



LEANDRO ANTÔNIO CAVALCANTI DA SILVA
RAFAELA RODRIGUES SILVA LIMA

**ESTUDO DE PROPORÇÕES DE LODO DE ETA E ARGILA PARA
PRODUÇÃO DE MATERIAL CERÂMICO**

Recife

2014

LEANDRO ANTÔNIO CAVALCANTI DA SILVA
RAFAELA RODRIGUES SILVA LIMA

**ESTUDO DE PROPORÇÕES DE LODO DE ETA E ARGILA PARA
PRODUÇÃO DE MATERIAL CERÂMICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Pernambuco

Área de Concentração: Engenharia Civil

Orientador: Professor Arnaldo Manoel Pereira
Carneiro

Recife

2014

- S586e Silva, Leandro Antônio Cavalcanti da.
Estudo de proporções de lodo de ETA e argila para produção de material cerâmico / Leandro Antônio Cavalcanti da Silva e Rafaela Rodrigues Silva Lima. - Recife: O Autor, 2014.
66 folhas, il., gráfs., tabs.
- Orientador: Prof. Dr. Arnaldo Manoel Pereira Carneiro.
TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Departamento de Engenharia Civil, 2014.
Inclui Referências.
1. Engenharia Civil. 2. Lodo de ETA. 3. Blocos de Solo-Lodo. 4. Blocos Cerâmicos de Tamanho Reduzido. 5. Soluções Ambientais na Construção Civil.
I. Lima, Rafaela Rodrigues Silva. II. Carneiro, Arnaldo Manoel Pereira. (Orientador). III. Título.

UFPE

624 CDD (22. ed.)

BCTG/2014-247



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
ESCOLA DE ENGENHARIA DE PERNAMBUCO
COORDENAÇÃO DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ATA DA DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO PARA CONCESSÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO CIVIL

CANDIDATO(S): 1 - Leandro Antônio Cavalcanti da Silva
2 - Rafaela Rodrigues Silva Lima

BANCA EXAMINADORA:

Orientador: Arnaldo Manoel Pereira Carneiro

Examinador 1: Cláudia Flaviana Cavalcante da Silva

Examinador 2: Manuela Queiroz Oliveira

TÍTULO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: ESTUDO DE PROPORÇÕES DE LODO DE ETA E ARGILA PARA PRODUÇÃO DE MATERIAL CERÂMICO

LOCAL: CTG - UFPE **HORÁRIO DE INÍCIO:** 17:30 Horas

Em sessão pública, após exposição de cerca de 30 minutos, o(s) candidato(s) foi (foram) arguido(s) oralmente pelos membros da banca, sendo considerado(s):

1) (x) aprovado(s), pois foi demonstrado suficiência de conhecimento e capacidade de sistematização no tema da monografia e o texto do trabalho aceito

(x) Sem revisões.

() Com revisões, a serem feitas e verificadas pelo orientador no prazo máximo de 30 dias. (o verso da folha da ata poderá ser utilizado para pontuar revisões).

2) (..) reprovado(s).

Na forma regulamentar foi lavrada a presente ata que é assinada pelos membros da banca e pelo(s) candidato(s).

Recife, 26 de Agosto de 2014

DEDICATÓRIA

À minha família,
Aos meus pais e minha amada,
À Todos os que estiveram ao
meu lado durante toda minha caminhada.

Leandro Cavalcanti

À Deus,
Aos meus amados pais, irmã e avó,
À todos que contribuíram para minha formação

Rafaela Rodrigues

AGRADECIMENTOS – Leandro Cavalcanti & Rafaela Rodrigues

Agradecemos primeiro a Deus por tudo aquilo que foi dado a nós, por sempre e incondicionalmente nos ter dado saúde e força para superar as dificuldades.

Ao professor Arnaldo Manoel Pereira Carneiro pela orientação e pelo constante estímulo transmitido durante todo o trabalho.

Aos atenciosos Professores e Funcionários do Departamento de Engenharia Civil, pelas palavras de apoio e auxílio no esclarecimento das dúvidas.

Aos Sempre dispostos Sr. Severino, Gutenberg e Roberto funcionários do Laboratório de Solos de Instrumentalização da UFPE pelo apoio na execução dos ensaios.

Aos responsáveis da Indústria Cerâmica Camaragibe, pela compreensão e vontade de ajudar neste projeto aqui apresentado.

Aos Engenheiros Luane, Euris e Flávio e Técnico Suamy da Compesa, pela atenção e auxílio da retirada do lodo da ETA Pirapama.

Ao Engenheiro André Patriota por ter auxiliado nos contatos e sempre mostrado atenção e vontade de ajudar a aprimorar este estudo.

Aos Técnicos e Consultores e demais funcionários do SENAI, Ana Paula, João, Nelson, Júlio César, pela atenção e dedicação na moldagem dos corpos de prova.

AGRADECIMENTOS – Leandro Cavalcanti

Agradeço novamente ao meu bom Deus, por ter me dado sabedoria, paciência e por sempre estar ao meu lado.

Aos Meus familiares por sempre terem acreditado em mim, sempre ao meu lado nos momentos bons e ruins, e em especial ao meu pai Marcos e minha mãe Roselia, pelo apoio contínuo, à tudo que por mim fizeram, assim como pelo exemplo de vida que são para mim, pelos carinhos, amizades e ensinamentos que me definiram como a pessoa que hoje sou.

Agradeço a minha amada Viviany por ter sido paciente e ter estado ao meu lado durante boa parte do ensinamento, me apoiando e ajudando sempre.

A Todos que de alguma forma ajudaram, sejam da UFPE, COMPESA, SENAI ou TECHNE, agradeço por acreditarem no meu potencial e nas minhas ideias, principalmente quando nem eu mais acreditava.

E por último, e não menos importante à minha amiga de projeto Rafaela, por ter me auxiliado e acreditado que este projeto daria certo.

AGRADECIMENTOS – Rafaela Rodrigues

Primeiramente agradeço a Deus por sempre ter me dado forças para alcançar meus objetivos e por ter me proporcionado tantas vitórias.

Agradeço a minha tão amada mãe Acidalha, pelo amor, conforto e preocupação, ao meu pai Wilson que sempre esteve a postos para tudo, a minha doce irmã pela presença indispensável em minha vida e a minha avó Maria sempre confiante de que sou capaz. Agradeço também ao apoio e companheirismo do meu namorado.

Ao professor Arnaldo Manoel pela atenção e orientação, à parceria do SENAI, a colaboração da COMPESA e ao suporte da UFPE, que foram componentes fundamentais para que esse trabalho se concretizasse.

Por fim agradeço ao meu amigo de projeto e graduação, Leandro, pela paciência, dedicação e conhecimentos trocados.

*“Todos podem ver as táticas de
minhas conquistas, mas ninguém
consegue discernir a estratégia que
gerou as vitórias”*

(Sun Tzu)

RESUMO

A pesquisa possui como objetivo contribuir para a aceitação de uma solução ecologicamente e economicamente viável para o Lodo de Estações de Tratamento de Água. Diante do exposto, o trabalho busca estudar a aplicação de Lodo retirado de leito de secagem como aglomerante na fabricação de blocos cerâmicos, como compósitos (Blocos) de solo-aglomerante, estudando inicialmente diversas proporções de teores de aglomerantes, variando de 7% a 50% (em massa) de materiais aglutinantes (lodo). Desta feita, inicialmente, foi realizado ensaios de caracterização e ensaios para obtenção dos limites de Atterberg, para identificar quais porcentagens se adequavam aos padrões normativos de plasticidade e expansão, tomando como base as normas de blocos fabricados com solo-cimento. Com o término deste estudo foi possível fazer uma eliminação de certas porcentagens que não se enquadravam ao solicitado. A partir desta análise iniciou-se o processo de fabricação dos corpos de prova, assim como a construção dos blocos com dimensões reduzidas, de modo a obter economia do material. Estando eles prontos, foram ensaiados em termos de absorção de água e comparados novamente com os padrões normativos de blocos fabricados com solo-cimento. Vale salientar que todo o estudo foi feito baseado nestas normas devido à carência de normas e recomendações sobre blocos de solo-lodo. Ao final do estudo apenas os traços de 25%, 15%, 12% puderam se enquadrar segundo os padrões e normas técnicas. O estudo aqui apresentado mostra que é possível à fabricação destes corpos de provas quando analisados em relação aos parâmetros, quais sejam os limites de consistência e teor de absorção de água. Entretanto, seria necessário um estudo mais aprofundado tendo em vista a rigidez na quantidade de parâmetros definidos por norma.

PALAVRAS CHAVES:

Lodo de ETA. Blocos de Solo-Lodo. Blocos Cerâmicos de Tamanho Reduzido. Soluções Ambientais na Construção Civil.

ABSTRACT

The research has aimed to contribute to the acceptance of an ecologically and economically viable solution for Sludge Treatment Plants Water. Given the above, the work studies the application of sludge removed from drying bed as a binder in the manufacture of ceramic blocks, as composites (blocks) of soil-binding agent, initially studying various proportions of binder contents ranging from 7% to 50 % (by mass) of binder materials (sludge). This time was initially performed characterization tests and tests to obtain the Atterberg limits, to identify what percentages it suited the normative patterns of plasticity and expansion, based on the standards of blocks made from soil-cement. With the completion of this study it was possible to remove certain percentages that did not fit the requested. From this analysis we started the process of manufacture of test specimens, as the building blocks with reduced dimensions, so as to obtain the material economy. When they were ready, were tested in terms of water absorption and compared again with the normative standards of blocks made from soil-cement. It is noteworthy that the entire study was done based on these standards due to lack of standards and recommendations on blocks of soil-sludge. At the end of the study only traces of 25%, 15%, 12% could fall by the standards and technical standards. The present study shows that it is possible to manufacture these test samples when analyzed for parameters, namely the limits of consistency and level of water absorption. However, further study in view of the rigidity in the number of parameters defined by standard would be needed.

KEYWORDS:

Sludge from the WTS. Blocks of Soil-Sludge. Ceramic blocks Reduced Size. Environmental Solutions in Construction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Limites de Atterberg dos Solos	22
Figura 2.2- Esquema do aparelho de Casagrande para a determinação do LL.....	30
Figura 3.1 - ETA Pirapama.....	33
Figura 3.2 - Retirada de lodo.....	33
Figura 3.3 - Lodo úmido	34
Figura 3.4 - Lodo seco nas fôrmas.....	35
Figura 3.5 - Retirada da Argila na Indústria Cerâmica.....	37
Figura 3.6 - Argila em estufa	37
Figura 3.7 - Aparelho de Casa Grande	38
Figura 3.8 - Destorroando o Material.....	39
Figura 3.9 - Peneira N° 40	40
Figura 3.10 - Amostras acondicionadas	41
Figura 3.11 - Determinação de LP	42
Figura 3.12 - Extrusora para fabricação dos tijolos	42
Figura 3.13 - Triturador de Grandes Torrões.....	43
Figura 3.14 - Moinho para Pequenos Torrões.....	44
Figura 3.15 - Acondicionamento da argila triturada	44
Figura 3.16 - Homogeneização do material.....	45
Figura 3.17 - Corpos de prova secando ao ar livre.....	45
Figura 3.18 - Corpos de prova secos em estufa.....	46
Figura 3.19 - Mufla.....	46
Figura 3.20- Evolução da temperatura de queima.....	47
Figura 3.21 - Cura do Corpos de Prova.....	47
Figura 3.22 - Secagem dos CP's em estufa	48
Figura 3.23 - CP's submersos	49
Figura 4.1 - Quadro Resumo dos Limites de Consistência da Argila com 50% de Lodo.....	50
Figura 4.2 - Quadro Resumo dos Limites de Consistência da Argila com 25% de Lodo.....	51
Figura 4.3 - Quadro Resumo dos Limites de Consistência da Argila com 15% de Lodo.....	52
Figura 4.4 - Quadro Resumo dos Limites de Consistência da Argila com 12% de Lodo.....	53
Figura 4.5 - Quadro Resumo dos Limites de Consistência da Argila com 9% de Lodo	54
Figura 4.6 - Quadro Resumo dos Limites de Consistência da Argila com 7% de Lodo	55
Figura 4.7 - Quadro Resumo dos Limites de Consistência da Argila Pura	56
Figura 4.8 - Comparação dos Limites de Consistência	57
Figura 4.9 - Comportamento da absorção de água com aumento da quantidade de lodo na mistura	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Referências utilizadas para definição dos teores de lodo	27
Tabela 3.1 - Caracterização Química do Lodo	36
Tabela 4.1 - Limite de Plasticidade da Argila com 50% de Lodo	50
Tabela 4.2 - Limite de Liquidez da Argila com 50% de Lodo	50
Tabela 4.3 - Limite de Plasticidade da Argila com 25% de Lodo	51
Tabela 4.4 - Limite de Liquidez da Argila com 25% de Lodo	51
Tabela 4.5 - Limite de Plasticidade da Argila com 15% de Lodo	52
Tabela 4.6 - Limite de Liquidez da Argila com 15% de Lodo	52
Tabela 4.7 - Limite de Plasticidade da Argila com 12% de Lodo	53
Tabela 4.8 - Limite de Liquidez da Argila com 12% de Lodo	53
Tabela 4.9 - Limite de Plasticidade da Argila com 9% de Lodo	54
Tabela 4.10 - Limite de Liquidez da Argila com 9% de Lodo	54
Tabela 4.11 - Limite de Plasticidade da Argila com 7% de Lodo	55
Tabela 4.12 - Limite de Liquidez da Argila com 7% de Lodo	55
Tabela 4.13 - Limite de Plasticidade da Argila Pura	56
Tabela 4.14 - Limite de Liquidez da Argila Pura	56
Tabela 4.15 - Absorção de água para as variações de adição de lodo	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

°C	Graus Celsius
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Al₂O₃	Óxido de Alumínio
As₂O₃	Trióxido de Arsênio
Br	Bromo
CaO	Óxido de Cálcio
cm	Centímetro
COMPESA	Companhia Pernambucana de Saneamento Ambiental
CP	Corpos de Prova
Cr₂O₃	Óxido de Cromo (III)
DBO₅	Demanda Bioquímica de Oxigênio
ETA	Estação de Tratamento de Água
Fe₂O_{3T}	Óxido de Ferro (III)
Ga₂O₃	Óxido de Gálio (III)
h	Hora
HCA	Ácido Tricloroisocianúrico
IP	Índice de Plasticidade
NBR	Norma Brasileira Regulamentar
K₂O	Óxido de Potássio
LL	Limite de Liquidez
LP	Limite de Plasticidade
m	Massa
m³	Metros cúbicos
M1	Massa dos corpos de prova seco
M2	Massa dos corpos de prova úmido
Mg/L	Miligrama por Litro
MgO	Óxido de Magnésio

mm	Milímetro
MnO	Óxido de Manganês
NiO	Óxido de Níquel (II)
P₂O₅	Pentóxido de Fósforo
PE	Pernambuco
PF	Ponto de Fusão
PROSAB	Programa de Pesquisa de Saneamento Básico
rps	Rotação por segundo
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizado Industrial
SiO₂	Dióxido de Silício
SO₃	Óxido Sulfúrico
SrO	Óxido de Estrôncio
TiO₂	Dióxido de Titânio
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
ZnO	Óxido de Zinco
ZrO₂	Dióxido de Zircônio

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	18
1.1. CONTEXTO E JUSTIFICATIVA.....	18
1.2. OBJETIVOS.....	19
1.2.1. OBJETIVO GERAL.....	19
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	20
2.1. CARACTERÍSTICAS DA ARGILA	20
2.1.1. PLASTICIDADE.....	21
2.1.2. LIMITES DE CONSISTÊNCIA E ÍNDICE DE PLASTICIDADE	21
2.1.3. RESISTÊNCIA DA ARGILA SECA	22
2.1.4. POROSIDADE.....	22
2.2. LODO DE ETA	23
2.2.1. GERAÇÃO DE LODO NAS ETA'S	23
2.2.2. CARACTERÍSTICAS DO LODO DE ETA'S.....	24
2.2.3. DISPOSIÇÃO FINAL DO LODO DA ETA	25
2.3. ESTUDOS DE REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS UTILIZANDO CERÂMICA VERMELHA COMO MATRIZ	26
2.4. FABRICAÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS	28
2.5. DETERMINAÇÃO DOS LIMITES DE CONSISTÊNCIA E ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	30
2.5.1. DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDEZ E DO LIMITE DE PLASTICIDADE	30
2.5.2. ABSORÇÃO DE ÁGUA	31
3. PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	31
3.1. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	31
3.2. MATERIAIS.....	32
3.2.1. LODO	32
3.2.2. ARGILA	36
3.3. ENSAIOS REALIZADOS E PROCEDIMENTOS DE FABRICAÇÃO DOS BLOCOS.....	38
3.3.1. ENSAIOS DE LIMITE DE CONSISTÊNCIA	38
3.3.2. FABRICAÇÃO DOS TIJOLOS.....	42

3.3.3. ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	47
4. RESULTADOS.....	49
4.1. ENSAIOS DE LIMITES DE ATTERBERG	49
4.2. ENSAIOS DE DETERMINAÇÃO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA	58
5. DISCUSSÃO.....	60
5.1. DISCUSSÃO SOBRE O MATERIAL ESTUDADO.....	60
5.2. DISCUSSÃO SOBRE O ENSAIO DOS LIMITES DE CONSISTÊNCIA.....	60
5.3. DISCUSSÃO SOBRE A MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA	61
5.4. DISCUSSÃO SOBRE A DIMENSÃO DOS CORPOS DE PROVA	61
5.5. DISCUSSÃO SOBRE O ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA	62
5.6. PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS.....	62
6. CONCLUSÃO	64
7. REFERÊNCIAS	65

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTO E JUSTIFICATIVA

A disposição final dos resíduos produzidos nas estações de tratamento de água e esgoto (lodo) é um dilema que causa prejuízo mundialmente. Atualmente a qualidade da água bruta está sendo comprometida, devido a uma série de fatores, e devido a esta degradação da qualidade da água, faz-se necessário o aumento da utilização de produtos químicos no tratamento da mesma, ocasionando assim uma maior produção de lodo durante o tratamento da água bruta (RIBEIRO, 2004 apud COMPESA, 2009).

Em razão deste questionamento a destinação do lodo representa um desafio a ser resolvido. Normalmente estes lodos se encontram dispostos nas próprias lagoas de estabilização sem possuírem destino adequado, de maneira que quando estas lagoas são limpas o lodo é disposto em córregos próximos às áreas das estações de tratamento. Diante disto, algumas soluções ecologicamente corretas e úteis para o destino do lodo vêm sendo estudadas ao longo do tempo, tais como: reciclagem agrícola, utilização das cinzas de lodo em concreto de alto desempenho, uso de lodo em plantações florestais e na recuperação de área degradadas, assim como a utilização destes resíduos na confecção de blocos cerâmicos.

A Utilização do lodo de ETA's é uma alternativa bastante viável, pois a mesma contempla tanto as indústrias do setor cerâmico (pelo fato de minimizar o extrativismo da argila), quanto às companhias de saneamento (por conseguir mais um meio de disposição eficiente e eficaz para o lodo).

Cumprе firmar que graças à carência de literatura especializada em blocos cerâmicos com adição de lodo, o universo de estudos sobre o tema se torna bastante amplo, por isso se vêm necessário diversos estudos em relação ao tema.

1.2. OBJETIVOS

O trabalho buscou identificar a porcentagem ideal de lodo na mistura, utilizando como referência padrões normativos de fabricação de blocos de solo-cimento, buscando analisar sua viabilidade a partir de critérios determinados pela Norma Brasileira NBR 10834/94 como: absorção de água e limites de consistência.

Este trabalho analisou um tipo de lodo (gerado pela Estação de Tratamento de Água Pirapama) e um tipo de argila (retirada da Cerâmica Camaragibe).

1.2.1. OBJETIVO GERAL

Estudar a proporção ideal de adição de lodo de ETA's na mistura com argila utilizada na indústria cerâmica, para fabricação de blocos cerâmicos, buscando adequá-los aos parâmetros normativos através de ensaios característicos e de absorção, visando posteriormente à utilização destes de forma ecologicamente correta, em sistemas da construção civil.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar o lodo da Estação de tratamento de água (ETA) Pirapama;
- Estudar as porcentagens de adição de lodo na composição, observando os parâmetros de Atteberg;
- Observar o comportamento da mistura em todo processo de moldagem do bloco para as diferentes porcentagens;
- Analisar o desempenho dos blocos com matérias-primas de solo-lodo nos ensaios;
- Buscar uma dosagem ótima a partir da utilização de lodo de ETA, com argilas de indústrias cerâmicas.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. CARACTERÍSTICAS DA ARGILA

A ABNT define argila como solo de granulação fina constituído por partículas com dimensões menores que 0,002 mm e que apresentam coesão e plasticidade.

Segundo Caputo (1988), as argilas são constituídas por pequenos minerais cristalinos, chamados de argilominerais, dentre os quais se distinguem três grupos principais: caolinitas, montmorilonitas e ilitas. As caolinitas são formadas por unidades de silício e alumínio, que são unidas alternadamente, resultando numa estrutura rígida. As montmorilonitas apresentam estruturas formadas por uma unidade de alumínio entre duas de silício e a ligação entre essas unidades não sendo suficientemente firme para impedir a passagem de moléculas de água, as torna muito expansivas. As ilitas são estruturalmente semelhantes às montmorilonitas, sendo menos expansivas.

Santos (1975) define argila como um material terroso extraído da natureza que possui granulação fina e que ao ser umedecido com água, adquire geralmente certa plasticidade. Quimicamente são formadas principalmente por silicatos hidratados de alumínio, ferro e magnésio, podendo conter em menor quantidade substâncias orgânicas, partículas de quartzo, pirita, mica, dolomita, calcita.

Os argilominerais têm origem no ataque causado por agentes da natureza sobre o feldspato das rochas ígneas, que se desagrega e resultam em substâncias minerais (SOUZA, 2006).

As argilas caulínicas são consideradas as mais puras e são usadas, por exemplo, na indústria de porcelana e cerâmica sanitária. Enquanto que as montmorilonitas, por serem muito expansivas geralmente são misturadas com caolinitas e ilitas favorecendo a plasticidade. O grupo das ilitas é menos expansivo que o das montmorilonitas e mais empregadas na fabricação da cerâmica vermelha (SANTOS, 1975).

2.1.1. PLASTICIDADE

A plasticidade é a propriedade dos solos que consiste na maior ou menor capacidade de ser moldados em certas condições de umidade sem variação de volume. Trata-se de uma das principais propriedades das argilas (CAPUTO, 1988).

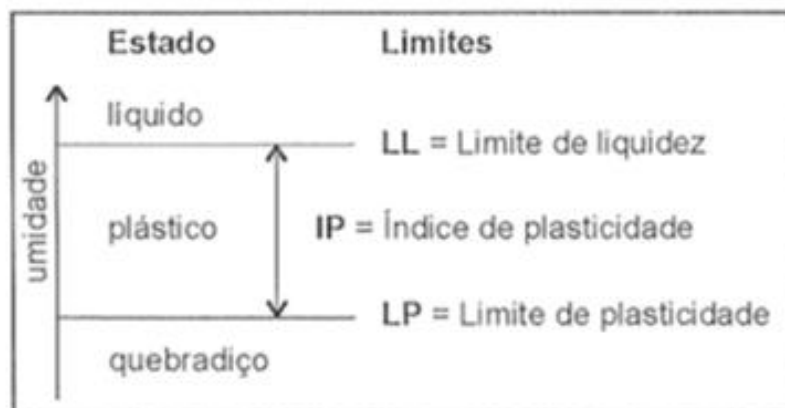
Em outras ciências da engenharia, essa propriedade está ligada às características de tensão-deformação, ou seja, um corpo é considerado elástico quando volta à forma e volume primitivos assim que uma força externa deixa de ser aplicada, em contrapartida, um corpo é dito plástico quando não retorna ao seu estado original quando uma força deixa de ser aplicada.

Segundo Oliveira apud Paixão (2005), para tornar a argila plástica e moldável deve ser adicionada a “água de plasticidade”. Tal plasticidade varia com a quantidade de água adicionada até o limite em que sua estrutura em lâminas se separa e a argila torna-se um líquido viscoso.

2.1.2. LIMITES DE CONSISTÊNCIA E ÍNDICE DE PLASTICIDADE

Os limites de consistência indicam como um solo argiloso se comporta de maneiras distintas a depender do seu teor de umidade. Desta forma, quando muito úmido ele se comporta como um líquido, ao passo que parte de sua água é perdida fica plástico, e, quando mais seco se torna quebradiço. Os teores de umidade correspondentes às mudanças de estado, como ilustra a Figura 2.1, são definidos como limite de liquidez (LL) e limite de plasticidade (LP) dos solos. A diferença entre esses dois limites, que indica a faixa de valores em que o solo se apresenta plástico, é definida como índice de plasticidade do solo (IP) (SOUZA, 2006).

Figura 2.1 - Limites de Atterberg dos Solos



Fonte: SOUZA (2006).

Segundo Caputo (1988), o índice de plasticidade fornece um critério para se ter conhecimento do caráter argiloso de um solo, sendo máximo nas argilas. Segundo ele, Pequenas porcentagens de matéria orgânica eleva o valor do LP sem elevar simultaneamente o valor de LL, fazendo com que sejam obtidos baixos valores de IP.

2.1.3. RESISTÊNCIA DA ARGILA SECA

A dosagem das argilas deve ser feita para que as mesmas apresentem plasticidade máxima quando estiverem úmidas, além de resistência máxima quando seca ou quando forem queimadas, e retração mínima durante o processo de secagem (OLIVEIRA, 2002 Apud PAIXÃO, 2005).

2.1.4. POROSIDADE

Segundo Caputo (1988), a porosidade de um solo é a razão entre o volume de vazios e o volume total de uma amostra.

Cabe destacar, segundo Oliveira apud Paixão (2005), que a porosidade influencia tanto nas propriedades da argila como nas do material cerâmico, sendo diretamente relacionada com a absorção de água, pois quanto maior a porosidade maior a absorção. Segundo o mesmo autor a porosidade aparente, que considera apenas os poros abertos, pode ser determinada pelo método de absorção.

2.2. LODO DE ETA

2.2.1. GERAÇÃO DE LODO NAS ETA'S

As estações de tratamento de água são responsáveis por captar água dos mananciais, realizar tratamento adequado e distribuir água potável aos consumidores. Os processos normalmente utilizados para o tratamento nestas estações são: oxidação, coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção, estabilização do pH e fluoretação (Wag; Yuzhu, 1996 apud PAIXÃO, 2005).

Segundo Heller e Lúcio (2010), a oxidação química ou a oxidação por meio de aeração podem ser utilizadas para reduzir a concentração de contaminantes orgânicos e inorgânicos, sendo feitas, por exemplo, a partir de aeradores ou de oxidantes químicos como o cloro.

Na etapa de coagulação a água bruta recebe tratamento químico (coagulantes). Exemplos de coagulantes empregados são: sulfato de alumínio, cloreto férrico, sulfato ferroso clorado, sulfato férrico e o hidróxi-cloreto de alumínio (HCA ou PAC). A escolha dos coagulantes irá depender tanto de análises técnicas, no que diz respeito à sua eficiência e otimização do tratamento, quanto econômicas, envolvendo custos de aquisição e transporte.

Desta feita, nesta etapa as impurezas presentes na água, que conferem turbidez, cor, sabor e odor, reagem quimicamente com o coagulante reduzindo a força repulsiva entre elas, desestabilizando-as, o que irá facilitar a sua remoção nas etapas seguintes do tratamento da água.

Na etapa de floculação as impurezas desestabilizadas provenientes das reações químicas, ocorridas na coagulação, são aglomeradas e formam flocos. O contato dessas impurezas é promovido por agitação, que pode ser feita hidraulicamente, por exemplo, por meio de chicanas ou mecanicamente por meio de pás rotativas.

A unidade de decantação é responsável por sedimentar as impurezas oriundas dos floculadores através da força da gravidade. Os processos de floculação e coagulação tornam as unidades decantadoras mais compactas, pois são capazes de aumentar a velocidade de sedimentação das impurezas. As impurezas depositadas no fundo dos decantadores podem ser retiradas manualmente ou mecanicamente através de raspadores.

A filtração Rápida em meio granular tem a função de remover as impurezas e partículas em suspensão que não foram retiradas no decantador. O meio granular filtrante pode ser composto por carvão, areia e pedregulho.

Essas impurezas retiradas da água originárias principalmente dos decantadores e das águas de lavagem dos filtros são denominadas de lodo de estação de tratamento de água. As características dessas impurezas irão depender principalmente das condições da água bruta, das dosagens e produtos químicos utilizados no tratamento. Normalmente, o lodo produzido durante o tratamento é encaminhado aos leitos de secagem onde espera-se que a água livre seja drenada e, portanto, os sólidos restantes dispostos de forma adequada.

2.2.2. CARACTERÍSTICAS DO LODO DE ETA'S

Segundo Viessman Jr. e Hammer apud Prosab (2001), a coagulação/floculação com sulfato de alumínio é um dos processos mais utilizados nas ETAs do Brasil para proceder à remoção de sólidos presentes na água. Possui como inconveniente a produção de dois tipos de resíduos principais, o lodo sedimentado no fundo dos decantadores e o lodo presente na água de lavagem dos filtros. Esses lodos são constituídos por resíduos orgânicos e inorgânicos provenientes da água bruta, por hidróxidos de alumínio resultantes da adição de

coagulantes e, eventualmente, por polímeros condicionantes do processo. Tais lodos possuem baixa concentração de sólidos, visto que para sua descarga é utilizada grande quantidade de água e alta concentração de alumínio.

Segundo Albrecht apud Prosab (2001), o lodo das ETAs é uma substância não newtoniana, muito gelatinosa e bastante compressível, que resiste à passagem de água através dele devido à estrutura de formação dos flocos durante o processo de coagulação/ floculação. O lodo é composto por hidróxidos de alumínio, partículas inorgânicas como argila e areia, colóides de cor e microrganismos, incluindo plâncton e outros materiais, orgânicos e inorgânicos. Podem ter origem nos sedimentos dos clarificadores, da lavagem dos filtros e dos resíduos da recuperação da água de lavagem. Apresenta baixo conteúdo de sólidos, da ordem de 3.000 a 15.000 mg/L. O nível de DBO5 geralmente é da ordem de 30 a 100 mg/L.

Prosab (2001), afirma que a toxicidade do lodo das ETAs depende principalmente das características da água bruta, dos produtos químicos utilizados no tratamento e das reações ocorridas no processo.

Aboy apud PROSAB (2001) também realizou alguns ensaios recomendados pela NBR 10004 (ABNT, 1987a) para classificar os lodos de ETAs, e concluiu que os mesmos são resíduos sólidos Classe II – não-inertes.

2.2.3. DISPOSIÇÃO FINAL DO LODO DA ETA

Segundo Prosab (2001), o lodo é classificado pela série de normas NBR 10.004 como resíduo sólido, não sendo permitido seu lançamento in natura em águas superficiais. Porém nos países considerados em desenvolvimento, como o Brasil, um grande número de estações de tratamento de água ainda lança seus resíduos diretamente nos cursos d'água. Tal disposição acarreta impactos ambientais significativos, o que têm levado órgãos ambientais a exigirem das empresas que geram esses resíduos a implantação de alternativas de disposição dos mesmos.

Dentre alternativas, de destinação final mais utilizada, em países desenvolvidos, pode-se citar a disposição em aterros sanitários, a aplicação controlada no solo e a reciclagem, onde os resíduos podem ser reutilizados para gerar algum bem.

A construção civil é uma das maiores consumidoras de matérias-primas naturais. Estima-se que esse setor utilize entre 20% e 50% do que é consumido pela sociedade (SAITO, 1994 apud PROSAB, 2001).

Desta maneira, a incorporação de resíduos sólidos gerados pelas indústrias em matriz de cerâmica vermelha para a confecção de produtos cerâmicos, que podem ser utilizados na construção civil, vem sendo muito estudado por vários autores e com os resultados obtidos se apresenta como forma potencial na contribuição da solução dos problemas gerados por esses rejeitos. Tal aplicação também contribui para a diminuição da atividade extrativa da argila que é um recurso natural não renovável.

2.3. ESTUDOS DE REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS UTILIZANDO CERÂMICA VERMELHA COMO MATRIZ

Atualmente muitos resíduos sólidos vêm sendo utilizados em misturas para fabricação de blocos cerâmicos que poderão ser utilizados na construção civil. As misturas destes resíduos em massa cerâmica apresentam diversas proporções, onde através de vários ensaios é possível se obter misturas nos padrões aceitáveis (COSIN, 2002 apud PAIXÃO, 2005).

A tabela a seguir aborda estudos de alguns autores visando à análise dos teores mais usuais de resíduos sólidos utilizados na produção de materiais cerâmicos, bem como dos resultados que puderam ser obtidos.

Tabela 2.1 – Referências utilizadas para definição dos teores de lodo

REFERÊNCIA	TEOR DE RESÍDUO	OBSERVAÇÕES E RESULTADOS
COMPESA (2009, 2011)	2%, 3%, 5%, 7%, 9%, 12% e 15%	Os estudos utilizaram lodo de estação de tratamento de água para a fabricação de tijolos mecânicos, manuais, prensados e furados. A queima foi realizada a 950°C. Como resultados a cor laranja avermelhado apresentada para todas as proporções foi aceita. Houve acréscimo da absorção de água à medida que maiores teores de lodo foram adicionados, porém dentro dos limites estabelecidos em norma. A companhia concluiu que o lodo adicionado à massa cerâmica para a fabricação dos blocos não afetou seu desempenho nos ensaios normalizados, mostrando que é viável a sua utilização na indústria cerâmica no limite de 15%.
Baruzzo et al. (2005)	50%	O autor utilizou lamas de dragagem marinha puras ou misturadas a cinzas de resíduos sólidos urbanos, lodos de esgoto incinerados e escória siderúrgica para a fabricação de revestimentos cerâmicos. A temperatura de sinterização variou de 1130°C a 1180°C. Como resultado obteve baixos percentuais de absorção de água e propriedades mecânicas elevadas, a exceção do material composto por lamas de dragagem e escória siderúrgica. O autor não sugeriu portanto o uso de escória siderúrgica na indústria da cerâmica. Por outro lado, não excluiu a utilização dos outros resíduos para a indústria desde que as propriedades mecânicas e a liberação dos elementos perigosos fossem baixas.
Haiyinga; Youcaib e Jingyuc (2006)	5%, 10%, 15%, 20%, 25% e 30%	Utilizou cinzas de resíduos sólidos urbanos pra a fabricação de revestimentos cerâmicos a partir da queima a 960°C. Verificou que a adição de até 20% de cinzas volantes resultou num produto com elevada resistência à compressão. No ensaio de absorção de água, a mesma diminuiu com o aumento da proporção de cinzas até 20% em massa. Diante dos resultados, a proporção de 20% foi escolhida como proporção ideal, concluindo que o produto cerâmico possui bom desempenho e pode

		ser amplamente utilizado na construção.
Vieira C.M.F. et al. (2005)	5%, 10% e 20%	Lama fina de aciaria foi estudada para a aplicação em tijolos e telhas cerâmicas. A temperatura de queima foi de 900°C. Em seus resultados a absorção de água nos materiais com incorporações do resíduo até 20% quando comparadas com a argila pura praticamente não mudou, indicando que a adição de lamas de aço a esta proporção não alterou a porosidade do material. A resistência mecânica com adição de 5% do resíduo praticamente não alterou esta propriedade, porém maiores concentrações do resíduo diminuíram em cerca de 30% a resistência de ruptura à flexão, em relação à argila pura. O estudo concluiu portanto que a incorporação de até 5% de lamas de aço fino é benéfica para a cerâmica vermelha.

Fonte: Elaborada pelos autores

As pesquisas apresentadas também mostraram que os materiais tóxicos e metais pesados, que possam ser encontrados, podem reagir com a matéria prima dos materiais cerâmicos estabilizando-os, ou ainda os metais pesados podem ser cimentados na estrutura sólida do produto através da sinterização que é capaz de restringir a liberação dos mesmos quando solubilizados. Porém para constatação de tal afirmação faz-se necessário a realização de ensaios de lixiviação e solubilização.

Pode-se verificar, dentre os estudos apresentados, que os teores utilizados que se apresentaram viáveis variaram de 5% a 50%.

2.4. FABRICAÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS

Segundo Rodrigues (2008), o processo de fabricação de tijolos de solo-cimento começa na fase de destorroamento, passando pelo peneiramento e secagem. Em seguida inicia-se a mistura homogênea do solo com o cimento com adição de água em quantidades adequadas. Este processo apesar de ser elaborado para blocos de solo-cimento também se enquadra para solo-lodo.

Após a mistura inicia-se a Moldagem dos Corpos de Prova, segundo Carvalho (2008) esta operação está estritamente relacionada com o teor de água da pasta de argila. Com o aumento da quantidade de água na mistura aumenta-se a plasticidade, em contrapartida, se torna inevitável a contração na secagem e deformações no cozimento. No caso dos tijolos os mesmos podem ser moldados por prensagem quando o material esta seco ou semi-seco (material com teor de umidade entre 4 a 10%), ou por extrusão, utilizando marombas com câmaras a vácuo para retirar o ar da massa (pasta plástica com teor de umidade de 15 a 25%)

O processo de secagem é uma operação de grande relevância na fabricação dos produtos cerâmicos. As grandes produtoras de blocos cerâmicos buscam cada vez mais a secagem mais rápida possível, entretanto uma programação de secagem demasiadamente rápida causa retração diferencial, causando a formação de trincas (NORTON, 1973). Atualmente podemos resumir secagem de duas maneiras: A Natural, onde os blocos cerâmicos são secos ao ar livre; E as artificiais, onde são utilizados secadores para acelerar o tempo de produção, e em alguns casos até mesmo a velocidade de secagem. Uma secagem deve ser controlada para evitar retração excessiva não uniforme, o que acarretaria em trincas e deformações nos blocos.

Durante a queima, dão-se as transformações estruturais da argila, havendo necessidade de uma marcha típica de aquecimento e resfriamento de cada produto, esta queima pode acontecer de forma rápida ou lenta, mas deve ser de maneira controlada (Carvalho, 2008).

Segundo Oliveira apud Paixão (2005) o processo de sinterização que ocorre durante a queima é caracterizado pela união entre pós finos ou entre fibras, tal processo ocorre em temperaturas suficientes que favoreçam sua ligação.

A sinterização ocasiona mudanças de propriedade devido a modificações de tamanho, porosidade e forma à medida que ocorre o transporte de massa.

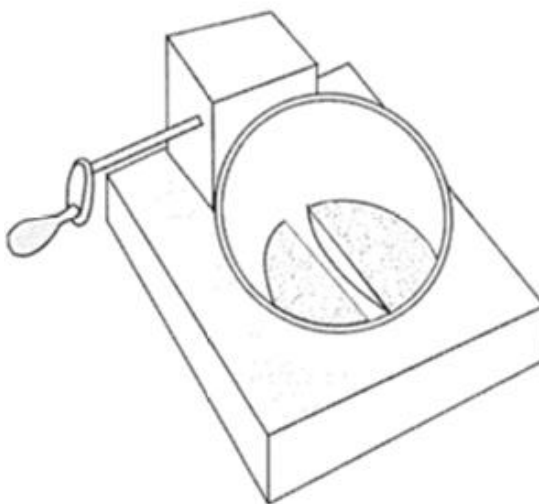
Quanto maior a temperatura de sinterização menor a porosidade aparente e conseqüentemente menor a absorção de água, pois nessas condições a densificação dos corpos de prova aumenta. (SANTOS ,1975).

2.5. DETERMINAÇÃO DOS LIMITES DE CONSISTÊNCIA E ABSORÇÃO DE ÁGUA

2.5.1. DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDEZ E DO LIMITE DE PLASTICIDADE

Para a determinação do limite de liquidez é utilizado o aparelho de Casagrande, onde é definido o teor de umidade do solo com o qual uma ranhura requer 25 golpes para fechar. Esse resultado é obtido a partir de diversas tentativas com o solo em diferentes umidades anotando-se o número de golpes para fechar a ranhura com posterior interpolação dos resultados (SOUZA, 2006). O método de ensaio é definido pela NBR 6459.

Figura 2.2- Esquema do aparelho de Casagrande para a determinação do LL



Fonte: SOUZA (2006).

O limite de plasticidade é definido como o menor teor de umidade com o qual se consegue moldar um cilindro de 3mm de diâmetro, rolando-se o solo com a palma da mão (SOUZA, 2006). O procedimento é padronizado pela NBR 7180.

É possível inferir que ambas as normas aplicadas à fabricação de solo cimento (NBR 10832/89 e NBR 10833/89) definem como valores máximos de limite de liquidez e índice de plasticidade, 45% e 18% respectivamente.

2.5.2. ABSORÇÃO DE ÁGUA

Segundo Cosin apud Paixão (2005), a absorção de água está ligada ao grau de sinterização alcançado pelo material durante a queima e interfere na durabilidade do bloco, pois está diretamente ligada a resistência aos ataques químicos e físicos do meio ambiente. Segundo ele os ensaios de absorção de água realizados em corpos constituídos por argila e lodo, mostram que com o aumento de temperatura de queima, para uma mesma concentração de resíduo, ocorre diminuição da absorção de água, porém quando se aumenta a concentração de lodo, a absorção aumenta.

A NBR 10834 de solo-cimento afirma que a amostra ensaiada deve apresentar a média dos valores de absorção de água igual ou menor que 20% e valores individuais iguais ou menores que 22%.

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

O objetivo deste capítulo é mostrar o planejamento experimental usado no estudo, narrando os materiais usados, os equipamentos que serviram para realização dos ensaios, como também abordagem sobre os ensaios usados, e o que se espera em resultados destes ensaios visando uma melhor base de dados diante do proposto objetivo.

3.1. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

De acordo com as revisões bibliográficas feitas anteriormente o percentual máximo de lodo utilizado neste estudo foi de 50%. As outras concentrações, 25%, 15%, 12%, 9% e 7% foram escolhidas aleatoriamente.

Utilizou-se como temperatura de queima 950°C, seguindo a utilizada no estudo realizado pela COMPESA, já que o mesmo também utilizou lodo de ETA para fins de uma mesma aplicação (blocos cerâmicos).

Após a definição dos teores de lodo adicionados a mistura, foi feita a determinação dos limites de consistência e posteriormente confeccionados blocos cerâmicos em dimensões reduzidas (6,5 x 6,5 x 3,5 cm) para a determinação da absorção de água.

3.2. MATERIAIS

3.2.1. LODO

O Lodo utilizado neste experimento foi extraído da ETA – Pirapama (Figura 3.1), no Cabo de Santo Agostinho, na Região Metropolitana do Recife -PE, sendo este o maior sistema de abastecimento de água de Pernambuco e um dos maiores do Brasil. Concluído em novembro de 2011, o sistema possui capacidade de tratamento de 5,13 m³ água/segundo.

O Manancial possui sua intervenção na Barragem Pirapama, em seguida a água segue até a Torre de Chegada, na ETA, em primeira etapa é inserido sulfato de alumínio que funciona como coagulante, após a homogeneização do componente químico a água segue para os quatro tanques decantadores, o objetivo é unir ainda mais as partículas até a formação de blocos, empurrando o lodo gerado para o fundo dos decantadores, há então um removedor de lodo que varre automaticamente o lodo e escorre-o numa canaleta lateral, este lodo segue até uma lagoa de descarte, onde é estocado até atingir a cota máxima de resíduos, e assim ser recolhido até um aterro sanitário.

Figura 3.1 - ETA Pirapama



Fonte: <http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/4/imagens/i278738.jpg> , 2011.

A Coleta do Lodo estudado ocorreu diretamente nas lagoas de descarte da ETA – Pirapama. Este lodo até o presente momento não havia sido utilizado em fins de estudos científicos, sendo necessária a formalização da sua retirada juntamente com a COMPESA. A retirada ocorreu na área superficial das proximidades das bordas da lagoa (Figura 3.2), pois este se apresentava de forma mais consistente (o que facilitaria na trabalhabilidade do experimento e ganho de tempo com secagem do material).

Figura 3.2 - Retirada de lodo



Fonte: Elaborada pelos autores

É possível observar também a quantidade de Lodo que se encontrava na lagoa e a falta de destinação adequada. A COMPESA já está construindo mais duas lagoas de modo a obter um maior volume de lodo armazenado.

A utilização deste material como aglomerante na fabricação de blocos cerâmicos seria de grande valor, pois daria um destino ao lodo armazenado, liberando novamente as lagoas para receberem lodo evitando assim gastos com construção de áreas específicas para armazenamento.

O Lodo, inicialmente, foi secado ao ar livre (Figura 3.3) armazenados em sacos, para posteriormente serem levadas a uma estufa a 105°C, devido a grande quantidade de água presente no lodo o volume seco era bastante inferior ao volume úmido (em torno de 30% do volume inicial) (Figura 3.4), em seguida com todo o material seco, foi feita a armazenagem do mesmo em sacos de nylon, para manter as características básicas do material

Figura 3.3 - Lodo úmido



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 3.4 - Lodo seco nas fôrmas



Fonte: Elaborada pelos autores

Após a obtenção do material seco, foi feita uma caracterização do lodo para um maior conhecimento das suas propriedades químicas, a amostra foi secada novamente em estufa a 100°C. Uma porção de amostra seca foi levada a uma mufla a 1000°C por 2 horas para determinação da perda ao fogo. Uma porção de amostra seca foi colocada em cápsula de alumínio e prensada em prensa hidráulica com 25 toneladas de força. Na pastilha prensada foi feita análise química semi-quantitativa de elementos pesados e alguns leves.

Ao resultado da varredura foi introduzido o valor da perda ao fogo e então os valores foram recalculados para 100%. Para a realização da micro-caracterização utilizou-se o Espectrômetro de fluorescência de raios-X Rigaku modelo RIX 300, para um maior conhecimento do lodo estudado, visando uma possível adequação e correção em relação ao lodo de outras ETA's em posteriores estudos. Os resultados estão listados na tabela a seguir.

Tabela 3.1 - Caracterização Química do Lodo

SUBSTÂNCIA	LODO
MgO	0,1
Al ₂ O ₃	19,3
SiO ₂	15,1
P ₂ O ₅	0,4
SO ₃	0,6
K ₂ O	0,1
CaO	0,2
Fe ₂ O _{3T}	27,4
TiO ₂	0,5
MnO	0,1
ZrO ₂	-
ZnO	-
Cr ₂ O ₃	-
NiO	-
Br	-
Ga ₂ O ₃	-
As ₂ O ₃	-
SrO	-
PF	36,1
Total	99,98

Fonte: Elaborado pelos autores

3.2.2. ARGILA

A Argila foi retirada diretamente da área de extração mineralógica da Indústria Cerâmica Camaragibe(Figura 3.5), sendo o mesmo material utilizado na fabricação dos blocos cerâmicos da indústria. Este material foi seco em estufas do SENAI e da UFPE a uma temperatura em torno de 105°C (Figura 3.6), para dar mais facilidade nos diversos ensaios que fossem ser feitos, em seguida foram acondicionados em sacos de nylon.

Figura 3.5 - Retirada da Argila na Indústria Cerâmica



Fonte: Elaborada pelos autores

Figura 3.6 - Argila em estufa



Fonte: Elaborada pelos autores

Pode-se dizer que em quase todos os segmentos de cerâmica tradicional a argila constitui total ou parcialmente a composição das massas. No caso da argila utilizada na fabricação de blocos cerâmicos a mesma apresenta de um modo geral em sua constituição os argilominerais ilita, além de caulinita, pequenos teores de montmorilonita e compostos de ferro. É um material com uma plasticidade elevada (como será narrado nos ensaios) e uma elevada resistência ao material seco.

3.3. ENSAIOS REALIZADOS E PROCEDIMENTOS DE FABRICAÇÃO DOS BLOCOS

3.3.1. ENSAIOS DE LIMITE DE CONSISTÊNCIA

Para realização do ensaio para obtenção do Índice de Plasticidade das amostras, foi utilizado o equipamento Casagrande (Figura 3.7), disponível no Laboratório de Solos e Instrumentação da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, sendo feita a análise nas porcentagens: 50%, 25%, 15%, 12%, 9% e 7%.

Figura 3.7 - Aparelho de Casa Grande



Fonte: Elaborado pelos autores

Este ensaio tem por escopo estudar os diferentes estados do solo em presença de água, desta feita graças aos índices de consistência podemos ter uma noção da deformabilidade quando solicitado em diferentes teores de umidade.

Apesar de serem índices empíricos, são determinados através de experimentos padronizados (Os ensaios foram realizados de acordo com a NBR-6459/ABNT – Determinação do Limite de Liquidez de Solos e NBR-7180/ABNT – Determinação do Limite de Plasticidade dos Solos) com o auxílio do Aparelho de Casa Grande.

Cabe frisar que para quantificar a plasticidade dos solos argilosos, a mecânica dos solos faz uso do Índice de plasticidade (IP) que é a diferença entre o limite de liquidez (LL) e o limite de Plasticidade (LP), quanto maior o IP, mais plástico será o solo em determinadas condições de umidade.

O limite de liquidez define a facilidade do solo em ser moldado sem perder sua estrutura após a moldagem, ou seja, à medida que o solo se umedece ele se torna mais fácil de ser moldado até um teor considerado limite de liquidez.

O limite de plasticidade delimita o estado plástico e o estado semi-sólido, ou seja ao perder umidade o solo perde trabalhabilidade e passa a fraturar com facilidade. Para este ensaio, foram estudadas diversas proporções de adição de lodo a argila e foram comparadas com os índices de plasticidade da argila sem adição.

Nesta toada, primeiramente, o lodo e a argila secos foram destorroados separadamente utilizando vasilhames e almofariz com ponta de borracha (Figura 3.8), em seguida o material foi passado na peneira nº 40 (Figura 3.9) e desprezado o material retido, foram preparadas as proporções em peso de estudo.

Figura 3.8 - Destorroando o Material



Fonte: Elaborada pelos autores

Figura 3.9 - Peneira N° 40

Fonte: Elaborada pelos autores

Em seguida o material foi acomodado com suas devidas proporções de peso em sacos de 300g de amostra (Figura 3.10). Com estas amostras inicia-se a determinação do limite de liquidez pelo aparelho de Casagrande, que é uma concha ligada a um eixo com manivela. Primeiramente a amostra deve ser homogeneizada, com teores de água adequados a cada determinação, depois da homogeneização, o material é colocado na concha e separado em duas partes (com utilização do cinzel), posteriormente, a manivela é rotacionada a uma velocidade média de dois rps, fazendo com que a queda da concha seja de 1cm, isso equivale a um golpe. Esses golpes são contabilizados e realizados até que os bordos inferiores da canaleta se unam em um comprimento de aproximadamente 1cm, anotando-se o número de golpes aplicados. Em seguida retira-se uma amostra do material e determina-se o teor de umidade, fazendo a pesagem do material úmido, após isso é adicionado mais água e repete-se as operações para outros teores de umidade, de modo a se obter número de golpes próximos de 50, 40, 30, 25, 20 e 10.

Figura 3.10 - Amostras acondicionadas



Fonte: Elaborada pelos autores

Desta feita, o material é levado então à estufa onde é seco por 24h em seguida a pesagem é feita novamente com o material seco, para assim descobrir a umidade relativa a cada número de golpes.

Com isso, dispondo-se de uma série de pares de valores, números de golpes x umidades, constrói-se o gráfico de liquidez, sendo o nº de golpes representados na abcissa em escala logarítmica e a umidade correspondente na ordenada em escala aritmética. Busca-se então uma reta que se adeque melhor aos pontos obtidos. O limite de liquidez é expresso pela umidade correspondente à interseção da ordenada relativa a 25 golpes.

Para determinação do limite de plasticidade, procura-se saber o teor de umidade com que um cilindro de solo de cerca de 10cm de comprimento é rolado (Figura 3.11) sobre uma placa de vidro fosco, rompendo-se ao atingir 3mm de diâmetro, esta operação foi feita 6 vezes e o LP foi determinado pela média do teor de umidade.

Figura 3.11 - Determinação de LP



Fonte: Elaborada pelos autores

3.3.2. FABRICAÇÃO DOS TIJOLOS

Os tijolos foram moldados em tamanho reduzido pela maromba do SENAI (Figura 3.12), com acionamento manual. Para compactação das misturas frescas, os tijolos fabricados por esta máquina possuem um tamanho consideravelmente inferior aos padrões estabelecidos por norma (6,5 x 6,5 x 3,5 cm), mas foram utilizados devido a facilidades nos ensaios e fabricação, sem maiores influencias no resultado.

Figura 3.12 - Extrusora para fabricação dos tijolos



Fonte: Elaborado pelos autores

Inicialmente buscou-se destorroer os grãos maiores utilizando o triturador (Figura 3.13) para que os torrões maiores diminuíssem de volume, em seguida o material foi passado por um moinho (Figura 3.14) que funcionava a pressão peneirando o material já triturado, o que resultou num material com um diâmetro bastante reduzido (semelhante a um pó) (Figura 3.15). Tal procedimento foi utilizado buscando evitar que pedaços maiores de grãos ao entrarem na extrusora interrompessem a produção devido ao travamento do equipamento, sendo necessário parar e limpar, o que ocasionaria uma perda de tempo.

Figura 3.13 - Triturador de Grandes Torrões



Fonte: Elaborada pelos autores

Figura 3.14 - Moinho para Pequenos Torrões



Fonte: Elaborada pelos autores

Figura 3.15 - Acondicionamento da argila triturada



Fonte: Elaborada pelos autores

Com o material fino foi feita a proporção em massa de cada traço analisado com auxílio da balança.

Posteriormente, a mistura foi homogeneizada manualmente (Figura 3.16) enquanto era adicionada água de forma estimativa, até que a amostra se apresentasse em um estado plástico suficiente para ser moldado. A quantidade de água utilizada ficou em torno de 1 L para cada 10 kg de material.

Após a homogeneização das amostras iniciou-se o processo de fabricação dos corpos de prova (CP's). Inicialmente o material era colocado na extrusora até que a mesma mantivesse uma circulação constante de matéria dentro dela, em

seguida com a máquina funcionando constantemente, os corpos de prova foram cortados a medida que passavam na esteira.

Figura 3.16 - Homogeneização do material



Fonte: Elaborada pelos autores

Os materiais depois de moldados são secos ao ar livre para diminuição da umidade naturalmente e de forma lenta (Figura 3.17), após 24h, o material foi seco em estufa a uma temperatura de 30°C durante mais 24h(Figura 3.18), para evitar que os tijolos sofressem uma diminuição muito brusca no índice de vazios ocasionando quebras, este processo foi utilizado para obter ganho de tempo e evitar desperdícios.

Figura 3.17 - Corpos de prova secando ao ar livre



Fonte: Elaborada pelos autores

Figura 3.18 - Corpos de prova secos em estufa



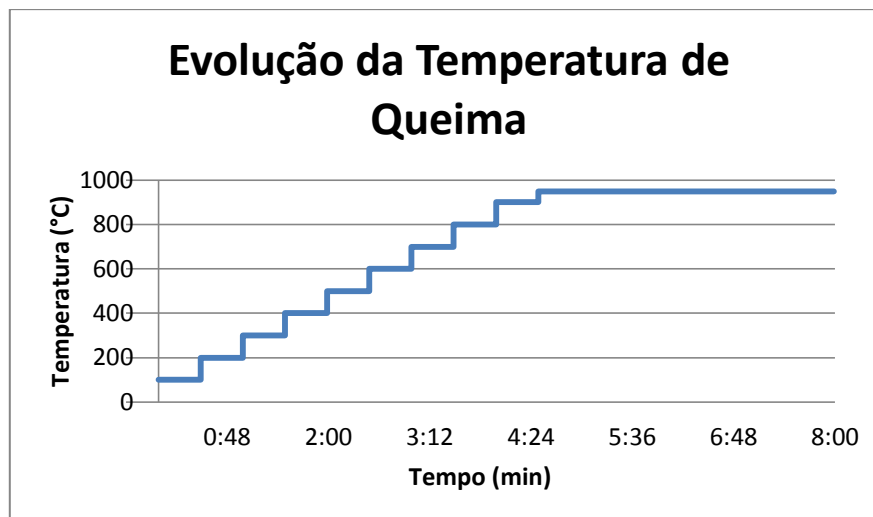
Fonte: Elaborada pelos autores

Depois que os tijolos estavam secos os mesmos foram queimados na mufla (Figura 3.19), o processo de queima ocorreu de forma gradativa, com temperatura evoluindo de 100°C até atingir a temperatura de 950°C conforme Figura 3.20.

Figura 3.19 - Mufla



Fonte: Elaborada pelos autores

Figura 3.20- Evolução da temperatura de queima

Fonte: Elaborada pelos autores

3.3.3. ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA

Para a realização da cura úmida dos blocos cerâmicos foi usado a câmara úmida (Figura 3.21) disponível no Laboratório de Materiais do Departamento de Engenharia Civil da UFPE, que mantém umidade relativa do ar não inferior a 95% e à temperatura de 23°C conforme solicitado na NBR 12024(1992).

Figura 3.21 - Cura do Corpos de Prova

Fonte: Elaborada pelos autores

Devido aos tamanhos dos corpos de prova o principal parâmetro a ser estudado é a determinação da absorção de água do bloco feito da mistura solo-lodo. Para este ensaio foi usado a NBR 13555(1996) com adequações, utilizando dois CP'S (quantidade mínima definida por norma).

O Processo inicia-se com a cura por um período de 7 dias, passado este tempo os corpos de prova foram para estufa (Figura 3.22) por 24h, em seguida foram feitas pesagens a cada intervalo de 1h até que os corpos de prova apresentassem massa constante. Com os blocos secos é possível obter a massa seca (m_1) em gramas, em seguida esses corpos de prova são imersos em água por 24h (Figura 3.23), ao passar o tempo recomendado por norma, retira-se os CP's do recipiente onde estavam submersos e dentro de um intervalo de 3 min, eles são enxugados com um pano úmido superficialmente e pesados, onde será obtida a massa úmida (m_2), dispondo destes dados utiliza-se a formula a seguir usando a média dos dois corpos de prova:

$$A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100\% \quad (1)$$

Figura 3.22 - Secagem dos CP's em estufa



Fonte: Elaborada pelos autores

Figura 3.23 - CP's submersos



Fonte: Elaborada pelos autores

4. RESULTADOS

Neste capítulo serão discutidos os resultados dos experimentos propostos no capítulo anterior, buscando esclarecer como a mistura solo-lodo se comporta nas diferentes proporções, de forma a encontrar resultados que enquadrem os CP'S nas normas de solo-cimento.

4.1. ENSAIOS DE LIMITES DE ATTERBERG

Os Ensaios dos limites de consistência foram realizados seguindo as recomendações da NBR 6459(1984) e NBR 7180(1984) para determinação do limite de liquidez e de plasticidade, respectivamente. Para as porcentagens de adição de lodo de 50%, 25%, 15%, 12%, 9%, 7% e 0%, todos os ensaios foram acompanhados por técnicos do laboratório de solos e instrumentalização da UFPE e estão apresentados a seguir.

Tabela 4.1 - Limite de Plasticidade da Argila com 50% de Lodo

LIMITE DE PLASTICIDADE DA ARGILA COM 50% DE LODO							
CÁPSULA	N°	73	27	44	20	12	100
PESO BRUTO ÚMIDO	(g)	7,97	5,77	5,06	6,33	5,77	5,80
PESO BRUTO SECO	(g)	7,39	5,26	4,46	5,69	5,26	5,28
PESO DA CÁPSULA	(g)	5,81	3,84	2,80	4,00	3,83	3,90
PESO DA ÁGUA	(g)	0,58	0,51	0,60	0,64	0,51	0,52
PESO DO SOLO SECO	(g)	1,58	1,42	1,66	1,69	1,43	1,38
UMIDADE	(%)	36,71%	35,92%	36,14%	37,87%	35,66%	37,68%

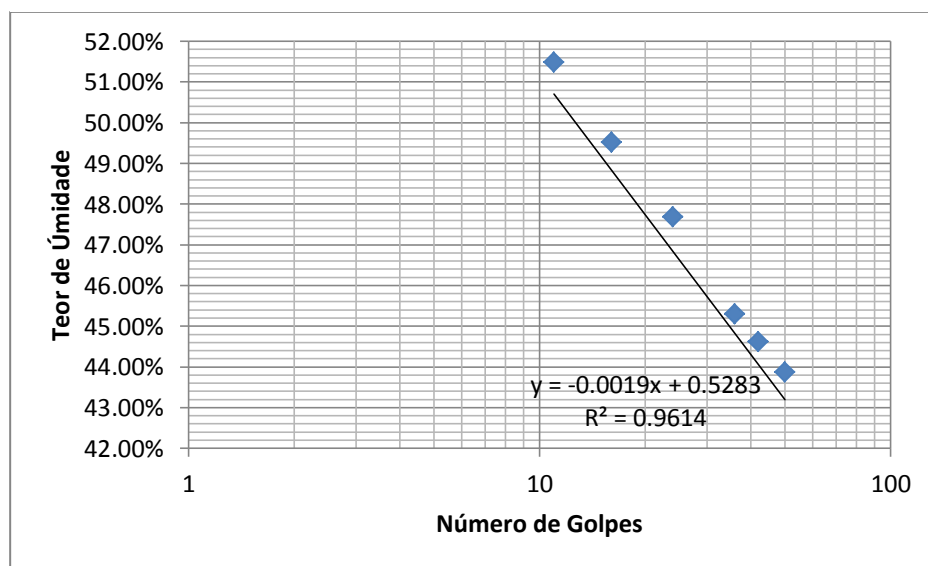
Fonte: Elaborada pelos autores

Tabela 4.2 - Limite de Liquidez da Argila com 50% de Lodo

LIMITE DE LIQUIDEZ DA ARGILA COM 50% DE LODO							
CÁPSULA	N°	36	81	75	dois	6	191
GOLPES	N°	50	42	36	24	16	11
PESO BRUTO ÚMIDO	(g)	23,83	26,39	24,91	26,07	24	23,95
PESO BRUTO SECO	(g)	18,53	20,62	19,27	20,1	18,27	17,89
PESO DA CÁPSULA	(g)	6,45	7,69	6,82	7,58	6,7	6,12
PESO DA ÁGUA	(g)	5,3	5,77	5,64	5,97	5,73	6,06
PESO DO SOLO SECO	(g)	12,08	12,93	12,45	12,52	11,57	11,77
UMIDADE	(%)	43,87%	44,62%	45,30%	47,68%	49,52%	51,49%

Fonte: Elaborada pelos autores

Figura 4.1 - Quadro Resumo dos Limites de Consistência da Argila com 50% de Lodo



LP=	37%
LL=	48%
IP=	11%

Fonte: Elaborada pelos autores

Tabela 4.3 - Limite de Plasticidade da Argila com 25% de Lodo

LIMITE DE PLASTICIDADE DA ARGILA COM 25% DE LODO							
CÁPSULA	Nº	20	69	12	84	100	88
PESO BRUTO ÚMIDO	(g)	6,75	5,95	6,82	7,09	6,74	5,55
PESO BRUTO SECO	(g)	6,21	5,42	6,19	6,32	6,13	5,01
PESO DA CÁPSULA	(g)	3,99	3,34	3,84	3,51	3,87	2,96
PESO DA ÁGUA	(g)	0,54	0,53	0,63	0,77	0,61	0,54
PESO DO SOLO SECO	(g)	2,22	2,08	2,35	2,81	2,26	2,05
UMIDADE	(%)	24,32%	25,48%	26,81%	27,40%	26,99%	26,34%

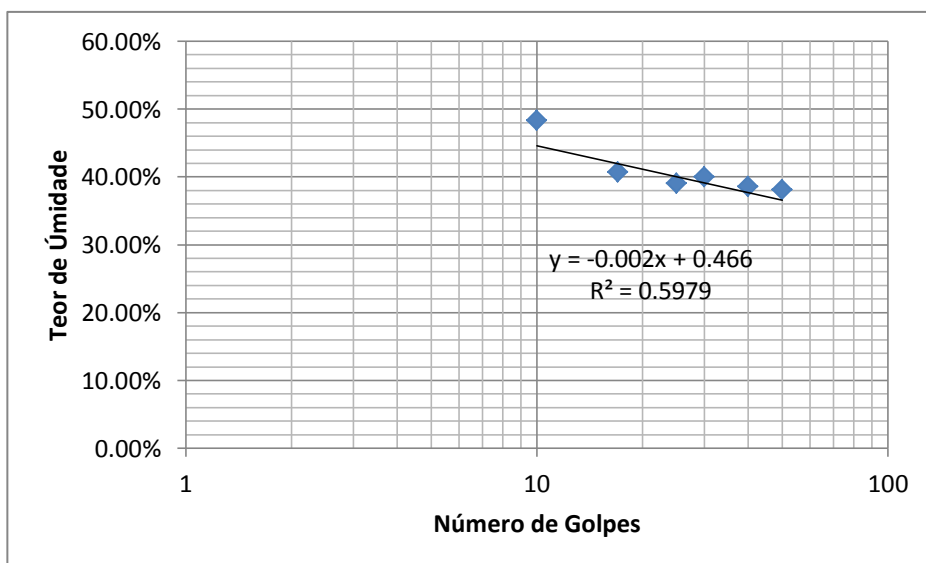
Fonte: Elaborada pelos autores

Tabela 4.4 - Limite de Liquidez da Argila com 25% de Lodo

LIMITE DE LIQUIDEZ DA ARGILA COM 25% DE LODO							
CÁPSULA	Nº	3	75	81	82	2	74
GOLPES	Nº	50	40	30	25	17	10
PESO BRUTO ÚMIDO	(g)	26,06	22,3	29,88	29,42	26,83	23,5
PESO BRUTO SECO	(g)	20,6	17,99	23,54	23,23	21,27	17,74
PESO DA CÁPSULA	(g)	6,3	6,82	7,71	7,41	7,63	5,84
PESO DA ÁGUA	(g)	5,46	4,31	6,34	6,19	5,56	5,76
PESO DO SOLO SECO	(g)	14,3	11,17	15,83	15,82	13,64	11,9
UMIDADE	(%)	38,18%	38,59%	40,05%	39,13%	40,76%	48,40%

Fonte: Elaborada pelos autores

Figura 4.2 - Quadro Resumo dos Limites de Consistência da Argila com 25% de Lodo



LP=	26%
LL=	42%
IP=	15%

Fonte: Elaborada pelos autores

Tabela 4.5 - Limite de Plasticidade da Argila com 15% de Lodo

LIMITE DE PLASTICIDADE DA ARGILA COM 15% DE LODO							
CÁPSULA	N°	90	12	84	88	69	100
PESO BRUTO ÚMIDO	(g)	7,62	6,40	5,90	5,50	6,25	6,10
PESO BRUTO SECO	(g)	6,80	5,79	5,39	4,85	5,55	5,68
PESO DA CÁPSULA	(g)	3,74	3,84	3,51	2,99	3,35	3,88
PESO DA ÁGUA	(g)	0,82	0,61	0,51	0,65	0,70	0,42
PESO DO SOLO SECO	(g)	3,06	1,95	1,88	1,86	2,20	1,80
UMIDADE	(%)	26,80%	31,28%	27,13%	34,95%	31,82%	23,33%

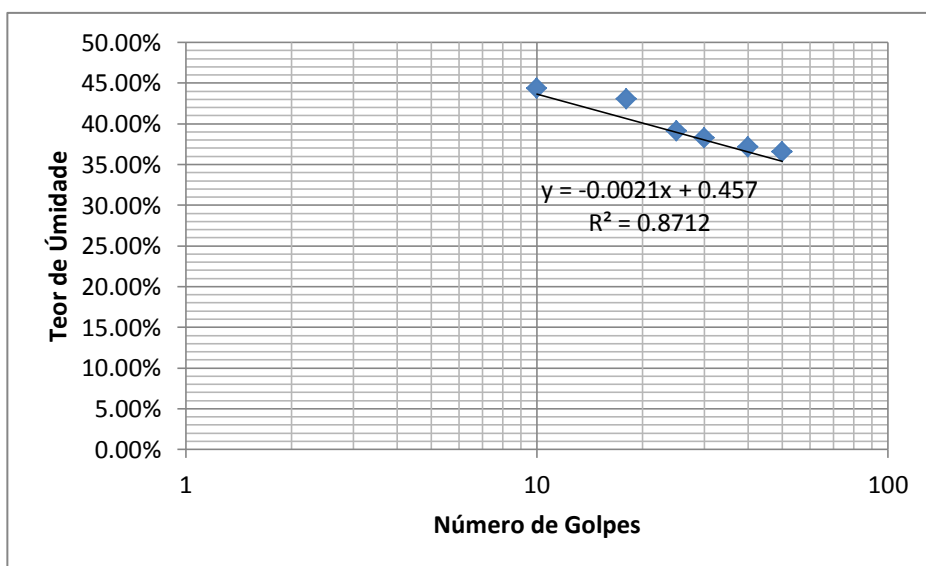
Fonte: Elaborada pelos autores

Tabela 4.6 - Limite de Liquidez da Argila com 15% de Lodo

LIMITE DE LIQUIDEZ DA ARGILA COM 15% DE LODO							
CÁPSULA	N°	2	3	6	50A	74	101
GOLPES	N°	50	40	30	25	18	10
PESO BRUTO ÚMIDO	(g)	26,11	26,04	26,28	26,34	25,03	24,99
PESO BRUTO SECO	(g)	21,16	20,69	20,86	21,03	19,26	19,32
PESO DA CÁPSULA	(g)	7,62	6,3	6,7	7,46	5,86	6,54
PESO DA ÁGUA	(g)	4,95	5,35	5,42	5,31	5,77	5,67
PESO DO SOLO SECO	(g)	13,54	14,39	14,16	13,57	13,4	12,78
UMIDADE	(%)	36,56%	37,18%	38,28%	39,13%	43,06%	44,37%

Fonte: Elaborada pelos autores

Figura 4.3 - Quadro Resumo dos Limites de Consistência da Argila com 15% de Lodo



LP=	29%
LL=	40%
IP=	11%

Fonte: Elaborada pelos autores

Tabela 4.7 - Limite de Plasticidade da Argila com 12% de Lodo

LIMITE DE PLASTICIDADE DA ARGILA COM 12% DE LODO							
CÁPSULA	N°	90	100	84	69	12	88
PESO BRUTO ÚMIDO	(g)	6,53	6,20	6,04	5,97	6,94	5,39
PESO BRUTO SECO	(g)	6,03	5,77	5,58	5,45	6,30	4,95
PESO DA CÁPSULA	(g)	3,77	3,86	3,50	3,33	3,82	2,96
PESO DA ÁGUA	(g)	0,50	0,43	0,46	0,52	0,64	0,44
PESO DO SOLO SECO	(g)	2,26	1,91	2,08	2,12	2,48	1,99
UMIDADE	(%)	22,12%	22,51%	22,12%	24,53%	25,81%	22,11%

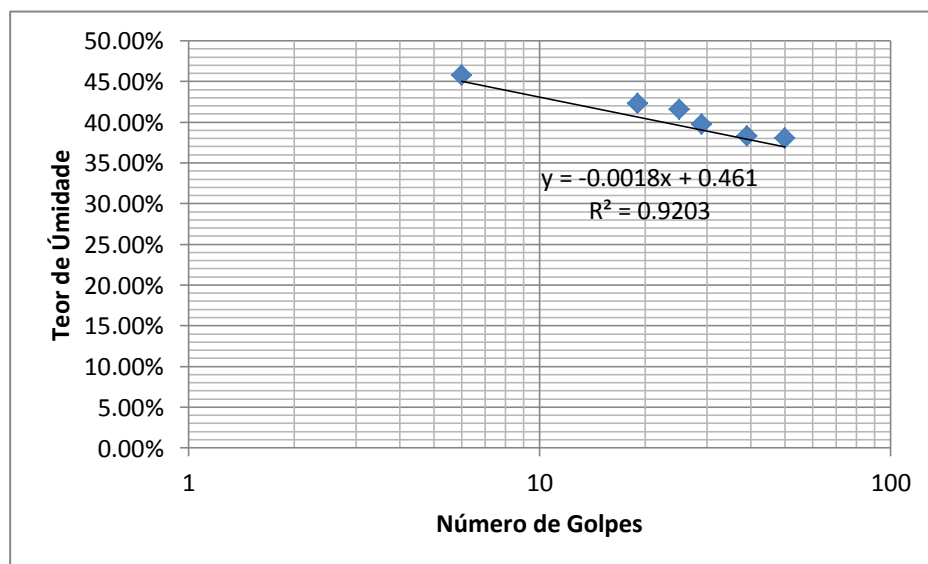
Fonte: Elaborada pelos autores

Tabela 4.8 - Limite de Liquidez da Argila com 12% de Lodo

LIMITE DE LIQUIDEZ DA ARGILA COM 12% DE LODO							
CÁPSULA	N°	3	101	74	50A	2	6
GOLPES	N°	50	39	29	25	19	6
PESO BRUTO ÚMIDO	(g)	26	25,84	23,35	23,27	24	28,42
PESO BRUTO SECO	(g)	20,57	20,5	18,37	18,62	19,13	21,59
PESO DA CÁPSULA	(g)	6,3	6,56	5,86	7,44	7,62	6,69
PESO DA ÁGUA	(g)	5,43	5,34	4,98	4,65	4,87	6,83
PESO DO SOLO SECO	(g)	14,27	13,94	12,51	11,18	11,51	14,9
UMIDADE	(%)	38,05%	38,31%	39,81%	41,59%	42,31%	45,84%

Fonte: Elaborada pelos autores

Figura 4.4 - Quadro Resumo dos Limites de Consistência da Argila com 12% de Lodo



LP=	23%
LL=	42%
IP=	18%

Fonte: Elaborada pelos autores

Tabela 4.9 - Limite de Plasticidade da Argila com 9% de Lodo

LIMITE DE PLASTICIDADE DA ARGILA COM 9% DE LODO							
CÁPSULA	N°	100	88	12	84	90	69
PESO BRUTO ÚMIDO	(g)	6,30	5,13	6,23	5,92	5,79	5,96
PESO BRUTO SECO	(g)	5,85	4,75	5,78	5,49	5,41	5,48
PESO DA CÁPSULA	(g)	3,85	2,97	3,84	3,51	3,75	3,31
PESO DA ÁGUA	(g)	0,45	0,38	0,45	0,43	0,38	0,48
PESO DO SOLO SECO	(g)	2,00	1,78	1,94	1,98	1,66	2,17
UMIDADE	(%)	22,50%	21,35%	23,20%	21,72%	22,89%	22,12%

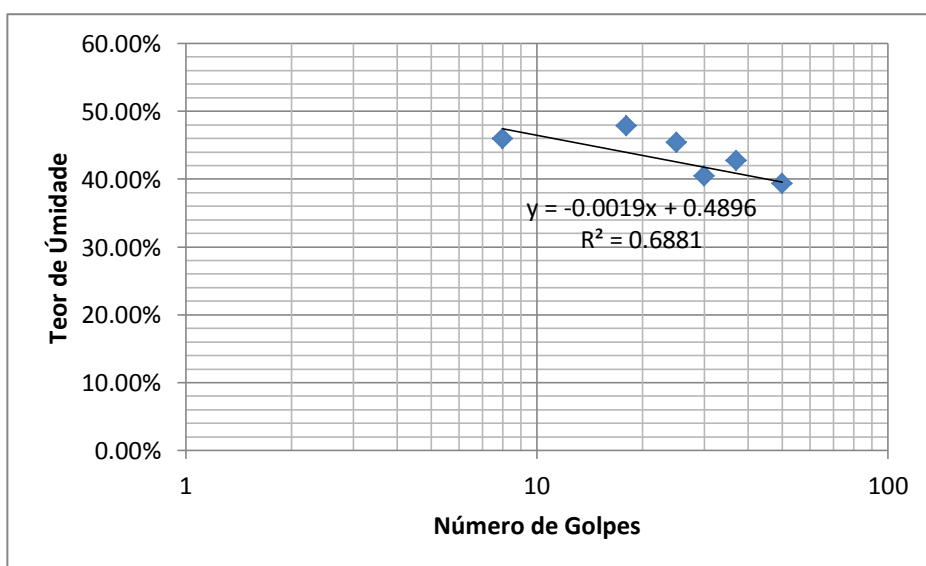
Fonte: Elaborada pelos autores

Tabela 4.10 - Limite de Liquidez da Argila com 9% de Lodo

LIMITE DE LIQUIDEZ DA ARGILA COM 9% DE LODO							
CÁPSULA	N°	50A	74	3	2	6	101
GOLPES	N°	50	37	30	25	18	8
PESO BRUTO ÚMIDO	(g)	21,15	19,88	25,79	21,45	21,57	28,13
PESO BRUTO SECO	(g)	17,28	15,68	20,17	17,13	16,76	21,33
PESO DA CÁPSULA	(g)	7,45	5,87	6,29	7,63	6,71	6,56
PESO DA ÁGUA	(g)	3,87	4,2	5,62	4,32	4,81	6,8
PESO DO SOLO SECO	(g)	9,83	9,81	13,88	9,5	10,05	14,77
UMIDADE	(%)	39,37%	42,81%	40,49%	45,47%	47,86%	46,04%

Fonte: Elaborada pelos autores

Figura 4.5 - Quadro Resumo dos Limites de Consistência da Argila com 9% de Lodo



LP=	22%
LL=	44%
IP=	22%

Fonte: Elaborada pelos autores

Tabela 4.11 - Limite de Plasticidade da Argila com 7% de Lodo

LIMITE DE PLASTICIDADE DA ARGILA COM 7% DE LODO							
CÁPSULA	N°	20	28	18	54	77	77 ^a
PESO BRUTO ÚMIDO	(g)	6,53	6,99	5,50	6,78	6,30	6,70
PESO BRUTO SECO	(g)	6,08	6,45	5,00	6,32	5,76	6,22
PESO DA CÁPSULA	(g)	3,98	3,83	2,76	4,07	3,24	3,98
PESO DA ÁGUA	(g)	0,45	0,54	0,50	0,46	0,54	0,48
PESO DO SOLO SECO	(g)	2,10	2,62	2,24	2,25	2,52	2,24
UMIDADE	(%)	21,43%	20,61%	22,32%	20,44%	21,43%	21,43%

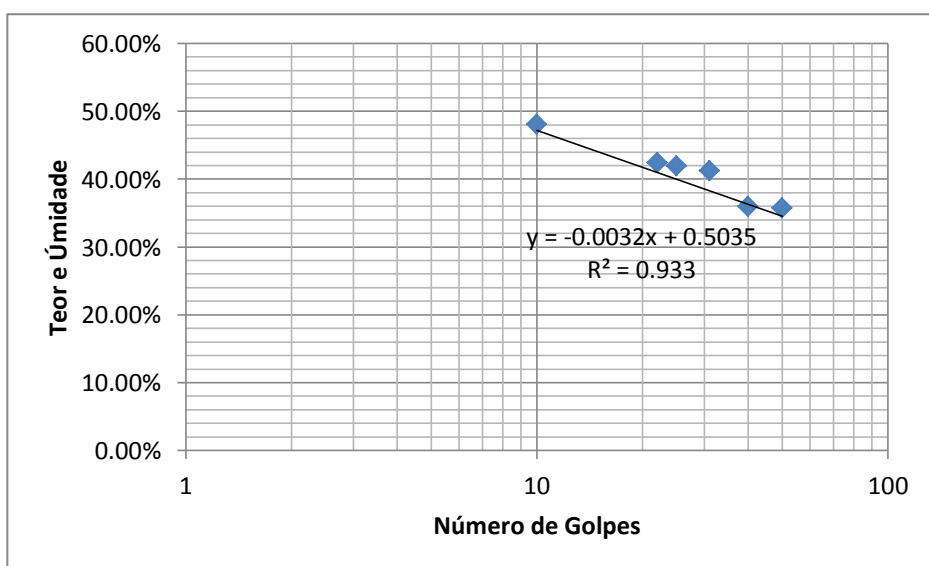
Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 4.12 - Limite de Liquidez da Argila com 7% de Lodo

LIMITE DE LIQUIDEZ DA ARGILA COM 7% DE LODO							
CÁPSULA	N°	82	55	41	94	14	80
GOLPES	N°	50	40	31	25	22	10
PESO BRUTO ÚMIDO	(g)	20,77	20,17	18,18	19,02	23,03	16,4
PESO BRUTO SECO	(g)	17,24	16,78	14,99	15,54	18,41	13,15
PESO DA CÁPSULA	(g)	7,38	7,36	7,27	7,25	7,53	6,4
PESO DA ÁGUA	(g)	3,53	3,39	3,19	3,48	4,62	3,25
PESO DO SOLO SECO	(g)	9,86	9,42	7,72	8,29	10,88	6,75
UMIDADE	(%)	35,80%	35,99%	41,32%	41,98%	42,46%	48,15%

Fonte: Elaborada pelos autores

Figura 4.6 - Quadro Resumo dos Limites de Consistência da Argila com 7% de Lodo



LP=	21%
LL=	42%
IP=	21%

Fonte: Elaborada pelos autores

Tabela 4.13 - Limite de Plasticidade da Argila Pura

LIMITE DE PLASTICIDADE DA ARGILA PURA							
CÁPSULA	N°	77A	77	18	54	28	20
PESO BRUTO ÚMIDO	(g)	7,12	5,80	5,69	6,50	6,52	6,65
PESO BRUTO SECO	(g)	6,53	5,36	5,18	6,08	6,07	6,18
PESO DA CÁPSULA	(g)	3,97	3,24	2,76	4,07	3,83	3,98
PESO DA ÁGUA	(g)	0,59	0,44	0,51	0,42	0,45	0,47
PESO DO SOLO SECO	(g)	2,56	2,12	2,42	2,01	2,24	2,20
UMIDADE	(%)	23,05%	20,75%	21,07%	20,90%	20,09%	21,36%

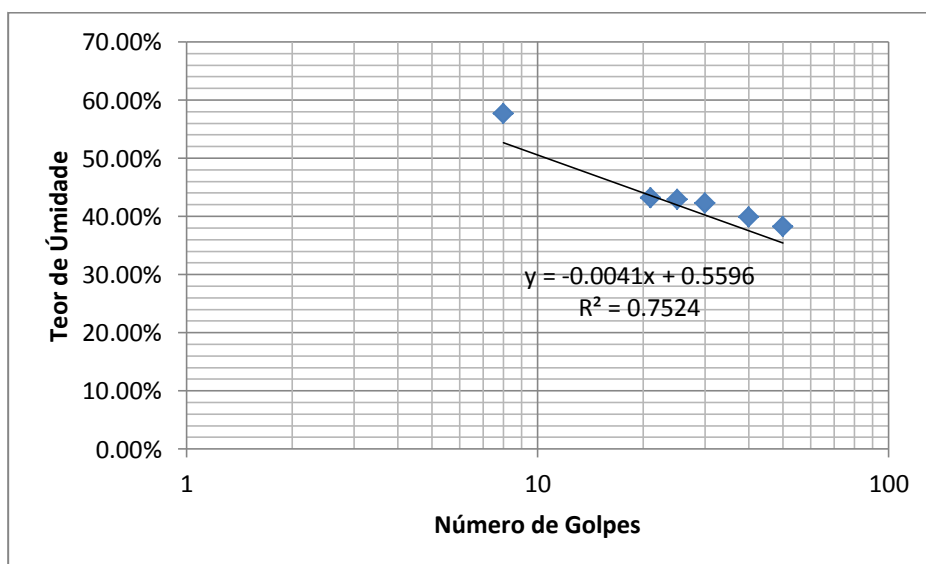
Fonte: Elaborada pelos autores

Tabela 4.14 - Limite de Liquidez da Argila Pura

LIMITE DE LIQUIDEZ DA ARGILA PURA							
CÁPSULA	N°	41	82	55	14	80	94
GOLPES	N°	50	40	30	25	21	8
PESO BRUTO ÚMIDO	(g)	24,85	24,66	25,9	24,45	24,94	32,68
PESO BRUTO SECO	(g)	19,99	19,74	20,4	19,37	19,35	23,38
PESO DA CÁPSULA	(g)	7,29	7,42	7,39	7,54	6,42	7,27
PESO DA ÁGUA	(g)	4,86	4,92	5,5	5,08	5,59	9,3
PESO DO SOLO SECO	(g)	12,7	12,32	13,01	11,83	12,93	16,11
UMIDADE	(%)	38,27%	39,94%	42,28%	42,94%	43,23%	57,73%

Fonte: Elaborada pelos autores

Figura 4.7 - Quadro Resumo dos Limites de Consistência da Argila Pura

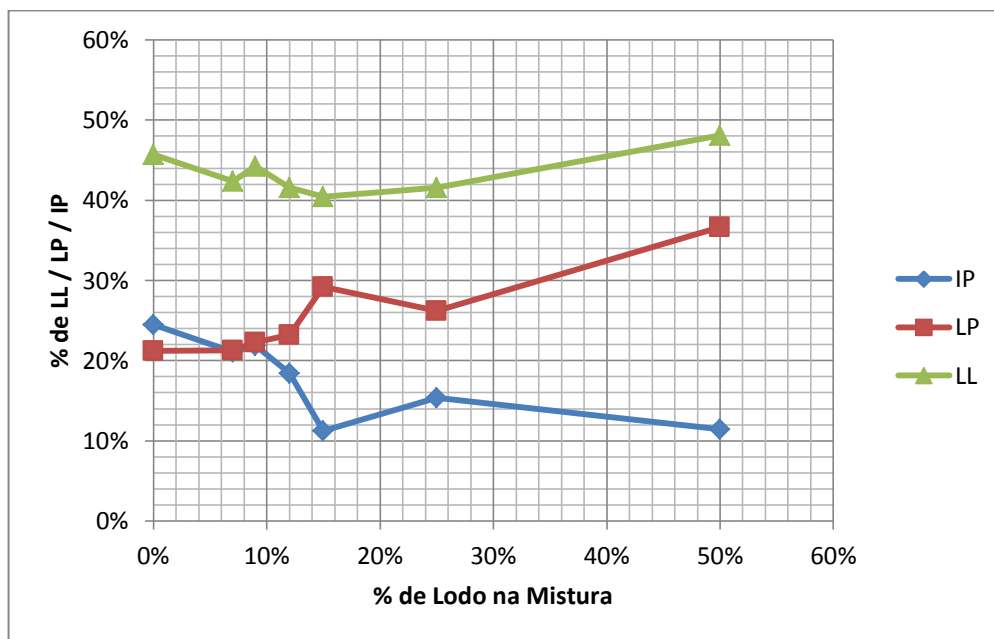


LP=	21%
LL=	45%
IP=	25%

Fonte: Elaborada pelos autores

Desta feita, dispondo-se destes dados foi possível elaborar um gráfico resumo analisando o comportamento destes limites com o aumento da quantidade de lodo em relação a argila pura.

Figura 4.8 - Comparação dos Limites de Consistência



Fonte: Elaborada pelos autores

Ao observar o gráfico é possível fazer algumas inferências como: a argila coletada da cerâmica Camaragibe sem adição de qualquer aglomerante não se enquadra a NBR 10833(1989)– Fabricação de tijolo maciço e bloco vazado de solo-cimento com utilização de prensa hidráulica. Esta norma determina que o limite de liquidez (LL) e índice de plasticidade (IP) sejam menores ou iguais a 45% e 18% respectivamente. Apesar do LL se enquadrar nas condições determinadas, ou seja, o bloco possui facilidade em ser moldado sem perder sua estrutura após a moldagem, o IP ficou acima do limite podendo-se concluir que possui uma capacidade de ser compressível acima do indicado.

Não obstante, faz-se necessário salientar que devido ao lodo da ETA – Pirapama ser um material orgânico, com o aumento da adição do mesmo na argila o IP tende a diminuir, pois o valor do LP é elevado, sem elevar na mesma proporção o valor do LL. Com isso o material passa a se enquadrar aos padrões de referência a partir da adição de 12% de lodo até 25%, voltando a não ser enquadrado dentro da

adição de 50%. A Partir destes resultados foram definidos as porcentagens de moldagem dos corpos de prova: 25%, 15%, 12%, 7% e 0% de adição de lodo em massa.

Cumprir destacar, que tais valores foram escolhidos tendo em vista a faixa de parâmetros segundo a norma brasileira sobre o quesito de limite de consistência. Para uma maior compreensão sobre o comportamento da mistura com o acréscimo de lodo, buscou-se também, uma porcentagem que não foi enquadrada e com um teor menor de lodo (7%), além da referência da argila (0%), de modo a possuir uma análise gráfica mais compreensiva e um melhor entendimento sobre o comportamento do bloco com o aumento do teor de lodo.

É possível observar que, baseando-se exclusivamente nos limites de consistência, graficamente podemos definir que a maior porcentagem de lodo permitida na mistura é de 40%, pois em termos estimativos temos $LL=44\%$, $LP=33\%$ e $IP=11\%$.

4.2. ENSAIOS DE DETERMINAÇÃO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

O ensaio foi realizado seguindo a metodologia da NBR 13555(1996) com adequações devido ao diferente tipo de materiais e diferentes dimensões do CP's. Os blocos com as porcentagens definidas no item anterior foram ensaiados e os resultados estão listados na Tabela 4.15, para o qual foi determinado o valor da absorção de água "Ab", de cada corpo de prova expresso em porcentagem fazendo uso das equações pré-definidas pela norma, e, em seguida calculadas o valor da absorção de água média para cada traço:

Tabela 4.15 - Absorção de água para as variações de adição de lodo

TAXA DE ABSORÇÃO DE ÁGUA					
% DE LODO	AMOSTRAGEM	m1	m2	Ab(%)	Abmed(%)
25%	I	146,91	175,88	20%	20%
	II	144,66	174,65	21%	
15%	I	155,1	181,27	17%	17%
	II	152,37	177,04	16%	
12%	I	147,34	173,3	18%	16%
	II	152,15	173,85	14%	

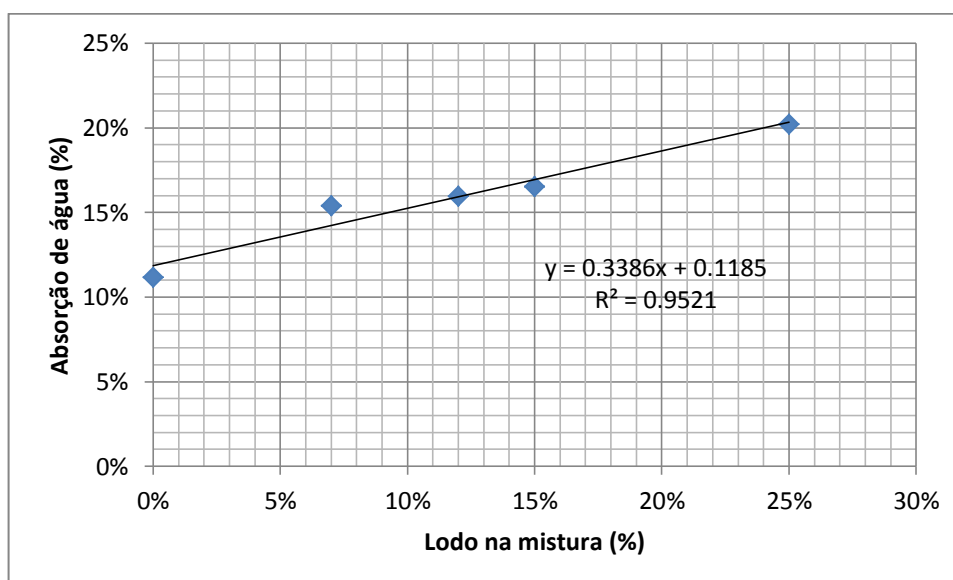
7%	I	157,58	182,58	16%	15%
	II	156,78	180,16	15%	
0%	I	163,22	180,87	11%	11%
	II	163,29	182,1	12%	

Fonte: Elaborada pelos autores

É Possível inferir que os resultados foram satisfatórios tendo em vista que para as diversas porcentagens de adição de lodo na mistura todas se enquadraram aos padrões das normas. Desta feita, segundo a NBR 10834(1989) os valores individuais de absorção de água de cada corpo de prova não devem exceder 22% enquanto os valores médios não devem ultrapassar 20%, enquadrando todas as amostragens dentro da norma.

A Figura 4.9 mostra o comportamento da mistura em relação ao valor de absorção de água com o acréscimo da quantidade de lodo na mistura, podendo afirmar que ao se adicionar lodo ao material aumenta-se a capacidade de absorção de água dos CP'S

Figura 4.9 - Comportamento da absorção de agua com aumento da quantidade de lodo na mistura



Fonte: Elaborada pelos autores

5. DISCUSSÃO

Este capítulo possui como principal função mostrar uma objetiva consideração dos resultados expostos em face do projeto.

5.1. DISCUSSÃO SOBRE O MATERIAL ESTUDADO

O Material apresentado possui como objetivo a definição da proporção ideal de adição de lodo de ETA's para fabricação de blocos cerâmicos, sendo avaliados 2 parâmetros principais: Os limites de Atterberg e a taxa de absorção de água. Devido à carência de normas práticas deste assunto específico, as referências foram tomadas como base as normas de blocos cerâmicos de solo-cimento, em alguns casos esta adequação não é rigorosamente correta, como por exemplo a cura de 7 dias dos corpos de prova, onde a norma estabelece este prazo devido ao cimento presente no corpo de prova que precisa de um tempo adequado de cura (tempo de cura do concreto), situação que não esta presente no projeto, mas que em geral não devem ter afetado os resultados.

5.2. DISCUSSÃO SOBRE O ENSAIO DOS LIMITES DE CONSISTÊNCIA

Analisando os Limites de Atterbeg, já era esperada a influência que o lodo teria sobre a argila, tendo em vista que Caputo (1996) já mencionava em sua obra a influencia de matéria orgânica nestes índices. Tomando como base os valores de LL, LP e IP da argila da Indústria Cerâmica Camaragibe, percebe-se que o lodo pode funcionar como regulador desses índices fazendo com que o material se enquadre nas normas. No caso da argila em questão, através de análise gráfica é possível estabelecer que a adição de até 40% de Lodo manteria a argila dentro dos padrões pré-estabelecidos por norma (sem levar em consideração possíveis alterações na resistência característica e na taxa de absorção de água). Um estudo

com adição variando entre 25% a 40% seria de grande importância para este projeto.

5.3. DISCUSSÃO SOBRE A MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA

No processo de moldagem dos corpos de prova o material passou por uma série de tratamentos como: secagem, trituração e peneiramento. Estes processos muito provavelmente não seriam executados a risca em uma operação de escala industrial, havendo assim que ser feitas algumas observações da utilização do lodo nestes casos, como por exemplo: a necessidade da secagem do lodo, tendo em vista que o mesmo é um material que após ser retirado das lagoas de despejo se apresentam com um alto nível de umidade. Para execução em grande escala a secagem de todo o material se faria inviável, recorrendo então a mistura do lodo úmido a argila, o que acarretaria em uma menor taxa de adição de água na mistura antes do processo de moldagem.

É Importante mencionar também o fato da temperatura de queima ter uma influência nos resultado de absorção de água, pois como o lodo substitui a argila na mistura, supõe-se que ao aumentar a temperatura de queima os poros gerados pelo lodo sejam fechados.

5.4. DISCUSSÃO SOBRE A DIMENSÃO DOS CORPOS DE PROVA

A Dimensão dos corpos de prova limitava a sua utilização em relação aos ensaios normativos, sendo possível apenas a utilização do ensaio de absorção de água, pois o mesmo não se apresentaria de forma divergente de um bloco de proporções normais. Entretanto para outros ensaios citados em norma, como por exemplo: ensaio de resistência mecânica, os corpos de prova não se adequariam a execução devido a sua superfície de contato ser diferente das dos blocos padrões, ocasionando um resultado fora dos parâmetros indicados. Para tal ensaio seria

necessário à moldagem de corpos de prova em dimensões padrões ou uma adequação do peso solicitante, que poderiam ser estudados em um posterior projeto.

5.5. DISCUSSÃO SOBRE O ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

É possível observar que a adição do lodo da ETA – Pirapama na mistura para fabricação de blocos cerâmicos acarreta em um aumento do teor de absorção de água, pois o lodo substitui material argiloso, que normalmente calcina ao ser levado ao forno. Com bases nos parâmetros estabelecidos no projeto à adição de lodo máxima permitida seja de 25% de lodo, o que deve ser bastante representativo para outras argilas e lodos de outras ETA's.

5.6. PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

Para pesquisas posteriores, são sugeridos os seguintes estudos:

- Considerar outros ensaios na caracterização da mistura solo-lodo, tais como: Ensaio de granulometria, para determinação da curva granulométrica; Compactação, para determinação da máxima densidade seca e umidade ótima das argila; Ensaio Edométrico, para determinação da expansão livre mostrada pelo material aos 7 dias da moldagem.
- Realização do experimento variando a época da retirada de Lodo e variando a estação de tratamento de água, para saber a influência que os corpos de prova sofreriam.
- Variar também a argila, utilizando materiais de várias cerâmicas diferentes, a definir possíveis erros de adequação do lodo.
- Moldagem de corpos de prova em tamanhos reais, para execução de ensaios de resistência sem maiores dificuldades.
- Uma análise do processo de fabricação destes tijolos em escala industrial, analisando possíveis mudanças nos processos construtivas

- Utilização de aditivos corretivos na mistura solo-lodo de modo a manter o bloco cerâmico dentro dos padrões normativos e utilizando uma maior porcentagem de lodo
- Observar viabilidade econômica em termos quantitativos de benefício para a Indústria Cerâmica e para a companhia de tratamento de água, inclusive com estudos logísticos.

6. CONCLUSÃO

Buscou-se Inicialmente neste projeto encontrar um valor ideal de adição de lodo na mistura de blocos cerâmicos, visto que a carência de normas vigentes sobre o tema, as referências tiveram que ser tomadas a partir das normas de blocos de solo-cimento, onde procurou-se primeiramente a verificação enquanto aos índices de consistência definidos pela NBR 10833/1989. Dentre as variações de adição de lodo estudadas foi possível definir a máxima quantidade de lodo que manteria o material com o LP, LL e IP dentro dos padrões normativos como sendo 40% de lodo em massa na amostra, pois através de resultados estimativos é possível prever que essa porcentagem geraria uma amostra que teria LL=44%, LP=33% e IP=11%.

Os resultados encontrados nos ensaios de absorção de água definidos pela NBR 13555(1996) mostraram que ao aumentar a quantidade de lodo na fabricação de blocos cerâmicos os valores da absorção de água aumentavam. Analisando esse critério foi possível definir a máxima capacidade de lodo na amostra como sendo de 25%, pois a essa porcentagem a absorção média é de 20%, o que é o limite definido em norma.

Baseado nesses ensaios é possível concluir que é viável a utilização de lodos de ETA para fabricação de blocos cerâmicos desde que o material seja utilizado em até 25% de massa. Vale salientar que alguns outros parâmetros normativos não foram analisados, tais como a resistência característica do bloco, este parâmetro não foi avaliado devido a dificuldade de adequações que deveriam ser feitas em relação ao tamanho do corpo de prova

7. REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-6459**: Solo – Determinação do limite de Liquidez – Método de ensaio. 1984.6 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-7180**: Solo – Determinação do limite de Plasticidade – Método de ensaio. 1984.3 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10832**: Fabricação de tijolo maciço de solo-cimento com a utilização de prensa manual – Procedimento. 1989. 3 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10833**: Fabricação de tijolo maciço e bloco vazado de solo – cimento com a utilização de prensa hidráulica – Procedimento. 1989. 3 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10834**: Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural– Especificação. 1994. 3 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13555**: Solo-cimento – Determinação da absorção d’água - Método de ensaio. 1996. 1 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12024**: Solo-cimento – Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos. – Método de Ensaio. 1992. 5 p.
- Baruzzo, D. et al. **Possible production of ceramic tiles from marine dredging spoils alone and mixed with other waste materials**. Journal of Hazardous Materials B134(2006) p.202–210.
- CARVALHO, E. F. P. Apostila da Disciplina MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO. Dissertação (Apostila), UFOP, Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais. 2008. 156 p. Disponível em:<
<http://www.em.ufop.br/deciv/departamento/~guilherme/Apostila%20CIV238%20-%2009.PDF>> Acesso em: 11 de Ago. 2014.
- CAPUTO, H.P. **Mecânica dos solos e suas aplicações, Vol.1-Fundamentos**. Rio de Janeiro: LTC, 1988. 234 p.
- Haiyinga, Z.; Youcaib, Z.; Jingyu, Q. **Study on use of MSWI fly ash in ceramic tile**. Journal of Hazardous Materials. 2006. No preio.
- Heler, L.; Lúcio, V.P. **Abastecimento de água para consumo humano, Vol. 2**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010. p. 531-577.
- NORTON, F.H. **Introdução à tecnologia cerâmica**. Tradução de Jefferson Vieira de Souza. São Paulo: Edgard Blücher, 1973. Título original: Elements of ceramics.
- PAIXÃO, L. C. C. **Aproveitamento de lodo de estação de tratamento de água em cerâmica vermelha**. 2005. Dissertação (Mestrado), REDEMAT, Ouro Preto, 2005. 125 p.

PROSAB – Programa de Pesquisas em Saneamento Básico - PROSAB 2 – TEMA IV: **Aproveitamento do Lodo Gerado em Estações de Tratamento de Água e Esgotos Sanitários, Inclusive com a Utilização de Técnicas Consorciadas com Resíduos Sólidos Urbanos**. 2001. Curitiba: SANEPAR, UEL, UFRGS, UFPb, UNISINOS, UFSCar, UFES. 257 p.

RODRIGUES, M. L. A. **Adição de resíduos de argamassa mistas na produção de tijolos modulares de solo-cimento**. Dissertação (Mestrado), UFG, Escola de Engenharia Civil, Goiás. 2008. 105 p. Disponível em: <http://bdtd.ufg.br/tedesimplificado/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=183> Acesso em: 11 de Ago. 2014.

Santos, P.S. **Tecnologia de Argilas aplicadas às argilas brasileiras, Vol.2-Fundamentos**. São Paulo: Edgar Blücher, 1975, p. 17, 392 – 397.

Santos, P.S. **Tecnologia de Argilas aplicadas às argilas brasileiras, Vol.1-Fundamentos**. São Paulo: Edgar Blücher, 1975. p. 1 - 15, 19 - 27, 153 - 157, 164, 165, 170, 173, 176 - 185, 189 – 203.

Souza, C.P. **Curso Básico de Mecânica dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 354 p.

Vieira, C.M.F. et al. Incorporation of fine steel sludge waste into red ceramic. Materials Science and Engineering. A 427 (2006) p.142–147.

25º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, VI, 2009, Recife. COMPESA. **Utilização do lodo de estação de tratamento de água na indústria cerâmica**. ABES, 2009.

26º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, III, 2011, Porto Alegre. COMPESA. **Utilização de lodo de ETA na produção de blocos cerâmicos – Escala Industrial**. ABES, 2011.