



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

CARLOS EDUARDO CAMARGO DE SIQUEIRA

UTILIZAÇÃO DO LODO PROVENIENTE DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA (ETA) EM OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO

Palmas – TO

2019

CARLOS EDUARDO CAMARGO DE SIQUEIRA

UTILIZAÇÃO DO LODO PROVENIENTE DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE
ÁGUA (ETA) EM OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO

Projeto de Pesquisa elaborado e apresentado como requisito parcial para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II do curso de bacharelado em Eng. Civil do Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. M.e Dalton Cardozo Bracarense.

Palmas – TO

2019

CARLOS EDUARDO CAMARGO DE SIQUEIRA

UTILIZAÇÃO DO LODO PROVENIENTE DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE
ÁGUA (ETA) EM OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO

Projeto de Pesquisa elaborado e apresentado como requisito parcial para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II do curso de bacharelado em Eng. Civil do Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. M.e Dalton Cardozo Bracarense.

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. M.e Dalton Cardozo Bracarense

Orientador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Prof. Kenia Parente Lopes Mendonça

Avaliador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Prof. M.e Carlos Spartacus da Silva Oliveira

Avaliador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO

2019

RESUMO

O presente trabalho tem como finalidade analisar a disposição final do resíduo sólido gerado a partir do tratamento de água, material esse que é resultante do processo de coagulação nas estações de tratamento de água (ETA). A pesquisa foi embasada em três trabalhos que possuem como destino final a utilização do lodo em obras de pavimentação. Devido a isto, foram analisados os ensaios que cada pesquisa propôs, e se a disposição final do lodo obteve êxito na sua utilização. Portanto o objetivo desta pesquisa foi contribuir para uma disposição adequada, a partir da viabilidade técnica e ambiental, mostrando a possibilidade de se utilizar o rejeito em reaterro de valas, camada de sub-base e camada de subleito, cada proposta com sua devida mistura. Conclui-se que o lodo de ETA pode ser usado em ambas as propostas contribuindo principalmente na redução do impacto ambiental gerado pela disposição deste resíduo no meio ambiente.

ABSTRACT

This work aims to analyze the solid residue generated from the water treatment plant (WTP). The research was based on three works that have as final destination the use of sludge in paving works. Due to this, the tests that each research proposed were analyzed, and if the final disposal of the sludge was successful in its use. Therefore, the objective of this research was to contribute to an adequate disposal, from the technical and environmental feasibility, showing the possibility of using the reject in ditch backfill, sub-base layer and sublet layer, each proposal with its proper mixture. It is concluded that the WTP sludge can be used in both proposals contributing mainly to the reduction of the environmental impact generated by the disposal of this residue in the environment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de uma estação de tratamento de água (ETA).....	14
Figura 2: Exemplo de execução de obras de rede de Água.	18
Figura 3: Demonstração de assentamento de tubo.	19
Figura 4: Demonstração de profundidade de tubo.....	19
Figura 5: Camadas a serem executadas e compactadas no reaterro	20
Figura 6: Modificação da estrutura do solo por vibrocompactação	21
Figura 7: Curvas de compactação, típica de alguns solos	22
Figura 8: Etapas da estabilização de solos com cal	24
Figura 9: Fluxograma	27
Figura 10: Ensaio de mini CBR (%).....	38
Figura 11: Resistência a compressão (MPa)	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Destinação final dos lodos de ETA's no Brasil.....	17
Tabela 2: Leituras obtidas no extensômetro do anel em função da penetração do pistão no solo e do tempo	29
Tabela 3: Características típicas de LETA de sulfato de alumínio.....	33
Tabela 4: Características do LETA	33
Tabela 5: Ensaio de lixiviação	34
Tabela 6: Ensaio de solubilização	34
Tabela 7: Resultado de massa específica real dos grãos dos materiais e rejeito	35
Tabela 8: Resultado de massa específica real dos grãos dos materiais e rejeito	36
Tabela 9: Resultado de massa específica real dos grãos dos materiais e rejeito	37
Tabela 10: CBR mínimo, expansão máxima e resistência a compressão mínima exigidos pelo DNIT.....	38
Tabela 11: Resultados numéricos.....	39
Tabela 12: Ensaio de CBR e expansão	39
Tabela 13: Resistência à compressão aos 7 dias	40
Tabela 14: Melhores misturas analisadas neste trabalho.....	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

CBR - California Bearing Ratio (Índice de Suporte Califórnia)

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte

DQO – Demanda Química de Oxigênio

ETA - Estação de Tratamento de Água

LETA – Lodo de Estação de Tratamento de Água

LL - Limite de Liquidez

LP - Limite de Plasticidade

NBR – Norma Brasileira

PH - Potencial de Hidrogênio

PVC - Policloreto de Vinil

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	5
LISTA DE TABELAS	6
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	7
1. INTRODUÇÃO	10
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA	11
1.2 HIPÓTESES	11
1.3 OBJETIVOS	11
1.3.1 Objetivo Geral	11
1.3.2 Objetivos Específicos	11
1.4 JUSTIFICATIVA	11
2. REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1 LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA (ETA).....	13
2.1.1 Produção do lodo de eta	13
2.1.2 Características do lodo.....	15
2.1.3 Disposição final ou reaproveitamento do lodo.....	16
2.2 OBRAS DE REDE E REATERROS DE VALAS	17
2.2.1 Execução de rede de água urbana.....	17
2.2.2 Reaterro de valas	19
2.3 ESTABILIZAÇÃO DE SOLO	21
2.3.1 Solo estabilizado com cal	23
2.3.2 Solo estabilizado com cimento	24
3. METODOLOGIA	27
3.1 PROPOSTAS E MISTURAS REALIZADAS POR CADA TRABALHO	27
3.2 ANÁLISE DA CARACTERIZAÇÃO DO LODO EM CADA TRABALHO	27
3.3 ANÁLISE DOS ENSAIOS REALIZADOS	27
3.3.1 Compactação	27
3.3.2 Índice de suporte califórnia (CBR).....	28
3.4 DETERMINAÇÃO DAS MISTURAS COM MELHORES RESULTADOS EM CADA TRABALHO.....	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1 PROPOSTAS E MISTURAS REALIZADAS POR CADA TRABALHO	31
4.1.1 Estudo da estabilização de lodo oriundo da estação de tratamento de água (eta) de taiapuê para utilização com material em reaterro de valas:	31

4.1.2 Avaliação da aplicação do lodo da eta guandu na pavimentação como disposição final ambientalmente adequada:	31
4.1.3 Uso de lodo de estação de tratamento de água na pavimentação rodoviária:.....	32
4.2 ANÁLISE DA CARACTERIZAÇÃO DO LODO EM CADA TRABALHO	32
4.2.1 Característica do lodo em relação a lixiviação e solubilidade.....	33
4.3 ANÁLISE DA CARACTERIZAÇÃO DO LODO EM CADA TRABALHO	35
4.3.1 Ensaio de compactação (massa específica e umidade ótima de lodo)	35
4.3.2 Ensaio de índice de suporte califórnia (CBR).....	37
4.3.3 Resistência a compressão	39
4.4 DETERMINAÇÃO DAS MISTURAS COM MELHORES RESULTADOS EM CADA TRABALHO	41
5. CONCLUSÃO	42
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44

1. INTRODUÇÃO

Sabe-se que a água tem um papel essencial para a sobrevivência humana e desenvolvimento das sociedades, para que possamos consumi-la é de suma importância que passe por algumas etapas de tratamento, uma vez que a água é fundamental para a saúde do indivíduo.

O notório interesse pela preservação dos recursos naturais e pela saúde da população foi evidenciado com a criação da lei Federal 12.305 de 2010 – Política Nacional de Resíduos Sólidos. Esta lei reúne um conjunto de diretrizes e ações a serem adotadas para o tratamento adequado dos resíduos sólidos, visando mitigar os impactos ambientais que crescem com o crescimento populacional e com o desenvolvimento industrial.

Por consequência do método utilizado para se obter água potável, são gerados resíduos sólidos, denominado como LETA (Lodo de Estação de Tratamento de Água). Este é oriundo do tratamento da água bruta, captada de mananciais superficiais. A água é submetida a uma sequência de etapas durante o processo de tratamento, para a retirada de impurezas e micro-organismos que possuem riscos por serem danosos à saúde da população abastecida. Um dos problemas enfrentados pelas ETA's, é a dificuldade de tratar o lodo e descartá-lo de maneira que não agrida o meio ambiente.

Logo, nota-se a relevância do tratamento e a disposição dos lodos, visto que é uma parte importante e com custos relativamente altos na operação de uma ETA. O descarte deste lodo em aterro sanitário costuma ser a solução adotada para disposição final deste resíduo. Com o alto custo de deslocamento, e com a ausência de áreas adequadas em regiões urbanizadas, pesquisadores e técnicos tem buscado soluções mais econômicas e inteligentes para o uso e disposição final dos lodos. (JANUÁRIO, 2005)

Uma das soluções para a disposição final de lodo é sua utilização em obras de pavimentação. Este define-se como uma atividade de terraplanagem, que consiste no enrijecimento do solo para a utilização em camadas como reaterro de valas (para obras de rede de água), subleito e sub-base da pavimentação.

Este seria feito com o LETA desidratado, estabilizado com mistura parcial do que melhor obtiver resultado entre cimento Portland, cal hidratado, pó de pedra ou solo argiloso e arenoso. Estabilização esta que é definida por consistir na combinação e manipulação de solos, em proporção ideal, para atingir uma estabilidade equivalente ou melhor do que o solo de origem e assim ser utilizado em cada caso particular.

Este trabalho apresentará uma proposta para que o LETA gerado no processo passe por tratamento e possa ser utilizado em obras de pavimentação, em camadas como reaterro de valas, subleito e sub-base.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

A utilização do LETA (Lodo de Estação de Tratamento de Água) com a mistura de cal hidratado, cimento Portland, pó de pedra ou solos argilosos e arenosos, possui viabilidade técnica e ambiental para a sua utilização em obras de pavimentação?

1.2 HIPÓTESES

A utilização de lodo em camadas da pavimentação é uma alternativa que funcionaria, devido ser um material que possui granulometria semelhante à de um solo, que quando desidratado e possivelmente estabilizado obtenha comparativos semelhantes ou melhores do que o próprio solo.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Analisar a aplicação do lodo gerado por estação de tratamento de água (ETA) como material para obras de pavimentação

1.3.2 Objetivos Específicos

Especificamente, a fim de se obter os resultados propostos, pretende-se:

- a) Realizar uma análise bibliográfica sobre a utilização do lodo de estação de tratamento de água (ETA) estabilizado em obras de pavimentação;
- b) Avaliar características do lodo de estação de tratamento de água (ETA);
- c) Avaliar a viabilidade técnica;
- d) Avaliar a viabilidade ambiental.

1.4 JUSTIFICATIVA

A deficiência de alternativas para descarte do lodo de ETA, traz um prejuízo tanto no âmbito ambiental, quanto no financeiro das concessionárias responsáveis pelo tratamento de água. Que se comprometem em tratar a água para o consumo humano, sem que prejudique a saúde dos mesmos.

Este trabalho traz propostas para o destino final deste resíduo sólido, podendo fornecer uma maior importância e uma melhor utilização de algo que atualmente é considerado descartável.

A utilização desse material em obras de pavimentação é um grande ganho no meio ambiente, devido sua destinação final ocupar menos espaço em aterros sanitários, e evitar a poluição de rios e lagos. Tendo também uma menor exploração de novas jazidas, já que o objetivo do lodo é substituir o solo total ou parcial nas camadas da pavimentação. Além disso, espera-se um ganho ambiental.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA (ETA)

Devido ao crescimento populacional, a procura por água potável aumenta a cada ano para suprir as necessidades humanas, conseqüentemente o volume de lodo gerado pelo processo das ETA's aumentam consideravelmente.

O tratamento de água sem dúvida traz melhorias sociais e econômicas, mas de forma semelhante à maioria dos processos industriais suas ações criam chances de gerar impactos ao meio ambiente (RICHTER, 2001).

Por outro lado, no quesito dos lodos gerados nas ETA's, tanto do aspecto qualitativo como quantitativo, evidencia-se uma dificuldade no seu gerenciamento, tanto no sistema gerador quanto à procura de disposição adequada para os mesmos visando atender a legislação vigente (SOUZA, 2009).

A norma brasileira NBR 10.004 (2004) classifica os resíduos sólidos em diferentes níveis de periculosidade, considerando-se os possíveis riscos que venham a trazer tanto em termos ambientais como à saúde pública. Ainda, de acordo com essa norma, os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água são definidos como resíduos sólidos de classe IIA (não perigoso-não inerte), e conseqüentemente, devem ser tratados e depositados dentro dos critérios nela definidos.

Assim podemos perceber que a produção do lodo gerado é de certa forma um problema, por isso é preciso procurar meios em que seu reaproveitamento, seja cada vez mais utilizado. Através de reaterro em valas de obras da rede de água, tem-se encontrado uma solução entre outras já em estudo, com a estabilização de solos torna-se possível essa reutilização.

2.1.1 PRODUÇÃO DO LODO DE ETA

Para o consumo humano as ETA's tratam a água bruta obtida em mananciais, que normalmente não se usa para o consumo, em água potável. Seguem dois tipos delas (RICHTER, 2001):

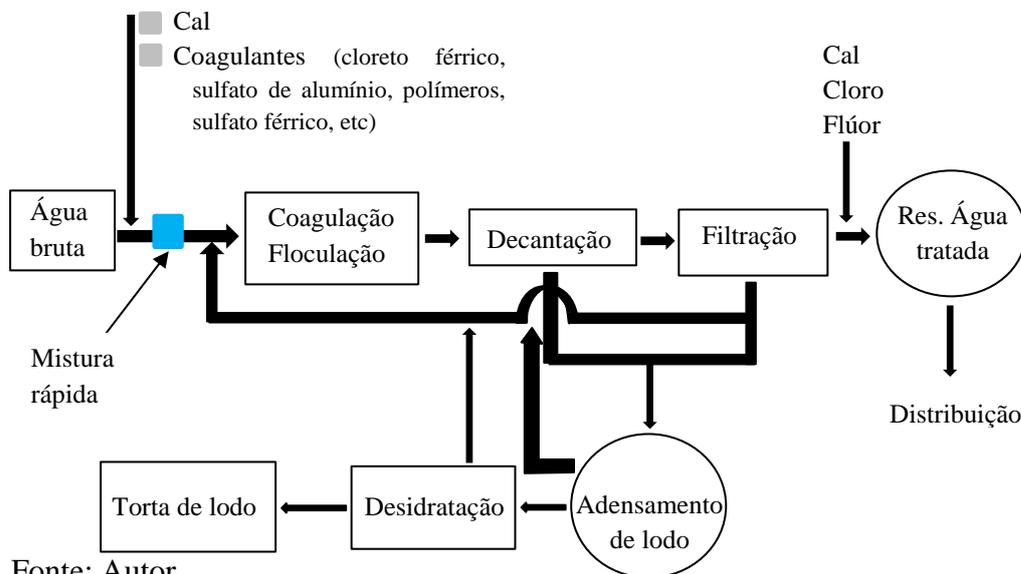
De ciclo completo (coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção): tem finalidade básica de remoção de cor/turbidez e organismos patogênicos. Utiliza, geralmente, sulfato de alumínio ou cloreto férrico como coagulante primário.

De abrandamento: tem finalidade básica de remoção de dureza, através da precipitação do carbonato de cálcio e/ou de magnésio, pelo acréscimo de cal.

O tratamento convencional ou de ciclo completo é o mais utilizado no Brasil (CORDEIRO, 1999).

No processo de tratamento de água, é gerado um material aquoso que de maneira geral apresenta entre 95 e 99,5% de água e de 0,5 a 5% de sólidos. Esse material sólido é em geral composto de produtos químicos do tratamento, de materiais térreos tais como argila, silte e areia, proveniente do manancial que abastece a ETA e, de partículas coloidais e matéria orgânica (SABESP, 2008 (c)). A figura 1 mostra um esquema típico de uma planta de estação de tratamento de água de ciclo completo.

Figura 1: Esquema de uma estação de tratamento de água (ETA)



Fonte: Autor

Para a quantificação do lodo através do balanço de massa, calcula-se a produção pela relação entre a massa molar dos produtos químicos aplicados e a massa molar dos compostos precipitados/formados, multiplicada pela dosagem do mesmo. Somando-se isto à concentração de sólidos na água bruta e multiplicando pela vazão de entrada, tem-se uma estimativa da quantidade de resíduos que será gerada ao final do processo (Barroso, 2002; Di Bernardo & Paz, 2008).

A fórmula empírica de Cornwell et al. (1987) mais utilizada para estimativa de resíduos em ETA, está expressa conforme a equação a seguir.

$$S = Q \times (4,89 \times Al + SS + A) \quad (1)$$

Sendo: S - a produção de sólidos secos em kg/dia; Q - a vazão de água bruta em m³ /dia; Al - a dosagem de sulfato de alumínio, expresso como Al em mg/l; SS - a concentração de sólidos suspensos na água bruta em mg/l; e A – dosagem de produtos químicos adicionados, tais como polímeros, carvão ativado em mg/l.

2.1.2 CARACTERÍSTICAS DO LETA

Os LETA são os resíduos advindos das descargas de decantadores, flotores, no ato de limpeza dos filtros, no abrandamento e na retirada de ferro e manganês na água bruta (ASCE, 1996). Segundo Cornwell e colaboradores (1987), os resíduos criados pela limpeza dos filtros e descarga nos decantadores (ou flotores) são mais representativos nas ETA's.

O LETA é formado por líquidos e sólidos encontradas na água bruta, são esses a própria água, dispersões coloidais, sólidos suspensos, e no procedimento de potabilidade são aplicados produtos coagulantes que ficam no lodo. Esse é formado principalmente de resíduos sólidos orgânicos e inorgânicos advindo da água dos mananciais sem tratamento, tais como algas, bactérias, vírus, partículas orgânicas em suspensão, dispersões coloidais, areias, argilas, siltes, cálcio, magnésio, ferro, manganês, etc. É somado em sua composição polímeros condicionantes usado no processamento do lodo e hidróxidos de alumínio oriundo da utilização de produtos em uma quantia maior (ANDREOLI, 2006).

A característica física do lodo é de um fluido não newtoniano (que tem uma viscosidade não muito bem definida), de um grande volume e tixotrópico (que para alcançar uma viscosidade de equilíbrio demora um tempo finito, quando ocorre uma mudança instantânea no ritmo do cisalhamento). Ao agitar o lodo ele se apresenta em uma forma fluída, se estiver estável ele se apresenta semelhante a um gel. Estas características ocorrem essencialmente por se ter água em excesso.

Ainda convém lembrar sobre o assunto, que o lodo de ETA possui seu teor de sólido total variando de 0,1 a 4,0%, sendo que 75 a 90% dos sólidos são suspensos e 20 a 35% são de compostos voláteis, demonstrando uma curta porção biodegradável, podendo ser rapidamente oxidável.

Este rejeito possui uma massa específica variando de 1.002kg/m³ para lodos com teores de sólidos de 1%, até 1.236kg/m³ para teores de sólidos de 30% após o procedimento de desidratação. A massa específica dos sólidos secos do lodo de ETA varia de 1.3kg/m³ até 2,75kg/m³ (RICHTER, 2001).

Contudo, as características químicas do resíduo proveniente do tratamento da água podem ser estabelecidas pela qualidade dos produtos químicos utilizados enquanto ocorre o tratamento. O LETA tratado com sulfato de alumínio é gelatinoso, pois a quantia de sólidos que esse possui é formada de hidróxido de alumínio, partículas inorgânicas, dispersões coloidais e material orgânicos, incluindo também bactérias, e outros organismos removidos no procedimento de coagulação/floculação/sedimentação. Os lodos possuem uma certa facilidade para sedimentarem, mas devido compressibilidade ser pequena se tem um resultado de um volume expansivo e redução do teor de sólidos. O resíduo que tem o uso de coagulantes férricos tem qualidade e constituição semelhantes, tendo hidróxido de ferro no lugar de hidróxido de alumínio (RICHTER, 2001).

Segundo Vesilind (1988), as qualidades físicas do LETA que precisam do teor de sólidos, dosagem de coagulantes dentre outros presentes em sua massa é a filtrabilidade e a sedimentabilidade. A filtrabilidade pode ser medida pelo parâmetro resistência específica, definida como sendo o diferencial de pressão necessário para produzir uma vazão unitária de filtrado de viscosidade unitária através de uma torta (lodo) de massa unitária (base seca); já a sedimentabilidade depende do volume e peso dos flocos formados. A compressibilidade é função do tamanho das partículas e de sua deformação pela pressão aplicada.

2.1.3 DISPOSIÇÃO FINAL OU REAPROVEITAMENTO DO LODO

A procura por soluções economicamente viáveis e ambientalmente vantajosas para aproveitamento e disposição final do lodo de ETA's continua sendo um grande desafio para as empresas de saneamento no Brasil.

Inúmeros estudos têm sido conduzidos no sentido de dar uma finalidade ao material residual do tratamento da água. A forma mais simples que se tem para o destino final deste resíduo tem sido os aterros sanitários e corpos hídricos. As alternativas técnicas por enquanto mais viáveis para essa finalidade são: matéria-prima para a fabricação de tijolos e blocos cerâmicos (TEIXEIRA et al., 2006); produção de cimento, inserção do lodo em matriz de concreto (HOPPEN et al., 2006); melhoramento de solos agrícolas, disposição controlada no solo, reaterro e recuperação em áreas degradadas (MOTTA, 2011); estabilização do lodo para reaterro de valas.

A Tabela 1 apresenta a destinação final dos resíduos gerados em ETA's brasileiras por região.

Tabela 1: Destinação final dos lodos de ETA's no Brasil

Fonte: IBGE (2010)

Região	Total de distritos	Distritos com geração de lodo no processo de tratamento de água							
		Total	Destino do lodo gerado nas ETAs*						
			Rio	Mar	Terreno	Aterro Sanitário	Incineração	Reaproveitamento	Outro
Norte	449	84	46	-	14	2	-	3	23
Nordeste	1.793	537	231	5	261	14	1	24	61
Sudeste	1.668	896	703	-	105	53	-	10	94
Sul	1.188	442	330	2	59	11	-	11	54
Centro-Oeste	466	139	105	-	24	3	-	2	15
Brasil	5.564	2.098	1.415	7	463	83	1	50	247

* É possível o lodo de uma mesma ETA ter mais de um destino final.

De acordo com o marco conceitual trazido por COSTA (2011), o lodo de ETA por se tratar de um material com características de pH aproximadamente neutro, baixos valores de Demanda Bioquímica do Oxigênio (DBO) e grandes valores de sólidos totais, possui uma alta variabilidade em seu reaproveitamento principalmente quando se propõe a misturar esse lodo com solo ou cimento. A partir disso, um dos destinos que se encaixam e que se consegue aproveitar todas suas características é o reaterro de valas em obra de rede de água.

O estudo da utilização de lodo de ETA na substituição total ou parcial de solo para o reaterro, obteve-se uma expansão possuindo na maior parte das vezes resultados que se satisfazem nesta disposição como uma alternativa que possui viabilidade tanto ambientalmente quanto economicamente. Autores como FORTES et al. (2006) pesquisaram a quantidade de cal e cimento no lodo de ETA para sua utilização em reaterro de valas, descobrindo assim um desempenho satisfatório do lodo puro com o acréscimo de 3% de cal hidratada ou de cimento.

Foi encontrado por eles que o lodo de ETA obteve uma classificação como não perigoso - não inerte a partir de parâmetros da norma ABNT NBR 10004:2004, ao se misturar esse resíduo com cal hidratada passa-se a ser inerte. Neste estudo também se determinou que ao adicionar cimento ao lodo de ETA puro não necessita de sua compactação imediata, porque ao compactar a mistura após três dias de cura sua resistência à compressão simples aos 28 dias de idade obteve valores maiores que quando compactado imediatamente.

2.2 OBRAS DE REDE E REATERROS DE VALAS

2.2.1 EXECUÇÃO DE REDE DE ÁGUA URBANA

Para a instalação de rede de água é preciso ser feito um projeto hidráulico para a região necessitada do abastecimento. A execução do trabalho é precedida de projeto executivo, e deve levar em conta características do tubo a ser utilizado e orientações específicas do fabricante, analisando também todo o local a ser instalado para uma melhor execução. A partir dessas

análises, a empresa encarregada do serviço inicia com o posicionamento das valas, que devem estar de acordo com as normas municipais, em seguida com o assentamento e junção dos tubos.

O projeto de instalação deve incluir desenhos indicativos das tubulações (assim como seus diâmetros e perfis longitudinais), posicionamento das conexões e seus tipos, registros e demais elementos, um exemplo pode ser visualizado na figura 2. Devem ser consideradas também outras redes subterrâneas que possam interferir no assentamento. Também se definem, já nessa etapa, o tipo de solo de reaterro e seu estado final de compactação. Quando necessário, deve-se providenciar um projeto executivo de escoramento das valas a serem abertas (seguindo as diretrizes de escoramento da norma NBR 9.814).

Figura 2: Exemplo de execução de obras de rede de Água.



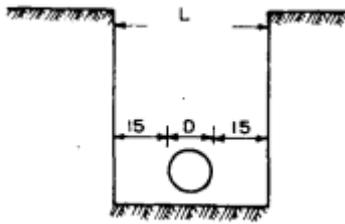
Fonte: (Corsini, 2013)

Segundo a ABNT NBR 12266, a abertura das valas e travessias em vias ou logradouros públicos só poderá ser iniciada após comunicação ao órgão municipal.

As valas têm a largura variada de acordo com o diâmetro do tubo como representado na figura 3. Para uma vala sem escoramento a largura mínima é de 60 cm. Para a largura ser definida, pode-se usar a seguinte equação:

$$L = D + 30 \text{ cm} \quad (2)$$

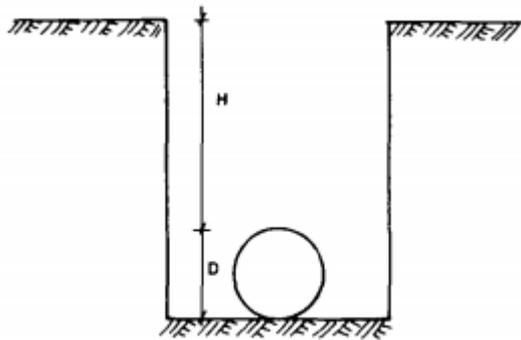
Figura 3: Demonstração de assentamento de tubo.



Fonte: (KLUMB, 1978)

A profundidade da vala depende do material, do tubo, do tipo de junta, do tráfego de veículos, do local onde a rede é assentada, etc. A profundidade da vala resulta da soma de $H + D$ (figura 4). Para tubos de diâmetro menores que 600 mm (rede de água), a profundidade mínima é de $H = 80$ cm para rede assentada na rua, e $H = 60$ cm para rede assentada no passeio.

Figura 4: Demonstração de profundidade de tubo.



Fonte: (KLUMB, 1978)

2.2.2 REATERRO DE VALAS

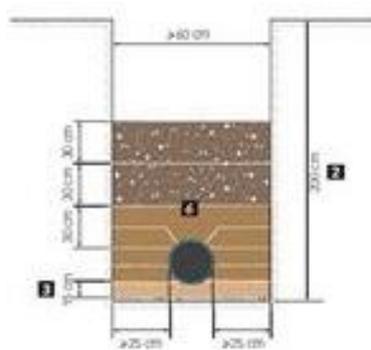
O reaterro é o preenchimento de valas e envolvimento do tubo para o manter em sua posição certa. Poderá ser utilizado o mesmo material da escavação para o reaterro, se o material retirado tiver uma boa qualidade, sem pedras e/ou materiais desconhecidos, caso contrário, procura-se materiais de empréstimo de jazidas.

O material de reaterro, e da área de empréstimo devem estar especificados no projeto. É uma fase muito importante para a segurança da tubulação (mantendo a posição do tubo e protegendo das cargas verticais provenientes da movimentação na rua/calçada) e eficácia da recomposição do pavimento. O reaterro só poderá ser iniciado após os testes de estanqueidade da tubulação (NBR 9814, 1987).

O processo inicia-se com envolvimento lateral do tubo que consiste em uma pequena camada de material, isento de pedras e matéria orgânica, que deverá ser apiloada à mão. Deverá ser executado nos dois lados da tubulação de modo que não fique nenhum espaço vazio.

A camada a cima do tubo, como pode ser visto na figura 5, receberá o solo que foi retirado para abertura da vala, se esse solo apresentar pedregulho ou de alguma forma estiver contaminado, deve ser substituído. Nessa etapa entraria o lodo estabilizado para essa troca de solo.

Figura 5: Camadas a serem executadas e compactadas no reaterro



Fonte: (Corsini, 2013)

Em tubos flexíveis, o envolvimento deverá ser feito com material granular fino, sendo que em tubos de PVC a altura deve ser inferior a 10 cm e em tubos de poliéster armados com fios de vidro a altura será 7/10 do diâmetro e lançada em camadas de 7 cm. O processo é feito para manter o tubo travado e de forma que este não sofra com a queda brusca e de maior altura do material que será reaterrado (NBR 9814, 1987).

A compactação do material de reaterro é fundamental. Segundo a NBR 9814 (1987), os primeiros 30 cm devem ser apiloados manualmente, através de soquete. O restante deverá ser compactado mecanicamente em camadas de 20 cm, de forma a conseguir a compactação igual ou superior ao solo vizinho.

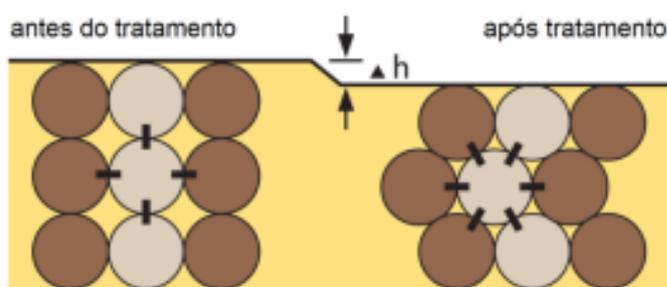
A compactação mecanizada poderá ser realizada com pressão (rolos compressores de pequena largura que atuam dentro da vala), impacto (soquetes denominados “sapos mecânicos”) ou vibração (vibradores que são recomendados para solos inconsistentes) (PEREIRA e SOARES, 2006. apud DADACH, 1984).

2.3 ESTABILIZAÇÃO DE SOLO

O procedimento de estabilização já ocorre há muito tempo, desenvolvida no início de maneira rústica, tendo sua melhora com o passar do tempo. É considerada uma das principais preocupações dos estudiosos das áreas de engenharia civil e geotecnia, que procuram por resultados mais econômicos e eficientes. Tem sido uma prática realizada com o propósito de estabilizar e acrescentar características para um solo mais resistente, aumentando sua adaptação para um uso específico. Segundo autores tradicionais, existem os métodos mecânicos e os métodos químicos para esse solo que será estabilizado possa ser executado (MOUSAVI; KARAMVAND, 2017 apud BRITO & PARANHOS, 2017).

Considera-se a estabilização mecânica um dos métodos mais usado na implantação de rodovias e reaterro de valas. Podendo ser feita por compactação, métodos que alteram a disposição das partículas do solo (Figura 6), mas também por um ajuste granulométrico, que é o acréscimo ou a retirada de fragmentos de solo (MEDINA et al., 2005).

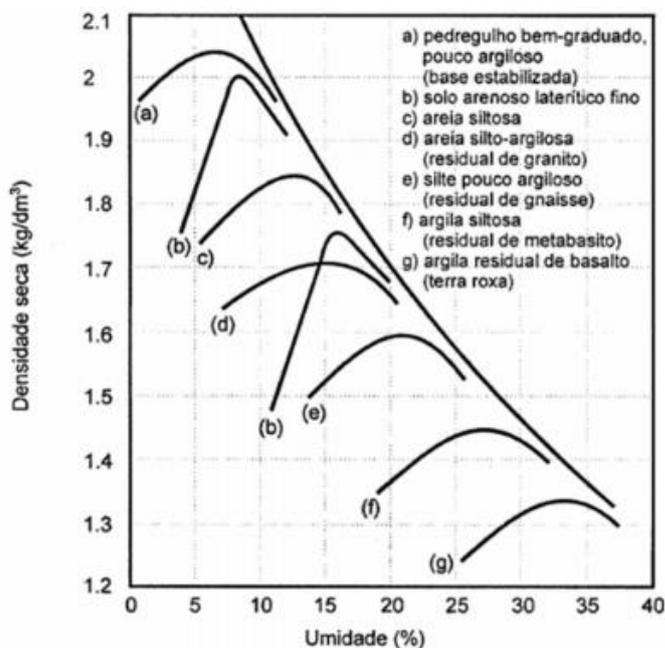
Figura 6: Modificação da estrutura do solo por vibrocompactação



Fonte: (Hussin, 2006)

Por meio da compactação sobreposta ao solo, torna-se possível reduzir o índice de vazios do mesmo, conseqüentemente, impossibilitando a percolação de água e uma erosão por ela causada, tendo uma melhora na durabilidade, na densidade (Figura 7), na compacidade, e, por consequência, na resistência mecânica do solo. O procedimento de estabilização através da compactação é responsável pelo aprimoramento da estabilidade mecânica da maioria das classes dos solos, entretanto, podem haver casos que a compactação por si só não seja suficiente, passando a utiliza-la associada a outros procedimentos para poder estabilizar solos (MEDINA et al., 2005).

Figura 7: Curvas de compactação, típica de alguns solos



Fonte: (PINTO (2006) apud CEZNE; OLIVEIRA; GOMES, 2016)

Por outra perspectiva, ao solo passar pelo procedimento de estabilização química tem-se sua estrutura alterada, tendo assim uma maior resistência, uma menor permeabilidade de água e compressibilidade que o próprio solo natural. Com o acréscimo de estabilizantes ao solo, acontecem reações químicas, auxiliando no alcance da umidade ótima havendo uma melhor compactação do solo, proporcionando o preenchimento dos poros e possibilitando o desenvolvimento das propriedades mecânicas e físicas do mesmo, com o intuito de alcançar a resistência determinada em projeto. Os resultados obtidos por este procedimento, tem dependência fundamental da ocorrência de reações químicas entre o estabilizante e os minerais existente no solo. Normalmente utilizam-se estabilizantes como cimento portland, cal hidratada, pozolana, betumes e produtos industrializados (MAKUSA, 2013; MEDINA, 1987 apud BRITO & PARANHOS, 2017).

Portanto, os processos para que o solo seja estabilizado conta com a compactação, correção na granulometria e a utilização de estabilizadores químicos, podendo usá-las isoladamente, porém, a prática mais comum é a junção desses métodos utilizando um ou mais. A seleção do método para que o solo seja estabilizado vai depender do tipo de solo, das propriedades disponíveis no mesmo, da sua necessidade de utilização, do que é exigido em projeto e das opções disponíveis para que seja viável técnica e economicamente.

2.3.1 SOLO ESTABILIZADO COM CAL

Um dos elementos mais utilizados no procedimento de estabilização do solo é a cal, como ilustrado na figura 8, pois com a compactação tem uma melhora na estrutura e na textura do solo, trazendo também a minimização da plasticidade e da correção granulométrica do solo.

Ao se misturar uma determinada quantidade de cal a um solo, iniciam-se imediatamente reações químicas que alteram as propriedades geotécnicas do solo, tais como a plasticidade a granulometria, a quantia de finos e a capacidade de carga da mesma, sendo estas características dependentes de outros fatores como o tipo de solo a ser estabilizado, o teor de cal empregado na mistura, o tempo, a temperatura de cura, dentre outros aspectos.

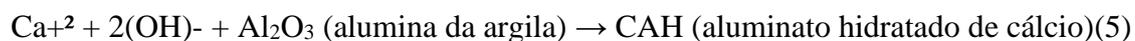
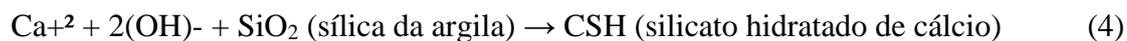
Para que seja determinada a proporção de cal corretamente (com pozolana ou sem) deve-se fazer uma série de ensaios, não podendo ser generalizada. A quantia de cal mais adequada a se utilizar, depende do volume de argila, sendo variável de 3 a 14% por peso seco, quanto maior a quantidade de argila maior quantia utilizada de cal. A cura do solo estabilizado com cal demora seis vezes mais do que se for o cimento o material para estabilizar (STULZ e MUKERJI, 1997).

O solo estabilizado com o emprego da cal resulta em melhorias significativas na textura e estrutura do solo, minimizando a plasticidade e gerando uma elevação na resistência mecânica o que não é somente possível como provável (CRISTELO, 2001).

Sobre as vantagens da estabilização com cal, Silva (2010) afirma:

A estabilização de solos com cal tem-se revelado um método eficaz, mas também ecológico e econômico, na medida em que permite o aproveitamento dos solos existentes no local onde a obra será implementada, ao invés de substituí-los por outros, evitando despesas adicionais e impactes (sic) ambientais.

O procedimento de estabilização, têm-se um longo prazo, por consequência da formação do C-S-H (silicatos de cálcio hidratados) e de aluminatos de cálcio hidratados, produção baseada nas reações pozolânicas em meio ao cálcio da cal com os aluminatos e silicatos solubilizados no solo argilomineral. Reações que tem a dependência do ambiente com alta escala de pH e da reatividade do solo, além do mais essas reações conseguem proporcionar o avanço da eficiência de suporte e resistência mecânica do solo (LITTLE, 1999 apud BRITO & PARANHOS, 2017). Estão sendo demonstradas nas equações 3, 4 e 5 essas reações estabilizadas.



Onde: C = CaO, S = SiO₂, A = Al₂O₃ e H = H₂O

Pode-se esperar alguns efeitos pela incorporação de cal no solo, processo o qual foi ilustrado na figura 8, um desses é a alteração da granulometria, por conta da flocculação que ocorre; têm-se o limite de plasticidade (LP) intensificado e o limite de liquidez (LL) reduzido; solos expansivos com sua variação de volume diminuída; densidade reduzida e teor de umidade elevado; sem tirar o acréscimo na resistência à compressão simples.

Figura 8: Etapas da estabilização de solos com cal



Fonte: (ARAÚJO, 2009)

2.3.2 SOLO ESTABILIZADO COM CIMENTO

Um solo estabilizado por acréscimo de cimento baseia-se no preparo de um solo uniforme e pulverizado misturado com cimento e água. É denominado ‘mistura solo-cimento’, quando misturado solo com cimento Portland, geralmente o teor de cimento utilizado é acima de 5%, chama-se ‘solo melhorado com cimento’, quando misturado um teor de 3% de cimento ao solo (BERNUCCI et al., 2010). Por conta dessas duas técnicas o solo possui uma melhoria por meio dos seus limites de consistência modificados, sua resistência ao cisalhamento gera um aumento e a modificação da sua permeabilidade.

Ainda convém lembrar que esta técnica só iniciou no Brasil em 1940, e tem como subdivisão as categorias a seguir (MEDINA, 1987):

Solo-cimento: Tem característica por ser uma mistura uniforme de solo, cimento portland e água, compactação mecânica e endurecimento por cura. A resistência do corpo de prova à compressão simples e a durabilidade, são avaliadores do fator endurecimento;

Modificação do solo com cimento: Tem característica por ser uma mistura com um teor de cimento baixo que origina um material semiduro, tendo o objetivo da correção de certas características físico-químicas do solo, como sua expansão, a plasticidade ou a eficiência de carga;

Solo-cimento plástico: Tem característica por ser uma mistura com quantidade maior de água tendo assim uma consistência de argamassa. Utilizado geralmente para revestimento de valas, canais e taludes.

Dependendo da resistência desejada no final e do solo que será estabilizado, deve-se escolher o tipo de cimento mais adequado. Tendo um início no processo para hidratar o grão de cimento, para que ocorra as modificações químicas no solo tratado, com uma lenta hidratação, tendo os cristais de etringita (trissulfoaluminato de cálcio hidratado), a portlandita (Ca(OH)_2), a alita (C_3S), a belita (C_2S) e o monossulfualuminato de cálcio hidratado como produto.

Ao utilizar o cimento a cima de um teor de 5% obtem-se assim o solo-cimento, são formados núcleos interligados no cimento, que são distribuídos pelo volume de solo, permitindo assim a melhora de sua resistência mecânica por conta da atuação aglutinante do aditivo, que faz com que as partículas de solo fiquem cimentadas.

Já na faixa do solo melhorado com cimento com um teor de 3%, observa-se que a fração argilosa de solo, possui uma modificação que conseqüentemente, diminui sua plasticidade. Podendo ser acompanhada ou não da melhora de sua resistência mecânica, que nesse caso faz com que o cimento forme núcleos independentes na massa de solo (PEREIRA, 1970).

O procedimento para se obter um solo estabilizado ocorre entre o cimento e a superfície rugosa dos grãos de solo, sendo assim uma ligação mecânica e química. A fixação do cimento é feita através de pontos de aderência entre os grãos. Têm-se uma melhor efetividade na cimentação quando o número de contatos é maior, sendo assim, um solo mais denso e bem graduado tem uma melhor cimentação.

Pode-se classificar a mistura de solo, cimento e água, que são reações químicas, em primárias e secundárias, sendo:

Primárias: Cimentação das partículas Hidratação:



Hidrólise:



Secundárias: Ataque alcalino, predominante em solos argilosos Ataque alcalino:



O acréscimo de cimento em solos com grãos grosseiros, criam uma ligação nos contatos dentro dos grãos, tendo assim uma resistência à coesão aumentada; porém em solos com grãos finos, os grãos de cimento têm em torno de si uma flocculação, fazendo a ligação com o solo por cimentação. Portanto, geralmente o solo estabilizado com cimento possui melhora de algumas propriedades como: diminuição da coesão (plasticidade), redução da ampliação de volume, a compressibilidade tem uma redução e sua resistência mecânica aumentada (LIMA et al., 1993; MAKUSA, 2013 apud BRITO & PARANHOS, 2017).

3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada para que o problema proposto seja solucionado foi a pesquisa descritiva. Foi feito através da leitura e análise de 3 trabalhos, visando buscar a melhor disposição final para o LETA.

O desenvolvimento do trabalho contempla com 4 etapas:

- a) Propostas e misturas realizadas por cada trabalho;
- b) Análise da caracterização do lodo em cada trabalho;
- c) Análise dos ensaios realizados por cada trabalho;
- d) Determinação das misturas com melhores resultados em cada trabalho.

3.1 PROPOSTAS E MISTURAS REALIZADAS POR CADA TRABALHO

Nesta etapa buscou-se colocar todas as propostas analisadas, a partir dos temas dos trabalhos, colocando também as misturas utilizadas em cada pesquisa e seus melhores resultados, no intuito de resumir cada análise feita.

As pesquisas analisadas foram: Estudo da estabilização de lodo oriundo da estação de tratamento de água (ETA) de Taiapuêba para utilização com material em reaterro de valas; Avaliação da aplicação do lodo da ETA Guandu na pavimentação como disposição final ambientalmente adequada; e, Uso de lodo de estação de tratamento de água na pavimentação rodoviária.

3.2 ANÁLISE DA CARACTERIZAÇÃO DO LODO EM CADA TRABALHO

Nesta etapa foi analisado as características físicas, químicas e ambientais do lodo de ETA. Esta análise foi feita no desenvolvimento de cada trabalho, onde foram colocados cada resultado no intuito de demonstrar a composição do LETA.

3.3 ANÁLISE DOS ENSAIOS REALIZADOS

Os ensaios que foram analisados em cada trabalho afim de obter a viabilidade técnica, foram os ensaios de compactação, de índice de suporte Califórnia (CBR) e o de resistência a compressão.

3.3.1 COMPACTAÇÃO

Segundo a NBR-7182 da ABNT o procedimento a ser utilizado é:

1. Adição de água à amostra até observar-se uma consistência agradável. Deve ter uma atenção para uma perfeita homogeneização da amostra;
2. Compactação da amostra no molde cilíndrico em 3 camadas iguais (cada camada deve cobrir aproximadamente um terço do molde), aplicando-se em cada uma delas 25 golpes distribuídos uniformemente sobre a superfície da camada, com o soquete caindo de 0,305m;
3. Remoção do colarinho e a base, aplaina-se a superfície do material à altura do molde e pesa-se o conjunto cilindro + solo úmido compactado;
4. Retirada da amostra do molde com auxílio do extrator, e partindo-a ao meio, coleta-se uma pequena quantidade para a determinação da umidade;
5. Desmancha-se o material compactado até que possa ser passado pela peneira nº.4 (4,8mm), misturando-o em seguida ao restante da amostra inicial (para o caso de reuso do material);
6. Adiciona-se água à amostra homogeneizando-a (normalmente acrescenta-se água numa quantidade da ordem de 2% da massa original de solo, em peso). Repete-se o procedimento pelo menos por mais quatro vezes.

Os resultados que serão obtidos:

Curva de compactação - é obtida marcando-se, em ordenadas, os valores dos pesos específicos secos (γ_d) e, em abcissas, os teores de umidade correspondentes (w);

Peso específico seco máximo ($\gamma_{d\text{máx}}$) - é a ordenada máxima da curva de compactação;

Umidade ótima (wot) - é o teor de umidade correspondente ao peso específico máximo;

Curvas de saturação - relaciona o peso específico seco com a umidade, em função do grau de saturação.

3.3.2 ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA (CBR)

Para este ensaio, segundo a NORMA DNIT 172/2016 – ME, o primeiro passo é a moldagem das amostras, com o lodo compactado com e sem a estabilização, em molde cilíndrico metálico com 15,24 cm \pm 0,05 cm de diâmetro interno e 17,78 cm \pm 0,02 cm de altura, com entalhe superior externo em meia espessura.

Logo após a moldagem, fazer o teste de expansão. Adapta-se, ainda, na haste de expansão, um extensômetro fixo ao tripé porta-extensômetro, colocado na borda superior do cilindro, destinado a medir as expansões ocorridas, que devem ser anotadas de 24 em 24 horas, em porcentagens da altura inicial do corpo de prova. Estes devem permanecer imersos em água durante 96 horas (quatro dias).

E então fazer o teste de penetração, para esse ensaio devem ser colocadas no topo de cada corpo de prova, dentro do molde cilíndrico, as mesmas sobrecargas utilizadas no ensaio de expansão.

Leva-se esse conjunto ao prato da prensa e faz-se o assentamento do pistão de penetração no solo, por meio da aplicação de uma carga de, aproximadamente, 45N, controlada pelo deslocamento do ponteiro do extensômetro do anel dinamométrico; zeram-se, a seguir, o extensômetro do anel dinamométrico e o que mede a penetração do pistão no solo. Aciona-se a manivela da prensa (dispositivo micrométrico) com a velocidade de 1,27 mm/min. (0,05 pol/min.). Cada leitura considerada no extensômetro do anel é função de uma penetração do pistão no solo e de um tempo especificado para o ensaio, conforme Tabela 2.

Tabela 2: Leituras obtidas no extensômetro do anel em função da penetração do pistão no solo e do tempo

Tempo (min)	Penetração		Leitura no extensômetro do anel (mm)
	pol	mm	
0,5	0,025	0,63	-
1,0	0,050	1,27	-
1,5	0,075	1,90	-
2,0	0,100	2,54	-
3,0	0,150	3,81	-
4,0	0,200	5,08	-
6,0	0,300	7,62	-
8,0	0,400	10,16	-
10,0	0,500	12,70	-

Fonte: NORMA DNIT 172/2016 – ME

3.4 DETERMINAÇÃO DAS MISTURAS COM MELHORES RESULTADOS EM CADA TRABALHO

Com base em estudo já realizado (FORTES et al., 2008), foi apresentado nesta etapa, uma mistura do lodo de ETA com estabilizantes, na intenção de adquirir resultados de como a mistura poderá ser reaproveitada em obras de pavimentação.

As misturas foram analisadas e através de seus resultados técnicos e ambientais foram classificados de uma maneira onde mostra os autores, as misturas propostas, os resultados e onde método de uso.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo foram analisados e discutidos os resultados dos trabalhos descritos no capítulo de Metodologia, para o material lodo e suas misturas. Assim, foi analisada a viabilidade das misturas do resíduo lodo de tratamento de água potável in natura (somente submetido ao processo de desidratação) estabilizado com cimento, cal, pó de pedra e solos argilosos e arenosos, através da avaliação das características e ensaios realizados em cada trabalho. Na pretensão de avaliar a viabilidade técnica e ambiental do emprego do lodo de ETA para reaterro de valas, sub-base e subleito de pavimentação.

Dessa forma, os trabalhos analisados foram: Estudo da estabilização de lodo oriundo da estação de tratamento de água (ETA) de Taiapuêba para utilização com material em reaterro de valas; Avaliação da aplicação do lodo da ETA Guandu na pavimentação como disposição final ambientalmente adequada; e, Uso de lodo de estação de tratamento de água na pavimentação rodoviária. A seguir, apresentam-se os principais resultados desses trabalhos.

4.1 PROPOSTAS E MISTURAS REALIZADAS POR CADA TRABALHO

4.1.1 ESTUDO DA ESTABILIZAÇÃO DE LODO ORIUNDO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA (ETA) DE TAIAPUÊBA PARA UTILIZAÇÃO COM MATERIAL EM REATERRO DE VALAS:

PROPOSTA: Esta pesquisa estudou a viabilidade técnico-econômica-ambiental para aproveitamento do lodo seco gerado na estação de tratamento de água de Taiapuêba. Buscou-se a estabilização desse material e conseqüentemente sua potencial utilização em obras de reaterro de valas.

MISTURAS REALIZADAS: Lodo com 3% de cal hidratada - mistura e compactação imediata, lodo com 3% de cimento - mistura e compactação imediata, lodo com 3% de cal hidratada - compactação após 3 dias de cura, lodo com 3% de cimento - compactação após 3 dias de cura e 45% de solo + 50% de lodo + 5% de cal.

MELHORES MISTURAS: As misturas que obtiveram os melhores resultados segundo as análises feitas, foram a de LETA com 3% de cal e LETA com 3% de cimento.

4.1.2 AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DO LODO DA ETA GUANDU NA PAVIMENTAÇÃO COMO DISPOSIÇÃO FINAL AMBIENTALMENTE ADEQUADA:

PROPOSTA: Neste estudo realizou-se o estudo do comportamento mecânico da mistura dos materiais com diferentes porcentagens de lodo (5, 10 e 15%) por meio dos ensaios de

compactação e triaxial de cargas repetidas (módulo de resiliência), para sua aplicação em camadas de sub-base de pavimentos.

MISTURAS REALIZADAS: 95% de pó de pedra com 5% de LETA; 90% de pó de pedra com 10% de LETA; 85% de pó de pedra com 15% de LETA; 85% de pó de pedra com 5% de LETA e com acréscimo de 2% de cimento; 95% de solo arenoso com 5% de LETA; 90% de solo arenoso com 10% de LETA e 95% de solo argiloso com 5% de LETA, todo o material de lodo possui a umidade de 94%.

MELHORES MISTURAS: As misturas que obtiveram os melhores resultados segundo as análises feitas, foram a de Solo argiloso + LETA + Cimento (1:1 – 10%), Solo arenoso + LETA (1:0,25).

4.1.3 USO DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA NA PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA:

PROPOSTA: A proposta desta pesquisa foi analisar a efetividade técnica da fusão de solo com o LETA de Cafezal (Londrina/PR) no intuito de usar-lhe como base, sub-base e subleito da pavimentação de estradas.

MISTURAS REALIZADAS: As fusões que foram constituídas são, de solo argiloso com LETA em um percentual em massa de 50% de cada e outro seria um percentual com os mesmos 50% de cada com acréscimo de 10% de cimento, na mistura de solo arenoso utilizou-se um traço unitário em massa de 1:0,25.

MELHORES MISTURAS: As misturas que obtiveram os melhores resultados segundo as análises feitas, foram a de Pó de pedra + 5% LETA e Pó de pedra + 15% LETA + 2% Cimento

4.2 ANÁLISE DA CARACTERIZAÇÃO DO LODO EM CADA TRABALHO

O lodo de ETA representa de 0,3 a 1,0% do volume de água tratada. Em sua composição é encontrado materiais inertes, matéria orgânica e precipitados químicos, incluindo compostos de alumínio ou ferro em grande quantidade, dependendo do tipo de tratamento utilizado e da própria ETA. O conteúdo de sólidos totais no lodo de tanques de decantação varia no intervalo de (0,1 a 4%) e entre (0,004 a 0,1%) na água de lavagem dos filtros. Normalmente, 75-90% destes valores representam sólidos suspensos e 20-35% compostos voláteis, ou seja, baixa matéria biodegradável como mostrada na Tabela 3 (RICHTER, 2001).

Tabela 3: Características típicas de LETA de sulfato de alumínio

SÓLIDOS TOTAIS (%)	AL ₂ O ₃ .5H ₂ O (%)	INORGÂNICOS (%)	MATÉRIA ORGÂNICA (%)	PH	DBO (MG/L)	DQO (MG/L)
0,1 – 4	15 – 40	35 – 70	15 – 25	6 – 8	30 – 300	30 – 5.000

Fonte: RICHTER (2001).

A caracterização do lodo de água deve ser realizada de acordo com a disposição final desejada. A tabela 4 apresenta alguns parâmetros que permitem a avaliação geral do lodo para seus possíveis usos. Em casos específicos de uso do lodo alguns parâmetros podem ser omitidos ou acrescidos, conforme a necessidade de caracterização e destinação final.

Tabela 4: Características do LETA

PARÂMETROS FÍSICOS	PARÂMETROS QUÍMICOS
Concentração de sólidos	Nutrientes
Cor	Nitrogênio
Textura	Fósforo
Teor de umidade	Potássio
Granulometria	Cálcio
Limite de liquidez	Toxicidade
Limite de plasticidade	Metais
Densidade	Orgânicos
Peso específico	Coliformes
Retração	Ph

Fonte: Adaptado de AWWA (1999).

4.2.1 CARACTERÍSTICA DO LODO EM RELAÇÃO A LIXIVIAÇÃO E SOLUBILIDADE

A partir de análises ambientais, foi constatado segundo a norma NBR 10004:2004 no Anexo F, que apresenta a respeito do limite máximo de concentração do extrato obtido no ensaio de lixiviação, os parâmetros satisfazem os limites permitidos. Também observado no anexo G, que apresenta a respeito do limite máximo de concentração do extrato obtido no ensaio de solubilização, obtiveram dois parâmetros que ultrapassaram os limites máximos permitidos, que estão em destaque na tabela 6. Ensaios esses que foram executados por Delgado (2016).

Segundo Delgado (2016), as tabelas 5 e 6 possuem os resultados de cada ensaio e através da norma NBR 10004:2004 os limites que são permitidos para a classificação deste lodo, classificação esta que permite dizer se o material lodo é ou não perigoso para o solo que haverá um possível contato.

Tabela 5: Ensaio de lixiviação

PARÂMETROS	RESULTADOS (MG/L)	ANEXO F – ABNT NBR 10004:2004 (MG/L)
BÁRIO TOTAL	0,65671	70,0
CÁDMIO TOTAL	0,000091	0,5
CHUMBO TOTAL	0,001545	1,0
CROMO TOTAL	0,027805	5,0

Fonte: (DELGADO, 2016)

Tabela 6: Ensaio de solubilização

INORGÂNICOS - METAIS

PARÂMETROS	Resultados (mg/L)	Anexo G – ABNT NBR 10004:2004 (mg/L)
ALUMÍNIO TOTAL	<0,002757	0,20
BÁRIO TOTAL	0,461803	0,70
CÁDMIO TOTAL	<0,00001	0,005
CHUMBO TOTAL	<0,000207	0,01
COBRE TOTAL	0,007116	2,00
CROMO TOTAL	<0,000062	0,05
FERRO TOTAL	0,631939	0,30
MANGANÊS TOTAL	6,498353	0,10
SÓDIO TOTAL	39,004312	200,00
ZINCO TOTAL	0,006983	5,00

FÍSICO-QUÍMICOS

PARÂMETROS	Resultados (mg/L)	Anexo G – ABNT NBR 10004:2004 (mg/L)
CLORETO	29,19	250

Fonte: (DELGADO, 2016)

De acordo com os resultados avaliados, como já referenciado no capítulo 2.1 e com a referida norma, constata-se que o lodo de ETA dos estudos em análise é classificado como

Classe II A, resíduo não perigoso – Não inerte, partindo do princípio de que apenas dois elementos ficaram a cima do limite máximo.

Contudo, foi observado de que o lodo de ETA em contato com outro solo, não possui chance de lixiviar e nem de solubilizar. Onde contando com as misturas que estão sendo demonstradas nos itens 4.1.1, 4.1.2 e 4.1.3, na intenção de melhorar o LETA, há um processo de estabilização química que apresenta um encapsulamento dos metais.

4.3 ANÁLISE DOS ENSAIOS REALIZADOS POR CADA TRABALHO

Nesta etapa foram analisados os ensaios propostos nos três trabalhos que foram citados nos itens 4.1.1, 4.1.2 e 4.1.3. São apresentados esses resultados e a partir dos mesmos analisa-se a viabilidade técnica de utilização do lodo para fins específicos.

4.3.1 ENSAIOS DE COMPACTAÇÃO (MASSA ESPECÍFICA E UMIDADE ÓTIMA DE LODO)

Em FORTES et al, (2006), foi analisado a massa específica e o teor de umidade ótimo de amostra de lodo da ETA de Taiapuêba que possuem misturas idênticas as que aqui foram propostas, encontrada na tabela 7.

Tabela 7: Resultado de massa específica real dos grãos dos materiais e rejeito

AMOSTRAS	MASSA ESPECÍFICA APARENTE SECA (kg/M ³)	TEOR DE UMIDADE ÓTIMO (%)
LODO PURO	870	51
LODO COM 3% DE CAL HIDRATADA - MISTURA E COMPACTAÇÃO IMEDIATA	1210	35,9
LODO COM 3% DE CIMENTO PORTLAND - MISTURA E COMPACTAÇÃO IMEDIATA	1210	33,3
LODO COM 3% DE CAL HIDRATADA - COMPACTAÇÃO APÓS 3 DIAS DE CURA	1210	35,9
LODO COM 3% DE CIMENTO PORTLAND - COMPACTAÇÃO APÓS 3 DIAS DE CURA	1210	33,3

45% DE SOLO + 50% DE LODO + 5% DE CAL	1250	32,6
--	------	------

Fonte: (FORTES et al, 2006)

Com os resultados, foi observado, que de acordo com as misturas, independentemente do tempo de cura das amostras, a massa específica aparente seca obteve um aumento significativo, aumento esse que se deve ao preenchimento dos vazios que o lodo puro possui, sendo que o maior resultado foi da amostra que é composta por 45% de solo + 50% de lodo +5% de cal onde o teor de umidade ótimo foi reduzido em 63,92%.

Em Delgado (2016), foi analisado a massa específica de amostra de lodo da ETA de Guandu com misturas diferentes as que aqui foram propostas, encontrada na tabela 8.

Tabela 8: Resultado de massa específica real dos grãos dos materiais e rejeito

AMOSTRAS	MASSA ESPECIFICA APARENTE SECA (KG/M³)	TEOR DE UMIDADE ÓTIMO (%)
95% DE PÓ DE PEDRA COM 5% DE LODO	1700	13,0
90% DE PÓ DE PEDRA COM 10% DE LODO	1560	13,0
85% DE PÓ DE PEDRA COM 15% DE LODO	1450	18,5
95% DE SOLO ARENOSO COM 5% DE LODO	1820	10,8
90% DE SOLO ARENOSO COM 10% DE LODO	1670	15,0
95% DE SOLO ARGILOSO COM 5% DE LODO	1780	14,5

Fonte: (DELGADO, 2016)

Ao analisar os resultados, foi possível constatar que de acordo com o aumento da quantidade de lodo adicionado aos outros materiais (pó de pedra, solo arenoso e argiloso), existe uma queda na massa específica aparente e consequentemente um aumento no teor de umidade.

Na visão de LUCENA (2012) apud DELGADO (2016), a partir da composição mineralógica das partículas, o resíduo apresenta área superficial considerável, por seu alto índice de vazios e por conta de sua porosidade, o lodo de ETA passa a absorver grandes quantidades de água na superfície, provocando uma queda da massa específica aparente seca máxima.

Pode-se observar que na Tabela 9 demonstra-se valores como a massa específica seca e umidade ótimo, das misturas a seguir. Conforme os resultados, observou-se nas misturas do

solo argiloso, que com a adição do LETA, desidratado e granular, na amostra de solo argiloso – cimento, aconteceu uma melhora na massa específica seca máxima da mistura, comparado ao solo argiloso e a amostra de solo argiloso – cimento que não conta com a adição do LETA. O solo arenoso – cimento possuiu valor de massa específica seca maior do que o solo arenoso - lodo (COELHO et al., 2015).

Tabela 9: Resultado de massa específica real dos grãos dos materiais e rejeito

AMOSTRAS	MASSA ESPECIFICA SECA (KG/M ³)	TEOR DE UMIDADE ÓTIMO (%)
SOLO ARGILOSO	1440	32,0
SOLO ARGILOSO-LODO (1:1)	1460	31,0
SOLO ARGILOSO-CIMENTO (10%)	1530	30,0
SOLO ARGILOSO-LODO-CIMENTO (1:1 – 10%)	1540	29,5
SOLO ARENOSO	1860	14,0
SOLO ARENOSO – CIMENTO (10%)	1880	12,9
SOLO ARENOSO – LODO (1:0,25)	1800	14,5

Fonte: BERALDO, TEIXEIRA e RODRIGUEZ, (2011); VAZ COELHO et al (2014) apud COELHO et al. (2015).

Através dos resultados, analisou-se que a mistura que obteve o melhor resultado foi a de solo arenoso com cimento, obtendo propriedades mecânicas de massa específica seca de 1880 kg/m³ e um teor de umidade de 12,9%. Porém a mistura ideal onde possui o material lodo, foi a de solo arenoso com lodo (1:0,25) com propriedades mecânicas de massa específica seca de 1800 kg/m³ e um teor de umidade de 14,5%.

4.3.2 ENSAIOS DE ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA (CBR)

No ensaio de CBR, foi analisado apenas nos seguintes trabalhos: FORTES et al, (2006) e Coelho et al. (2015). No Delgado (2016), não foi efetuado o ensaio de CBR.

Os limites mínimos exigidos para a utilização de solo em camadas de pavimentação estão definidos no manual do Departamento de Infraestrutura e Transporte (DNIT) como demonstrado na Tabela 10.

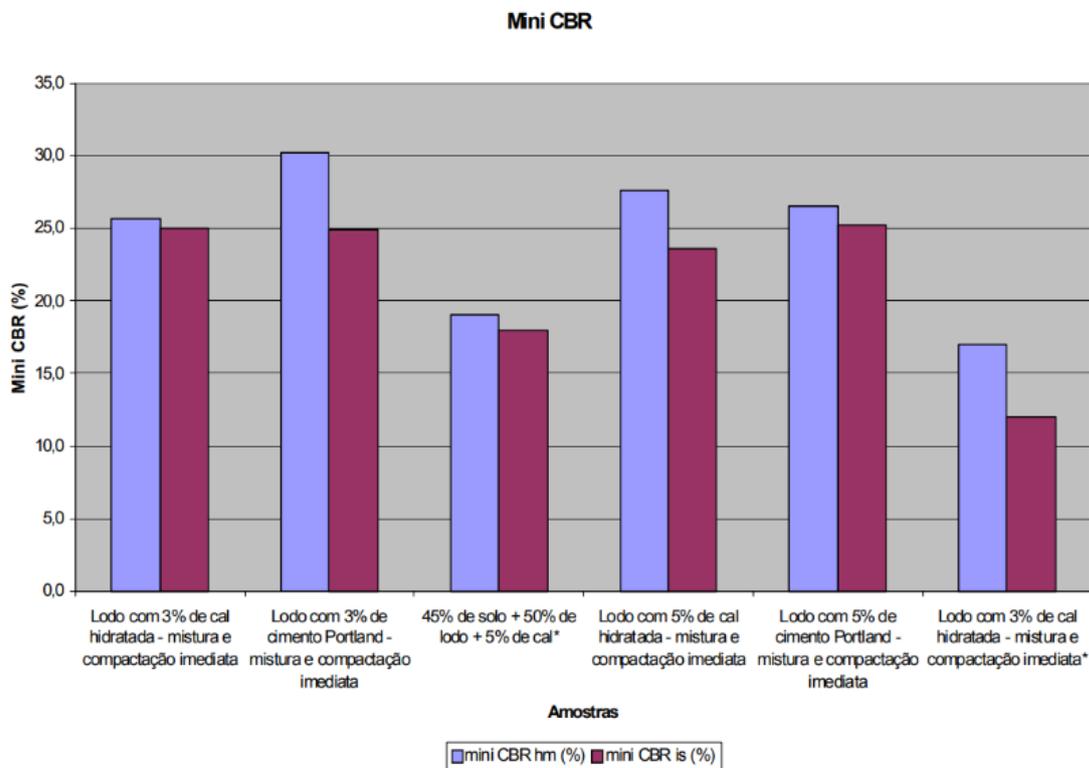
Tabela 10: CBR mínimo, expansão máxima e resistência a compressão mínima exigidos pelo DNIT.

REQUISITOS DNIT	CBR MIN. (%)	EXPANSÃO MÁXIMA (%)	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO (MPA)
BASE	80	0,5	2,1
SUB-BASE	20	1,0	--
SUBLEITO	2	2,0	--

Fonte: Manual do DNIT

Na pesquisa de FORTES et al, (2006), foi feito dois ensaios de CBR mínimo, com e sem imersão na água. A partir da figura 10 pode-se observar os resultados obtidos, sendo que no trabalho analisado, foram executadas mais três amostras, onde não foi analisada nesse trabalho, portanto na tabela 11 possui os valores para cada amostra que foi analisada.

Figura 9: Ensaio de mini CBR (%)



Fonte: (FORTES et al, 2006)

Tabela 11: Resultados numéricos.

AMOSTRAS	MINI CBR HM (%)	MINI CBR COM IMERSÃO (%)
LODO COM 3% DE CAL HIDRATADA - MISTURA E COMPACTAÇÃO IMEDIATA	26	25
LODO COM 3% DE CIMENTO PORTLAND - MISTURA E COMPACTAÇÃO IMEDIATA	30	25
45% DE SOLO + 50% DE LODO + 5% DE CAL	19	18

Fonte: (FORTES et al, 2006)

Foi executado também o ensaio de expansão dessas mesmas amostras, onde os resultados obtidos foram de: 0,25% para lodo com 3% de cal, 0,19 para lodo com 3% de cimento Portland e 0,17% para 45% de solo + 50% de lodo + 5% de cal.

Como observado nos resultados, o melhor resultado foi do lodo estabilizado com 3% de cimento Portland, porém todos os resultados obtiveram um resultado satisfatório.

Para as amostras da pesquisa de Coelho et al. (2015), os resultados obtidos estão na tabela 12.

Tabela 12: Ensaio de CBR e expansão

DESCRIÇÃO DO MATERIAL	CBR (%)	EXPANSÃO (%)
SOLO ARGILOSO	18,56	0,15
SOLO ARGILOSO – LODO	10,67	1,27
SOLO ARENOSO	10,86	0,48
SOLO ARENOSO – LODO	4,62	1,44

Fonte: VAZ COELHO et al. (2014); TAHIRA e TEIXEIRA (2013) apud COELHO et al. (2015).

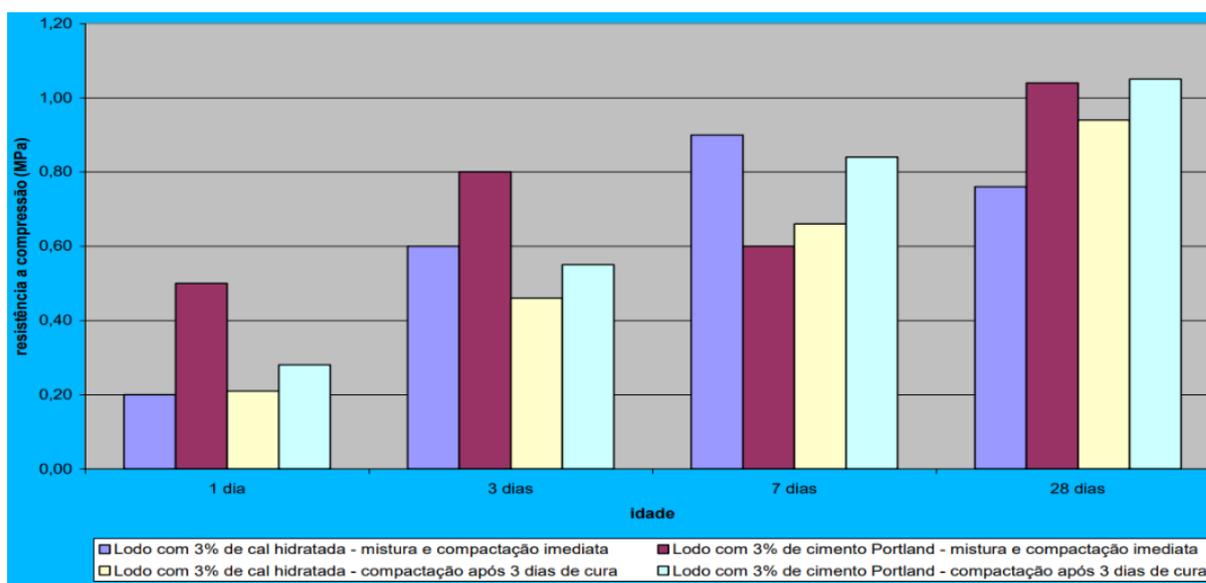
Ao analisar a tabela 12 foi possível perceber que os solos com as misturas apresentaram resultados menores, e com os índices de expansão maiores devido ao índice de vazios ser maior do que nas amostras sem misturas. A partir dos resultados, comparando-os com os limites mínimos de CBR e expansão que estão na tabela 10, chegou-se à conclusão de que a mistura de solo com lodo, pode ser utilizado apenas em camada de subleito na pavimentação.

4.3.3 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO

No ensaio de resistência a compressão, foi analisado apenas nos seguintes trabalhos: FORTES et al, (2006) e Coelho et al. (2015). No Delgado (2016), não foi efetuado o ensaio de resistência a compressão.

Na figura 11, observa-se os resultados obtidos pela pesquisa feita em FORTES et al, (2006), ensaio efetuado com 1, 3, 7 e 28 dias. Tendo importância devido ao fato de compreender o quanto as amostras suportam a compressão.

Figura 10: Resistência a compressão (MPa)



Fonte: (FORTES et al, 2006)

Observado os resultados, pode-se perceber que quanto maior o tempo após as misturas realizadas, maior a resistência a compressão. Sendo que ambas as misturas, obtiveram bons resultados ao se tratar de solo para reaterro de valas.

Os ensaios de resistência a compressão na pesquisa de Coelho et al. (2015) foram feitos com 7 dias de idade das misturas, e resultados em tabela com as amostras de solo argiloso – cimento (10%) e solo argiloso – lodo – cimento (1:1 - 10%) como mostra a tabela 13. A mistura de solo arenoso com lodo não foi executada ensaio.

Tabela 13: Resistência à compressão aos 7 dias

AMOSTRAS		CP1	CP2	CP3	MÉDIA
		(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
SOLO ARGILOSO	-	0,46	0,58	0,55	0,53
CIMENTO (10%)					

SOLO ARGILOSO – LODO - CIMENTO (1:1 - 10%)	0,23	0,29	0,29	0,27
---	------	------	------	------

Fonte: VAZ COELHO et al. (2014) apud COELHO et al. (2015).

Ao se analisar os resultados, foi observado que aconteceu uma perda de resistência do material ao se misturar o solo com o lodo, ou seja, houve uma perda na qualidade do conjunto. Isto se deve pela falta de coesão entre as partículas, pelo fato do lodo obter grãos lisos, isso dificulta a reação entre os materiais misturados.

4.4 DETERMINAÇÃO DAS MISTURAS COM MELHORES RESULTADOS EM CADA TRABALHO

A partir dos ensaios avaliados, na tabela 14, se observa as misturas que obtiveram os melhores resultados analisados para este trabalho.

Tabela 14: Melhores misturas analisadas neste trabalho

AUTORES	COMPOSIÇÃO	TEORES DE LODO TESTADOS	MELHORES MISTURAS	MODO DE EMPREGO
FORTES ET AL, (2006)	LETA + estabilizante	--	LETA + 3% (cal ou cimento)	Reaterro de valas
COELHO ET AL. (2015)	Solo argiloso + LETA (1:1), Solo argiloso + LETA + cimento CPII (1:1:10%) e Solo arenoso + LETA (1:0,25)	Solo argiloso (1:1) e Solo arenoso (1:0,25)	Solo argiloso + LETA + Cimento (1:1 – 10%), Solo arenoso + LETA (1:0,25)	Subleito do pavimento
DELGADO (2016)	(95, 90 e 85%) Material (Pó de pedra, solo arenoso e solo argiloso) + % LETA e 85% Pó de pedra + 15% LETA + 2% Cimento CPII E 32	5, 10 e 15%	Pó de pedra + 5% LETA e Pó de pedra + 15% LETA + 2% Cimento	Camada de Sub-base do pavimento

A tabela 14, conta com os autores de cada pesquisa analisada, e através da avaliação feita neste trabalho, foi colocado as composições de cada mistura, as quantidades de solo e lodo utilizado em cada uma delas, a partir disso se obteve as melhores misturas de cada trabalho, e onde obtiveram resultados positivos para sua utilização, com o intuito de facilitar a compreensão dos resultados dos ensaios.

5. CONCLUSÃO

O estudo aqui feito obteve o objetivo de verificar a viabilidade técnica e ambiental da implantação do lodo de estação de tratamento de água (ETA) em obras de pavimentação. Foram analisados os testes dos três trabalhos já realizados que seguem a mesma linha de raciocínio e com objetivos semelhantes, no intuito de promover um destino final ao lodo de ETA.

A partir das análises feitas, pode-se perceber que o resíduo lodo a partir de suas características é considerado pela norma NBR 10004, como material classe II A – não inerte, isto é, um material que não traz perigo para o solo que entrar em contato, sendo assim viável ambientalmente o seu emprego para ambos os trabalhos. No que diz respeito aos ensaios de compactação, pode-se observar que quanto maior o teor de lodo na mistura, menor fica sua massa específica seca, e maior o seu teor de umidade, isto ocorre devido ao fato do material ser poroso, conservando um maior teor de umidade e quando compactado ficando mais leve.

Os resultados dos ensaios de CBR e compressão, foi observado que para sua utilização tanto em reaterro de valas quanto na pavimentação, este lodo necessita de um estabilizante, para o tornar mais resistente a perfuração e a compressão, para que as cargas de veículos não o deforme causando o recalque na pavimentação.

Nos ensaios efetuados por FORTES et al, (2006), foi possível observar que o LETA pode ser estabilizado após a adição de 3% de cal hidratada e cimento Portland, obtendo resultados de CBR satisfatórios sendo possível sua utilização em reaterro de valas, inclusive há a possibilidade de utiliza-lo em camada de subleito da pavimentação, de acordo com os pré-requisitos trazido no manual do DNIT. Este trabalho de conclusão de curso, se assemelha a proposta de FORTES et al, (2006), portanto o estudo que aqui seria analisado, possui viabilidade técnica e ambiental.

Nos ensaios executados por Coelho et al. (2015), pode-se observar que as dosagens analisadas de solo argiloso com 10% cimento e solo argiloso com LETA e com 10% de cimento, sendo o solo característico da cidade de Londrina, não podem ser utilizados para as camadas de base e sub-base de pavimentação segundo os critérios do DNIT. Com base nos mesmos o solo misturado com lodo de ETA só pode ser utilizado na camada de subleito de pavimentação.

Nos ensaios efetuados por Delgado (2016), obteve-se um melhor resultado ao se observar as misturas de pó de pedra com 5% de lodo de ETA que permitiu observar-se uma melhora nas propriedades mecânicas do material lodo. Melhoria esta que ocorre por conta da estabilização granulométrica do pó de pedra com o resíduo, esta porcentagem de lodo na

mistura representa uma quantidade propícia para o rearranjo e uma boa interação entre partículas. Mistura esta que possui uma vantagem para a utilização em rodovias que tem um pequeno volume de tráfego ou em pavimentação urbana, pelas menores distâncias de transporte. A outra mistura que obteve um resultado positivo foi o pó de pedra com 15% de lodo de estação de tratamento de água, com a melhoria de 2% de cimento. O lodo de ETA compõe-se de 84% de silte, a pequena quantidade de teor de cimento foi capaz de proporcionar uma adequada ação cimentante logrando assim estabilizar a mistura proporcionando a rigidez necessária para viabilizar seu emprego na pavimentação como camada de sub-base.

Tendo em consideração as características físicas e químicas do LETA, após todos os ensaios, encontrou-se três alternativas viáveis para sua disposição final, constituída pelas combinações de cal e cimento, solo com lodo e cimento, e com pó de pedra. Através desta pesquisa se confirmou sua possível aplicação no reaterro de valas e na pavimentação, reduzindo custos e gerando uma disposição final adequada com a redução dos impactos ambientais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT _____. NBR 9814: **Execução de rede coletora de esgoto sanitário**. Rio de Janeiro, 1987.

ABNT. NBR 7182: **Solo – Ensaio de compactação**. 1986.

ARAÚJO, Arielton Fonteles. **Avaliação de Misturas de Solos Estabilizados com Cal, em Pó e em Pasta, para Aplicação em Rodovias do Estado do Ceará**, 2009. 175 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

ASCE. **American Society of Civil Engineers. Technology Transfer Handbook: Management of Water Treatment Plant Residual**. New York, 1996.

AWWA- **Americam Water Works Association. Commercial application and marketing of water plant residuals**. Americam Water Works Association Research Foundation:1999.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação Asfáltica: Formação básica para engenheiros**. 3ª ed. PETROBRAS: ABEDA, 2010. 474p.

BRITO, Laís Costa; PARANHOS, Haroldo da Silva. **Estabilização de Solos**. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*. Edição 06. Ano 02, Vol. 01. pp 425-438, Setembro de 2017. ISSN:2448-0959

CEZNE, Alex Bruno; OLIVEIRA, Hugo Azevedo de; GOMES, Ygor Yansz Seixo de Brito. **ESTUDO DE DOSAGEM DE AREIA E CIMENTO PARA ESTABILIZAÇÃO DE UM SOLO TROPICAL**. 2016. 47 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

COELHO, Rodrigo Vaz et al. **USO DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA NA PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA**. *Reec - Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, [s.l.], v. 10, n. 2, p.1-22, 21 set. 2015. Universidade Federal de Goiás. <http://dx.doi.org/10.5216/reec.v10i2.33134>. Disponível em: <<https://www.revistas.ufg.br/reec/article/view/33134/18983>>. Acesso em: 06 maio 2019.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO – SABESP. **Lodo no processo de tratamento**. 2008 (a). Disponível em:

http://www.sabesp.com.br/CalandraWeb/CalandraRedirect/?temp=6&proj=sabesp&pub=T&nome=documento_noticias&db=&docid=DD43D7A22199AD4E832573F00073067E

CORNWELL, D. A.; BISHOP, M. M.; GOULD, R.G. **Handbook on water treatment plant wastes management**. Denver, AWWA Research Foundation, 461 p., 1987.

CRISTELO, Nuno Miguel Cordeiro. **Estabilização de solos residuais graníticos através da adição de cal**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia da Universidade do Minho. 2001.

DELGADO, Jessica Vannesa Colmenares. **AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DO LODO DA ETA GUANDU NA PAVIMENTAÇÃO COMO DISPOSIÇÃO FINAL AMBIENTALMENTE ADEQUADA**. 2016. 150 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <file:///D:/Faculdade/TCC%20I/TCC%20II/Nova%20pasta/DELGADO_JVC_TM_16%20usar.pdf>. Acesso em: 06 maio 2019.

FORTES, Rita Moura et al. **Estudo da estabilização de lodo oriundo da estação de tratamento de água (ETA) de Taiaçupeba para utilização como material em reaterro de valas**. 2008. Disponível em: <[http://www.sabesp.com.br/Sabesp/filesmng.nsf/4EED686AAF6466C883257570004ECCC9/\\$File/apresentacao_rita_mackenzie.pdf](http://www.sabesp.com.br/Sabesp/filesmng.nsf/4EED686AAF6466C883257570004ECCC9/$File/apresentacao_rita_mackenzie.pdf)>.

FORTES, Rita Moura; ZUPPOLINI NETO, Alexandre; MENETTI, Néson César; BARBOSA JR., Álvaro S. **Potencial da Utilização do ensaio de penetração dinâmica da metodologia MCT para controle da construção de valas**. V JORNADA LUSO-BRASILEIRA DE PAVIMENTOS: POLÍTICAS E TECNOLOGIAS. ANDIT, UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE, FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – Portugal, Ca Md. Recife, Pernambuco, Brasil, 5-7 de julho de 2006 (a.)

GRANDIN, S. R.; ALEM SOBRINHO, P.; GARCIA JR., A. D. **Desidratação de Lodos Produzidos em Estações de Tratamento de Água**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 17., 1993, Natal. Anais... Natal: ABES, 1993. v. 2, p. 324-341.

JANUÁRIO, G. F.; FERREIRA FILHO, S. S. **Planejamento e aspectos ambientais envolvidos na disposição final de lodos das estações de tratamento de água da região**

metropolitana de São Paulo. Engenharia Sanitária e Ambiental. Vol.12 – n.º 2, p. 117-126. 2007.)

KLUMB, Alberto. **MANUAL DO INSTALADOR DE REDES PUBLICAS DE ÁGUA**. Rio de Janeiro: Abes, 1978. 74 p.

MEDINA, Jacques de. (1987) – **Apostila de estabilização de solos** – COPPE/UFRJ.

MEDINA, Jacques de, MOTTA, L. M. G., **Mecânica dos pavimentos** - 2º edição. Editora COPPE, Rio de Janeiro, 2005.

PEREIRA, J. A. R.; SOARES, J. M. Rede Coletora de esgoto sanitário: projeto, construção e operação. 1. Ed. Belém: UFPA, 2006. 296 p.

PEREIRA, O. A. **Estabilização de Solos: Curso de especialização 108**. Lisboa, Portugal: LNEC, 1970.

RICHTER, Carlos A. **Água: métodos e tecnologias de tratamento**. São Paulo: Blucher, 2001.

SILVA, Mariana Fernandes da. **Estudo comparativo de dois solos argilosos estabilizados com cal**. 2010. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geológica) – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2010.

 Exportar relatório

Referências ABNT

Visualizar 

19 06 09 TCC II - Carlos Eduardo - Versão final.docx (09/06/2019):

Documentos candidatos

- nucleodocohecimento... [2,41%]
- researchgate.net/pub... [2,4%]
- repositorio.ufm.br/... [1,56%]
- biobioacadigital.p... [1,36%]
- scielo.br/scielo.php... [1,14%]
- abims.com.br/links/di... [1,07%]
- pt.wikipedia.org/wik... [0,21%]
- pt.wikipedia.org/wik... [0,07%]
- researchgate.net/fig... [0,04%]
- socratic.org/questio... [0%]

Arquivo de entrada: 19 06 09 TCC II - Carlos Eduardo - Versão final.docx (8842 termos)

Arquivo encontrado	Visualizar	Total de termos	Termos comuns	Similaridade (%)
nucleodocohecimento...	Visualizar	4440	313	2,41
researchgate.net/pub...	Visualizar	5421	335	2,4
repositorio.ufm.br/...	Visualizar	17232	398	1,56
biobioacadigital.p...	Visualizar	30099	526	1,36
scielo.br/scielo.php...	Visualizar	3164	136	1,14
abims.com.br/links/di...	Visualizar	2578	122	1,07
pt.wikipedia.org/wik...	Visualizar	598	20	0,21
pt.wikipedia.org/wik...	Visualizar	377	7	0,07
researchgate.net/fig...	Visualizar	277	4	0,04
socratic.org/questio...	Visualizar	285	0	0