação a outras destinações, em função da possibilidade de aproveitamento do potencial nutricional do lodo. Entretanto há preocupação com a contaminação. O lodo de ETE devidamente tratado e estabilizado, quando reusado é denominado como biossólido (JORDÃO e PESSÔA, 2017). Quintana, Carmo e Melo (2009) apontam que pelo lodo de ETE poder ter uma composição rica em matéria orgânica, ele pode ser aproveitado para o crescimento de plantas.

O biossólido vem sendo estudado mundialmente há alguns anos e no Brasil há estudos focando principalmente na sua destinação agrícola como condicionador do solo (RICCI, PADOVANI e PAULA JÚNIOR, 2010) e/ou como fertilizante na recuperação de áreas degradadas (MODESTO et al., 2009) e em plantações agrícolas e florestais (BETTIOL e CAMARGO, 2006). Outras alternativas em potencial para a utilização desse resíduo pode ser

o uso como componente de substratos destinados à produção de mudas florestais (PAIVA et al.,2009; DUARTE et al., 2011; SCHEER et al., 2012).

O biossólido possui na sua composição matéria orgânica, que é fonte de nutrientes, e elementos benéficos necessários para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Estes são liberados gradativamente ao solo, aumentando a absorção pelas plantas e diminuindo os riscos de perdas por lixiviação (MELO; MARQUES, 2000). Para Santos, 2009, do ponto de vista químico, o produto final do tratamento do esgoto é rico em matéria orgânica e pode fornecer nitrogênio às plantas em quantidades satisfatórias, além de outros elementos como fósforo, enxofre, cálcio e micronutrientes.

Se por um lado o uso agrícola do lodo de ETE apresenta grandes vantagens devido a quantidade de nutrientes presentes, por outro a presença de microrganismos patogênicos pode prejudicar sua utilização para esta finalidade (MAGALHÃES, 2012) Grande parte dos microrganismos presentes no esgoto sedimenta junto ao material particulado e se concentra no lodo (USEPA, 2003). A Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente – Resolução CONAMA nº 375 de 2006 define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos gerados em Estações de Tratamento de Esgotos (BRASIL, 2006). A Tabela 10 indica a classificação do lodo de ETE proposto pela Resolução CONAMA 357/2006 e relaciona a concentração de alguns agentes patogênicos com a restrição para utilização do lodo na agricultura. Vale ressaltar que esta legislação encontra-se em fase de revisão.

Tabela 10 - Classe do lodo com relação à concentração de agentes patogênicos e a restrição para utilização na agricultura

Tipo de lodo de esgoto	**Concentração de Patógenos**	**Restrição na Utilização**
A	Coliformes Termotolerantes < 10^3 NMP/g de ST Ovos viáveis de helmintos < 0,25 ovo/ g ST *Salmonnella* ausência em 10 g de ST Vírus < 0,25 UFT ou UFF / g de ST	Qualquer cultura exceto aquelas em que a parte comestível entra em contato com o solo
B	Coliformes Termotolerantes < 10^6 NMP/g de ST Ovos viáveis de helmintos < 10 ovo/ g ST	Restrito para café, silviculturas e cultivo de fibras e óleos segundo forma e aplicação

ST: Sólidos Totais; NMP: Número mais provável, UFF: Unidade Formadora de Foco, UFP: Unidade Formadora de Placa

FONTE: BRASIL, 2006.

Normalmente, as aplicações em solos, de lodos que estejam em conformidade com os parâmetros exigidos por esta legislação, promovem melhorias nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. Embora a utilização agrícola do lodo de esgoto seja uma das alternativas mais promissoras para a disposição deste resíduo, retornando ao campo os nutrientes exportados para os grandes centros urbanos, a presença de metais pesados, organismos patogênicos ou alguns contaminantes orgânicos, pode limitar a aplicação, principalmente em virtude do risco de contaminação dos solos e transferência ao homem pela adsorção e translocação desses elementos nas plantas (BERTON e NOGUEIRA, 2010). Deste modo, a reciclagem do lodo de esgoto na área florestal pode ser uma alternativa de aproveitamento do lodo que não atende parcialmente os padrões de qualidade para uso na agricultura, pois reduz os riscos de contaminação, por não ser uma atividade que envolve produtos para o consumo direto do homem (GARCIA et al., 2010). Atenção deve ser dada aos funcionários relacionados à operação de aplicação do lodo no solo. Abreu (2014) em seu estudo comprovou a eficácia da utilização do lodo de esgoto no plantio de mudas florestais de espécies Nativas da Mata Atlântica, concluindo que o lodo pode substituir 100% o uso de fertilizantes comerciais.

2.3 Espécies da Mata Atlântica

A Mata Atlântica é um bioma composto por um conjunto de florestas e ecossistemas que inicialmente cobria aproximadamente 15% do território brasileiro, área equivalente a 1.296.446 km². Sua área abrange a costa leste, sudeste e sul do Brasil e, além disso, uma parte do Paraguai e da Argentina. Sua região de ocorrência original abrange integralmente ou parcialmente atuais 17 estados brasileiros incluindo o estado do Rio de Janeiro. Porém durante os anos a Mata Atlântica vem sendo devastada, possuindo atualmente 27% da área original, porém deste restante apenas 7% pode-se considerar bem conservado (BRASÍLIA, 2010).

Mesmo reduzida e muito fragmentada, estima- se que a Mata Atlântica possua cerca de 20.000 espécies vegetais (algo entre 33% e 36% das espécies existentes no Brasil). Considerado um dos mais ricos biomas do planeta, ou seja, com maior biodiversidade, a Mata Atlântica é a segunda maior floresta em extensão do Brasil, constituída de planaltos e serras. Sendo assim preservar esse bioma é primordial para o meio ambiente e principalmente para a qualidade das águas dos mananciais localizados nesta área.

Uma das espécies encontrada na Mata Atlântica é a *Schinus terenbinthifolius,* comumente conhecida como Aroeira Pimenteira. A aroeira pimenteira é uma espécie pertencente à família Anacardiaceae, segundo Lorenzi (1988), é considerada planta de pequeno a médio porte, com crescimento rápido e ciclo relativamente curto, heliófila (necessitam de sol para se desenvolver) e pioneira (são as primeiras a se desenvolverem na natureza). Eventualmente, pode ser encontrada em clareiras e bordas de matas, mas geralmente colonizam áreas abertas, especialmente margens de rios e terrenos aluviais, suportando inundações e encharcamento do solo. Outra espécie é a *Pterocarpus violaceus,* conhecida como Aldrago. O Aldrago é uma espécie pertencente à família Fabaceae-Faboideae (Leguminisae). Segundo Lorenzi (1988), é considerada uma planta de médio porte, entre 8 a 14 m de altura, com tronco de 30 a 50 cm de diâmetro, com crescimento moderado, perenifólia (que tem folha o ano inteiro), heliófila e é encontrada tanto na floresta primária densa, como nas formações secundárias. Aparentemente a espécie cresce independentemente das condições físicas do solo, característica da floresta pluvial da encosta atlântica. Essas duas espécies foram utilizadas no presente trabalho.

As plantas buscam no solo, macro e micronutrientes essenciais para seu crescimento e seu desenvolvimento. A distinção entre macro e micronutrientes é a concentração exigida pelas plantas. Os macro nutrientes ocorrem em concentrações de 10 a 5.000 vezes superior à dos micronutrientes (EPSTEIN, 1975). Os macro nutrientes importantes para as plantas são: Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca). Magnésio (Mg) e enxofre (S). Os micronutrientes são: Boro (B), Carbono (C), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Molibdênio (Mo) e Zinco (Zn) . A concentração de macro e micro nutrientes necessário para a planta desenvolver vai depender da espécie da muda. Faquin (2005) ressalta que as plantas absorvem do solo, sem muita discriminação, os elementos essenciais, os benéficos e os tóxicos, podendo estes últimos, inclusive, levá-las à morte.

Alguns parâmetros são importantes para a verificação do crescimento e desenvolvimentos da mudas em um viveiro florestal. Entre eles pode-se citar: a taxa de sobrevivência, a taxa de crescimento e o Índice de Qualidade de Dickson (IQD). A taxa de sobrevivência informa a quantidade de mudas sobreviventes de uma espécie, e pode estar relacionada com a falta de nutrientes, elementos tóxicos no solo, exposição à luz solar, etc. A taxa de crescimento está relacionada com a altura da muda e com o diâmetro do coleto (caule). Carneiro (1995) destaca a importância da altura e do diâmetro do coleto na sobrevivência e desenvolvimento das plantas após o plantio em campo. Ressalta-se que há limites no crescimento em altura das mudas no viveiro, acima e abaixo dos quais o

desempenho a campo não é satisfatório, isso é claro dependerá das características das espécies a serem cultivadas. Já o IQD foi desenvolvido por Dickson, Hosner, Leaf (1960) pesquisando o comportamento de duas espécies de mudas. Das fórmulas testadas por eles, essa foi considerada a mais adequada para avaliar a qualidade das mudas das duas espécies. O IQD é uma fórmula balanceada dos diversos parâmetros morfológicos das mudas considerados importantes, como: peso da matéria seca total; altura; diâmetro do coleto, peso da matéria seca da parte aérea e peso da matéria seca da raiz. De acordo com Gomes et al (2002), quanto maior o valor obtido por IQD, melhor será o padrão de qualidade das mudas.

2.4 Programa Replantando Vida

O programa Replantado Vida é um programa sócio ambiental da CEDAE que tem como objetivo auxiliar na minimização da degradação ambiental sofrida pelos corpos-hídricos na qual os mananciais de captação da companhia estão inseridos. Além do viés ambiental o programa tem o viés social, pois utiliza mão de obra de reclusos do sistema penitenciário do Rio de Janeiro. O programa foi criado em 2007 e já utilizou mais de 2.700 reclusos no trabalho de restauração florestal (CECCON e PÉREZ, 2016).

Atualmente a CEDAE possui seis viveiros florestais situados na região metropolitana do ERJ e mais um está em fase de construção. Para Oliveira et al (2016), viveiro é o ambiente onde germinam e se desenvolvem todo tipo de planta. São nos viveiros que as mudas serão cuidadas até adquirir idade e tamanho suficientes para serem levadas ao local definitivo, onde serão plantadas. Os viveiros da CEDAE têm como principal objetivo produzir mudas da Mata Atlântica. Uma das atividades dos viveiros é a coleta de mudas das espécies do bioma citado, inclusive mudas frutíferas. De acordo com o relatório de sustentabilidade da CEDAE do ano de 2017, publicado em maio de 2018, foram coletadas 71 espécies florestais, o que auxiliou a elevar de 201 a 217 a diversidade de espécies nos viveiros (CEDAE, 2018).

O maior viveiro da CEDAE está localizado nas dependências da Colônia Apenal Agrícola de Magé e é reconhecido como símbolo da ressocialização, sendo o primeiro a ser inserido numa unidade prisional no ERJ. Os viveiros além de atenderem a demanda dos projetos ambientais da companhia, realizam parcerias com munícipios para a preservação e recuperação dos mananciais. Os responsáveis pelo programa, também participam de ações de educação ambiental, explicando as crianças e a comunidade a importância da preservação da mata ciliciar para o abastecimento de água.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para avaliar o potencial de utilização de lodo de ETA na produção de mudas cultivadas em viveiros florestais, foram realizados traços alterando os percentuais de lodo de ETA na composição do substrato. Atualmente o viveiro florestal, onde este experimento foi realizado, utiliza o lodo de ETE, como substrato adicionado a um solo comercial argiloso. Abreu (2014) comprovou que o lodo de ETE pode ser utilizado em substituição ao adubo comercial, para compor o substrato na produção de mudas de espécies da Mata Atlântica. Sendo assim, o potencial de incorporação do lodo de ETE não será o objetivo da avaliação deste estudo, assim como o solo comercial utilizado.

O primeiro traço, traço testemunho (T1), corresponde àquele que atualmente é utilizado no viveiro, composto de 50% de solo comercial e 50% lodo de ETE. Os traços seguintes, já não utilizam o solo, visto que um dos objetivos a serem analisados é a diminuição de extração de recursos naturais, substituindo o solo comercial pelo lodo de ETA. Os demais traços correspondem as seguintes composições: T2 com 100% de lodo de ETA, T3 com 75% de lodo de ETA e 25% de lodo de ETE, T4 com 50% de lodo de ETA e 50% lodo de ETE, T5 com 25% de lodo de ETA e 75% lodo de ETE e T6 com 100% lodo de ETE. Uma amostra de cada traço foi coletada para serem analisadas as propriedades físicas como: teor de umidade e granulometria.

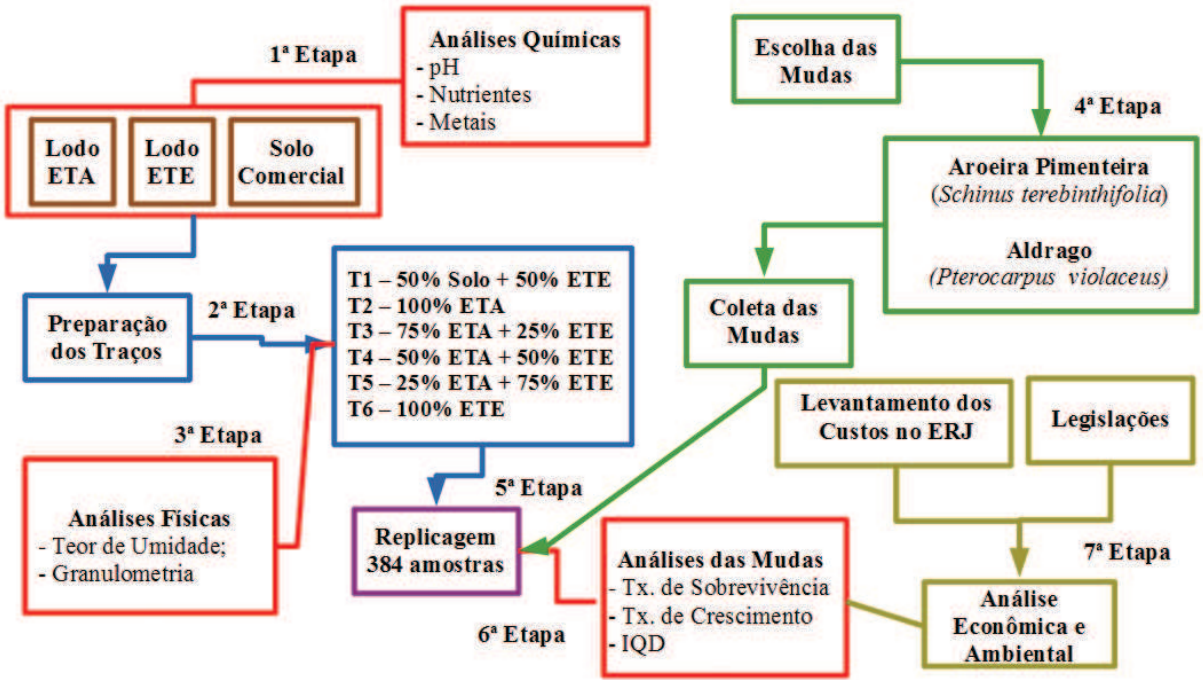
Para cada traço foram realizadas 4 repetições com 8 amostras de cada espécie, dando um total de 384 amostras. As espécies utilizadas no experimento foram a *Schinus terebinthifolia* e o *Pterocarpus violaceus*, conhecidos popularmente como Aroeira Pimenteira e Aldrago, respectivamente. Uma amostra de cada material que compõe o substrato (lodo de ETA, lodo de ETE e solo) foi coletada e encaminhada para analise das propriedades químicas como: pH, nutrientes e metais.

As mudas foram analisadas periodicamente, sendo verificada a taxa de sobrevivência, altura das mudas e diâmetro do coleto. Ao final foram pesadas as raízes e a parte aérea das mudas para cálculo do Índice de Qualidade de Dickson (IQD). O experimento ocorreu de junho a dezembro o de 2017 com 6 medições totais, com diferença de 21 dias entre elas.

Com base nos resultados e no valor comercial praticado no ERJ foi calculado o custo evitado em relação ao o custo de compra do solo comercial, à destinação do lodo de ETA para aterro sanitário e os benefícios ambientais da incorporação do lodo de ETA no substrato utilizado para produção de mudas de espécies nativas da Mata Atlântica. Também foi

verificado o cumprimento das legislações vigentes. A Figura 19 apresenta o esquema geral do experimento.

Figura 19 - Esquema geral do experimento



Fonte: O autor, 2018.

Legenda:

- Substratatos utilizados no experimento
- Análises realizadas no experimento
- Preparação dos Traços
- Escolha e Coleta das Mudas
- Replicagem das mudas
- Benefícios Econômicos e Ambientais

3.1 Caracterização dos Insumos e da Área em Estudo

Conforme já mencionado anteriormente, o trabalho se baseou na produção de substrato composto por lodo de ETA e lodo de ETE, além do solo comercial, para produção de mudas de espécies da Mata Atlântica. Dessa forma, neste item serão abordados os aspectos gerais da ETA e da ETE que geraram o lodo usado neste estudo. Ainda, serão abordados aspectos gerais do viveiro florestal operado pela CEDAE e das espécies adotadas.

Caracterização da Estação de Tratamento de Água

O lodo utilizado no experimento é oriundo da ETA Porto das Caixas, operada pela CEDAE, localizada no município de Itaboraí. Conforme pode ser observado da Figura 20, o

município de Itaboraí faz parte da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, uma das principais metrópoles brasileiras e inserida na região sudeste do país.

Figura 20 - Localização da ETA Porto das Caixas no município de Itaboraí, Região Metropolitana do Rio de Janeiro

Fonte: GOOGLE, 2018.

A ETA Porto das Caixas é do tipo convencional e abastece a localidade de Porto das Caixas, parte de Itaboraí e o Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro (COMPERJ). A água bruta é captada no Canal de Imunana, formado pelos Rios Macacu e Rio Guapiaçu. O Manancial de captação é um manancial degrado e devido as características do manancial não há a necessidade de correção de pH.

Sua capacidade de tratamento total é de 260 L/s e suas instalações contam com seis decantadores e quatorze filtros de areia (Figura 21). Na etapa físico-química utiliza-se o sulfato de alumínio ($Al_2(SO_4)_3$) como coagulante.

Figura 21 - Vista da ETA Porto das Caixas

Fonte: O autor, 2017.

Caracterização do Lodo da Estação de Tratamento de Água

A geração de lodo da ETA Porto das Caixas é de aproximadamente 15m³ ao mês, sendo seu maior volume constituído da lavagem dos decantadores, o que ocorre mensalmente. Além desse volume, a cada 8h é dada uma descarga no decantador a fim de manter uma quantidade de flocos adequada ao tratamento. Em geral, a água da lavagem dos filtros também é incorporada ao lodo. Entretanto, no caso da ETA Porto das Caixas, essa parcela retorna ao início do processo de tratamento e não compõe o volume do lodo.

O lodo sedimentado no decantador apresenta teor de sólidos inferior a 1% e para que seja destinado ao aterro sanitário há a necessidade de aumento da sua concentração. Essa etapa é conhecida como tratamento do lodo. Na ETA Porto das Caixas, o fluxograma do tratamento da fase sólida é composto por adensador por gravidade seguido por desaguamento mecânico por centrífuga. O adensador por gravidade tem o objetivo de aumentar a concentração dos sólidos para aproximadamente 3%. A centrífuga, com dosagem de polímeros, aumenta o teor de sólidos para aproximadamente 25%. Na Figura 22 observa-se a textura do lodo centrifugado da ETA Porto das Caixas, com teor de sólidos superior a 25% e que foi utilizado no experimento.

Figura 22 - Lodo centrifugado da ETA Porto das Caixas com teor de sólidos a 25%

Fonte: O autor, 2017.

Com o objetivo de se verificar a classe do lodo da ETA Porto das Caixas para a avaliação da possibilidade do seu encaminhamento para o aterro sanitário, foi realizada a sua caracterização pelo Instituto Estadual do Ambiente do Rio de Janeiro (INEA). Os resultados completos estão apresentados no Relatório de Ensaios GELAB nº 1175/13, no Anexo A do presente trabalho. Já neste item, são apresentados somente os valores dos principais parâmetros, conforme pode ser observado na Tabela 11, para comparação com os limites definidos para os ensaios de lixiviação e solubilização descritos nos anexos G e F da ABNT - NBR 10.004/04.

Nenhum parâmetro do ensaio de lixiviação se apresentou fora dos limites estabelecidos. Sendo assim o resíduo não foi considerado perigoso. Porém no ensaio de solubilização os teores de fenóis totais, ferro e manganês ficaram acima dos limites estabelecidos, classificando então o lodo da ETA de Porto das Caixas como Resíduo Sólido Não Perigoso e Não Inerte – Classe IIA. Assim, este, pode ser disposto em aterro sanitário ou

destinado para aproveitamento ou reciclagem. Chama atenção o baixo valor de alumínio no ensaio de solubilização, apesar do uso de sulfato de alumínio no processo de coagulação. Aparentemente este elemento está adsorvido no lodo.

Tabela 11 - Resultados dos ensaios de lixiviação e solubilização do lodo da ETA Porto das Caixas realizado pelo INEA em 2013

Parâmetros	**Resultados Amostra [mg/L]**	**Limite Máximo – NBR 10.004 [mg/L]**
Ensaio de Lixiviação – Limites: Anexo F - NBR 10.004/04		
Cádmio	<0,01	0,5
Cromo Total	<0,05	5,0
Mercúrio	<0,0001	0,1
Prata	<0,05	5,0
Bário	1,4	70,0
Chumbo	*<0,1*	*1,0*
Ensaio de Solubilização – Limites: Anexo G - NBR 10.004/04		
Fenóis totais	0,1	0,01
Cloreto	9,5	250,0
Sulfato	50	250,0
Fluoreto	0,24	1,5
Alumínio	<0,1	0,2
Cobre	0,005	2,0
Bário	0,15	0,7
Chumbo	0,01	0,01
Cromo total	<0,01	0,05
Ferro	1,4	0,3
Manganês	13	0,1
Mercúrio	<0,0001	0,001
Prata	<0,01	0,05
Zinco total	0,20	5,0
Cádmio	0,002	0,005

Fonte: GELAB N° 1175 ,2013 e ABNT, 2004.

Para o desenvolvimento do trabalho, parte da produção do lodo centrifugado em junho de 2017 foi encaminhado para o viveiro florestal e lá permaneceu em uma baia de contenção protegida de intempéries por três dias. O lodo foi utilizado na forma que estava acondicionado, sem passar por nenhum peneiramento ou tratamento prévio.

Definição dos Parâmetros do Lodo da Estação de Tratamento de Esgoto.

O lodo adotado na pesquisa é proveniente de um leito de secagem de uma ETE operada pela CEDAE com o fluxograma da fase líquida do tipo lodo ativado convencional. Na fase sólida o fluxograma é composto por adensador, digestor anaeróbio e leito de secagem.

Dessa forma o lodo da ETE mencionada foi adotado no trabalho e este, por se tratar de uma pesquisa com objetivo de dar destino ao lodo de ETA, não foram aprofundadas as características da ETE, bem como do lodo nela gerado. O lodo utilizado no experimento, antes de ser misturado no substrato foi peneirado com o objetivo de se remover partículas grosseiras como: pequenos gravetos ou demais impurezas.

Caracterização do Viveiro Florestal

O viveiro florestal utilizado no experimento foi um dos viveiros do programa Replantando Vida, localizado no município de Magé a 25 km do município de Itaboraí. Este viveiro florestal é o primeiro inserido dentro de uma unidade prisional no ERJ, com mais de 30.000 m², conforme se observa na Figura 23. O viveiro possui capacidade de produção de 1,2 milhões de mudas anuais, figurando entre os maiores produtores de mudas florestais nativas do Estado.

Figura 23 - Vista do viveiro florestal localizado em uma unidade prisional no município de Magé

Fonte: Abel, 2017.

O viveiro possui um berçário para auxiliar na germinação das mudas, uma área de sombra, área de enrujecimento, uma área de crescimento e um local destinado as mudas para arborização, além de o terreno possuir um bosque que é utilizado para coleta de sementes. No viveiro são produzidas mais de 200 espécies da Mata Atlântica. Para a produção das mudas, o viveiro utiliza em média 15.000 m³ de substrato ao ano, sendo 7.500 m³ de lodo de ETE e 7.500 m³ de solo comercial.

Caracterização das Espécies de Árvore

No experimento foram utilizadas duas mudas de espécies nativas da Mata Atlântica: uma de crescimento rápido, a *Schinus terenbinthifolius*, comumente conhecida como Aroeira Pimenteira, e outra de crescimento moderado, a *Pterocarpus violaceus,* conhecida como Aldrago. Na Figura 24 se visualiza as árvores das espécies utilizadas no experimento.

Figura 24 - Árvore da Aroeira Pimenteira e Aldrago

(a) (b)

Legenda: (a) árvore de Aroeira Pimenteira; (b) árvore de Aldrago.
Fonte: Lorenzi, 2008.

A *Schinus terenbinthifolius* é uma espécie pertencente à família Anacardiaceae. Segundo Lorenzi (2008), é considerada planta de pequeno a médio porte, entre 5 e 10 m de altura, com tronco de 30 a 60 cm de diâmetro, com crescimento rápido, perenifólia, heliófila e pioneira. Essa espécie é comum em terrenos úmidos, porém cresce também em terrenos secos e pobres. A taxa de germinação desta espécie é maior que 50% e o desenvolvimento da planta

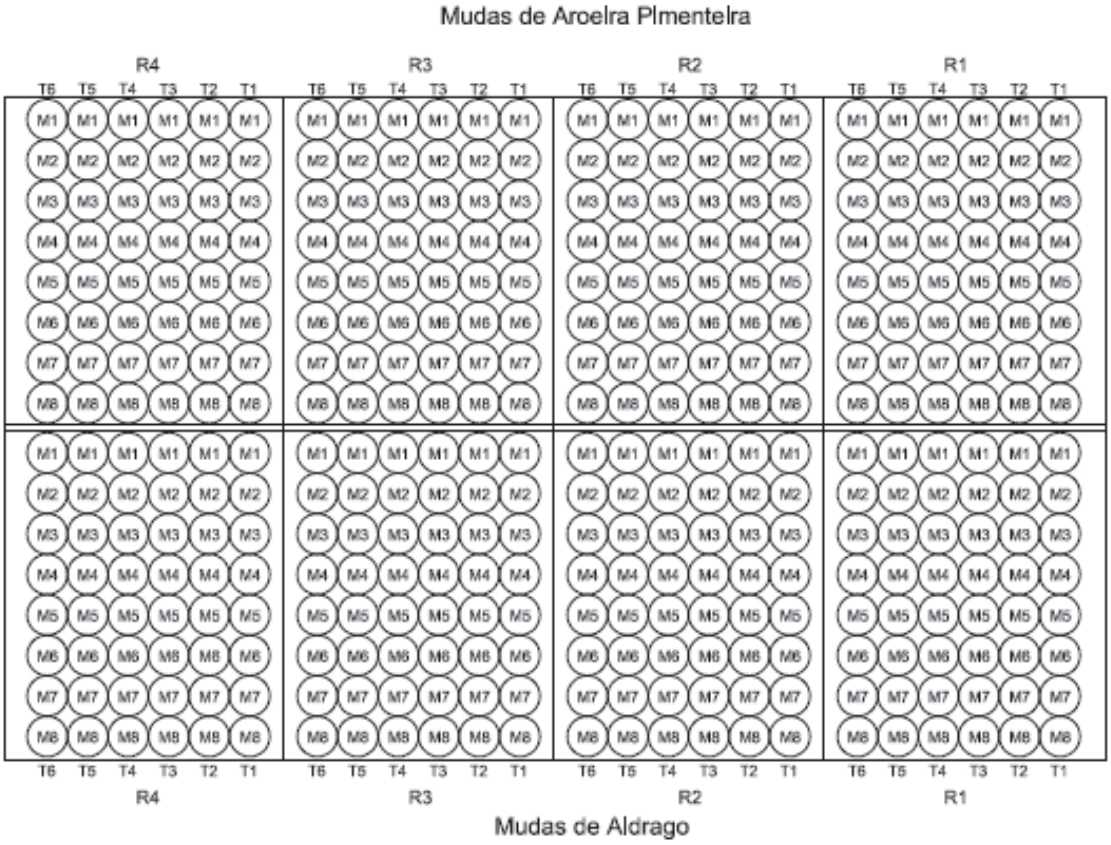
no campo é bastante rápido. Por essas características, ela foi utilizada com a intenção de ser a espécie que melhor se desenvolveria durante o experimento.

A *Pterocarpus violaceus* é uma espécie pertencente à família Fabaceae-Faboideae (Leguminisae). Segundo Lorenzi (2008), é considerada uma planta de médio porte, entre 8 a 14 m de altura, com tronco de 30 a 50 cm de diâmetro, com crescimento moderado, perenifólia, heliófila e é encontrada tanto na floresta primária densa, como nas formações secundárias. Aparentemente a espécie cresce independentemente das condições físicas do solo, característica da floresta pluvial da encosta atlântica. A taxa de germinação desta espécie é maior que 40% e o desenvolvimento da planta no campo é apenas moderado. Por essas características, ela foi utilizada com a intenção de ser a espécie que pior se desenvolveria durante o experimento.

3.2 Aparato Experimental

O experimento ocupou um espaço de 2,45 m de comprimento por 1,50 m de largura, totalizando 3,68 m² e foi instalado na área de sombra do viveiro. A Figura 25 apresenta o croqui da área do experimento e a forma de distribuição das mudas no local. O local foi devidamente identificado para que não atrapalhasse a operação cotidiana do viveiro e a área do experimento foi dividida em 2 seções onde foram colocadas as mudas de *Schinus terebinthifolia* (Aroeira Pimenteira) e *Pterocarpus violaceus* (Aldrago) separadamente. As mudas de cada espécie foram distribuídas em quatro repetições (R1, R2, R3 e R4) ao longo da área, iniciando no traço T1 e terminando no traço T6, cada um com 8 mudas (M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7 e M8).

Figura 25 - Croqui da área do experimento e a forma de distribuição das mudas no local



Fonte: O autor, 2018.

Coleta das Mudas

As mudas foram coletadas no berçário localizado no próprio viveiro florestal. Após a escolha das mudas, as mesmas foram colocadas em um balde com água para a limpeza da areia, e após, encaminhadas para a replicagem. Não foi utilizado nenhum critério de escolha das mudas, visto que em uma operação normal de um viveiro, todas as características são aceitas na replicagem. Na Figura 26 observa-se a coleta das 192 mudas de *Schinus terenbinthifolius* e 192 mudas de *Pterocarpus violaceus*, no berçário.

Figura 26 –Coleta das mudas no berçário do viveiro (continua)

(a)

(b)

(c)

(d)

Figura 26 - Coleta das mudas no berçário do viveiro (conclusão)

(e)

(f)

Legenda: (a) berçário de mudas; (b) e (c) coleta das mudas no berçário; (d) balde utilizado para limpeza das mudas (e) muda de Aldrago, (f) muda de Aroeira.
Fonte: O autor, 2017.

Análise Química dos Insumos

Antes de preparar os traços para o experimento foi realizado uma coleta simples dos substratos. Foram coletados aproximadamente 2 kg de lodo de ETA, lodo de ETE e solo para serem realizadas as análises químicas. As amostras foram encaminhadas para o laboratório de qualidade de água da CEDAE e foram verificados parâmetros, como pH, nutrientes e metais.

As metodologias utilizadas para a análises de pH foram baseadas na EMBRAPA (1997) e para a análise dos nutrientes e metais, foram baseada na metodologia da USEPA (1994).

Ressalta-se que não é conhecida a procedência do solo comercial adotado no presente estudo. Portanto, não foi possível comparar as caraterísticas do lodo da ETA em relação às do solo, já que não é possível afirmar que sejam provenientes da mesma bacia hidrográfica. De acordo com Tartari (2013) quando o manancial de captação de água para abastecimento e o solo para composição do traço encontram-se na mesma bacia hidrográfica, espera-se que o lodo dessa ETA tenha características similares ao solo da região.

Também se ressalta que as concentrações dos nutrientes Nitrogênio (N), Enxofre (S), Carbono (C) e Molibdênio (Mo) não foram medidas neste ensaio, visto que o laboratório utilizado no experimento, não realizava as análises desses nutrientes.

Na Figura 27 verificam-se os aspectos dos materiais que compõem os traços do experimento.

Figura 27 – Aspecto dos materiais que compõem os traços

(a) (b)

(c) (d)

Legenda: (a) solo comercial; (b) lodo de ETE; (c) e (d) lodo de ETA.
Fonte: O autor, 2017.

Preparação dos Traços

Para avaliar o potencial de utilização de lodo de ETA na produção de mudas produzidas em viveiros florestais, foram realizados traços alterando-se os percentuais de lodo de ETA na composição do substrato. O primeiro traço, traço testemunho (T1), corresponde àquele que atualmente é utilizado no viveiro, composto de solo comercial e lodo de ETE. Os traços seguintes já não utilizam o solo, visto que um dos objetivos da pesquisa é a diminuição de extração de recursos naturais, substituindo o solo comercial pelo lodo de ETA. A Tabela 12 apresenta a porcentagem de insumos utilizados em cada traço de (T1 a T6).

Tabela 12 - Porcentagem de insumos utilizados em cada traço

	Lodo ETA	Lodo ETE	Solo
T1	0%	50%	50%
T2	100%	0%	0%
T3	75%	25%	0%
T4	50%	50%	0%
T5	25%	75%	0%
T6	0%	100%	0%

Fonte: O autor, 2018.

A Figura 28 está representando o processo de quantificação dos insumos para o preparo dos traços, assim como os equipamentos e materiais utilizados no preparo dos traços e o local de mistura dos substratos. Para o preparo das amostras foram utilizados recipientes de 14 L, uma betoneira e carrinho de mão, além de ferramentas como pá e espátula. As amostras foram preparadas na área de armazenagem dos substratos.

Figura 28 - Processo de quantificação dos insumos para o preparo dos traços (continua)

(a)

(b)

Figura 28 - Processo de quantificação dos insumos para o preparo dos traços (conclusão)

(c)

(d)

(e)

(f)

Legenda: (a) balde e pá utilizados para medição do volume dos insumos, (b) betoneira utilizada para mistura dos traços; (c) e (d) quantificação dos insumos para preparo dos traços; (e) traços antes da mistura e (f) local onde os traços foram preparados.
Fonte: O autor, 2017.

Para a quantificação dos traços foram utilizados recipientes de 14L como volume padrão. A quantidade de recipientes utilizados em cada traço está descrita na Tabela 13.

Tabela 13 - Quantidade de recipientes (14L) utilizados para o preparo de cada traço

	Lodo ETA	Lodo ETE	Solo
T1	0 un.	2 un.	2 un.
T2	4 un.	0 un.	0 un.
T3	3 un.	1 un.	0 un.
T4	2 un.	2 un.	0 un.
T5	1 un.	3 un.	0 un.
T6	0 un.	4 un.	0 un.

FONTE: O autor, 2018.

Após a separação das quantidades de cada insumo, os mesmos foram misturados em uma betoneira para formar a massa e logo após foram encaminhados para bancada onde foram colocados manualmente em recipientes plásticos específicos para a replicagem das mudas.

Enchimento dos Recipientes das Amostras

Os recipientes utilizados para colocação dos substratos foram sacos plásticos específicos para cultivo de mudas, adquiridos facilmente no mercado. Os recipientes foram preenchidos com traços encaminhados para a bancada de trabalho, conforme apresentado na Figura 29.

Figura 29 - Enchimento dos recipientes das amostras

(a) (b)

Legenda: (a) enchimento do recipiente do tratamento T2, (b) enchimento do recipiente do tratamento T5
Fonte: O autor, 2017.

De forma a cumprir o objetivo de analisar a trabalhabilidade de cada traço, o tempo de enchimento dos sacos foi avaliado da seguinte forma: quatro pessoas participaram desta etapa, onde cada uma encheu 16 sacos de cada traço (T1 a T6) e cada um teve seu tempo cronometrado. A Tabela 14 apresenta o tempo gasto para enchimento dos sacos, em relação a cada traço, que cada pessoa (p1 a p4) utilizou para preencher 16 recipientes.

Tabela 14 - Tempo de enchimento dos recipientes utilizados no experimento

	p1	**p2**	**p3**	**p4**
T1	130 seg	144 seg	132 seg	142 seg
T2	991 seg	1003 seg	980 seg	994 seg
T3	656 seg	661 seg	647 seg	653 seg
T4	480 seg	496 seg	464 seg	488 seg
T5	265 seg	267 seg	257 seg	270 seg
T6	208 seg	215 seg	190 seg	206 seg

Fonte: O autor, 2017.

Para verificar o tempo médio de enchimento de cada um dos recipientes, primeiro foi calculada a média de tempo que as pessoas levaram para encher os 16 recipientes e após foi dividido pelo número de recipientes enchidos por cada pessoa (16). A Equação 1 apresenta o cálculo de enchimento de cada recipiente utilizado.

Equação 1- Tempo de enchimento de cada recipiente utilizado

$$ts = \frac{tm}{nr}$$

Onde:
ts é o tempo médio de enchimento de cada recipiente (seg);
tm é o tempo médio de enchimento dos recipientes (seg);
nr é o número de recipientes enchidos por pessoa.

Ressalta-se que no presente texto, a descrição do enchimento dos sacos foi realizada juntamente com a descrição da preparação dos traços e da replicagem das mudas, por terem sido realizadas em campo, em sequência cronológica. Entretanto, na análise dos experimentos, ainda neste item “Materiais e Métodos”, será descrito o ensaio de trabalhabilidade.

Replicagem das Mudas

Os recipientes com as misturas de cada traço foram transportados para um canteiro reservado para o experimento na área de sombra do viveiro. Furos manuais foram feitos nos substratos para a colocação da raiz. Os furos depois foram tampados com o próprio substrato deixando o caule das mudas para fora dos recipientes. As mudas então foram dispostas na área reservada para o experimento, separadas por repetição. Após a replicagem os traços foram identificados para facilitar medições posteriores. A Figura 30 representa o processo de replicagem das mudas.

Figura 30 - Processo de replicagem das mudas (continua)

(a)

(b)

(c)

(d)

Figura 30 – Processo de replicagem das mudas (conclusão)

(e)

(f)

(g)

(h)

Legenda: (a) equipe trabalhando na replicagem das mudas; (b) furos nos substratos para a replicagem das mudas; (c) detalhe da replicagem das mudas de Aldrago; (d) mudas de Aroeira replicadas; (e) replicagem das mudas; (f) identificação do experimento para futuras verificações; (g) detalhe da placa de identificação do T2; (h) detalhe da placa de identificação do T5.
Fonte: O autor, 2017.

3.3 Análises dos Experimentos

Inicialmente, cada traço foi coletado para análises das suas propriedades físicas, tais como: teor de umidade e granulometria. Essas permitiram a avaliação da trabalhabilidade dos mesmos. Após 21 dias de preparação das mudas, periodicamente foram realizadas medições da quantidade de mudas sobreviventes, para a verificação da taxa de sobrevivência; e da altura

das mudas e do diâmetro do coleto para a verificação da taxa de crescimento. Ao final do experimento foram coletadas e pesadas amostras da raiz e da parte aérea para o cálculo do Índice de Qualidade de Dickson.

Análise Física dos Traços

As análises físicas dos traços (teor de umidade e granulometria) foram realizadas no Laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade do Estado do Rio de Janeiro – LMS/UERJ. Desta forma foi realizado uma coleta simples de cada traço. Foram coletadas aproximadamente 5 kg das amostras e acondicionadas em sacos fechados hermeticamente para que não perdessem umidade durante o trajeto, e posteriormente encaminhadas ao referido laboratório.

Teor de Umidade

Para o desenvolvimento do ensaio de teor de umidade, foram utilizadas 2 amostras de cada traço e posteriormente foi adotado um valor médio entre os resultados encontrado para cada traço. A metodologia do ensaio foi baseada na NBR 6457/1986 atualizada em 2016, que especifica a metodologia para preparação de ensaio de compactação e caracterização ABNT (1986) e suas etapas estão descritas a seguir:

O teor de unidade (W) pode ser descrito conforme a Equação 2 que apresenta o cálculo da massa da água (Mw) em relação a massa do solo seco (Md).

Equação 2 - Teor de Umidade

$$W = \frac{Mw}{Md} \times 100$$

Onde:
W é o teor de umidade de cada traço (%);
Mw é massa da água, calculada conforme Equação 5 (g);
Md é a massa do solo seco, calculada conforme Equação 4 (g).

No LMS as amostras foram colocadas em cápsulas numeradas. Anteriormente, cada cápsula foi pesada vazia (Caps) e no segundo momento cada cápsula foi pesada com as amostras úmidas (Caps + Ms), (Figura 31a). A diferença entre as massas da cápsula com solo úmido e da cápsula vazia determina a massa do solo úmido (Ms), conforme descrito na Equação 3.

Equação 3 – Massa do Solo Úmido

$$Ms = (Caps + Ms) - Caps$$

Onde:
Ms é a massa do solo úmido (g);
(Caps + Ms) é a massa da cápsula com as amostras úmidas (g);
Caps é a massa da cápsula vazia (g).

Após a pesagem da cápsula preenchida com as amostras dos traços úmidos, as mesmas ficaram por 24 horas secando em estufa (± 100°C). A Figura 31b apresenta as duas amostras de cada traço, preparadas com solo úmido antes de serem encaminhadas para a estufa. Após 24 horas, foram pesadas as cápsulas com o solo seco (Caps + Md) e a massa do solo seco então foi calculada pela diferença de peso da cápsula com solo seco e da cápsula vazia, conforme descrito na Equação 4.

Equação 4 – Massa do Solo Seco

$$Md = (Caps + Md) - Caps$$

Onde:
Md é a massa do solo seco (g);
(Caps + Md) é a massa da cápsula com as amostras secas (g);
Caps é a massa da cápsula vazia (g).

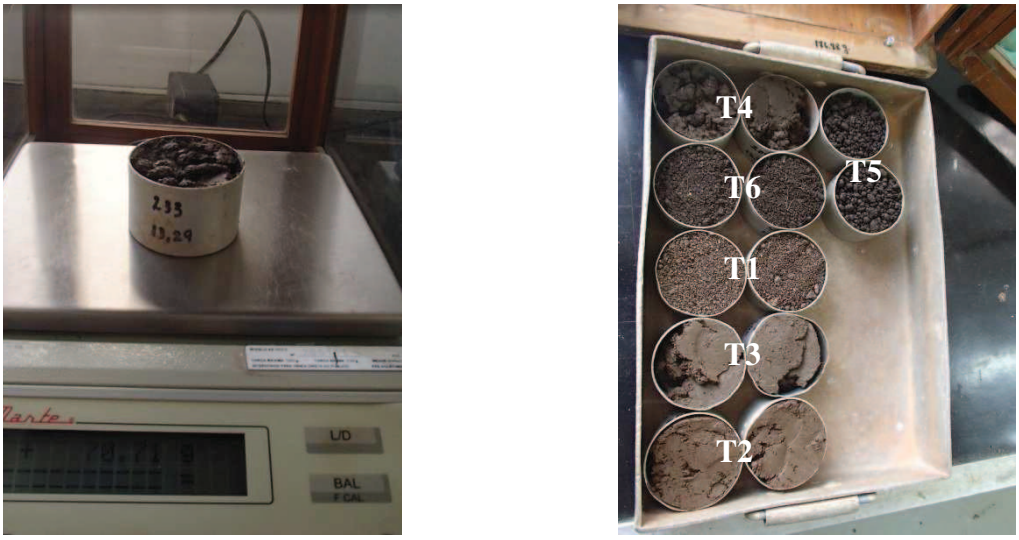
Para o cálculo da massa da água (Mw), subtraiu-se a massa do solo seco (Md) da massa do solo úmido (Ms), conforme descrito na Equação 5.

Equação 5 – Massa da Água

$$Mw = Ms - Md$$

Onde:
Mw é a massa da água (g);
Ms é a massa do solo úmido (g).
Md é a massa do solo seco (g);

Figura 31 – Etapas da análise do teor de umidade de campo dos traços



(a) (b)

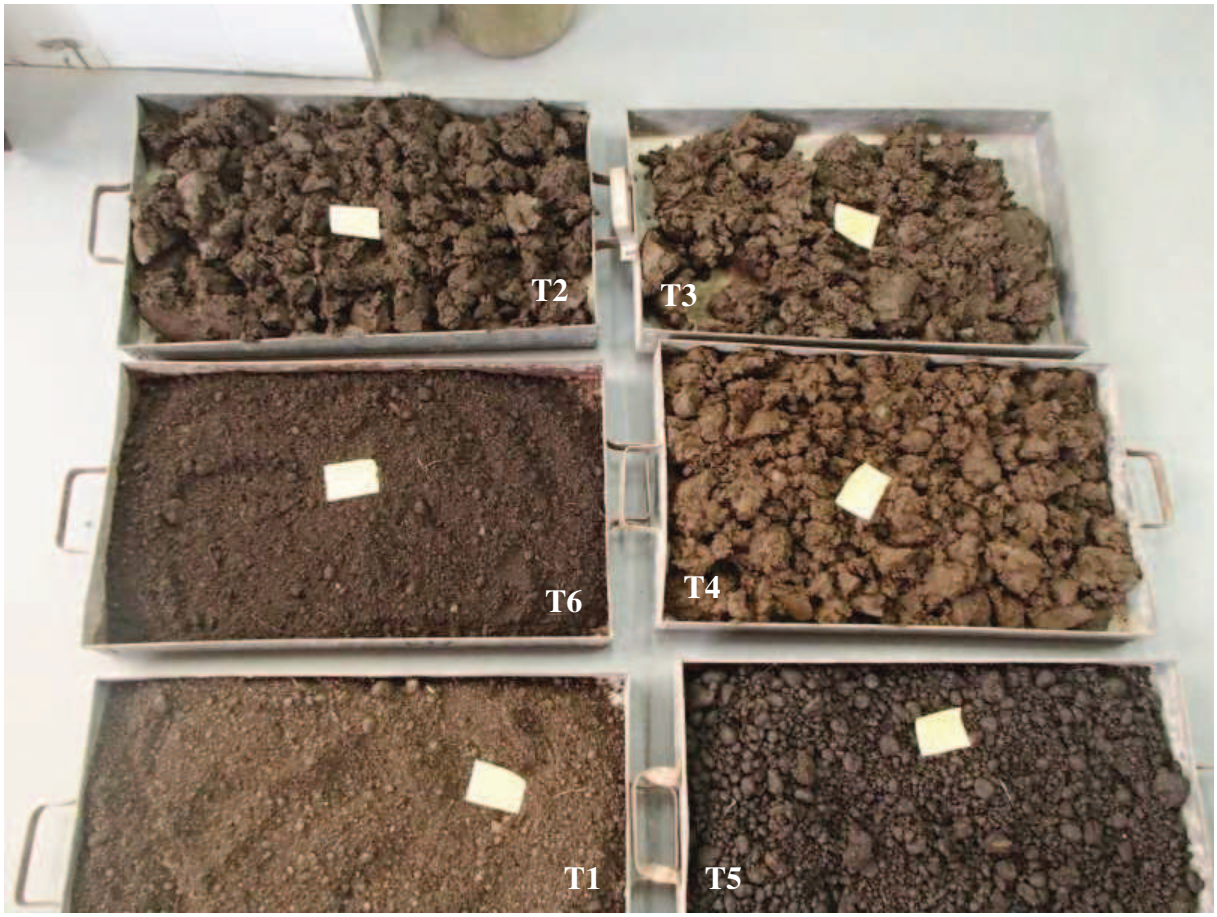
Legenda: (a) pesagem da cápsula com amostra úmida;(b) amostras úmidas preparadas para serem colocadas na estufa por 24 horas.
Fonte: O autor, 2017

Granulometria

O ensaio de granulometria é importante para a verificação os tamanhos dos grãos que compõe todos os traços. Este foi também realizado no LMS/UERJ. Dessa forma as amostras de cada traço, não utilizadas no ensaio de teor de umidade, foram separadas em um recipiente metálico e colocadas para secar a temperatura ambiente por 10 dias. A Figura 32 apresenta a textura das amostras de cada traço colocadas para secagem à temperatura ambiente, para realização do ensaio granulométrico.

A metodologia do ensaio de granulometria foi baseada na NBR 7181/1968 atualizada em 2016 ABNT (1968) e suas duas etapas estão descritas a seguir.

Figura 32– Textura das amostras de cada traço colocadas para secagem em temperatura ambiente



Fonte: O autor, 2017.

Etapa de Peneiramento

Após 10 dias de secagem a temperatura ambiente, partes das amostras foram colocadas em pratos e pesados em balança (Figura 33a). Após a pesagem inicial (amostra total úmida) as amostras foram peneiradas na peneira #10 que possui uma malha com abertura de 2 mm (Figura 33b). O material retido na peneira #10 é conhecido como peneiramento grosso e informa a porcentagem de areia grossa e pedregulhos existentes nas amostras. O que passa pela peneira #10 é conhecido como peneiramento fino e informa a porcentagem de areia fina, siltes e argilas.

Em algumas situações, foi necessário realizar destorroamento das amostras, que consiste em desfazer os solos mais grossos sem quebrar os grãos do mineral. Para isso as amostras foram colocadas em um almofariz e com o auxílio de uma mão de gral, as amostras foram destorroadas (Figura 33c) e passadas novamente na peneira.

Para ensaio do peneiramento grosso, o material retido na peneira #10, peneirado em peneiras com aberturas maiores que 2 mm e pesado novamente. Para o ensaio do peneiramento fino, aproximadamente 90 g a 110 g do material que passou pela peneira #10, foi colocado em um conjunto de peneira e depois peneirado em peneiras com aberturas inferiores a 2 mm e pesado novamente. Todas as medições foram anotadas em uma planilha de laboratório, que juntamente com as curvas granulométricas estão apresentadas no Anexo B. A Figura 33 representa as etapas do peneiramento da análise de granulometria dos traços.

A última peneira utilizada nesta etapa do ensaio foi a peneira #200 (Figura 33d), com abertura de malha de 0,075 mm. O que passa nesta peneira são grãos muito finos e só podem ser medidos na próxima etapa, denominada etapa de sedimentação.

Figura 33 - Etapa do peneiramento da análise de granulometria dos traços (continua)

(a)

(b)

Figura 33 - Etapa do peneiramento da análise de granulometria dos traços (conclusão)

(c)

(d)

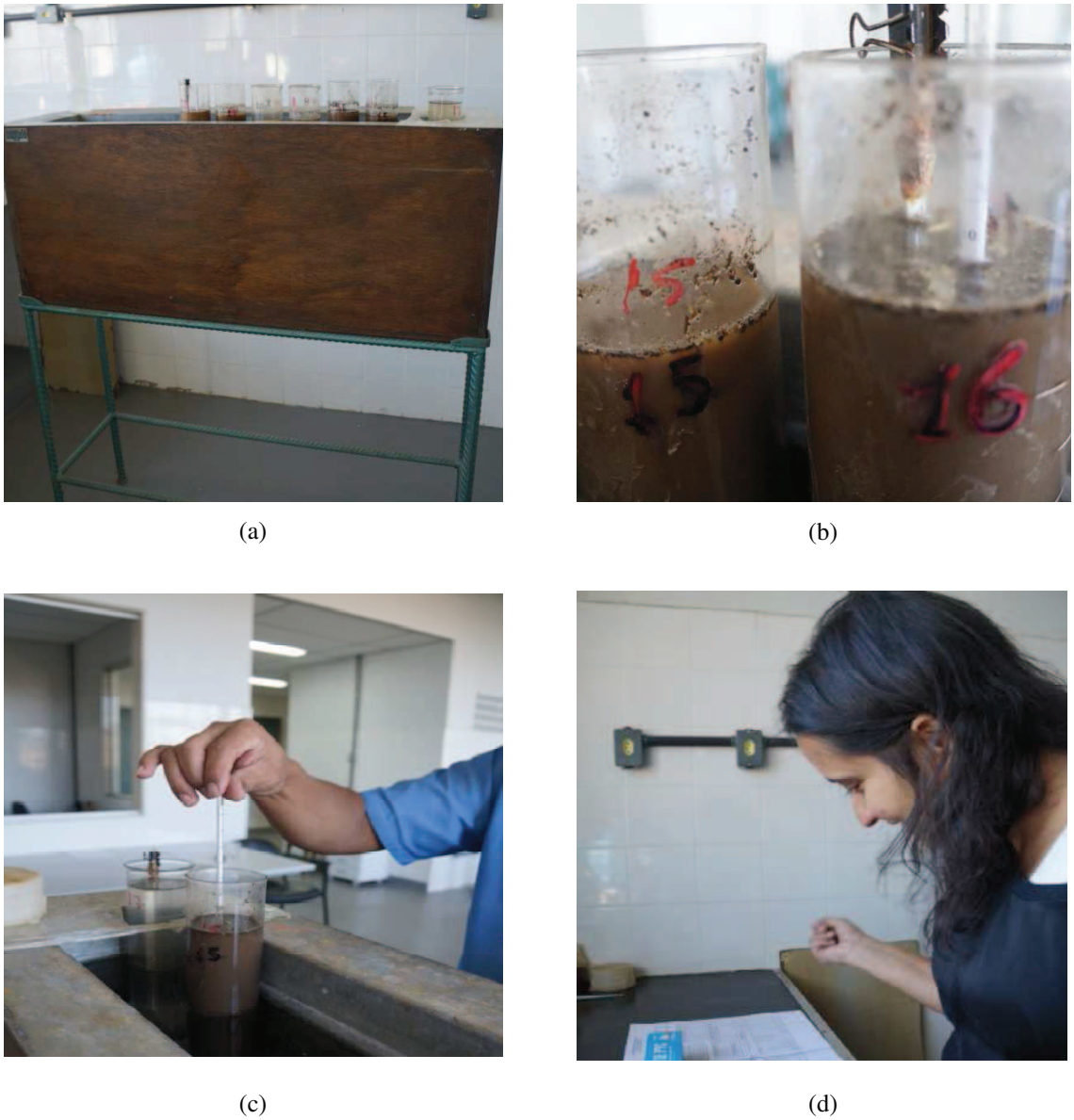
Legenda:(a) pesagem inicial das amostras para etapa de peneiramento; (b)peneiramento das amostras na peneira #10; (c) destorroamento dos grãos; (d) solo retido na peneira #200.
FONTE: O autor, 2017.

Etapa de Sedimentação

Foi adicionado um defloculante na parte do solo que passou pela peneira #200 e deixado em repouso por 24h. Após esse período a amostra foi vertida para uma proveta e nela foi adicionada água destilada, para mistura manual por 15 minutos. Após a mistura foi adicionada água até completar o volume de 1000 ml da proveta. As provetas, na medida em que foram sendo preparadas, foram colocadas em um tanque com água a fim de verificar a velocidade de sedimentação das partículas (Figura 34a).

Foi anotado o horário exato do início da sedimentação e neste momento, mergulhou-se o densímetro na mistura (Figura 34b), para medição do volume de sedimentação durante o tempo total de 24h. As leituras foram realizadas em intervalos variados, definidos na norma, iniciando com 30 segundos, 1 minuto, 2 minutos, até 24 horas (Figura 34c). Todas as leituras foram anotadas em uma planilha de laboratório (Figura 34d), que juntamente com os cálculos e as curvas granulométricas estão apresentadas no Anexo B. A Figura 34 representa as etapas da sedimentação da análise de granulometria dos traços.

Figura 34 - Etapa da sedimentação da análise de granulometria dos traços



(a) (b)

(c) (d)

Legenda: (a) tanque com água onde as provetas foram colocadas, (b) densímetro utilizado para leituras das amostras, (c) leitura das amostras, (d) anotação das leituras na planilha de laboratório.
Fonte: O autor, 2017.

Trabalhabilidade dos Traços

A trabalhabilidade dos traços é uma etapa importante na operação de um viveiro florestal, pois o tempo de enchimento dos recipientes onde as mudas serão replicadas e a facilidade de enchimento pode prejudicar o tempo de operação devido a demora da execução do trabalho.

Para avaliar a trabalhabilidade dos traços foi realizada uma comparação do tempo de enchimento dos traços (T1 a T6), com o teor de umidade e com a caracterização granulométrica do solo.

Taxa de Sobrevivência

Para a análise da taxa de sobrevivência foi verificada a quantidade de mudas sobreviventes no experimento, considerando-se mudas mortas aquelas com ausência de folhas e aquelas com as folhas aparentemente secas, conforme observado na Figura 35.

Figura 35 – Mudas consideradas mortas no experimento

(a) (b)

Legenda: (a) muda com ausência de folha considerada morta, (b) muda com folhas secas consideradas mortas.
Fonte: O autor, 2017.

A taxa de sobrevivência foi então calculada em relação ao traço e a espécie. Na Equação 7, observa-se que a taxa de sobrevivência (Ts) é igual a quantidade total de mudas sobreviventes (n) divida pela quantidade total de mudas analisadas (M), multiplicada por 100.

Equação 6 - Taxa de Sobrevivência

$$Ts = \left[\left(\frac{n}{M}\right) \times 100\right]$$

onde:
Ts é a taxa de sobrevivência (%);
n é o total de mudas sobreviventes no parâmetro analisado (un);
M é o total de mudas analisadas no parâmetro (un)

Taxa de Crescimento

O crescimento das mudas foi verificado através das seis medições periódicas realizadas a cada vinte e um dias. Para isso mediu-se a altura das mudas e o diâmetro do coleto em cada uma das 4 repetições de cada traço.

Para medição da altura utilizou-se uma régua métrica graduada com precisão de 0,05cm. A altura considerada foi o tamanho do caule entre o solo e a gema apical. Os dados da altura das mudas foram coletados a partir da 1ª medição, ou seja, com 21 dias do início do experimento. Na Figura 36 observa-se a medição das alturas das mudas.

O diâmetro do coleto foi medido tomando-se como referência a posição da planta rente ao solo. Foi utilizado um paquímetro manual com precisão de 0,05cm. Como os diâmetros dos coletos nas duas primeiras medições ainda apresentavam dimensões bastante reduzidas, só foram coletados esses dados a partir da 3ª medição, ou seja, com 63 dias do início experimento.

Assim, foram calculados valores médios entre as repetições de cada traço, tanto para altura da muda como para o diâmetro do coleto, para a verificação das taxas de crescimento das plantas. Por fim, a taxa de crescimento foi calculada por meio das Equações 7 e 8 que relacionam, respectivamente, a altura ou o diâmetro em relação ao tempo de medição.

Equação 7 - Taxa de crescimento em relação a altura das mudas

$$\mathrm{Th} = \frac{H}{t}$$

onde:
Th é a taxa de crescimento em relação a altura das mudas (cm/dia);
H é a altura das mudas medida (cm);
t é o tempo da medição (dia).

Equação 8 - Taxa de crescimento em relação ao diâmetro do coleto

$$\mathrm{Tcd} = \frac{\mathrm{Dc}}{t}$$

onde:
Tcd é a taxa de crescimento em relação ao diâmetro do coleto (cm/dia);
Dc é o diâmetro do coleto medido (cm);
t é o tempo da medição (dia).

Figura 36 - Medição da altura das mudas

(a) (b)

(c) (d)

Legenda: (a) medição da altura das mudas, (b) detalhe da medição da altura das mudas, (c) Gema Apical utilizada como limitador para medição da altura, (d) anotação das alturas medidas.
Fonte: O Autor, 2018.

Índice de Qualidade de Dickson

O Índice de Qualidade de Dickson (IQD) é um índice que relaciona a altura da muda, o diâmetro do coleto, o peso da matéria seca da parte aérea e da parte da raiz. As duas primeiras variáveis já foram calculadas anteriormente e dessa forma, nessa etapa, somente procedeu-se com a medição do peso da matéria seca da parte aérea e da parte da raiz. Ressalta-se que o experimento para o cálculo do IQD só pôde ser realizado com a espécie

*Schinus terenbinthifolius (*Aroeira Pimenteira), já que o experimento, acidentalmente foi desmontado antes da medição da outra espécie.

A seleção das mudas adotadas para esta etapa foi baseada no cálculo da altura média das mudas na última medição. As quatro mudas de cada repetição, que mais se aproximavam da altura média, foram selecionadas para pesagem.

Para a pesagem da raiz das mudas selecionadas, houve a necessidade de retirada do solo acoplado a ela. O solo foi retirado cuidadosamente para não danificar a raiz. Quando necessário as mudas foram colocadas em um balde com água para umedecer o solo e facilitar a remoção. Após remoção do solo remanescente da raiz, esta foi separada da parte aérea em todas as amostras (Figura 37). Assim, tanto parte aérea (folhas e caule) como parte das raízes foram ensacadas, identificadas e encaminhadas para a secagem em estufa por 24 horas. Posteriormente as partes descritas foram pesadas e para elas, foi realizado um cálculo médio para cada traço.

A Equação 9 apresenta o cálculo do Índice de Qualidade de Dickson.

Equação 9 - Índice de Qualidade de Dickson

$$\mathrm{IQD} = \frac{\mathrm{PMST}}{(H/\mathrm{Dc}) + (\mathrm{PMSA}/\mathrm{PMSR})}$$

onde:
IQD é o Índice de Qualidade de Dickson;
H é a altura das mudas (cm);
Dc é o diâmetro do coleto (cm);
PMST é o peso da matéria seca total (g);
PMSA é o peso da matéria seca da parte aérea (g);
PMSR é o peso da matéria seca da raiz (g).

Figura 37 – Separação da parte aérea e da raiz das mudas selecionadas (continua)

(a)

(b)

(c)

(d)

Figura 37 - Separação da parte aérea e da raiz das mudas selecionadas (conclusão)

(e)

(f)

(g)

(h)

Legenda: (a) retirada do solo da raiz seca, (b) mudas colocadas nos baldes para umedecimento, (c) retirada do solo da raiz umedecida, (d) parte aérea das mudas (T5), (e) e (f) parte da raiz (T5, T3), (g) e (h) mudas selecionadas (T2 e T5)
Fonte: O autor, 2017.

3.4 Avaliação dos Benefícios da Incorporação do Lodo de ETA no Substrato

Para a avaliação dos benefícios da incorporação do lodo no substrato para produção de mudas florestais, foi considerado o traço que melhor obteve resultado nos experimentos. Desconsiderou-se o traço T1, traço testemunho, e o traço T6, que usa 100% lodo de ETE, já que o objetivo final é a avaliação de destinação do lodo de ETA.

Para os cálculos relacionados aos custos da disposição final do lodo de ETA, foi adotada a metodologia desenvolvida por Lima (2014), que considera a disposição do próprio

lodo da ETA Porto das Caixas, também objeto de estudo desta pesquisa, em aterro sanitário. Ressalta-se que o trabalho foi desenvolvido em 2014 e dessa foram, até os dias atuais há que se computar um acréscimo de valores relacionados à inflação do período. Assim, sugere-se que o índice aqui estimado seja utilizado com esta ressalva. O índice aqui utilizado foi o Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA). O IPCA acumulado desde o ano de 2014 é de aproximadamente 20%. Sendo assim, o índice utilizado nos cálculos é 1,2.

Dessa forma, Lima (2014) compôs um custo de disposição do lodo da ETA Porto das Caixas em aterro sanitário no valor aproximado de R$ 180,00/ton já considerando o transporte. Já em relação ao custo do solo comercial foi adotado o valor apresentado no catálogo de preços da Empresa de Obras Públicas do Estado do Rio de Janeiro (EMOP), também referente ao ano de 2014. O valor adotado é de R$ 48,00 (quarenta e oito reais) por metro cúbico (EMOP, 2014). Ressalta-se que esse valor, por corresponder ao ano de 2014 também foi ajustado pelo índice do IPCA informado.

Para a composição dos benefícios adquiridos com a incorporação no lodo de ETA no substrato de produção de mudas, em substituição ao solo comercial, as seguintes variáveis foram adotadas:

- Volume de recurso natural evitado (Vr);
- Volume evitado na disposição no aterro (Vd);
- Custo evitado na aquisição de solo comercial (Cr);
- Custo evitado na disposição de lodo de ETA em aterro sanitário (Cd);e
- Custo total evitado pela companhia de saneamento (Ct)

As Equações 10, 11, 12, 13 e 14 serviram como base para os cálculos realizados.

Equação 10 – Volume de recurso natural evitado.

$$Vr = Vs$$

Onde:
Vr é o volume de recursos naturais evitados (m³/ano);
Vs é o volume de solo comercial utilizado no viveiro (m³/ano).

Equação 11 - Volume evitado na disposição de lodo de ETA do aterro.

$$Vd = \%TxVt$$

Onde:
Vd é o volume evitado na disposição de lodo de ETA em aterro (m³/ano);
%T é a porcentagem de lodo de ETA no melhor tratamento divida por 100.
Vt é o volume total de substrato utilizado no viveiro(m³/ano).

Equação 12 - Custo evitado pela aquisição de solo comercial;

$$Cs = VrxRsxi$$

Onde:
Cs é o custo evitado pela aquisição do solo comercial (R$/ano);
Vr é o volume de recursos naturais evitados (m³/ano);
Rs é custo do solo praticado pelo EMOP no estado do Rio de Janeiro (R$/m³)
i é o índice de reajuste estipulado.

Equação 13 - Custo evitado na disposição de lodo de ETA em aterro sanitário

$$Cd = VdxγxRdxi$$

Onde:
Cd é o custo evitado pela disposição de lodo de ETA em aterro (R$/ano);
Vd é o volume evitado na disposição de lodo de ETA em aterro (m³/ano);
γ é o peso específico do lodo úmido (W ~ 25%) de ETA (m³/ton).
Rd é o custo da disposição de lodo de ETA aterro sanitário (R$/ton).
i é o índice de reajuste estipulado.

Equação 14 - Custo Total evitado pela companhia de saneamento

$$Ct = Cs + Cd$$

Onde:
Ct é custo total evitado pela companhia de saneamento (R$/ano);
Cs é o custo evitado pela aquisição do solo comercial (R$/ano);
Cd é o custo evitado pela disposição de lodo de ETA em aterro (R$/ano).

Nesta etapa do trabalho, os benefícios adquiridos com a incorporação no lodo de ETA no substrato de produção de mudas, em substituição ao solo comercial foram avaliados tanto em função dos custos, como em função das questões ambientais e legais. Dessa forma, neste último caso, foram analisados os aspectos relacionados à preservação do recurso natural, à vida útil do aterro sanitário e às premissas da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305/2010) no que diz respeito às prioridades no gerenciamento de resíduos sólidos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base na metodologia empregada no experimento realizado, alguns resultados foram avaliados para a verificação da possibilidade de incorporação do lodo de ETA no substrato para plantio de mudas de espécies nativas da Mata Atlântica. Dentre eles: análise química dos insumos, análise física dos traços e análise das mudas em relação à taxa de sobrevivência, à taxa de crescimento e ao Índice de Qualidade Dickson. Ainda, foi realizada uma verificação preliminar dos custos, dos ganhos ambientais e atendimento as legislações.

Com relação às análises químicas, foram comparados os resultados pH, metais e nutrientes de cada insumo utilizado para compor o substrato (lodo de ETA, lodo de ETE e solo comercial). Já em relação à análise física dos traços, realizou-se a comparação do teor de umidade e da granulometria com o tempo de ensacamento a fim de se verificar a trabalhabilidade dos traços.

4.1 Análise Química dos Insumos

Como já mencionado no presente trabalho, os macros nutrientes importantes para o crescimento das plantas são: Nitrogênio (N), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Fósforo (P) e Enxofre (S). Já os micronutrientes são: Carbono (C), Ferro (Fe), Boro (B), Manganês (Mn), Zinco (Zn), Cobre (Cu) e Molibdênio (Mo). Ainda, outros parâmetros como Alumínio (Al) e o pH são de grande relevância para o desenvolvimento das plantas.

A Tabela 15 apresenta os resultados da análise química dos insumos (lodo de ETE, lodo de ETA e solo comercial), realizada no Laboratório da CEDAE.

Tabela 15 - Resultados das análises químicas dos insumos e nutrientes necessários para o crescimento das mudas

Parâmetro	LODO ETE mg/kg (base seca)	LODO ETA mg/kg (base seca)	SOLO COMERCIAL mg/kg (base seca)
Potássio (K)	1.065	2.921	278
Cálcio (Ca)	6.333	734	541
Magnésio (Mg)	2.090	2.402	<2,5
Ferro (Fe)	6.091	49.247	7763
Alumínio (Al)	6.799	69.976	10.091
Boro (B)	<0,395	<0,395	<0,395
Zinco (Zn)	173	84,1	48,2
Manganês (Mn)	65,2	2.570	28,8
Cobre (Cu)	56,0	18,4	14,7
Fósforo (P)	2.201	1.304	438
pH	5,1	5	3,6

Fonte: O autor, 2018.

Inicialmente, é possível observar que o elemento alumínio (Al) encontra-se em maior concentração em todos os insumos analisados. Porém, no lodo da ETA essa concentração é cerca de 10 vezes do que nos demais. Esse resultado já era de se esperar, já que o coagulante adotado no processo de tratamento da água foi o sulfato de alumínio. Lodos de outras ETAs indicam variação de 386 a 89.700 mg/kg conforme apresentada na Tabela 8 do item "revisão bibliográfica" do presente trabalho. Como já mencionado anteriormente, em certas regiões, a composição do lodo chega a ser mais de 90% proveniente do coagulante. E este elemento também é considerado um dos mais abundantes na crosta terrestre. Na ETA, as reações da coagulação por sulfato de alumínio tornam o pH do lodo mais ácido. Isso pode ser claramente observado na Tabela 15, onde o valor apresentado é de 5. Ainda em relação ao pH, tanto para o lodo de ETE como para o solo comercial, os valores também indicam um meio ácido.

O ferro (Fe) apresentou concentração de 49.246 mg/g no lodo da ETA, cerca de 7 vezes maior do que no lodo da ETE e no solo. Mesmo este elemento se encontrando em abundância na crosta terrestre, este valor apresentado na ETA só pode ser justificado pela presença em algum produto químico adicionado, podendo ser o próprio sulfato de alumínio ou o polímero utilizado no processo de desidratação do lodo. Ressalta-se que, por informação fornecida pelo operador da ETA, não foi adicionado coagulante de sais de ferro no tratamento da ETA em estudo. A Tabela 8 já mencionada indica valores variando de 212,47 a 15.300 mg/kg para o ferro.

Para a maioria dos parâmetros analisados, o lodo de ETE apresentou valores superiores em relação ao lodo de ETA e ao solo comercial. Daqueles mencionados como principais para crescimento de plantas, destacam-se Ca, P, Zn, Cu. Somente os parâmetros K, Mg e Mn apresentaram valores superiores no lodo de ETA. No caso do solo comercial, é possível perceber que somente a concentração de ferro foi superior à do lodo da ETE. Dessa forma, percebe-se claramente a importância da incorporação do lodo de ETE na composição do traço para melhor desenvolvimento das mudas. Isso será também analisado mais adiante do presente estudo.

4.2 Análises Física dos Traços

A análise física dos traços foi realizada no LMS/UERJ em função dos parâmetros teor de umidade e granulometria. A partir desses resultados foi possível analisar o tempo de enchimento dos sacos para cada traço para verificação da trabalhabilidade.

Teor de Umidade

O teor de umidade é a quantidade de água contida numa amostra de solo, neste experimento nomeado como traço, e pode ser expressa em porcentagem. Quanto maior o teor de umidade, mais água o traço possui. O teor de umidade também está relacionado com a composição mineralógica do solo (traço). Solos argilosos tendem a possuir um teor de umidade maior do que solos arenosos.

Analisando a Tabela 16, verifica-se que o teor de umidade do traço T1 (50% de solo e 50% lodo de ETE), que é o traço que vem sendo utilizado no viveiro como substrato, apresenta o menor valor, de 39%. Por outro lado, o traço contendo 100% de lodo da ETA (T2) apresenta o maior valor, de 224% e o traço contendo 100% de lodo de ETE (T6), apresenta um teor de umidade de 101%. Verifica-se que o teor de umidade aumenta conforme o aumento de porcentagem de lodo de ETA incorporado ao substrato. O traço que indicou o menor teor de umidade foi o traço T1, seguido do traço T6, T5, T4, T3 e T2 na sequência do menor para o maior. Porém como o objetivo é analisar a viabilidade da incorporação do lodo de ETA, o traço contendo este insumo que obteve menor teor de umidade foi o traço T5 com 128,66% e o que obteve maior teor de umidade foi traço T2 com 224,03%.

O teor de umidade dos traços analisados corresponde de solos com granulometrias muito fina, pois os valores ficaram acima de 100%.

Tabela 16 - Teor de Umidade.

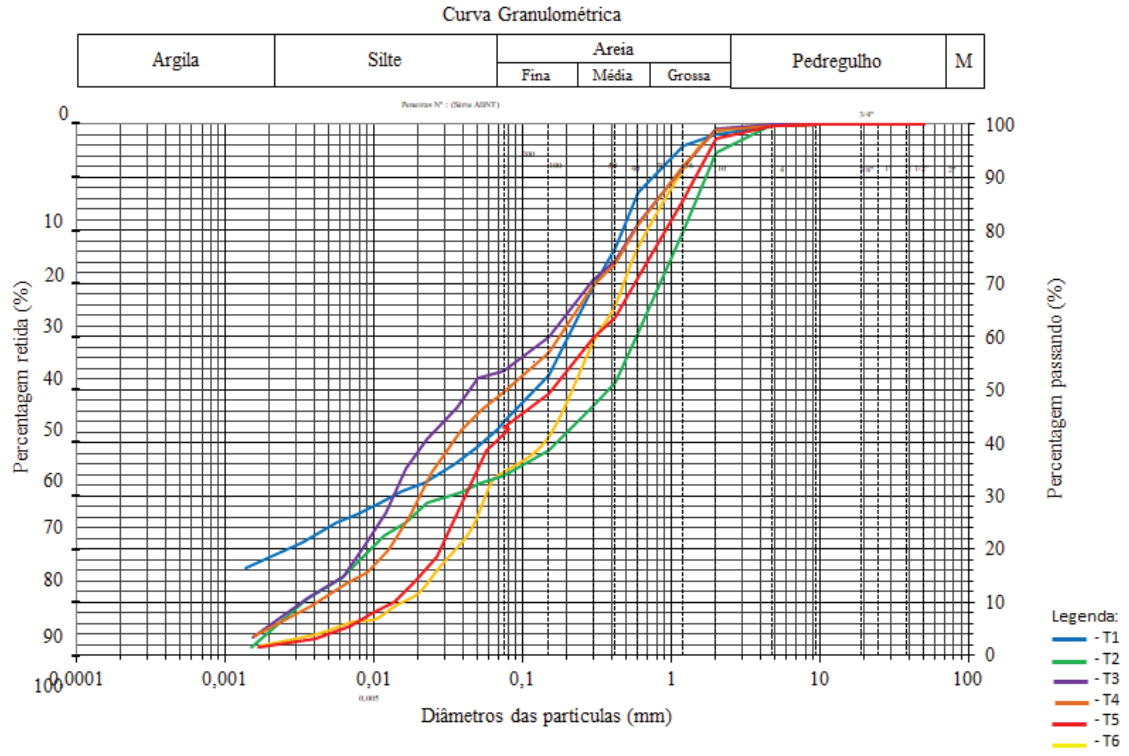
Traço	W [%]
T1	38,88
T2	224,03
T3	163,26
T4	150,97
T5	128,66
T6	101,93

Fonte: O autor, 2018.

Granulometria

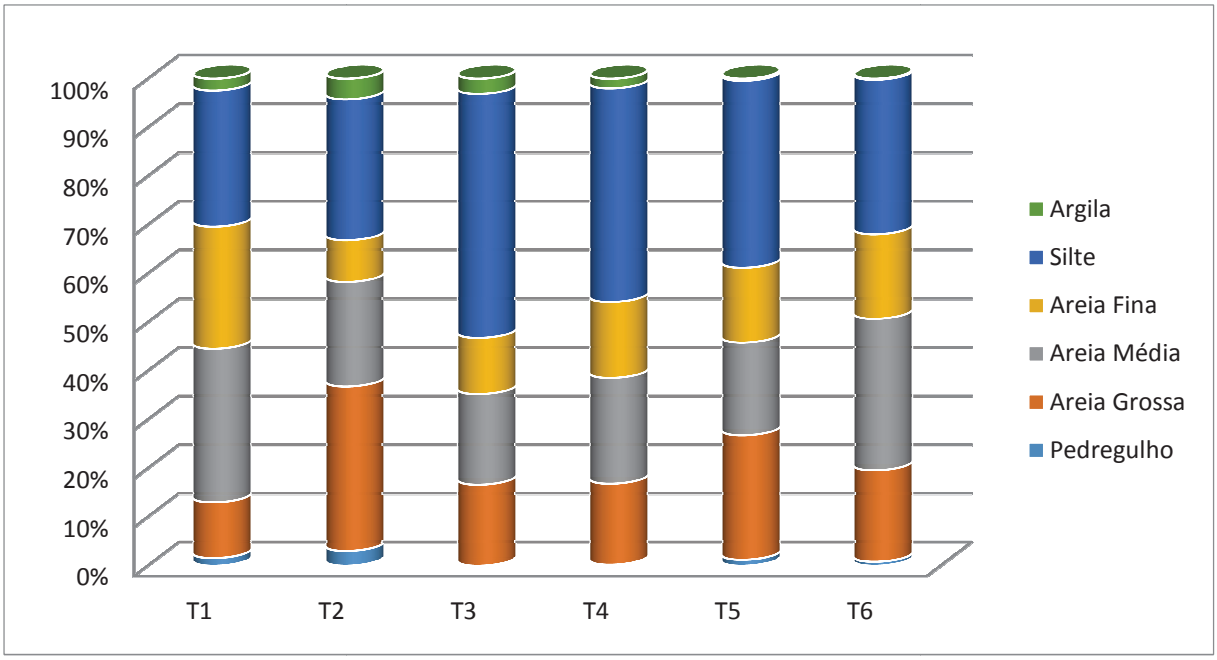
A determinação granulométrica dos traços foi realizada também no LMS/UERJ e seus dados e resultados estão apresentados no Anexo B. Na Figura 38 observa-se o gráfico contendo as curvas granulométricas de todos os traços. Já a Figura 39 apresenta um gráfico com a porcentagem de material (argila, silte, areia ou pedregulho) presente em cada traço, baseado nas curvas granulométricas. Ressalta-se que o resultado das curvas granulométricas indica o tamanho da partícula, conforme a classificação da ABNT para solos. Isto pode vir a auxiliar no entendimento do comportamento dos lodos, porém não necessariamente pode-se comparar a teoria clássica da Mecânica dos Solos.

Figura 38 – Curvas Granulométrica de todos os traços



Fonte: O autor, 2018.

Figura 39 - Porcentagem de material presente em cada traço



Fonte: O autor, 2018.

Pode-se verificar que o traço T1 apresenta 23% de silte e 2% de argila e cerca de 56 % de areia, enquanto o traço T2, lodo da ETA apresenta 28% de silte e 4% de argila e cerca de 64% de areia e 3% de pedregulho. A presença menor de argila e silte (32%) e a presença de pedregulho no lodo da ETA chama atenção, sendo possivelmente o não destorroamento dos finos. Dados da literatura (Tabela 7) indicam percentuais de argila variando de 16% a 89% e silte de 11% a 62%. O lodo da ETE, traço T6, apresenta 31% de silte, somente 0,2% de argila e 66% de areia com granulometria semelhante ao lodo da ETA. No entanto, as umidades dos dois materiais são diferentes. A alta umidade do lodo de ETA possivelmente está ligada a presença as altas concentrações de alumínio e ferro (Tabela 15), que ficam adsorvidos as partículas, dando uma estrutura chamada de floculada, com um alto índice de vazios, permitindo assim a entrada de água, tornando o material extremamente plástico. Portanto, mesmo com uma porcentagem de argila pequena o lodo da ETA tem um comportamento de argila, visto que quando ele seca, fica difícil o seu destorroamento.

Pode-se verificar que os traços T3 (75% ETA e 25% ETE) a T5 (25% ETE e 75% ETE) apresentam quantidades de silte variando de 48% a 37% e de areia de 45% a quase 60%. As umidades variaram de 163 % a 129 % indicando a diminuição da umidade a medida que a fração areia aumenta e mostrando a proximidade com a umidade do lodo da ETE.

Em relação à granulometria, não se observou uma homogeneidade nos traços e nem uma variação gradual de T2 a T6 conforme esperado.

Ter uma amostra homogênea de solo é benéfico para o desenvolvimento de mudas já que a característica de adsorção dos minerais pode influenciar na absorção ou não de nutrientes pelas plantas. Solos muito arenosos tendem a lixiviar facilmente os nutrientes, pois tem uma adsorção reduzida. Solos mais argilosos tendem a adsorver os nutrientes e não os liberam facilmente para a planta. Então solos contendo areia fina e silte em proporções razoáveis são aqueles onde a planta melhor se adapta. Dessa forma, os traços T1, T5 e T6 são os que mais se aproximam dessa característica. Sabendo-se que T1 tem em sua composição somente solo e lodo de ETE e que T6 representa somente lodo de ETE, o traço T5 destaca-se como um bom ambiente para o crescimento da planta em se tratando de granulometria.

4.3 Trabalhabilidade dos Traços.

A trabalhabilidade dos traços é um parâmetro importante na operação de um viveiro florestal, pois dependendo da consistência do substrato pode dificultar o enchimento dos recipientes utilizados para replicagem das mudas.

Como os traços analisados possuem percentuais granulométricos próximos, a trabalhabilidade foi avaliada comparando-se somente o tempo médio de enchimento do saco e o teor de umidade de cada traço. A Tabela 17 apresenta o tempo de enchimento e o teor de umidade para cada traço. Assim, verifica-se que quanto maior o teor de umidade mais tempo se levou para encher os recipientes. A Figura 40 apresenta fotografias que representam a consistência e a textura de cada traço, considerando-se somente T2 a T6, visto que T1 trata-se somente do traço testemunho.

Tabela 17 - Relação entre o tempo de enchimento do recipiente o teor de umidade dos traços

Traço	**Tempo Médio Enchimento [seg]**	**Teor de Umidade [%]**
T1	9	38,88
T2	62	224,03
T3	41	163,26
T4	30	150,97
T5	17	128,66
T6	13	101,93

Fonte: O autor, 2018.

Figura 40 - Consistências dos traços utilizados no experimento (continua)

(a)

(b)

Figura 40 - Consistências dos traços utilizados no experimento (conclusão)

(c) (d)

(e) (f)

Legenda: (a) consistência do traço T2 (b) consistência do traço T3, (c) consistência do traço T4, (d) consistência do traço T5, (e) consistência do traço T6, (f) consistência dos traços após ensacamento.

Fonte: O autor, 2017.

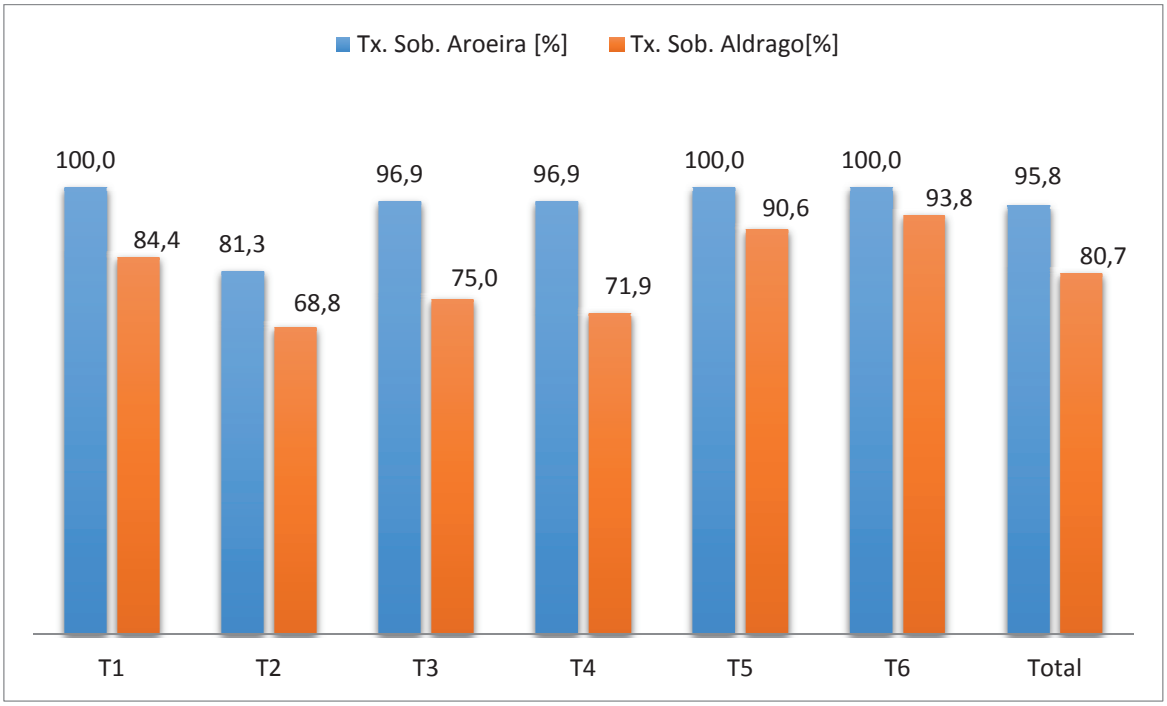
Nas Figuras 40b e 40c percebe-se uma consistência mais aglomerada dos traços T3 e T4 do que em relação aos traços T5 e T6 apresentados nas Figuras 40d e 40e. Apesar da fotografia da Figura 40a (Traço T2) não apresentar consistência muito argilosa, ressalta-se que esta amostra não passou pela betoneira como as outras (exceto T6), mas *in loco*, observou-se sim uma consistência com característica de argila. Os traços T2, T3 e T4 apresentam um teor de umidade maior que os traços T5 e T6, assim como o tempo de ensacamento.

Nesta análise pode-se constatar que um fator limitante para a utilização de lodo de ETA na composição do traço pode ser a sua quantidade em relação aos demais componentes, já que porcentagens elevadas de lodo de ETA dificultam o ensacamento para a logística dos viveiros.

4.4 Taxa de Sobrevivência

Analisar a taxa de sobrevivência das mudas é essencial para a verificação da qualidade do experimento. Essa sobrevivência ocorre em função de variáveis como: luz solar, água, nutrientes e alguma toxicidade que por ventura venha a ocorrer. Na Figura 41 observa-se a taxa de sobrevivência das mudas de cada espécie estudada, em relação ao traço e ao total.

Figura 41 – Taxa de Sobrevivências das Mudas



Fonte: O autor, 2018.

Observa-se que a taxa de sobrevivência das mudas em ambas as espécies é alta já que, na média total, todas se apresentaram acima de 80%. Ainda na Figura 41, verifica-se que o traço T2, com lodo de ETA em sua totalidade, foi o que obteve maior mortandade para as mudas, tanto para a Aroeira (81,3%) quanto para o Aldrago (68,8%). Isso se deve ao fato que o lodo de ETA apresenta menor quantidade de nutrientes essenciais para o crescimento das mudas em relação ao lodo de ETE presente nos outros traços. Os traços que obtiveram

maiores taxas de sobrevivência em ambas as espécies foram os traços T1, T5 e T6. Como o objetivo do presente estudo é avaliar a incorporação do lodo de ETA no substrato, dentre eles, o que contém lodo de ETA e que obteve melhor resultado foi o traço T5. Este é composto por 25% de lodo de ETA + 75% lodo de ETE. Neste caso, 100% das mudas de Aroeira Pimenteira sobreviveram e 90,6% das mudas de Aldrago sobreviveram. Este resultado reforça o entendimento inicial que a espécie Aroeira Pimenteira se desenvolve bem, mesmo em situações não convencionais.

4.5 Taxa de Crescimento

A altura e o diâmetro do coleto são fatores importantes na sobrevivência e desenvolvimento das plantas após o plantio em campo e as taxas de crescimento destes parâmetros podem variar conforme a espécie. Nas Tabelas 18 e 19, observam-se respectivamente, a taxa de crescimento em relação a altura das mudas (Th) e a taxa de crescimento em relação ao diâmetro do coleto (Tcd), para as duas espécies de estudo e em relação aos traços. Ressalta-se que conforme descrito no item "materiais e métodos", nesta etapa foram realizadas 6 medições com variação de 21 dias entre cada uma.

Tabela 18 - Taxa de Crescimento em relação a altura (Th)

Traço	1ª Medição	2ª Medição	3ª Medição	4ª Medição	5ª Medição	6ª Medição
Taxa de Crescimento em Relação a Altura - Aroeira Pimenteira						
T1	0,23	0,35	0,69	1,48	2,40	3,27
T2	0,23	0,24	0,25	0,41	0,60	0,79
T3	0,22	0,26	0,34	0,71	1,28	1,84
T4	0,24	0,29	0,40	0,99	1,72	2,45
T5	0,23	0,36	0,79	1,70	2,61	3,60
T6	0,22	0,35	0,72	1,52	2,39	3,25
Taxa de Crescimento em Relação a Altura - Aldrago						
T1	0,20	0,20	0,22	0,27	0,36	0,44
T2	0,21	0,22	0,24	0,25	0,25	0,26
T3	0,22	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26
T4	0,20	0,20	0,23	0,26	0,29	0,31
T5	0,21	0,21	0,23	0,27	0,35	0,42
T6	0,18	0,18	0,20	0,23	0,29	0,33

Fonte: O autor, 2018.

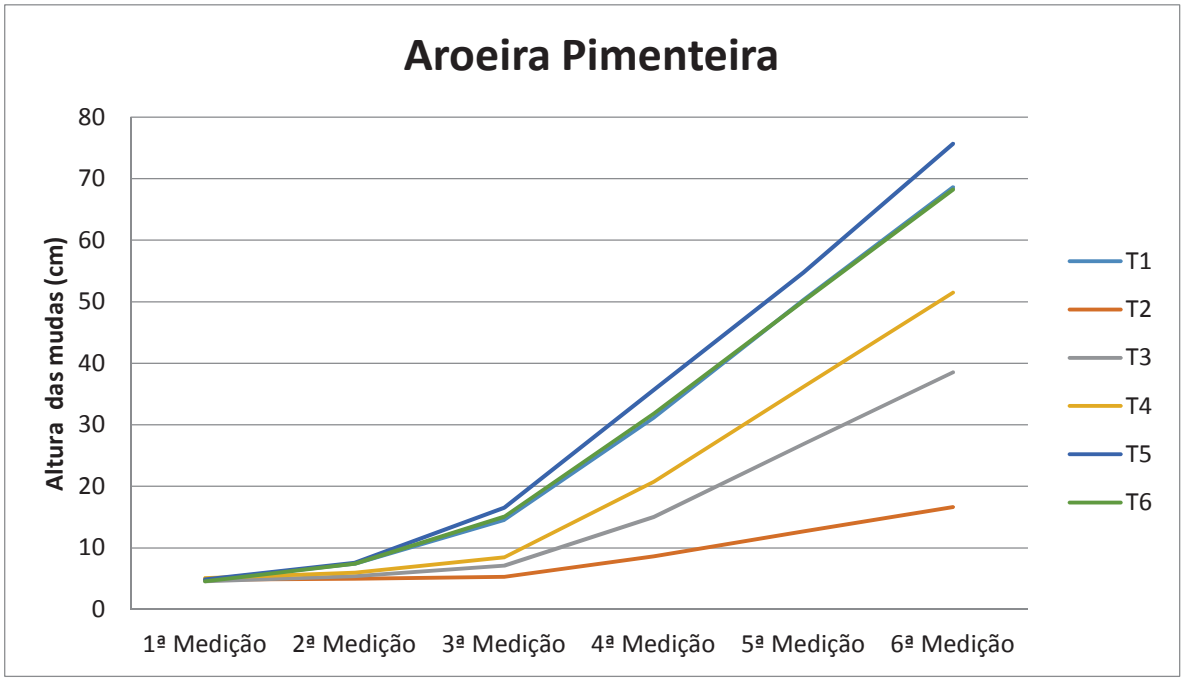
Tabela 19 - Taxa de Crescimento em relação ao diâmetro do coleto (Tcd)

Traço	3ª Medição	4ª Medição	5ª Medição	6ª Medição
Taxa de Crescimento em Relação ao Diâmetro do Coleto - Aroeira Pimenteira				
T1	0,01	0,02	0,02	0,03
T2	0,01	0,01	0,01	0,01
T3	0,01	0,01	0,01	0,02
T4	0,01	0,01	0,01	0,02
T5	0,01	0,02	0,03	0,03
T6	0,01	0,01	0,02	0,02
Taxa de Crescimento em Relação ao Diâmetro do Coleto - Aldrago				
T1	0,01	0,01	0,01	0,01
T2	0,01	0,01	0,01	0,01
T3	0,00	0,01	0,01	0,01
T4	0,01	0,01	0,01	0,01
T5	0,00	0,01	0,01	0,01
T6	0,00	0,01	0,01	0,01

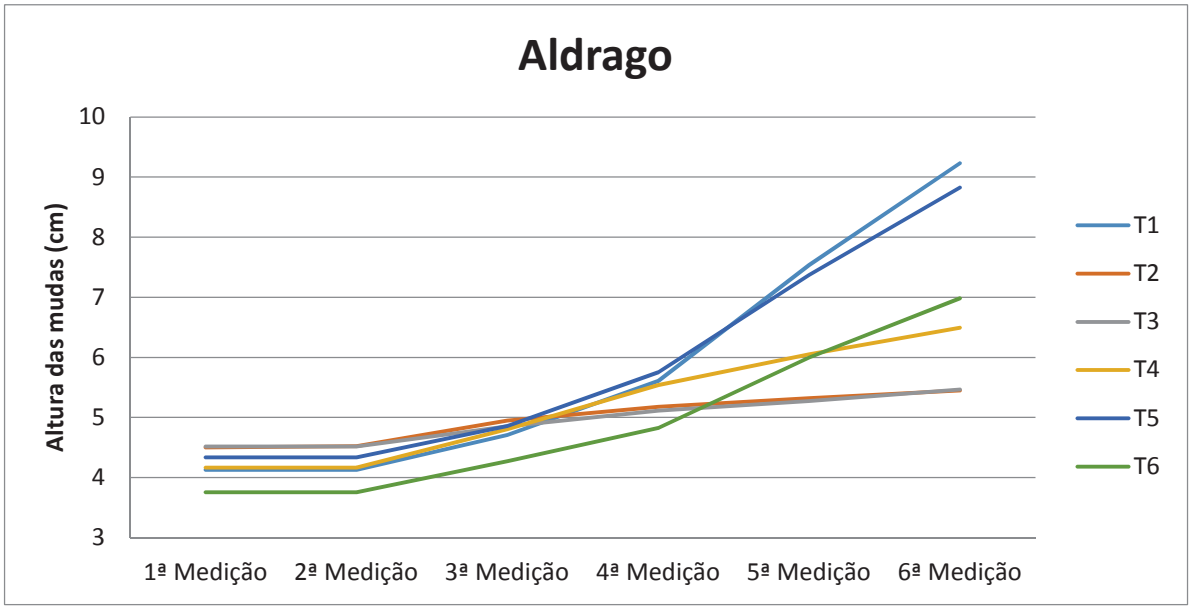
Fonte: O autor, 2018.

Como mencionado anteriormente, a *Schinus terenbinthifolius* (Aroeira Pimenteira) tem um crescimento rápido, já a *Pterocarpus violaceus* (Aldrago) tem um crescimento moderado. Isso é claramente observado nos resultados das Tabelas 18 e 19 e pode ser visualizado nas escalas dos gráficos da Figura 42 e Figura 43, que apresenta a altura e o diâmetro dos coletos das mudas ao longo das medições para cada traço.

Figura 42 - Crescimento das mudas ao longo das medições em relação à altura



(a)

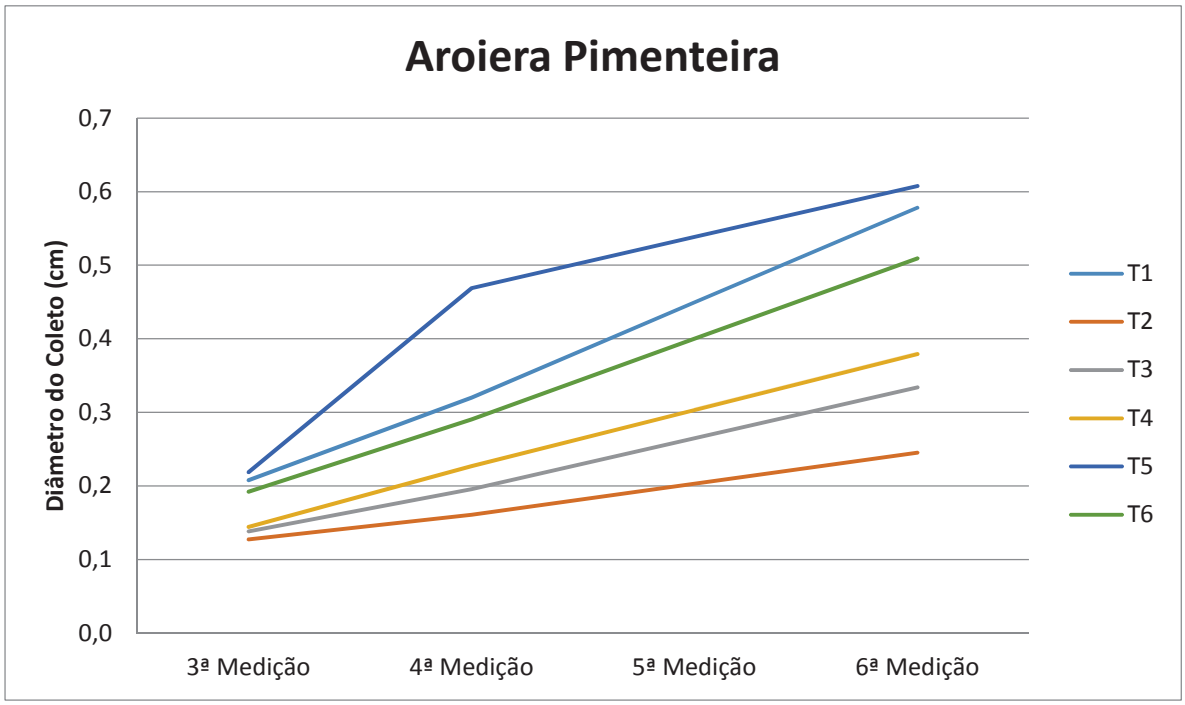


(b)

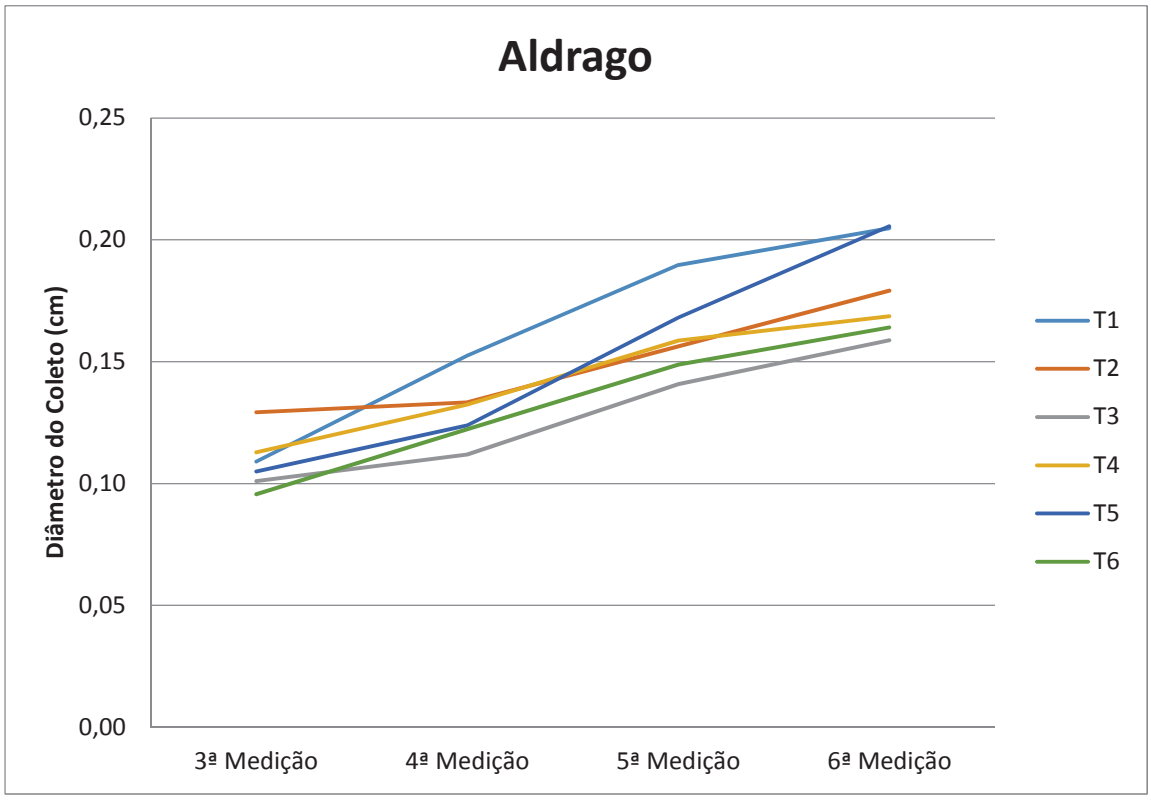
Legenda: (a) crescimento em relação a altura da Aroeira; (b) crescimento em relação a altura do Aldrago,

Fonte: O autor, 2018.

Figura 43 - Crescimento das mudas ao longo das medições em relação ao diâmetro



(a)



(b)

Legenda: (a) crescimento em relação ao diâmetro do coleto da Aroeira. (b) crescimento em relação ao diâmetro do coleto de Aldrago.

Fonte: O autor, 2018.

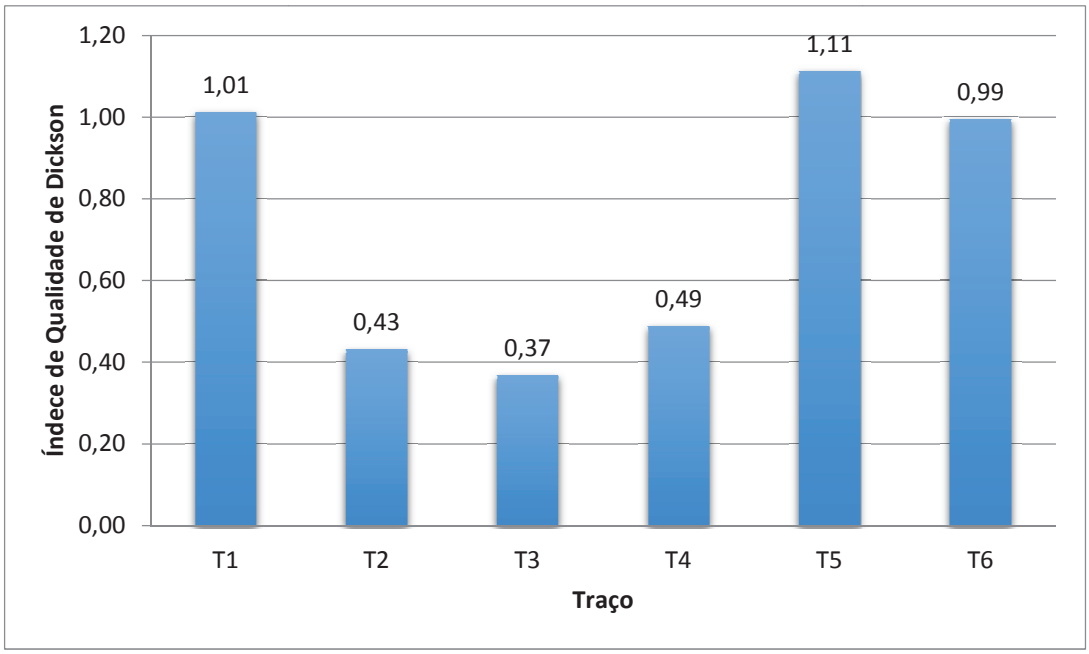
Como já era de se esperar, a taxa de crescimento tanto em relação à altura como em relação ao diâmetro do coleto foi superior para a Aroeira em comparação ao Aldrago. Verifica-se que em relação à altura, para ambas as espécies a taxa de crescimento foi gradativa ao longo das medições e em cada medição a taxa se elevou. Já em relação ao diâmetro do coleto não se observaram taxas mais elevadas entre as medições, apesar de se observar o crescimento também gradativo.

Também se verificou que os traços que possuem uma quantidade maior de lodo de ETA (T2, T3 e T4) tiveram uma taxa de crescimento menor do que as que possuem uma quantidade menor de lodo de ETA (T1, T5e T6). Isso, provavelmente se deve ao fato de o lodo de ETA apresentar quantidade insuficiente de nutrientes. O traço T5 apresentou um crescimento maior em relação à altura da Aroeira. Já em relação à altura do Aldrago, T5 apresentou um crescimento levemente inferior que T1. Em relação ao diâmetro do coleto T5 apresentou um crescimento maior em ambas as espécies. Assim, pode-se concluir que o traço T5, dentre os que contém lodo de ETA em sua composição, foi o que apresentou melhor taxa de crescimento, tanto para altura, quanto para o diâmetro do coleto nas duas espécies analisadas.

4.6 Índice da Qualidade de Dickson

O Índice da Qualidade de Dickson (IQD) é um bom indicador da qualidade das mudas, pois os cálculos consideram a robustez e o equilíbrio da distribuição da biomassa das mudas. O experimento para o cálculo do IQD só pôde ser realizado com a espécie *Schinus terenbinthifolius (*Aroeira Pimenteira), já que o experimento, acidentalmente foi desmontado antes da medição da outra espécie. Assim, para essa espécie, o IQD de cada traço está representado na Figura 44.

Figura 44 - Índice de Qualidade de Dickson dos Traços



FONTE: O Autor, 2018.

Os traços T1, T5 e T6 são os que apresentaram maiores valores para IQD, sendo o T5 com melhor resultado (1,11). Os traços T2, T3 e T4 foram o que apresentaram os menores IQD.

Em "Materiais e Métodos" foram apresentadas nas Figuras 37e, 37f, 37g as raízes de T5, T3 e T2 e pode-se verificar a diferença entre elas. A raiz de T5 é uma raiz superior, mais robusta e mais ramificada. Raízes assim absorvem melhor os nutrientes do solo. Assim, na análise da variável IQD, também o traço T5 apresentou melhor resultado.

4.7 Análises dos benefícios da incorporação do lodo de ETA no substrato

Todas as análises realizadas nos experimentos indicaram que o traço contendo lodo de ETA que melhor apresentou resultado geral foi o traço T5, contendo 25% de lodo de ETA e 75% de lodo de ETE. Sendo assim esse traço é que foi levado em consideração nos cálculos dos benefícios da incorporação de lodo de ETA para produção de mudas florestais de espécies da Mata Atlântica.

Para análise dos benefícios foram verificadas as seguintes variáveis:

- Volume e custo evitado de recursos naturais que seriam utilizados caso não houvesse a incorporação do lodo de ETA (Tabela 20); e

- Volume e custo evitado da disposição do lodo de ETA em aterro sanitário (Tabela 21).

Por fim, procedeu-se com uma análise mais ampla relacionada ao custo anual evitado total já que a companhia de saneamento é a mesma que opera a ETA e o viveiro (Tabela 22).

Tabela 20 - Volume e Custo evitado de recursos naturais

	Valores	**Unidade**
Substrato utilizado no viveiro	15.000	m³/ano
Lodo ETE utilizado atualmente	50	%
Solo utilizado atualmente	50	%
Solo utilizado no viveiro - Vr	7.500	m³/ano
Custo praticado no ERJ (EMOP, 2014)	48,00	R$/m³
Índice de Reajuste pelo (IPCA, 2014)	1,20	
Custo evitado de recursos naturais - Cr	432.000,00	R$/ano

FONTE: O autor, 2018.

Tabela 21 - Volume e Custo evitado de disposição em aterro

	Valores	**Unidade**
Substrato utilizado no viveiro	15.000	m³/ano
Lodo de ETE no traço T5	75	%
Lodo de ETA no traço T5	25	%
Lodo de ETA destinado ao viveiro - Vd	3.750	m³/ano
Peso específico do lodo de ETA	0,36	ton/m³
Peso de Lodo de ETA	1.350	ton/ano
Custo de disposição adotado (LIMA, 2014)	180	R$/ton³
Índice de Reajuste (IPCA, 2014)	1,20	
Custo evitado da disposição final- Cd	291.600	R$/ano

FONTE: O Autor, 2018

Tabela 22 - Custo total evitado

Custo evitado de recurso natural adquirido - Cr [R$/ano]	**Custo evitado disposição final de lodo de ETA – Cd [R$/ano]**	**Custo total evitado pela companhia de saneamento Ct [R$/ano]**
432.000,00	291.600,00	723.600,00

FONTE: O Autor, 2018

Assim, verifica-se que o volume anual de solo que deixaria de ser extraído das jazidas naturais seria equivalente a 7.500m³ e o custo anual evitado da aquisição deste solo seria de R$ 432.000,00 (quatrocentos e trinta e dois mil reais). Ainda, o volume anual de lodo de ETA que seria aproveitado e não destinado ao aterro é de 3.750 m³ e o custo evitado desta destinação seria de quase R$ 300.000,00 (trezentos mil reais) ao ano. Por fim, para a companhia, o custo evitado pela substituição do solo comercial pelo lodo de ETA seria de mais R$ 720.000,00 (setecentos e vinte mil reais) por ano.

Para este cálculo levou-se em consideração a produção de somente um viveiro. Porém atualmente a CEDAE possui mais de 6 viveiros em operação que poderiam utilizar esse substrato. Considerando somente o viveiro de Magé, verifica-se que ele absorve toda a produção de lodo da ETA Porto das Caixas (180 m³ ao ano) e ainda faltaria. Cerca de 95% do consumo de lodo de ETA pelo viveiro de Magé poderia ser absorvido de outras ETAs operadas pela companhia.

Além dos custos evitados, para o meio ambiente, essa substituição é muito benéfica já que deixaria de adquirir anualmente 7.500 m³ de um recurso natural finito e aumentaria a vida útil do aterro sanitário, pois deixaria de aterrar 3.750 m³ de resíduo por ano. Outro fator a ser levado em consideração é que a companhia estaria em acordo com as legislações vigentes, uma vez que a ordem de prioridade da PNRS é a reutilização e a reciclagem antes da disposição final.

5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

De maneira geral, no presente trabalho avaliou-se o potencial da incorporação do lodo gerado em estação de tratamento de água em substrato para a produção de mudas de espécies nativas da mata atlântica. Observou-se inicialmente, como já era de se esperar, que nos traços com somente lodo de ETA (T2) ou este em elevada proporção na composição do substrato (T3), não houve boa evolução das mudas, além deles apresentarem as mais baixas trabalhabilidades para enchimento dos sacos. Por outro lado, os traços contendo maior proporção de lodo de ETE em relação ao lodo de ETA (T5) garantiram boa evolução das mudas.

Em relação a análise química, observou-se uma maior concentração dos elementos alumínio e ferro em todos os insumos, com grande destaque no lodo da ETA. O lodo de ETE obteve maiores concentrações em relação aos macro e micronutrientes essenciais para o crescimento das mudas, destacando-se nos elementos Cálcio, Fósforo, Zinco e Cobre. O que o torna essencial para a incorporação no substrato para plantio de mudas florestais. Somente lodod e ETA, não alcançaria os resultados esperados.

Verificou-se que quanto maior a quantidade de lodo de ETA no susbtratato maior o teor de umidade dos traços. Já em relação à granulometria não se observou uma variação gradual dos componentes conforme esperado e nem um percentual elevado de finos (argila e siltes). Mesmo com a porcentagem de argila pequena, observa-se um comportamento argiloso do T2 além de um alto teor de umidade. Ainda, a granulometria os traços T1, T5 e T6 apresentam as melhores proporções de silte e areia fina onde as plantas melhor se adaptam.

Em relação a trabalhabilidade, verificous-se que quando maior o teor de umidade maior foi o tempo de enchimento dos sacos. Dessa forma, é possível concluir que elevadas proporções de lodo de ETA levam a um maior teor de umidade no traço e consequentemente a um maior tempo de enchimento dos sacos. Assim, essa proporção de lodo de ETA no substrato se torna um fator limitante para a produção de mudas em escala.

Em se tratando dos parâmetros de sobrevivência das mudas o experimento demonstrou que para todos os traços, a taxa de sobrevivência da Aroeira Pimenteira foi bastante elevada. Destaque deve ser dado ao traço T5 que dentre aqueles que apresentam lodo de ETA em sua composição foi o único que alcançou 100% de sobrevivência. Apesar de no caso do Aldrago este traço não ter alcançado 100% de sobrevivência, ele foi também o responsável por apresentar a maior taxa de sobrevivência dessa espécie nos traços com lodo de ETA em sua composição.

Em relação à altura das mudas e ao diâmetro do coleto, é possível concluir que tanto para a Aroeira Pimenteira como para o Aldrago, dentre os traços que contém lodo de ETA em sua composição, o melhor crescimento foi observado para o traço T5. No caso da Aroeira Pimenteira esse crescimento observado no T5 foi inclusive muito próximo ao observado no traço T6. Em relação ao diâmetro do coleto, a mesma conclusão pode ser tirada. O traço T5 também apresentou o maior Índice de Qualidade de Dickson, inclusive superior àquele apresentado pelo traço testemunho.

Observou-se ao longo dessa conclusão que o traço T5 se destacou em praticamente todas as avaliações apresentadas, se mostrando um bom substrato para o crescimento das mudas estudadas. Considerando-se então a composição do traço T5, nas condições atuais de operação do viveiro de mudas da CEDAE é possível obter uma economia anual superior a R$ 720 mil reais, em relação ao custo evitado pela aquisição do solo e disposição de lodo de ETA em aterro sanitário.

Além do benefício econômico, há que se levar em consideração o benefício ambiental, já que se passa a evitar a retirada de um recurso natural do ambiente, além de se permitir o aumento da vida útil do aterro sanitário.

6. RECOMENDAÇÕES

Ao longo do desenvolvimento da pesquisa, observaram-se alguns aspectos relevantes para a discussão dos resultados, mas que não foram abordados por não fazerem parte do escopo do trabalho. Dessa forma, seguem as seguintes recomendações para o desenvolvimento de novas pesquisas relacionadas ao tema:

- Na presente pesquisa, os parâmetros químicos foram analisados somente no lodo de ETA e não nos traços compostos. Dessa forma, sugere-se para pesquisas futuras que as análises químicas também sejam realizadas para os substratos compostos por lodo de ETE e lodo de ETA nas diferentes proporções.
- A pesquisa também não analisou os riscos biológicos envolvidos na produção de mudas com composição de lodo de ETA e ETE. Sugere-se que análises microbiológicas sejam realizadas nos traços dos substratos.
- Como neste trabalho foram geradas diversas variáveis, tais como parâmetros químicos do lodo de ETA, teor de umidade e granulometria dos traços, trabalhabilidade dos traços, altura das mudas das diferentes espécies, diâmetro dos coletos das diferentes espécies e IQD também das espécies em cada traço, sugere-se que em novos trabalhos sejam realizados estudos de regressão linear e correlação entre as variáveis para permitir conclusões mais precisas sobre possíveis relações entre as mesmas e o desenvolvimento das mudas.

REFERÊNCIAS

ABEL, Elton Luis da Silva. Replantando Vida: Rio de Janeiro: Cedae, 2017. 33 slides, color. Slide apresentado na Semana de Meio Ambiente - CEDAE.

ABREU, Alan Henrique Marques de et al. Characterization of sewage sludge generated in Rio de Janeiro, Brazil, and perspectives for agricultural recycling. Semina: Ciências Agrárias, [s.l.], v. 38, n. 41, p.2433-2448, 25 ago. 2017. Universidade Estadual de Londrina. http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2017v38n4supl1p2433.

ABREU, Alan Henrique Marques de. Biossólidos na Produção de Mudas Florestais da Mata Atlântica. 2014. 78 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Ambientais e Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro Instituto de Florestas, Rio de Janeiro, 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA (Brasil). Ministério do Meio Ambiente. Panorama Nacional Atlas Brasil: Abastecimento Urbano de Água. Brasília: Engercorps/cobrape, 2010. 2 v.

AHMAD, T.; AHMAD, K.; ALAM, M.. Characterization of Water Treatment Plant's Sludge and its Safe Disposal Options. Procedia Environmental Sciences, [s.l.], v. 35, p.950-955, 2016. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.proenv.2016.07.088.

ANDRADE, Clarice de et al. Compósito para a construção civil a partir de resíduos industriais. Matéria (rio de Janeiro), [s.l.], v. 21, n. 2, p.321-329, jun. 2016. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620160002.0031.

ANDREOLI, Clerverson V. et al. Produção, composição e constituição de lodo de Estação de Tratamento de Água (ETA). In: ANDREOLI, Cleverson V. (Org.). Alternativas de usos de resíduos do saneamento. Rio de Janeiro: Abes, 2006. Cap. 3. p. 29-47.

ANDREOLI, Cleverson V.. Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura e sua influência em características ambientais no agrossistema. 1999. 278 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolviment, Universidade Federal do Parana, Curitiba, 1999.

ARAÚJO, F. C. et al. Caracterização física do resíduo de uma estação de tratamento de água para sua utilização em materiais de construção. Cerâmica, [s.l.], v. 61, n. 360, p.450-456, dez. 2015. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132015613601931.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12216: Projeto de Estação de Tratamento de Água para Abastecimento Público - Procedimento. 1 ed. [s.i]: Abnt, 1992. 18 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILIERA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6502: Rochas e solos. 1 ed. [s.i]: Abnt, 1995. 18 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILIERA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: Resíduos Sólidos - Classificação. 2 ed. [s.i]: Abnt, 2004. 71 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILIERA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457: Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. 2 ed. [s.i]: Abnt, 1986. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILIERA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181: Solo - Análise granulométrica. 2 ed. [s.i]: Abnt, 1968. 12 p.

AUGUSTO, J. LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA NA COMPOSIÇÃO DE SUBSTRATOS PARA PRODUÇÃO DE MUDAS DE PLANTAS DA CAATINGA. 2016. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental., Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016.

BABATUNDE, A. O.; ZHAO, Y. Q.. Constructive Approaches Toward Water Treatment Works Sludge Management: An International Review of Beneficial Reuses. Critical Reviews In Environmental Science And Technology, [s.l.], v. 37, n. 2, p.129-164, jan. 2007. Informa UK Limited. http://dx.doi.org/10.1080/10643380600776239.

BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S.. Problemática dos metais nos resíduos gerados em Estações de Tratamento de Água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA

SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa. Anais do XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. João Pessoa: Abes, 2001. p. 1 - 1.

BASIBUYUK, M.; KALAT, D.g.. The use of waterworks sludge for the treatment of vegetable oil refinery industry wastewater. Environmental Technology, [s.l.], v. 25, n. 3, p.373-380, mar. 2004. Informa UK Limited. http://dx.doi.org/10.1080/09593330409355471.
.

BERTON, R. S.; NOGUEIRA, T. A. R.. Uso de lodo de esgoto na agricultura. In: COSCIONE, A. R.; NOGUEIRA, T. A. R.; PIRES, A. M. M. (Org.). Uso agrícola de lodo de esgoto. Botucatu: Fepaf, 2010. p. 31-50.

BETTIOL, Wagner; CAMARGO, Otávio Antônio de. Lodo de Esgoto: Impactos Ambientais na Agricultura. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 349 p.

BITTENCOURT, Simone et al. Aplicação de lodos de estações de tratamento de água e de tratamento de esgoto em solo degradado. Engenharia Sanitaria e Ambiental, [s.l.], v. 17, n. 3, p.315-324, set. 2012. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522012000300008.

BITTENCOURT, Simone et al. USO AGRÍCOLA DE LODO DE ESGOTO, ESTUDO DE CASO DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA. Revista Aidis: de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica., Juriquilla, v. 2, n. 1, p.1-11, 2009.

BRASIL. Constituição (1998). Lei nº 9605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências.. Lei de Crimes Ambientais. Brasília, BR: Diário Oficial da União, 13 fev. 1998.

BRASIL. Constituição (2005). Resolução nº CONAMA 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Conama 357. Brasil, DF: Diário Oficial da União, 18 mar. 2005.

BRASIL. Constituição (2006). Resolução nº CONAMA 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. Resolução Conama 375. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 30 ago. 2006.

BRASIL. Constituição (2010). Lei nº 12305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; o altera a Lei n 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, BR: Diário Oficial da União, 03 ago. 2010.

BRASIL. Constituição (2017). Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. 1. ed. Brasília: Diário Oficial, 29 jul. 2017.

BRASÍLIA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. .Mata Atlântica:Manual de Adequação Ambiental. Brasília: e, 2010. 96 p. (Série Biodiversidade, 35).

CARNEIRO, Charles et al. Caracterização do lodo da ETA gerado no Estado do Paraná. In: CARNEIRO, Charles; ANDREOLI, Cleverson V. (Org.). Lodo de Estação de Tratamento de Água: Gestão e Perspectiva Tecnológica. Curitiba: Sanepar, Thinks Criative, 2013. Cap. 3. p. 132-179.

CARNEIRO, J. G. A: Produção e controle de qualidade de mudas florestais. Curitiba: Embrapa Florestas, 1995. 451 p.

CECCON, Eliane; PÉREZ, Daniel Roberto (Org.). Más allá de la ecología de la restauración: perspectivas sociales en América Latina y el Caribe. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Vázquez Mazzini Editore, 2016. 384 p.

COLORADO. Constituição (2004). Regulation nº 5 CCR 1003, de 21 de abril de 2004. The purposes of these regulations are to ensure that the quality of waste discharged on land for beneficial uses is reasonably consistent with the protection of the public health and to establish rule. Beneficial Use Of Water Treatment Sludge And Fees Applicable To The

Beneficial Uses Of Sludges. Colorado, EUA: Department Of Public Health And Environment, 30 jun. 2004.

COMPANHIA ESTADUAL DE ÁGUAS E ESGOTOS - CEDAE (Rio de Janeiro). Diagrama Esquemático da ETA Laranjal. Disponível em: <hthttp://www.cedae.com.br/estacoes_tratamento>. Acesso em: 24 jun. 2018.

COMPANHIA ESTADUAL DE ÁGUAS E ESGOTOS - CEDAE (Rio de Janeiro). Entenda como Funcionam as ETAs. 2017. Disponível em: <http://www.cedae.com.br/como_-funcionam>. Acesso em: 24 jun. 2017.

COMPANHIA ESTADUAL DE ÁGUAS E ESGOTOS - CEDAE (Rio de Janeiro). Governo do Estado do Rio de Janeiro. RELATÓRIO DE SUSTENTABILIDADE 2017. Rio de Janeiro: Cedae, 2018. 92 p.

CORDEIRO, João Sérgio. Importância do Tratamento e Disposição Adequada dos Lodos de ETAs. In: MARCO ANTONIO PENALVA REALI (Rio de Janeiro). Prosab (Org.). Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água. Rio de Janeiro: Abes, 1999. Cap. 1. p. 1-20.

CORNWELL, D. A. et al. Landfilling of water treatment plant coagulant sludges: Water treatment and operations. Usa: Awwa, 1992.

COSIN, Shirley et al. ESTUDO E CARACTERIZAÇÃO DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA VISANDO SUA UTILIZAÇÃO NA PRODUÇÃO DE MATERIAIS CERÂMICOS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM RESÍDUOS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 1., 2004, Florianópolis. Anais... . Florianópolis: Ictr, 2004. p. 2513 - 2524.

DEMATTOS, M. et al. Redução do Volume de Lodo Gerados em ETAs: A Proposta de Recuperação do Coagulante pelo Processo de Acidificação no Sistema Rio Manso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21, 2001, João Pessoa. Anais do XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. João Pessoa: Abes, 2001. p. 1 - 1.

DI BERNARDO, Luiz; DANTAS, Angela di Bernardo; VOLTAN, Paulo Eduardo Nogueira. Métodos e Técnicas de Tratamento e Disposição dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água. São Carlos: Ldibe, 2012. 540 p.

DICKSON, Alexandre; LEAF, Albert L.; HOSNER, John F. Uality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. [s.i]: The Foresty Chronicle, 1960.

DUARTE, Rômulo Fredson et al. Crescimento inicial de mudas de Acacia mangium cultivadas em mantas de fibra de coco contendo substrato de lodo de esgoto. Revista Árvore, [s.l.], v. 35, n. 1, p.69-76, fev. 2011. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/s0100-67622011000100008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS. MANUAL DE MÉTODOS DE ANÁLISE DE SOLOS: Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa-cnps, 1997. 212 p.

EPSTEIN, Emanuel. Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas. São Paulo: Universidade de São Paulo e Livros Tec. e Cient. Editora, 1975. 1975 p.

FAQUIN, Valdemar. NUTRIÇÃO MINERAL DE PLANTAS. Lavras: Faepe, 2005.

FIGUEIREDO NETO, Abner. UTILIZAÇÃO DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE ÁRVORES COM OCORRÊNCIA NO CERRADO.2011. 97 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia do Meio Ambiente. Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAðDE - FUNASA (Brasil). Ministério da Saúde. Manual de Saneamento. 4. ed. Brasilia: Funasa, 2015. 642 p.

GARCIA, Giovanni de Oliveira et al. Crescimento de mudas de eucalipto submetidas à aplicação de biossólidos. Ciência Agronômica, Fortaleza, v. 41, n. 1, p.87-94, 2010.

GOMES, José Mauro et al. ARÂMETROS MORFOLÓGICOS NA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE MUDAS DE Eucalyptus grandis. Árvore, Viçosa, v. 26, n. 6, p.655-664, 2002.

GOOGLE. Mapa da ETA Porto das Caixas - Município de Itabiraí/ RJ. 2018. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps/search/eta+porto+das+caixas/@-22.7823329, 43.176793,38501m/data=!3m1!1e3>. Acesso em: 24 abr. 2018.

HSIEH, Hsin-neng; RAGHU, Dorairaja. Characterization of Water Treatment Residuals and Their Beneficial Uses. In: GEOTECHNICS OF WASTE MANAGEMENT AND REMEDIATION, 177, 2008, New Orleans. Anais... . New Orleans: Asce/library, 2008. p. 1 - 1.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística -. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico: Municípios, total e por existência de geração de lodo no processo de tratamento da água, por destino do lodo gerado, segundo as Grandes Regiões e as Unidades da Federação. 2008. Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/perfilmunic/2008/default.shtm>. Acesso em: 15 fev. 2018.

JORDÃO, Eduardo Pacheco; PESSÔA, Constantino Arruda.TRATAMENTO DE ESGOTOS DOMÉSTICOS. 8. ed. Rio de Janeiro: Abes, 2017. 940 p.

KATAYAMA, Victor Takazi et al. Quantificação da produção de lodo de estações de tratamento de água de ciclo completo: uma análise crítica. Engenharia Sanitaria e Ambiental, [s.l.], v. 20, n. 4, p.559-569, dez. 2015. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522015020040105046.

LIBÂNIO, Marcelo. Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água. 3. ed. Campinas: Átomo, 2010.

LIMA, José Valter. Incorporação de Lodo de Decantador na Fabricação de Blocos Cerâmicos. In: ENCONTRO TÉCNICO DE EMPREGADOS DE NÍVEL UNIVERSITÁRIO DA CEDAE - UNICEDAE, Não use números Romanos ou letras, use somente números Arábicos., 2014, Rio de Janeiro. Resumo Extendido. Rio de Janeiro: Cedae, 2014. p. 1 - 8.

LORENZI, Harri. Árvores Brasileiras: Manual de identificação e Cultivo de Plantas Arbóreas do Brasil.. 2. ed. São Paulo: Editora Plantarum, 2008. 384p.

MAGALHÃES, Tiago de Brito. USO AGRÍCOLA DE BIOSSÓLIDOS: ANÁLISE CRÍTICA DA RESOLUÇÃO CONAMA 375/2006 NA PERSPECTIVA DA METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DE RISCO MICROBIOLÓGICO. 2012. 180 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Universidade Federal de Viçosa,, Universidade Federal de Viçosa,, Viçosa, 2012.

MELO, W. J.; MARQUES, M. O.. Potencial do lodo como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.. Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. p. 109-142.

MODESTO, Priscila Torres et al. Alterações em algumas propriedades de um latossolo degradado com uso de lodo de esgoto e resíduos orgânicos. Revista Brasileira de Ciência do Solo, [s.l.], v. 33, n. 5, p.1489-1498, out. 2009. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832009000500039.

MOTTA, Antônio Carlos Vargas et al. Disposição de Lodo de Estação de Tratamento de Água em Área Degradada. In: CARNEIRO, Charles; ANDREOLI, Cleverson V.. Lodo de Estação de Tratamento de Água: Gestão e Perspectiva Tecnológica. Curitiba: Sanepar, Thinks Criative, 2013. Cap. 11. p. 442-480.

NASCIMENTO, Valdilei Camilo et al. Quantificação e proposta de destinação final de lodo de decantador da Estação de Tratamento de Água (ETA) em Itabirito, MG. Petra, Belo Horizonte, v. 1, n. 3, p.38-56, 10 jul. 2017.

NETTO, José Martiano de Azevedo et al. Manual de Hidráulica. 8. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998. 670 p.

OLIVEIRA, Maria Cristina de et al. Manual de Viveiro e Producao de Mudas: Espécies Arboreas Nativas do Cerrado. Brasília: Rede de Sementes do Cerrado,, 2016. 124 p.

PAIVA, Ary Vieira de et al. Crescimento de mudas de espécies arbóreas nativas, adubadas com diferentes doses de lodo de esgoto seco e com fertilização mineral. Scientia Forestalis, Piracicaba, v. 37, n. 84, p.499-511, dez. 2009.

PINTO, Carlos de Souza. Curso Básico de Mecânica dos Solos. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 359 p.

POZZOBON, João Carlos; LUCAS, Juiana Fenner Ruas; MORA, Nora Díaz. Uso do Lodo de ETA na Fabricação de Cerâmica Artística. In: CARNEIRO, Charles; ANDREOLI, Cleverson V.. Lodo de Estação de Tratamento de Água: Gestão e Perspectiva Tecnológica. Curitiba: Sanepar, Thinks Criative, 2013. Cap. 13. p. 502-538.

QUINTANA, Núria Rosa Gagliardi; CARMO, Maristela Simões do; MELO, Wanderley José de. VIABILIDADE ECONÔMICA DO USO DE LODO DE ESGOTO NA AGRICULTURA, ESTADO DE SÃO PAULO. Informações Econômicas, São Paulo, v. 39, n. 6, p.31-36, jun. 2009.

REALI, Marco Antonio Penalva. Principais Carcterísticas Quantitativas e Qualitativas do Lodo de ETA. In: REALI, Marco Antonio Penalva (Org.). Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água. Rio de Janeiro: Abes, 1999. Cap. 2. p. 21-40.

RICCI, Alexandro Batista; PADOVANI, Vera Cristina Ramalho; PAULA JÚNIOR, Durval Rodrigues de. Uso de lodo de esgoto estabilizado em um solo decapitado: I - atributos físicos e revegetação. Revista Brasileira de Ciência do Solo, [s.l.], v. 34, n. 2, p.535-542, abr. 2010. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832010000200027.

RICHTER, Carlos A.. Água:Métodos e Tecnologia de Tratamento. São Paulo: Blucher, 2009.

RICHTER, Carlos A.. Tratamento de Lodo de Estação de Tratamento de Água. São Paulo: Edgard Blücher, 2001. 102 p.

RICHTER, Carlos A.; NETTO, José M. de Azevedo. Tratamento de Água: Tecnologia Atualizada. 9. ed. São Paulo: Blucher, 1991.

ROCHA, Damião Noel et al. Utilização do lodo da estação de tratamento de água na produção de mudas de eucalipto. Revista Agrogeoambiental, [s.l.], v. 7, n. 3, p.11-20, 30 out. 2014. IFSULDEMINAS (Instituto Federal do Sul de Minas). http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v7n32015617.

RODRIGUES, L. P.; HOLANDA, J. N. F.. Influência da incorporação de lodo de estação de tratamento de água (ETA) nas propriedades tecnológicas de tijolos solo-cimento. Cerâmica, [s.l.], v. 59, n. 352, p.551-556, dez. 2013. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/s0366-69132013000400010.

RODRIGUES, M.s.; PUGET, F. P.; OLIVEIRA, M. D.. Avaliação da viabilidade de utilizar lodo de ETA na produção de tijolo solo-cimento com meio de destinação final para ETA Carapina - CESAN-ES. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 25., 2009, Recipe. Anais do 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.. Recife: Abes, 2009. p. 1 - 1.

SANTOS, Ednaldo Ramos dos. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, MICROBIOLÓGICA E TOXICIDADE DO LODO DE ESGOTO DA ESTAÇÃO MANGUEIRA, PERNAMBUCO, BRASIL.2009. 68 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais, CoordenaÇÃo Geral de PÓs-graduaÇÃo, Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2009.

SCALIZE, P. S. Caracterização e clarificação por sedimentação da água de lavagem de filtros rápidos de estações de tratamento de água que utilizam sulfato de alumínio como coagulante primário. 1997. 220 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.

SCHEER, Maurício Bergamini et al. Crescimento e Nutrição de Mudas de *Lafoensia pacari* com Lodo de Esgoto. Floresta e Ambiente, [s.l.], v. 19, n. 1, p.55-65, 2012. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.4322/floram.2012.007.

SILVA JUNIOR, A.p. da; ISSAC, R. de L.. Adensamento por Gravidade de Lodo de ETA Gerado em Decantador Convencional e Decantador Laminar. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, 27., 2002, Cancún. Anais do XXVII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental,. Cancún: Aidis, 2002. p. 1 - 1.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO SOBRE SANEAMENTO - SNIS (Brasil). Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos. 2018. Disponível em: <hhttp://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2016>. Acesso em: 08 mar. 2018.

SOUZA, Francisco Glaucio Cavalcanti de; BARROSO, Marcelo Melo; CORDEIRO, João Sergio. Estudo comparativo da geração de sólidos em estação de tratamento de água convencional de ciclo completo e eta ciclo completo com decantador de alta taxa. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, 29., 2004, San Ruan. Anais do XXIX Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental,. San Ruan: Aidis, 2004. p. 1 - 7.

TARTARI, R. et al. Lodo gerado na estação de tratamento de água Tamanduá, Foz do Iguaçu, PR, como aditivo em argilas para cerâmica vermelha: Parte II. Cerâmica, [s.l.], v. 57, n. 344, p.387-394, dez. 2013. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/s0366-69132011000400003.

TAVARES, R. G.; KATO, M. T.. Caracterização Quantitativa e Qualitativa do Resíduos Sólidos Gerados nas ETAs da Região Metropolitana de Recife. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22., 2003, Joinvile. Anais do XXII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Joinvile: Abes, 2002. p. 1 - 1.

TEIXEIRA, S. R. et al. Efeito da adição de lodo de estação de tratamento de água (ETA) nas propriedades de material cerâmico estrutural. Cerâmica, [s.l.], v. 52, n. 323, p.215-220, set. 2006. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/s0366-69132006000300016.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA . METHOD 200.7: Determination of Metals and Trace Elements in Water and Waste by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry. Revision 4.4 ed. Cicinnati: Emmc - Methods Work Group, 1994. 59 p.

ANEXO A – RELATÓRIO DE ENSAIO – GELAB N° 1175/13

Instituto Estadual do Ambiente

Av. Salvador Allende 5500, Recreio dos Bandeirantes - Rio de Janeiro-RJ , CEP 22.780-160
Tel.: 21-2333-4453, e-mail: gelab@inea.rj.gov.br
home page: www.inea.rj.gov.br. CNPJ 10.598.957/001-35

Relatório de Ensaios GELAB Nº 1175/13

Revisão 00

Cliente	COMPANHIA ESTADUAL DE ÁGUAS E ESGOTOS-CEDAE	**Telefone**	02121-85280916
Endereço	RUA DO ACRE LOTEAMENTO SANTA CECÍLIA	**Contato(s)**	
e-mail	jvalterlima@cedae.com.br	**Fax**	
Amostra(s)	Sedimento-LODO DA ETA/CEDAE	**Recepção**	28/06/13

Amostra	MATERIAL SÓLIDO DA ETA DE PORTO DAS CAIXAS	**Código**	1175/13-01	**Coleta em**	27/06/13 15:30

Ensaio	**Resultado**	**Unidade**	**LQ**	**Método**	**Data do Ensaio**
Fenóis totais (caracterização/solubilizado)	**0,1**	mg/L		SM 5530 A/B/C/D	16/07/13
Cloreto (caracterização/solubilizado)	**9,5**	mg/L	1	SM 4500Cl- A/B	31/08/13
Sulfato (caracterização/solubilizado)	**50**	mg/L	2	SM 4500-SO_4 A/E	07/08/13
Fluoreto (caracterização/solubilizado)	**0,24**	mg/L		SM 4500-F- A/B/D	24/07/13
Alumínio (caracterização/solubilizado)	**< 0,1**	mg/L	0,5	SM 3111D	
Cádmio (caracterização/lixiviado)	**< 0,01**	mg/L	0,005	SM 3111B	09/07/13
Cobre (caracterização/solubilizado)	**0,005**	mg/L	0,01	SM 3111B	09/07/13
Cromo total (caracterização/lixiviado)	**< 0,05**	mg/L	0,05	SM 3111B	09/07/13
Mercúrio (caracterização/lixiviado)	**<0,0001**	mg/L	0,0001	SM 3112B	10/07/13
Prata (caracterização/lixiviado)	**< 0,05**	mg/L	0,05	SM 3111B	09/07/13
Toxicidade/Danio rerio CL(I) 50 - 48h	**>100%**	%	-	ABNT NBR 15088	03//07/13
Bário (caracterização/lixiviado)	**1,4**	mg/L	0,5	SM 3111D	09/07/13
Bário (caracterização/solubilizado)	**0,15**	mg/L	0,5	SM 3111D	09/07/13
Chumbo (caracterização/lixiviado)	**< 0,1**	mg/L	0,10	SM 3111B	09/07/13
Chumbo (caracterização/solubilizado)	**0,01**	mg/L	0,10	SM 3111B	09/07/13
Cromo total (caracterização/solubilizado)	**< 0,01**	mg/L	0,05	SM 3111B	09/07/13
Ferro (caracterização/solubilizado)	**1,4**	mg/L	0,10	SM 3111B	09/07/13
Manganês (caracterização/solubilizado)	**13**	mg/L	0,02	SM 3111B	09/07/13
Mercúrio (caracterização/solubilizado)	**<0,0001**	mg/L	0,0001	SM 3112B	10/07/13
Prata (caracterização/solubilizado)	**< 0,01**	mg/L	0,05	SM 3111B	09/07/13
Zinco total (caracterização/solubilizado)	**0,20**	mg/L	0,01	SM 3111B	09/07/13
Cádmio (caracterização/solubilizado)	**0,002**	mg/L	0,005	SM 3111B	09/07/13
Subst. tensoat. reagem ao azul de metileno (caracterização/solubilizado)	**1,80**	mg/L		SM 5540 A/C	09/07/13

DESCRITIVO DO ENSAIO ECOTOXICOLÓGICO

TIPO DE ENSAIO: Toxicidade aguda em peixes *Danio rerio*

MÉTODOS UTILIZADOS: ABNT NBR 15469 - Ecotoxicologia Aquática - Preservação e Preparo de Amostras e ABNT NBR 15088:2011- Ecotoxicologia Aquática – Toxicidade aguda - Método de Ensaio com Peixes.

PREPARO DA AMOSTRA: A fração solúvel da amostra em água (FSA) foi preparada na proporção de 1:9 (500g do produto e 4500mL de água de diluição) segundo a metodologia descrita em NBR 15469 (ABNT,2007). Esta mistura foi agitada durante 20 horas em agitador e decantada por 1 hora. Apos esse período a fração aquosa foi retirada e utilizada como solução-estoque(100% da FSA) para o preparo das seguintes soluções teste:100%,50%,25%,12,5% e 6.3%

RESULTADOS DO ENSAIO ECOTOXICOLÓGICO

CONDIÇÕES DE TESTE									
Início: 03/07/13				**24 horas: 04/07/13**			**48 horas: 05/07/13**		
Diluição%%	**Nº Org. ensaio**	**pH**	**OD mg/L**	**pH**	**OD mg/L**	**Org. mortos**	**pH**	**OD mg/L**	**Org. mortos**
100	**10**	**6,3**	**8,1**	**5,8**	**7,7**	**0**	**5,8**	**7,9**	**0**
50	**10**	**6,7**	**-**	**6,2**	**-**	**0**	**6,3**	**-**	**0**
25	**10**	**7,0**	**-**	**6,6**	**-**	**0**	**6,6**	**-**	**0**
12,5	**10**	**7,2**	**-**	**6,6**	**-**	**0**	**6,7**	**-**	**0**
6.3	**10**	**7,4**	**8,8**	**6,7**	**8,2**	**0**	**6,8**	**8,5**	**0**
controle	**10**	**7,6**	**8,6**	**7,0**	**9,0**	**0**	**7,1**	**9,0**	**0**

CL(I) 50-48h > 100%

A Fração Soluvel em Água (FSA) não apresentou toxicidade aguda aos organismos testados

Os resultados relatados se restringem às amostras ensaiadas. O mesmo somente poderá ser reproduzido em sua totalidade.
O prazo de guarda de amostras é de 15 dias após emissão do relatório de ensaios não se aplicando a amostras perecíveis.

Instituto Estadual do Ambiente

Av. Salvador Allende 5500, Recreio dos Bandeirantes - Rio de Janeiro-RJ , CEP 22.780-160
Tel.: 21-2333-4453, e-mail: gelab@inea.rj.gov.br
home page: www.inea.rj.gov.br. CNPJ 10.598.957/001-35

Relatório de Ensaios GELAB Nº 1175/13

Revisão 00

Cliente	COMPANHIA ESTADUAL DE ÁGUAS E ESGOTOS-CEDAE	**Telefone**	02121-85280916
Endereço	RUA DO ACRE LOTEAMENTO SANTA CECÍLIA	**Contato(s)**	
e-mail	jvalterlima@cedae.com.br	**Fax**	
Amostra(s)	Sedimento-LODO DA ETA/CEDAE	**Recepção**	28/06/13

Legenda
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st. Edition, 2005.
ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
LQ: Limite de Quantificação.
IAL: Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz, 1985.
CL(I) 50- 48h - Concentração nominal da amostra no início do ensaio, que causa efeito a 50% dos organismos no período de 48 horas, nas condições de ensaio.

Informações de Coleta

A coleta é efetuada pelo cliente. A descrição do material ensaiado é de inteira responsabilidade do cliente.
O cliente deve seguir os folhetos contendo os critérios para o acondicionamento e a preservação de amostras e as Instruções de Segurança na Manipulação de Reagentes e Soluções baseadas no: 1 . POP-INEA-DIMAM-GELAB-212 - Procedimento Operacional Padrão - Acondicionamento e Preservação de Amostras; 2. Standards Methods for Examination of Water and Wastewater, 21ª Ed, 2005; 3. Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras: Água, Sedimento, Comunidades Aquáticas e Efluentes Líquidos da ANA & CETESB, 2011; 4. Normas NBR 9898, 9897, 10007, 15469 da ABNT; 5 - United States Environmental Agency protection - EPA - Methods: 6010C, 8260B, 8270B, 8082A.

Rio de Janeiro, 13 de agosto de 2013.

Raquel Emerick Pereira Mencarini	Andrea Seda da Silveira Braz Pinto*	Marta Regina Miraldes Bulus*	Márcia Drolshagen
Quimica	Química	Bióloga	Engenheira Química
390.527-0	390.315-0	2701389-5	3627049-4
Chefe de Serviço	Chefe de Serviço	Chefe de Serviço	GERENTE

Documento verificado e aprovado por meios eletrônicos

ANEXO B – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DOS TRAÇOS

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO
FACULDADE DE ENGENHARIA
LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

CERTIFICADO Nº LMS: 855 COM -01

PROJETO:	Cruz_Dissertação_2018	AMOSTRA:	T1
LOCAL:		POSIÇÃO:	
DESCRIÇÃO:	T1 - 50% lodo ETE + 50% solo		
PROFUNDIDADE:		DATA:	18/7/2017

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE

Cápsula Nº	551	204
Solo um.+tara(g)	76,84	78,92
Solo seco+tara(g)	73,92	75,91
Tara (g)	11,83	12,94
Água (g)	2,92	3,01
Solo seco (g)	62,09	62,97
Teor de umid.%	4,70	4,78
Média %	4,74	

PENEIRAMENTO GROSSO

Peneiras		Peso da am. seca (g)		% pas. am.
Nº(ASTM)	mm(ABNT)	Retido	Passando	total
2"	50	0,00		100
1 1/2"	38	0,00		100
1"	25	0,00		100
3/4"	19	0,00		100
3/8"	9,5	0,00		100
4	4,8	3,27	1338,25	100
10	2	20,44	1317,81	98

PENEIRAMENTO GROSSO (g)

Amostra total úmida	1404,00
Solo seco retido #10	23,7
Solo úmido pas. #10=(A-B)	1380,3
Solo seco pas.#10=C/(100+h)	1317,8
Amostra total seca =B+D	1341,5

PENEIRAMENTO FINO (g)

Peso da amostra úmida=PU	102,73
Peso am.seca=PU/(100+h)	98,08

PENEIRAMENTO FINO (g)

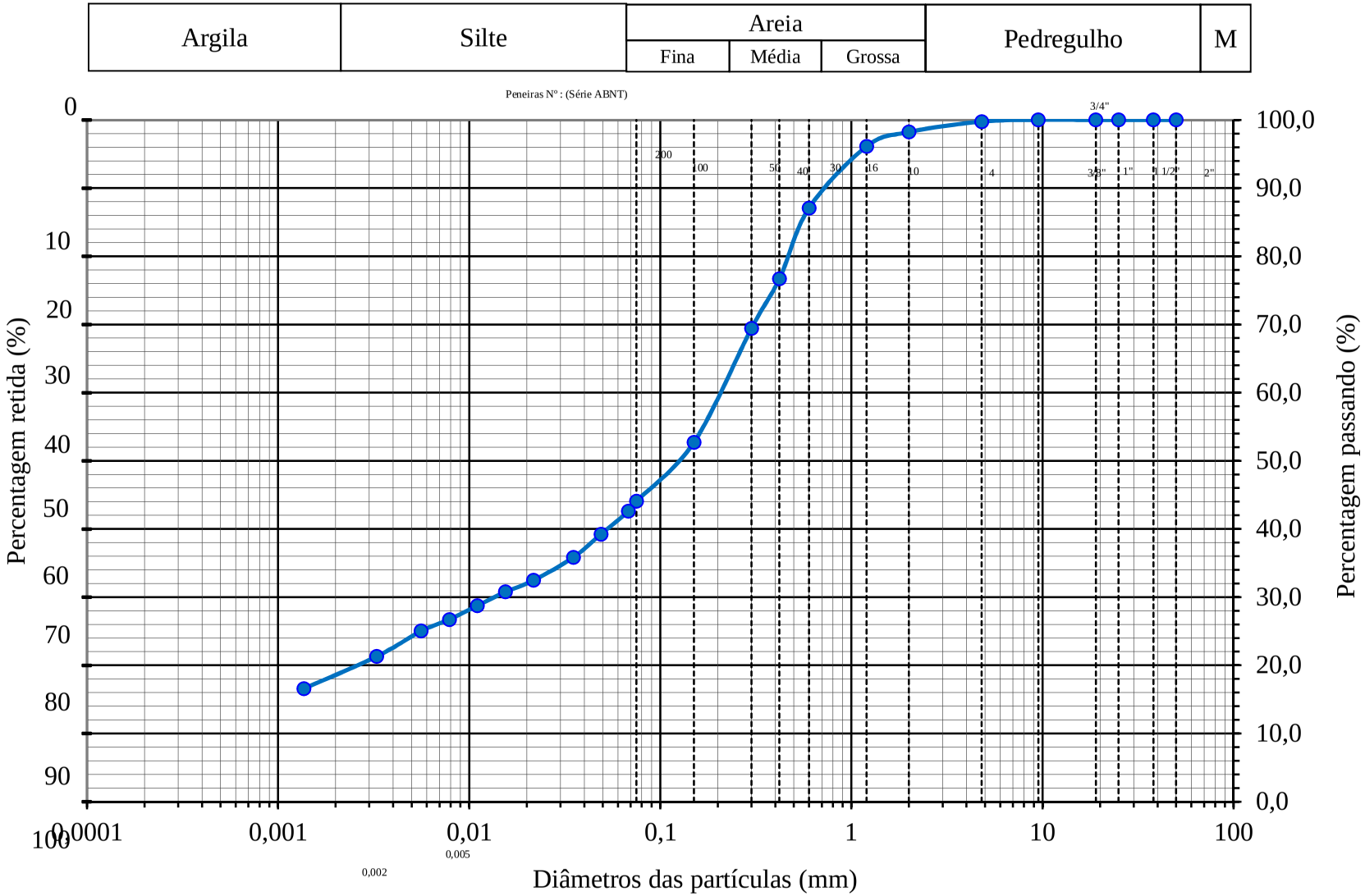
Peneiras		Peso da am. seca (g)		% pas. am	% pas. am.
Nº	mm	Retido	Passando	parcial	total
16	1,20	2,11	95,97	97,8	96
30	0,60	9,03	86,94	88,6	87
40	0,42	10,37	76,57	78,07	77
50	0,30	7,24	69,33	70,69	69
100	0,15	16,71	52,62	53,65	53
200	0,075	8,63	43,99	44,85	44

SEDIMENTAÇÃO

Data	Hora	Tempo (seg)	Temperatura (oC)	Leitura (L)	Correção devido à temper.	Leitua corrigida (LC)	Altura de queda (LQ)	Diâmetro dos grãos (mm)	% Passando am. total
02/07/12	09:35	30	26,0	1028,0	-2,8	25,20	10,93	0,068	43
	09:36	60	26,0	1026,0	-2,8	23,20	11,26	0,049	39
	09:37	120	26,0	1024,0	-2,8	21,20	11,59	0,035	36
	09:40	300	26,0	1022,0	-2,8	19,20	11,11	0,022	32
	09:45	600	26,0	1021,0	-2,8	18,20	11,27	0,015	31
	09:55	1200	25,0	1020,0	-3,0	17,00	11,47	0,011	29
	10:15	2400	24,0	1019,0	-3,2	15,80	11,67	0,008	27
	10:55	4800	24,0	1018,0	-3,2	14,80	11,83	0,006	25
	13:35	14400	23,0	1016,0	-3,4	12,60	12,19	0,003	21
03/07/12	09:35	86400	24,0	1013,0	-3,2	9,80	12,65	0,001	17

Densímetro:	21768/11	Gs =	2,453	Proveta Nº	23	Área =	29,706 cm^2
Volume:	48,066						

Curva Granulométrica



UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO
FACULDADE DE ENGENHARIA
LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

CERTIFICADO Nº LMS: 855 COM -01

PROJETO:	Cruz_Dissertação_2018	AMOSTRA:	T2
LOCAL:		POSIÇÃO:	
DESCRIÇÃO:	T2 - 100% lodo ETA		
PROFUNDIDADE:		DATA:	27/7/2017

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE

Cápsula Nº	366	32
Solo um.+tara(g)	73,77	72,64
Solo seco+tara(g)	66,69	65,82
Tara (g)	15,64	16,66
Água (g)	7,08	6,82
Solo seco (g)	51,05	49,16
Teor de umid.%	13,87	13,87
Média %	13,87	

PENEIRAMENTO GROSSO

Peneiras		Peso da am. seca (g)		% pas. am.
Nº(ASTM)	mm(ABNT)	Retido	Passando	total
2"	50	0,00		100
1 1/2"	38	0,00		100
1"	25	0,00		100
3/4"	19	0,00		100
3/8"	9,5	0,00		100
4	4,8	0,00		100
10	2	55,60	996,22	95

PENEIRAMENTO GROSSO (g)

Amostra total úmida	1190,00
Solo seco retido #10	55,6
Solo úmido pas. #10=(A-B)	1134,4
Solo seco pas.#10=C/(100+h)	996,2
Amostra total seca =B+D	1051,8

PENEIRAMENTO FINO (g)

Peso da amostra úmida=PU	99,16
Peso am.seca=PU/(100+h)	87,08

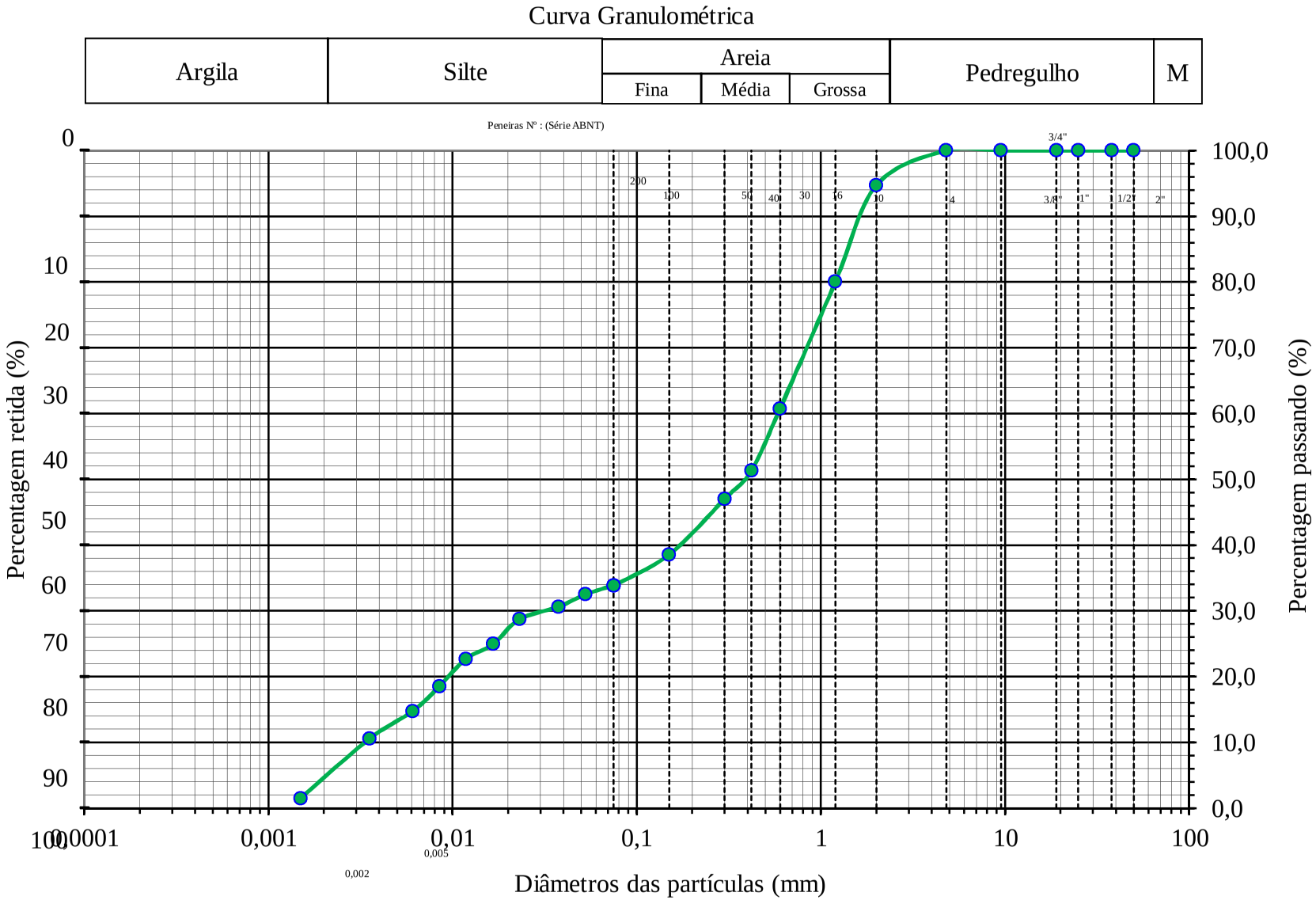
PENEIRAMENTO FINO (g)

Peneiras		Peso da am. seca (g)		% pas. am	% pas. am.
Nº	mm	Retido	Passando	parcial	total
16	1,20	13,48	73,60	84,5	80
30	0,60	17,78	55,82	64,1	61
40	0,42	8,64	47,18	54,18	51
50	0,30	3,97	43,21	49,62	47
100	0,15	7,78	35,43	40,69	39
200	0,075	4,30	31,13	35,75	34

SEDIMENTAÇÃO

Data	Hora	Tempo (seg)	Temperatura (oC)	Leitura (L)	Correção devido à temper.	Leitua corrigida (LC)	Altura de queda (LQ)	Diâmetro dos grãos (mm)	% Passando am. total
02/07/12	09:35	30	26,0	1021,0	-2,8	18,20	12,08	0,074	34
	09:36	60	26,0	1020,0	-2,8	17,20	12,25	0,053	33
	09:37	120	26,0	1019,0	-2,8	16,20	12,41	0,038	31
	09:40	300	26,0	1018,0	-2,8	15,20	11,74	0,023	29
	09:45	600	26,0	1016,0	-2,8	13,20	12,07	0,017	25
	09:55	1200	25,0	1015,0	-3,0	12,00	12,26	0,012	23
	10:15	2400	24,0	1013,0	-3,2	9,80	12,63	0,008	19
	10:55	4800	24,0	1011,0	-3,2	7,80	12,95	0,006	15
	13:35	14400	23,0	1009,0	-3,4	5,60	13,32	0,004	11
03/07/12	09:35	86400	24,0	1004,0	-3,2	0,80	14,11	0,001	2

Densímetro:	21768/11	Gs =	2,356	Proveta Nº	10	Área =	28,747 cm^2
Volume:	48,066						


Curva Granulométrica
Argila
Silte
Areia
Fina
Média
Grossa
Pedregulho
M
Peneiras Nº : (Série ABNT)
200
100
50
40
30
16
10
4
3/4"
3/8"
1"
1/2"
2"
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
100,0
90,0
80,0
70,0
60,0
50,0
40,0
30,0
20,0
10,0
0,0
Percentagem retida (%)
Percentagem passando (%)
0,0001
0,001
0,01
0,1
1
10
100
0,005
0,002
Diâmetros das partículas (mm)

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO
FACULDADE DE ENGENHARIA
LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

CERTIFICADO Nº LMS: 855 COM -01

PROJETO:	Cruz_Dissertação_2018	AMOSTRA:	T3
LOCAL:		POSIÇÃO:	
DESCRIÇÃO:	T3 - 75% lodo ETA + 25% lodo ETE		
PROFUNDIDADE:		DATA:	27/7/2017

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE

Cápsula Nº	31	546
Solo um.+tara(g)	71,43	69,32
Solo seco+tara(g)	67,33	65,00
Tara (g)	17,10	12,18
Água (g)	4,10	4,32
Solo seco (g)	50,23	52,82
Teor de umid.%	8,16	8,18
Média %	8,17	

PENEIRAMENTO GROSSO

Peneiras		Peso da am. seca (g)		% pas. am.
Nº(ASTM)	mm(ABNT)	Retido	Passando	total
2"	50	0,00		100
1 1/2"	38	0,00		100
1"	25	0,00		100
3/4"	19	0,00		100
3/8"	9,5	0,00		100
4	4,8	0,00		100
10	2	9,59	1309,42	99

PENEIRAMENTO GROSSO (g)

Amostra total úmida	1426,00
Solo seco retido #10	9,6
Solo úmido pas. #10=(A-B)	1416,4
Solo seco pas.#10=C/(100+h)	1309,4
Amostra total seca =B+D	1319,0

PENEIRAMENTO FINO (g)

Peso da amostra úmida=PU	99,38
Peso am.seca=PU/(100+h)	91,87

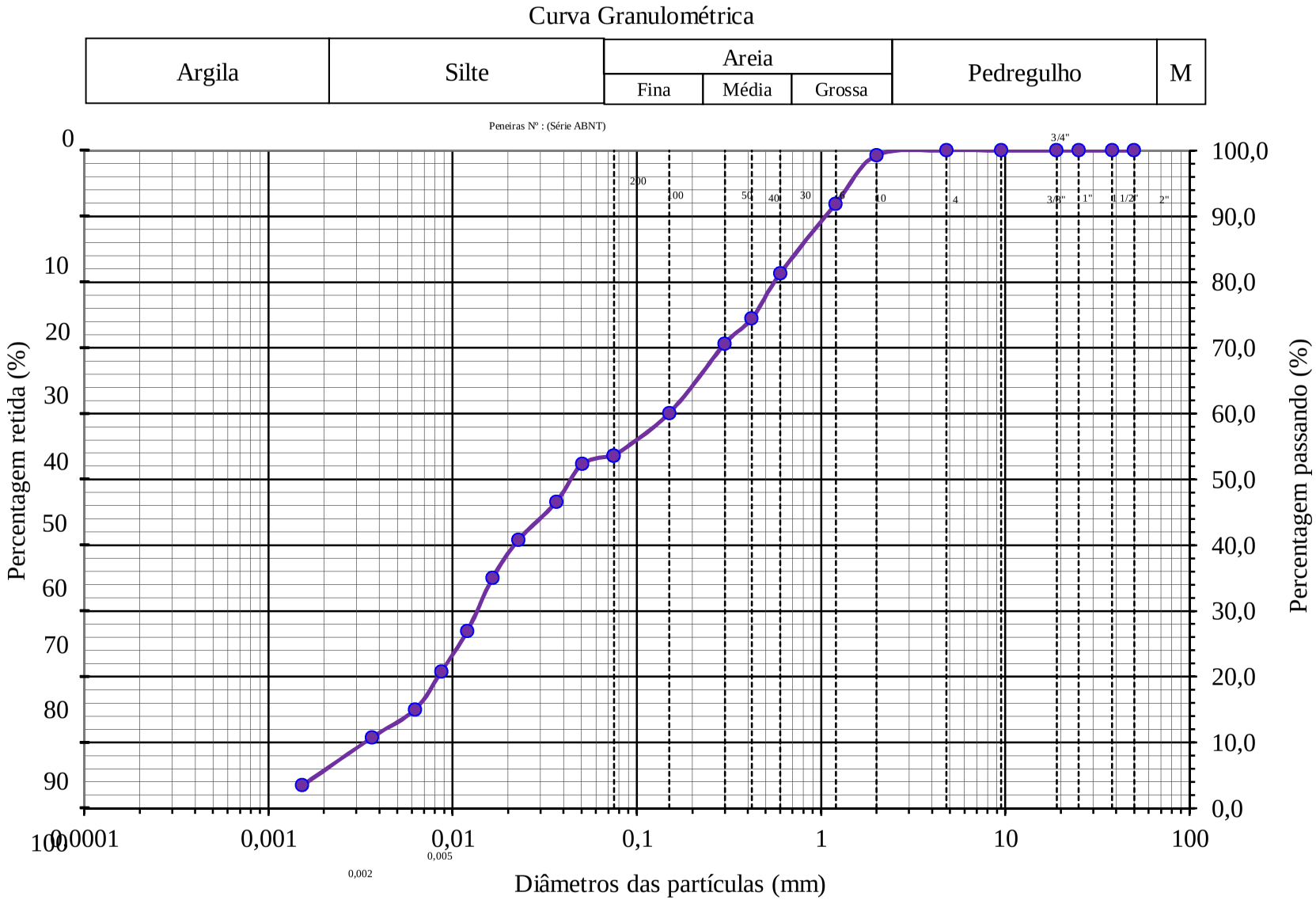
PENEIRAMENTO FINO (g)

Peneiras		Peso da am. seca (g)		% pas. am	% pas. am.
Nº	mm	Retido	Passando	parcial	total
16	1,20	6,82	85,05	92,6	92
30	0,60	9,78	75,27	81,9	81
40	0,42	6,40	68,87	74,97	74
50	0,30	3,51	65,36	71,15	71
100	0,15	9,76	55,60	60,52	60
200	0,075	6,05	49,55	53,94	54

SEDIMENTAÇÃO

Data	Hora	Tempo (seg)	Temperatura (oC)	Leitura (L)	Correção devido à temper.	Leitua corrigida (LC)	Altura de queda (LQ)	Diâmetro dos grãos (mm)	% Passando am. total
02/07/12	09:35	30	26,0	1031,0	-2,8	28,20	10,44	0,071	54
	09:36	60	26,0	1030,0	-2,8	27,20	10,60	0,051	52
	09:37	120	26,0	1027,0	-2,8	24,20	11,09	0,037	47
	09:40	300	26,0	1024,0	-2,8	21,20	10,77	0,023	41
	09:45	600	26,0	1021,0	-2,8	18,20	11,26	0,016	35
	09:55	1200	25,0	1017,0	-3,0	14,00	11,95	0,012	27
	10:15	2400	24,0	1014,0	-3,2	10,80	12,48	0,009	21
	10:55	4800	24,0	1011,0	-3,2	7,80	12,97	0,006	15
	13:35	14400	23,0	1009,0	-3,4	5,60	13,33	0,004	11
03/07/12	09:35	86400	24,0	1005,0	-3,2	1,80	13,95	0,002	3

Densímetro:	21768/11	Gs =	2,280	Proveta Nº	18	Área =	29,225 cm²
Volume:	48,066						


Curva Granulométrica
Argila
Silte
Areia
Fina
Média
Grossa
Pedregulho
M
Peneiras Nº : (Série ABNT)
200
100
50
40
30
16
10
4
3/4"
3/8"
1"
1 1/2"
2"
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
100,0
90,0
80,0
70,0
60,0
50,0
40,0
30,0
20,0
10,0
0,0
Percentagem retida (%)
Percentagem passando (%)
0,0001
0,001
0,01
0,1
1
10
100
0,005
0,002
Diâmetros das partículas (mm)

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO
FACULDADE DE ENGENHARIA
LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

CERTIFICADO Nº LMS: 855 COM -01

PROJETO:	Cruz_Dissertação_2018	AMOSTRA:	T4
LOCAL:		POSIÇÃO:	
DESCRIÇÃO:	T4 - 50% lodo ETA + 50% lodo ETE		
PROFUNDIDADE:		DATA:	18/7/2017

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE

Cápsula Nº	343	504
Solo um.+tara(g)	64,84	62,75
Solo seco+tara(g)	60,80	58,65
Tara (g)	14,78	12,78
Água (g)	4,04	4,10
Solo seco (g)	46,02	45,87
Teor de umid.%	8,78	8,94
Média %	8,86	

PENEIRAMENTO GROSSO

Peneiras		Peso da am. seca (g)		% pas. am.
Nº(ASTM)	mm(ABNT)	Retido	Passando	total
2"	50	0,00		100
1 1/2"	38	0,00		100
1"	25	0,00		100
3/4"	19	0,00		100
3/8"	9,5	0,00		100
4	4,8	2,41	1128,45	100
10	2	9,33	1119,12	99

PENEIRAMENTO GROSSO (g)

Amostra total úmida	1230,00
Solo seco retido #10	11,7
Solo úmido pas. #10=(A-B)	1218,3
Solo seco pas.#10=C/(100+h)	1119,1
Amostra total seca =B+D	1130,9

PENEIRAMENTO FINO (g)

Peso da amostra úmida=PU	99,29
Peso am.seca=PU/(100+h)	91,21

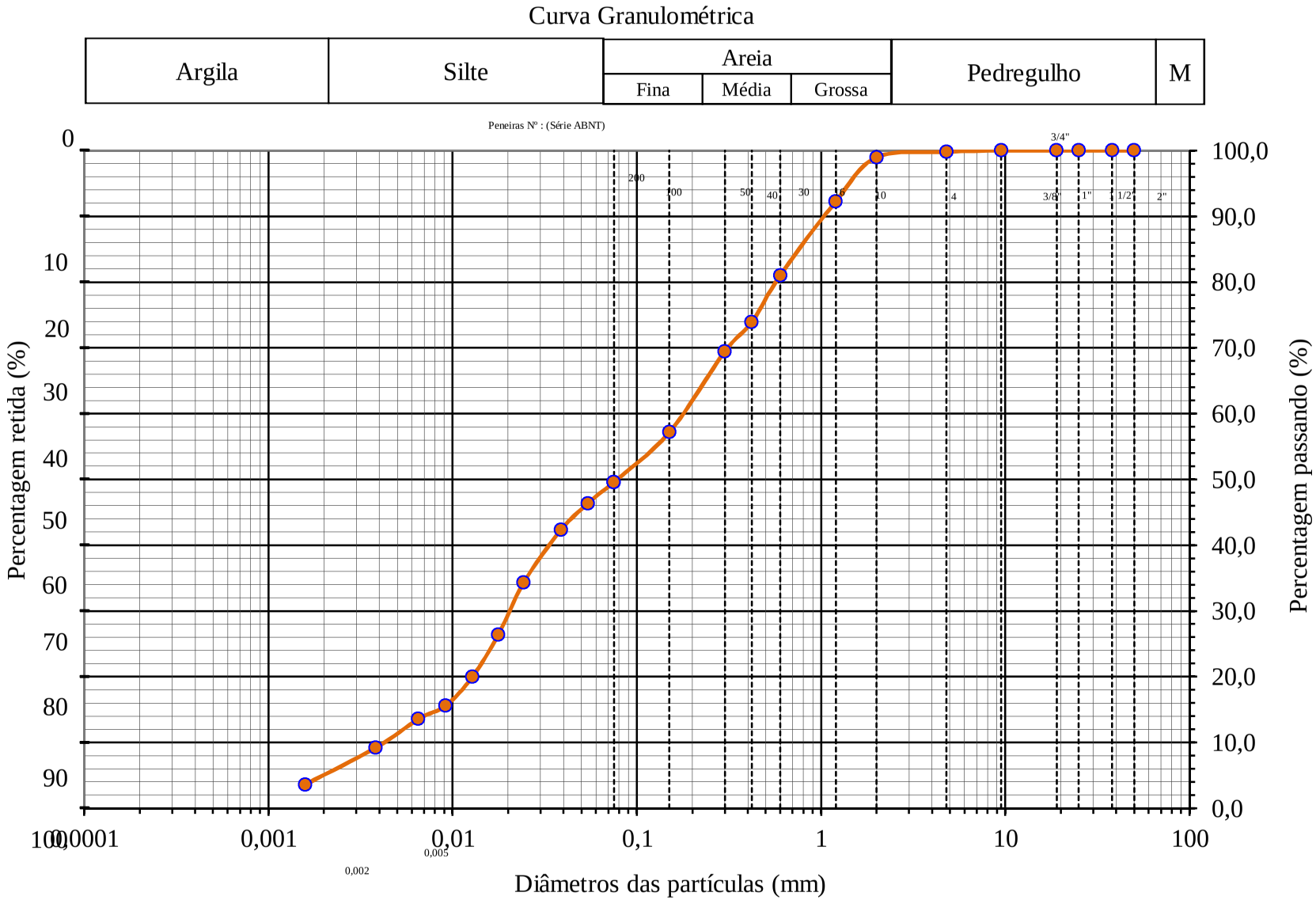
PENEIRAMENTO FINO (g)

Peneiras		Peso da am. seca (g)		% pas. am	% pas. am.
Nº	mm	Retido	Passando	parcial	total
16	1,20	6,18	85,03	93,2	92
30	0,60	10,34	74,69	81,9	81
40	0,42	6,60	68,09	74,65	74
50	0,30	4,08	64,01	70,18	69
100	0,15	11,32	52,69	57,77	57
200	0,075	7,00	45,69	50,09	50

SEDIMENTAÇÃO

Data	Hora	Tempo (seg)	Temperatura (oC)	Leitura (L)	Correção devido à temper.	Leitua corrigida (LC)	Altura de queda (LQ)	Diâmetro dos grãos (mm)	% Passando am. total
02/07/12	09:35	30	26,0	1028,0	-2,8	25,20	10,93	0,075	50
	09:36	60	26,0	1026,0	-2,8	23,20	11,26	0,054	46
	09:37	120	26,0	1024,0	-2,8	21,20	11,59	0,039	42
	09:40	300	26,0	1020,0	-2,8	17,20	11,39	0,024	34
	09:45	600	26,0	1016,0	-2,8	13,20	12,05	0,018	26
	09:55	1200	25,0	1013,0	-3,0	10,00	12,57	0,013	20
	10:15	2400	24,0	1011,0	-3,2	7,80	12,94	0,009	16
	10:55	4800	24,0	1010,0	-3,2	6,80	13,10	0,007	14
	13:35	14400	23,0	1008,0	-3,4	4,60	13,46	0,004	9
03/07/12	09:35	86400	24,0	1005,0	-3,2	1,80	13,92	0,002	4

Densímetro:	21768/11	Gs =	2,190	Proveta Nº	8	Área =	28,133 cm^2
Volume:	48,066						


Curva Granulométrica
Argila
Silte
Areia
Fina
Média
Grossa
Pedregulho
M
Peneiras Nº : (Série ABNT)
200
100
50
40
30
16
10
4
3/4"
3/8"
1"
1 1/2"
2"
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
100,0
90,0
80,0
70,0
60,0
50,0
40,0
30,0
20,0
10,0
0,0
Percentagem retida (%)
Percentagem passando (%)
0,0001
0,001
0,01
0,1
1
10
100
0,005
0,002
Diâmetros das partículas (mm)

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO
FACULDADE DE ENGENHARIA
LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

CERTIFICADO Nº LMS: 855 COM -01

PROJETO:	Cruz_Dissertação_2018	AMOSTRA:	T5
LOCAL:		POSIÇÃO:	
DESCRIÇÃO:	T5 - 25% lodo ETA + 75% lodo ETE		
PROFUNDIDADE:		DATA:	18/7/2017

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE

Cápsula Nº	29	312
Solo um.+tara(g)	62,05	61,57
Solo seco+tara(g)	59,06	58,54
Tara (g)	17,32	16,12
Água (g)	2,99	3,03
Solo seco (g)	41,74	42,42
Teor de umid.%	7,16	7,14
Média %	7,15	

PENEIRAMENTO GROSSO

Peneiras		Peso da am. seca (g)		% pas. am.
Nº(ASTM)	mm(ABNT)	Retido	Passando	total
2"	50	0,00		100
1 1/2"	38	0,00		100
1"	25	0,00		100
3/4"	19	0,00		100
3/8"	9,5	0,71	1023,97	100
4	4,8	2,12	1021,85	100
10	2	24,77	997,08	97

PENEIRAMENTO GROSSO (g)

Amostra total úmida	1096,00
Solo seco retido #10	27,6
Solo úmido pas. #10=(A-B)	1068,4
Solo seco pas.#10=C/(100+h)	997,1
Amostra total seca =B+D	1024,7

PENEIRAMENTO FINO (g)

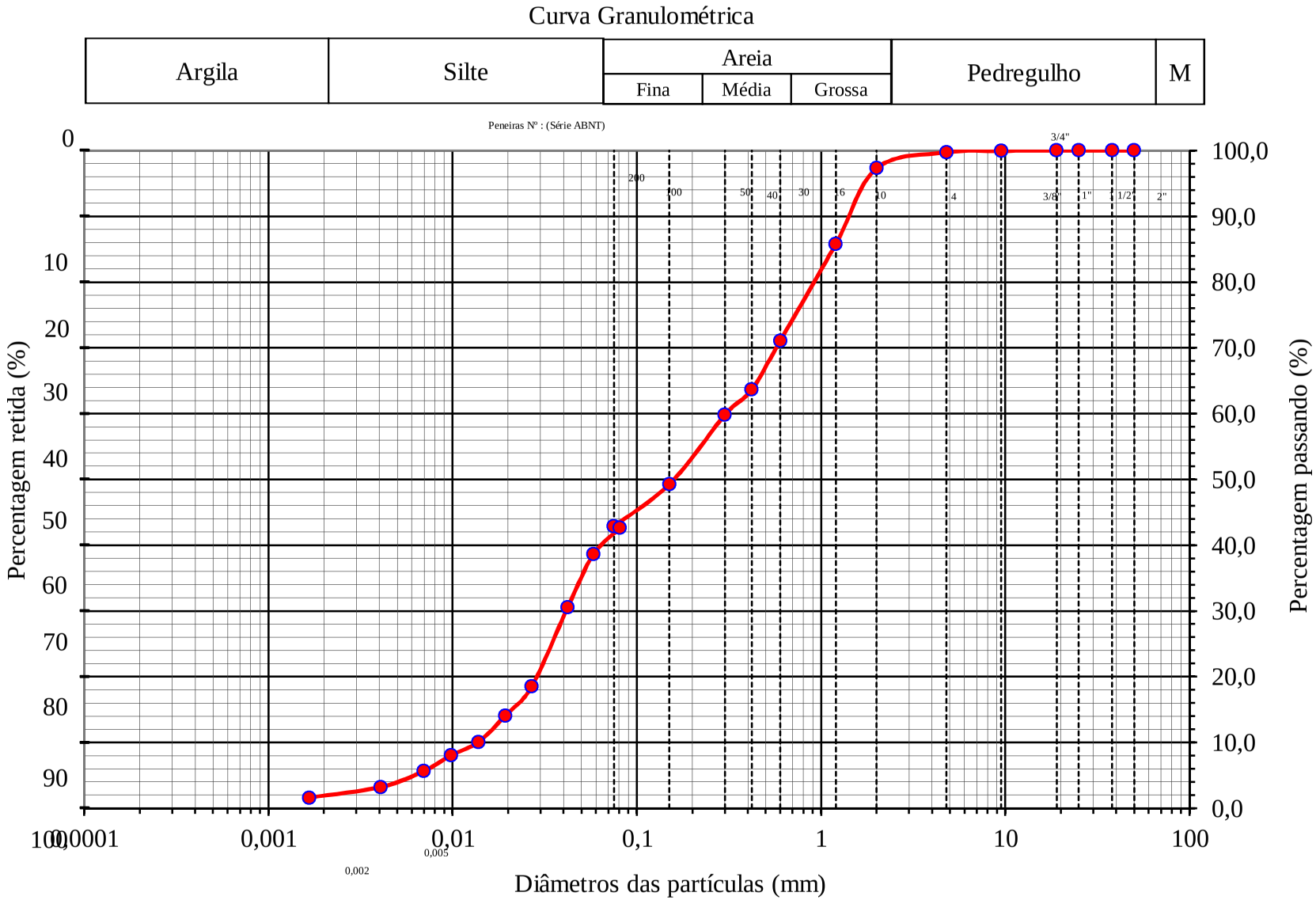
Peso da amostra úmida=PU	99,31
Peso am.seca=PU/(100+h)	92,68

Peneiras		Peso da am. seca (g)		% pas. am	% pas. am.
Nº	mm	Retido	Passando	parcial	total
16	1,20	10,99	81,69	88,1	86
30	0,60	13,97	67,72	73,1	71
40	0,42	7,10	60,62	65,41	64
50	0,30	3,67	56,95	61,45	60
100	0,15	10,05	46,90	50,60	49
200	0,075	6,10	40,80	44,02	43

SEDIMENTAÇÃO

Data	Hora	Tempo (seg)	Temperatura (oC)	Leitura (L)	Correção devido à temper.	Leitua corrigida (LC)	Altura de queda (LQ)	Diâmetro dos grãos (mm)	% Passando am. total
02/07/12	09:35	30	26,0	1024,0	-2,8	21,20	11,59	0,081	43
	09:36	60	26,0	1022,0	-2,8	19,20	11,92	0,058	39
	09:37	120	26,0	1018,0	-2,8	15,20	12,57	0,042	31
	09:40	300	26,0	1012,0	-2,8	9,20	12,76	0,027	18
	09:45	600	25,0	1010,0	-3,0	7,00	13,12	0,019	14
	09:55	1200	25,0	1008,0	-3,0	5,00	13,45	0,014	10
	10:15	2400	25,0	1007,0	-3,0	4,00	13,62	0,010	8
	10:55	4800	24,0	1006,0	-3,2	2,80	13,81	0,007	6
	13:35	14400	23,0	1005,0	-3,4	1,60	14,01	0,004	3
03/07/12	09:35	86400	24,0	1004,0	-3,2	0,80	14,14	0,002	2

Densímetro:	21768/11	Gs =	2,093	Proveta Nº	15	Área =	30,093 cm^2
Volume:	48,066						


Curva Granulométrica
Argila
Silte
Areia
Fina
Média
Grossa
Pedregulho
M
Peneiras Nº : (Série ABNT)
200
100
50
40
30
16
10
4
3/4"
3/8"
1"
1 1/2"
2"
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
Percentagem retida (%)
100,0
90,0
80,0
70,0
60,0
50,0
40,0
30,0
20,0
10,0
0,0
Percentagem passando (%)
0,0001
0,001
0,01
0,1
1
10
100
0,005
0,002
Diâmetros das partículas (mm)

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO
FACULDADE DE ENGENHARIA
LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

CERTIFICADO Nº LMS: 855 COM -01

PROJETO:	Cruz_Dissertação_2018	AMOSTRA:	T6
LOCAL:		POSIÇÃO:	
DESCRIÇÃO:	T6 - 100% lodo ETE		
PROFUNDIDADE:		DATA:	18/7/2017

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE

Cápsula Nº	346	552
Solo um.+tara(g)	52,28	47,86
Solo seco+tara(g)	47,28	42,67
Tara (g)	17,07	10,77
Água (g)	5,00	5,19
Solo seco (g)	30,21	31,9
Teor de umid.%	16,55	16,27
Média %	16,41	

PENEIRAMENTO GROSSO

Peneiras		Peso da am. seca (g)		% pas. am.
Nº(ASTM)	mm(ABNT)	Retido	Passando	total
2"	50	0,00		100
1 1/2"	38	0,00		100
1"	25	0,00		100
3/4"	19	0,00		100
3/8"	9,5	0,00		100
4	4,8	3,17	926,63	100
10	2	11,32	915,31	98

PENEIRAMENTO GROSSO (g)

Amostra total úmida	1080,00
Solo seco retido #10	14,5
Solo úmido pas. #10=(A-B)	1065,5
Solo seco pas.#10=C/(100+h)	915,3
Amostra total seca =B+D	929,8

PENEIRAMENTO FINO (g)

Peso da amostra úmida=PU	99,98
Peso am.seca=PU/(100+h)	85,89

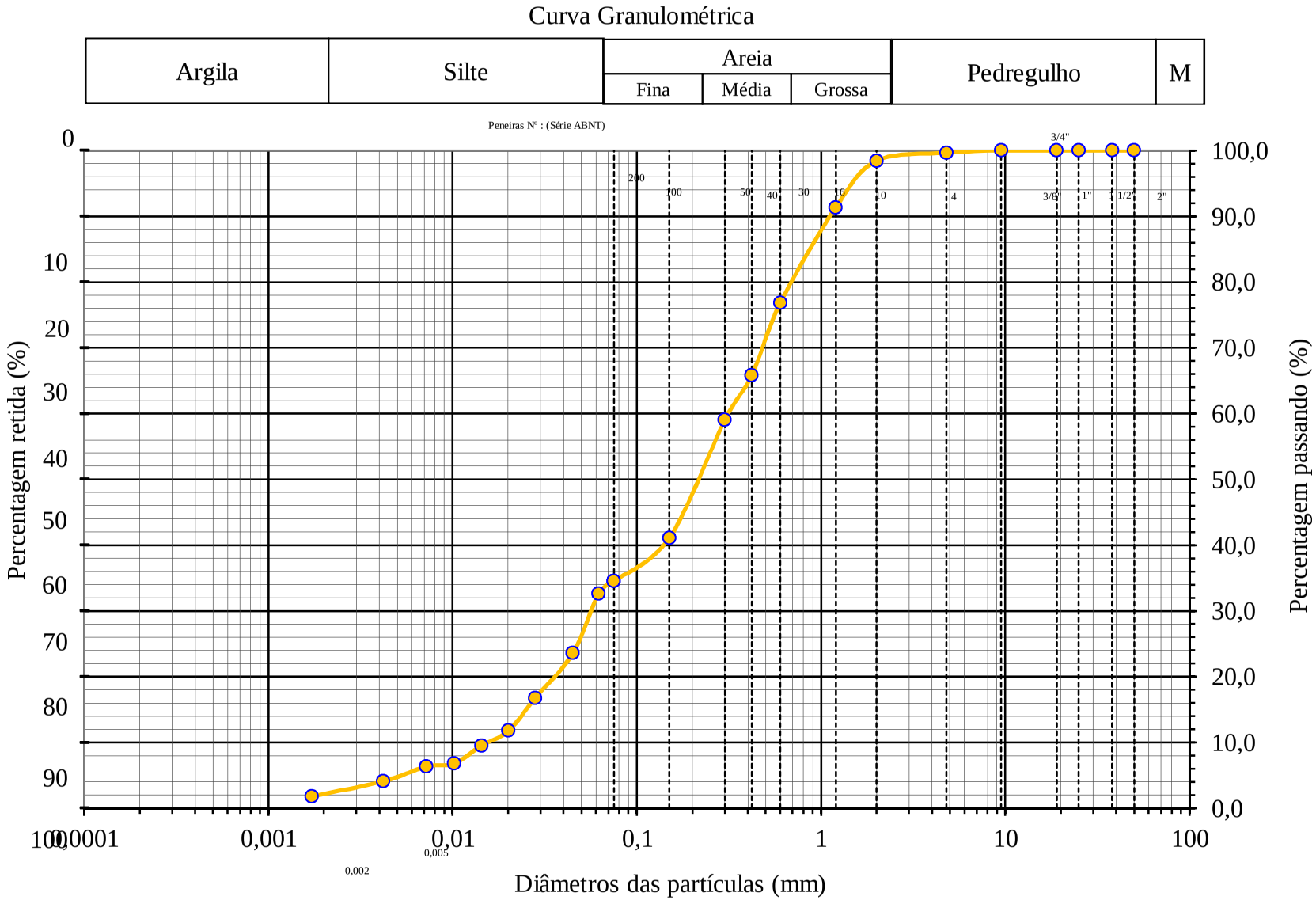
PENEIRAMENTO FINO (g)

Peneiras		Peso da am. seca (g)		% pas. am	% pas. am.
Nº	mm	Retido	Passando	parcial	total
16	1,20	6,20	79,69	92,8	91
30	0,60	12,66	67,03	78,0	77
40	0,42	9,62	57,41	66,84	66
50	0,30	5,92	51,49	59,95	59
100	0,15	15,62	35,87	41,76	41
200	0,075	5,75	30,12	35,07	35

SEDIMENTAÇÃO

Data	Hora	Tempo (seg)	Temperatura (oC)	Leitura (L)	Correção devido à temper.	Leitua corrigida (LC)	Altura de queda (LQ)	Diâmetro dos grãos (mm)	% Passando am. total
02/07/12	09:35	30	27,0	1018,0	-2,6	15,40	12,54	0,087	35
	09:36	60	27,0	1017,0	-2,6	14,40	12,71	0,062	33
	09:37	120	27,0	1013,0	-2,6	10,40	13,36	0,045	24
	09:40	300	27,0	1010,0	-2,6	7,40	13,02	0,028	17
	09:45	600	26,0	1008,0	-2,8	5,20	13,38	0,020	12
	09:55	1200	26,0	1007,0	-2,8	4,20	13,55	0,014	10
	10:15	2400	25,0	1006,0	-3,0	3,00	13,74	0,010	7
	10:55	4800	24,0	1006,0	-3,2	2,80	13,78	0,007	6
	13:35	14400	24,0	1005,0	-3,2	1,80	13,94	0,004	4
03/07/12	09:35	86400	24,0	1004,0	-3,2	0,80	14,11	0,002	2

Densímetro:	21768/11	Gs =	2,022	Proveta Nº	16	Área =	28,748	cm^2
Volume:	48,066							


Curva Granulométrica
Argila
Silte
Areia
Fina
Média
Grossa
Pedregulho
M
Peneiras Nº : (Série ABNT)
200
100
50
40
30
16
10
4
3/8"
1"
1 1/2"
2"
3/4"
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
Percentagem retida (%)
100,0
90,0
80,0
70,0
60,0
50,0
40,0
30,0
20,0
10,0
0,0
Percentagem passando (%)
0,0001
0,001
0,01
0,1
1
10
100
0,005
0,002
Diâmetros das partículas (mm)