



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

Romildo Ferreira dos Santos

VIABILIDADE DE REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS CLASSE A DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DO LODO DA ETA 006 PARA PRODUÇÃO DE TIJOLOS ECOLÓGICOS

Palmas – TO

2017

Romildo Ferreira dos Santos

VIABILIDADE DE REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS CLASSE A DA
CONSTRUÇÃO CIVIL E DO LODO DA ETA 006 PARA PRODUÇÃO DE TIJOLOS
ECOLÓGICOS

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. M.e Mênfis Bernardes Alves

Palmas – TO

2017

Romildo Ferreira dos Santos

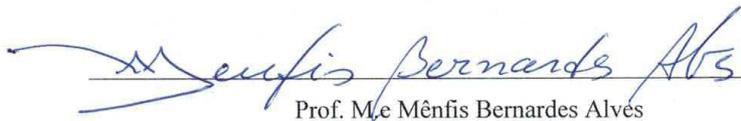
VIABILIDADE DE REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS CLASSE A DA
CONSTRUÇÃO CIVIL E DO LODO DA ETA 006 PARA PRODUÇÃO DE TIJOLOS
ECOLÓGICOS

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e
apresentado como requisito parcial para obtenção do
título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro
Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. M.e Mênfis Bernardes Alves

Aprovado em: 13/11/2017

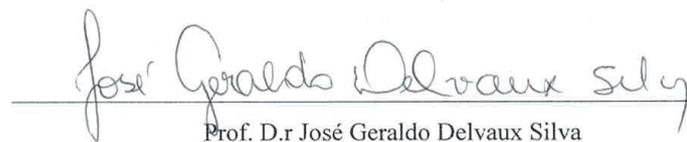
BANCA EXAMINADORA


Prof. M.e Mênfis Bernardes Alves

Orientador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP


Prof. M.e Carlos Spartacus da Silva Oliveira
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP


Prof. D.r José Geraldo Delvaux Silva
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO

2017

Dedico este trabalho aos meus pais Domingos Ferreira dos Santos e Aparecida das Dores Pinto dos Santos, e aos meus irmãos Mônica Ferreira dos Santos, Rones Wildo Ferreira dos Santos e Eliane Ferreira dos Santos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela vida, por ter me dado força, coragem e perseverança para chegar até aqui;

A minha família, por me incentivarem o tempo todo e me dando forças para concluir o curso. Além do esforço que fizeram para me custear e manter aqui;

A minha irmã Eliane, por toda paciência e compreensão durante esse tempo. Por ter me ajudado nas ideias e correções desse trabalho;

A minha amiga Wirlanda Araújo, pela paciência e compreensão nas horas que eu entrava em desespero, desânimo e cansaço, mas sempre achava um tempo para me ajudar;

Ao meu orientador Mênfis Bernardes Alves, pelos ensinamentos e confiança, os avaliadores Carlos Spartacus da Silva Oliveira e José Geraldo Delvaux Silva, pelas dicas e informações;

Aos meus amigos e colegas, pelas ajudas e longos dias e noites de estudos;

Por fim, a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, meus sinceros agradecimentos.

"O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis." (José de Alencar).

RESUMO

SANTOS, Romildo Ferreira. **Viabilidade de reaproveitamento de resíduos sólidos classe A da construção civil e do lodo da ETA 006 para produção de tijolos ecológicos.** 2017.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2017.

O presente trabalho discute a viabilidade de reaproveitamento de resíduos sólidos classe A da construção civil e do lodo da ETA para produção de tijolos ecológicos, como forma de substituir parcialmente o solo, visando a sustentabilidade, tendo como uma das alternativas para minimizar o problema do impacto ambiental. Para fazer o concreto para moldar blocos de corpos de prova, foi feito ensaios de granulometria, limite de liquidez e plasticidade, massa específica dos grãos, absorção de água e teor de umidade, atendendo a NBR 7181 (1984) com o solo, o lodo e com o resíduo classe A de construção civil. Para determinar a quantidade de lodo e resíduo classe A da construção civil, a ser empregado nos tijolos ecológicos, foi adotado três traços com percentuais diferentes, os blocos foram submetidos à ensaios da determinação da resistência à compressão e da absorção de água, atendendo a NBR 10836 (1994). Após toda análise pode-se admitir que os tijolos ecológicos com substituição parcial do solo utilizando lodo de ETA e resíduo sólido classe A da construção civil, pode ser aplicado em alvenaria sem função estrutural, visto que, os blocos ecológicos alcançaram a resistência à compressão mínima e a absorção de água máxima exigida por norma.

Palavras-chave: Resíduos sólidos. Construção civil. Tijolos ecológicos.

ABSTRACT

SANTOS, Romildo Ferreira. **Viability of reuse of Class A solid waste from the construction and sludge of ETA 006 for the production of ecological bricks.** 2017. Course Completion Work (Undergraduate) - Civil Engineering Course, Lutheran University Center of Palmas, Palmas / TO, 2017.

The present work discusses the feasibility of reuse of Class A solid waste from civil construction and ETA sludge to produce ecological bricks as a way to partially replace the soil, aiming at sustainability, having as one of the alternatives to minimize the impact problem environmental. In order to make the concrete to form blocks of test specimens, it was made granulometry, liquidity and plasticity limit, grain specific mass, water absorption and moisture content, according to NBR 7181 (1984) with soil, sludge and with the waste class A of civil construction. In order to determine the amount of sludge and waste classe A in the construction industry to be used in the ecological bricks, three traces with different percentages were adopted, the blocks were submitted to the tests of the determination of the compressive strength and the water absorption, attending to NBR 10836 (1994). After all analysis it can be accepted that the ecological bricks with partial replacement of the soil using ETA sludge and solid waste class A of the civil construction can be applied in masonry without structural function, since the ecological blocks reached the resistance to minimum compression and the maximum water absorption required by standard.

Keywords: Solid waste. Construction. Ecological bricks.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: vista aérea do local da coleta do solo.....	22
Figura 2: vista aérea do local de coleta do RDC.	23
Figura 3: vista aérea do local de coleta do lodo.	23
Figura 4: Ensaio de determinação do limite de liquidez.....	26
Figura 5: Lodo seco e triturado.....	29
Figura 6: RDC seco e triturado.....	30

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Problema de Pesquisa	11
1.2 Hipóteses	11
1.3 ObjetivoS	11
1.3.1 <i>Objetivo Geral</i>	11
1.3.2 <i>Objetivos Específicos</i>	11
1.4 Justificativa.....	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS (LODO) DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA (ETA).....	13
2.2 TIJOLOS ECOLÓGICOS	15
2.3 RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL	17
2.4 AGREGAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE À CONSTRUÇÃO CIVIL	20
3 METODOLOGIA.....	22
3.1 COLETA, PREPARO E CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS – PRIMAS	22
3.1.1 Coleta Das Matérias-Primas	22
3.1.2 Caracterização E Preparo Das Matérias–Primas	24
3.2 CONFECÇÃO DOS TIJOLOS	31
3.2.1 Proporção Investigada	31
3.2.2 Moldagem dos blocos.....	32
3.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E ABSORÇÃO DE ÁGUA	33
3.3.1 Análise Da Resistência À Compressão	33
3.3.2 Análise Da Resistência À Absorção De Água.....	35
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO	37
4.1.1 Determinação da granulometria	37
4.1.2 Determinação do limite de liquidez e limite de plasticidade.....	38
4.1.3 Determinação da massa específica dos grãos	39
4.2 CARACTERIZAÇÃO DO LODO	40
4.2.1 Determinação da granulometria	40
4.2.2 Determinação do limite de liquidez e limite de plasticidade.....	41
4.2.3 Determinação da massa específica do lodo	41
4.3 CARACTERIZAÇÃO DO RDC.....	42

4.3.1 Determinação da granulometria	42
4.3.2 Determinação do limite de liquidez e limite de plasticidade.....	43
4.3.3 Determinação da massa específica do RCD	43
4.4 CARACTERIZAÇÃO DO BLOCO	44
4.4.1 Resistência à compressão	44
4.4.1.1 Traço referencial.....	44
4.4.1.2 Traços com suas respectivas substituições	45
4.4.2 Resistência à absorção de água.....	46
5 CONCLUSÃO.....	47
6 REFERÊNCIAS	48

1 INTRODUÇÃO

O mundo vem sofrendo as consequências do uso desordenado dos recursos naturais, ocasionando um conjunto de transformações e evolução. Esse processo é desgastante, e pode ser atribuído às atividades cotidianas tanto das pessoas quanto das indústrias.

As atividades exercidas pelo ramo da construção civil também contribuem para a degradação do meio ambiente, uma vez que a efetivação de suas tarefas há a geração de resíduos sólidos. Deste modo, torna-se necessário que trabalhem na gestão ambientalmente adequada dos resíduos gerados.

A conveniência de preservação ambiental na construção civil e a tendência da escassez dos recursos naturais faz com que a construção civil adquira novos conceitos e soluções técnicas visando à sustentabilidade de suas atividades.

Com isso, este estudo tem como finalidade fazer um levantamento através de pesquisas e ensaios, objetivando comprovar a viabilidade da produção de tijolos ecológicos tendo como componentes, além do solo e cimento, o lodo da estação de tratamento de água e os resíduos sólidos (classe A) da construção e demolição civil.

Levando-se em consideração que todos devem ser responsáveis por minimizar e procurar o descarte ambientalmente adequado para o material gerado, seja por razão ambiental, social ou econômica a viabilidade do reaproveitamento de resíduos sólidos Classe A da construção civil e o lodo da estação de tratamento de água para produção de tijolos ecológicos, é uma proposta plausível.

Principalmente por vir de encontro com alguns objetivos da política nacional de resíduos sólidos, como:

- Não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos;
- Estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços;
- Adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais.

Com base no contexto apresentado, a associação da sustentabilidade às atividades da construção civil, é uma abordagem promissora que pode otimizar e mudar o conceito da empresa. Diante desta visão, a proposta de junção desses dois potenciais fatores ambientais causadores de impactos, será uma proposta de combate à degradação ambiental, sendo que de uma só vez, encontrará uma destinação adequada para esses dois tipos de resíduos sólidos.

No entanto, foram seguidas as recomendações prescritas pela NBR (Normas Brasileiras Aprovadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT) apropriada para cada situação apresentada, visando um resultado o mais preciso possível, evitando riscos a vida humana. Atualmente é notório que o respeito ao meio ambiente é imprescindível, mas o cuidado com a vida humana precisa ser sempre almejado.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Qual a possibilidade de produção de tijolos ecológicos tendo como base o lodo da estação de tratamento de água e os resíduos sólidos (classe A) da construção civil?

1.2 HIPÓTESES

Com base no tijolo ecológico convencional, pode-se cogitar a hipótese de que a proposta de junção do lodo da ETA e do resíduo (classe A) da construção civil pode ser viável e oportuno, além de ser mais econômico da a viabilidade de um destino final para o lodo e o RCD.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Análise da junção do lodo de ETA e dos resíduos classe A da construção civil, com os materiais convencionalmente utilizados (cimento, água e solo) para produção de tijolos ecológicos.

1.3.2 Objetivos Específicos

Com a elaboração desse trabalho, almeja-se atingir os seguintes objetivos específicos:

- Desenvolver uma boa alternativa de destinação final para os resíduos (lodo, RDC);
- Incentivar a reutilização dos resíduos;
- Avaliar as vantagens e desvantagens do uso do lodo e do RDC;
- Averiguar a resistência dos blocos produzidos a partir da junção do lodo e do RDC aos materiais convencionais;
- Verificar se a resistência dos blocos confeccionados é compatível ou superior aos tijolos convencionais.

1.4 JUSTIFICATIVA

Embasado em estudos anteriores sobre a produção de tijolos ecológicos, a justificativa deste trabalho consiste em experimentar um outro método de produção destes tijolos, tendo além dos resíduos tradicionalmente usados (classe A), agora agregando um novo tipo de resíduo, o lodo da ETA que até então não tem um destino final adequado.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS (LODO) DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA (ETA)

A água é um bem fundamental para a sobrevivência humana. É um bem de domínio público, e um recurso natural limitado, dotado de valor econômico (BRASIL, 1997). A água potável é água considerada apropriada para o consumo humano. Para que essa água chegue a população, própria para ser consumida, ela precisa passar por um caminho de tratamento.

Hoje em dia o método mais utilizado para fazer o tratamento da água é através das estações de tratamento de água, conhecidas como ETAs. Nas palavras de (SOUZA; p.13, 2007) tratamento de água “é o conjunto de medidas necessárias para enquadrar a água nos padrões de potabilidade pré-estabelecidos”.

Estação de tratamento de água “é a unidade do sistema de abastecimento de água responsável pelo enquadramento da água a ser fornecida a população nos padrões de potabilidade” (SOUZA; p.13, 2007). O sistema de purificação da água consiste em várias etapas.

O processo de tratamento de água normalmente aderidos pelas ETAs, consiste em 7 etapas: O primeiro deles é captação, depois vão para uma bacia, floculação, decantação, filtragem, tratamento final e distribuição.

Captação: Processo onde se início o tratamento, a entrada da água. A partir do reservatório onde a água é captada ela é passada por longas tubulações, até chegar a uma espécie de bacia.

Bacia: Esse processo é normalmente chamado de gradeamento. Assim que a água chega na ETA, ela está em constante pressão, a função desse tanque/bacia, é reduzir a velocidade da água, e fazer um processo de inicial de limpeza, onde são retirados da água, resíduos grosseiros, como troncos, galhos de árvore, areias etc.

Floculação: É um canal de coagulação, onde a água recebe sulfato de alumínio líquido, de acordo com o padrão exigido para a utilização, o alumínio serve para desestabilizar as partículas de sujeira presentes na água. Nos tanques floculadores os motores agitam a água, causando assim a aglutinação das partículas sólidas em suspensão, formando partículas maiores.

Decantação: Onde os flocos de impurezas se depositam no fundo do tanque, onde é possível se livrar de boa parte das impurezas sólidas. Normalmente essa sujeira é bombeada para um canal de esgoto.

Filtragem: A água da superfície é captada por canaletas localizadas na parte superior dos decantadores, seguindo para os filtros verticais. Esses filtros são formados de maneira comum, por carvão, pedregulho e cascalho. Desta maneira a sujeira que ainda pode estar na água fica presa nos filtros verticais.

Tratamento final: Acontece depois da filtragem, a água passa por uma complementação de tratamento que é a cloração, alcalinização e fluoretação. A cloração é o processo onde acontece a adição de cloro à água, serve para matar microrganismos que ainda restam, que podem ser causadores de doenças. A alcalinização é o método de colocar cal na água, tem a finalidade de evitar a corrosão de canos. A fluoretação consiste na adição de pequenas partículas de flúor, evitando a criação de cárie nas pessoas.

Distribuição: Após esse processo a água tratada é destinada a reservatórios distribuídos pela cidade, e em seguida é distribuída para o abastecimento da comunidade.

Ao final de todo o processo de tratamento da água, é gerado um resíduo (LODO). Conforme descreve a Lei 12.305/2010, resíduos sólidos são materiais, substâncias, objetos ou bens descartados resultantes de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível. Portanto esse lodo gerado pelas ETAs, devem ter descarte apropriado.

Normalmente, as Estações de Tratamento da Água fazem o descarte do resíduo sólido (LODO), em lugares considerados inapropriado. Wagner e Pedroso (2014) enfatizam que para chegar a uma decisão sobre a disposição do lodo de ETA está diretamente relacionada às suas características próprias. Estas características são bastante variadas e dependem de alguns fatores, tais como: qualidade da água bruta, tecnologia de tratamento, tipo e dosagem dos produtos químicos empregados e operação da ETA, entre outros.

Ainda seguindo a base de Wagner e Pedroso (2014), constata-se que maioria das ETAs instaladas no Brasil ainda lançam suas descargas de lodo diretamente nos cursos d'água, sem nenhum tipo de tratamento, tornando a indústria de tratamento de água para o abastecimento público, uma contribuinte para a depreciação do meio ambiente.

2.2 TIJOLOS ECOLÓGICOS

Há muito tempo é sabido sobre os tijolos de solo cimento, também conhecidos como tijolos ecológicos. Sabe-se que seu surgimento foi há milhares de anos e que depois que surgiu, vem passando por uma constante evolução. Teve seu início através de recursos naturais, logo em seguida, com o acréscimo de outros ingredientes e emprego de tecnologia, tornou-se um projeto mais viável, confiável e sustentável.

A Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), esclarece que solo-cimento (tijolo ecológico), resulta a partir de uma mistura homogênea, compacta e curada de solo, de cimento e água na proporção conveniente. O produto que se tem a partir desta mistura de ingredientes é um bloco que resiste à compressão, alto índice de impermeabilidade, pouca retração volumétrica e durável.

Segundo Fraga et al. (2016) é necessário somente solo, água potável e cimento para a preparação do tijolo de solo-cimento. Porém, requer muita atenção na escolha do solo, pois não é aconselhável utilizar qualquer tipo de solo no seu preparo

O componente mais usado para a obtenção do bloco ecológico é solo. O cimento entra em uma quantidade que varia de 5% até 10% do peso do solo, o suficiente para estabilizá-lo e conferir as propriedades que são capazes de dar a resistência desejada para o composto. Praticamente qualquer tipo de solo pode ser utilizado, entretanto os solos mais apropriados são os que possuem teor de areia entre 45% e 50%. Somente os solos que contêm matéria orgânica em sua composição (solo de cor preta) não podem ser utilizados. O solo a ser utilizado na mistura pode ser extraído do próprio local da obra (ABCP).

Segundo com Motta et al. p. 2 (2014):

A composição tijolo ecológico, assim também chamado, é uma alternativa para suprir uma carência habitacional devido ao baixo custo da construção, uma vez que busca valorizar os materiais naturais. Além das facilidades na linha de produção – é um produto de encaixe, que dispensa grandes pilares para sustentação da estrutura -, o que garante mais agilidade ao longo da construção.

Com isso, o emprego desta tecnologia faz com que o custo da obra tenha uma retração, e diminua o tempo de execução. Além disso, pode contar com os benefícios de redução do

consumo de água, da energia, e levando em consideração que não usa formas para construção de pilares, evitando a necessidade de carpinteiros ou serralheiros, além de propulsar o desenvolvimento de novos produtos que contribuam para o mercado e para a diminuição da poluição Motta et al. (2014).

Fraga et al. (2016) descreve o processo de fabricação conforme com os objetivos de sua utilização, levando em consideração (resistências, aparentes ou para serem revestidos, pesos, formato, cor, textura, componentes) e também o processo a ser utilizado.

Segundo Fraga et al. (2016) o trajeto de fabricação dos tijolos, percorre 4 etapas: O preparo do solo, a dosagem, a moldagem na prensa e a cura/estocagem.

1) Preparo do solo: O processo de preparo do solo começa pela retirada de materiais que possam dificultar o amassamento e gerar patologias no tijolo e possivelmente na alvenaria; logo em seguida acontece o Peneiramento e o Trituramento.

2) Dosagem. A composição dos tijolos se baseia em: Solo devidamente preparado; Aglomerante (cimento Portland); Água potável; Aditivos; Outros possíveis componentes.

3) Moldagem na prensa: Após ter passado pela mistura, o tijolo será moldado na prensa. É importante lembrar que a quantidade da mistura preparada deve ser feita para durar até, no máximo, uma hora de moldagem, para que assim as propriedades sejam mantidas, devido à cura do cimento.

4) Cura e estocagem: O processo de cura é feito molhando os tijolos. Pode ser feito de 3 maneiras, a cura manual, mecanizada ou por imersão. Vale a pena ressaltar, que durante esse processo, os tijolos devem estar longe de ventos e sol excessivos.

A adoção dos tijolos ecológicos veio como uma contribuinte para a sustentabilidade. A construção civil, assim como outros processos, está cada vez mais interessada em recursos que sejam a favor do meio ambiente ou que pelo menos cause o mínimo de impacto possível, uma vez que, esses processos são causadores de impactos ambientais.

Contudo, gera menos impacto ambiental durante as construções, promovendo a criação de processos padronizados que visem à rapidez e a seleção de processos, tecnologias e insumos

adequados ao conceito de sustentabilidade para as fases seguintes, contribuindo na redução do consumo de energia elétrica e água e na redução da produção de resíduos sólidos e efluentes.

Diante disso, deve-se apontar as vantagens e desvantagens da adoção deste recurso. Conforme explica Motta et al. (2014):

As vantagens do Tijolo Solo-Cimento podem-se destacar desde seu processo de fabricação, no qual se utiliza basicamente um material de grande abundância em todo planeta: o solo. Observa-se também que todo o processo pode ser feito manualmente, o que aproxima e abrange uma população menos favorecida de recursos. Além disso não é necessária a queima do tijolo, com isso não há emissão de gases poluentes. Em relação às desvantagens do produto, tem-se o uso de solo, o que, quando feito indiscriminadamente, pode favorecer processos erosivos ao meio ambiente. Outro ponto é o erro de dosagem, o qual pode favorecer o surgimento de patologias na construção.

Diante desse contexto, compreende-se que quando o tijolo está dentro do padrão de qualidade imposto pela ABNT NBR 8492:2012, ele se torna equivalente, se comparado com o tijolo tradicional feito de cerâmica. Ele é correspondente em várias questões, uma vez que, conforme já visto, ele pode apresentar boa resistência e durabilidade, além de ser mais econômico. E conta também com a agregação da sustentabilidade que é de grande importância nesse cenário.

2.3 RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

O ramo da construção civil, é um grande representante na atualidade do Brasil. A preocupação com a melhoria da qualidade de vida das pessoas com ênfase na moradia, faz com que esse setor tenha grande desenvolvimento e crescimento.

A construção civil além de ser uma potencial consumidora de recursos naturais, pode ser considerada o setor da economia que gera bastante resíduos, são os restos de obras, sejam esses restos de qualquer característica. Portanto, é importante ter alguém ou alguma empresa que reconheça, o quão importante é preocupar com o meio ambiente.

Pozzobon (2013), esclarece que todos os dias, é produzido uma grande porção de resíduos da construção civil nas cidades, essa grande quantidade se deve como a demolição de construções antigas, a ampliação de indústrias e empreendimentos, a construção de novas vias

e viadutos urbanos, e também da presença constante de novas edificações residenciais e comerciais.

Em conformidade com a Secretaria de Educação Média e Tecnológica (2000), construção civil pode ser entendida como a área que abrange todas as atividades de produção de obras. Estão incluídas nesta área as atividades referentes às funções planejamento e projeto, execução e manutenção e restauração de obras em diferentes segmentos, tais como edifícios, estradas, portos, aeroportos, canais de navegação, túneis, instalações prediais, obras de saneamento, de fundações e de terra em geral, estando excluídas as atividades relacionadas às operações, tais como a operação e o gerenciamento de sistemas de transportes, a operação de estações de tratamento de água, de barragens, etc.

A construção civil gera vários resíduos após o ambiente ser construído. Esses resíduos, estão dispostos conforme suas características, que podem ser sólidas, químicas e orgânicas. Sabe-se que após gerado os resíduos, a destinação deve ser feita em concordância com o estabelecido pela legislação vigente.

Publicada em julho de 2002, a Resolução 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA, estabelece diretrizes para uma gestão adequada dos resíduos da construção civil. Essas diretrizes estabelecidas pelo CONAMA têm como objetivo disciplinar as ações necessárias de forma a minimizar os impactos ambientais, gerados pelas atividades exercidas pelas construtoras.

A resolução CONAMA N° 307/2002, estabelece que os resíduos oriundos da construção civil, podem ser classificados em 4 categorias: A, B, C e D. Esta classificação deve ser feita respeitando o tipo de material gerado e sua possível destinação.

Classe A - Os resíduos desta categoria podem ser entendidos como os resíduos que podem ser aproveitados novamente, em outras palavras podem ser reutilizados, na condição de agregados de acordo com o CONAMA. Entre esses resíduos estão inclusos, de maneira geral alvenarias, como argamassas, concretos, telhas, tijolos, etc.

Classe B - São os resíduos que podem ser reciclados, tais como o papelão (desde que esteja em boas condições), plásticos, metal, abrange restos de madeira, vidros, etc.

Classe C – Nesta categoria ficam os resíduos que até então, não foi desenvolvida nenhuma tecnologia ou aplicação que seja considerada econômica ou passível de reciclagem.

Classe D – Aqui estão os considerados representantes de algum tipo de perigo. Podemos exemplificar através das tintas, solventes e óleos, que são materiais de uso corriqueiro pelas construtoras. Nesta categoria devemos levar em consideração o material resultante de obras feitas em lugares contaminados, como clínicas radiológicas.

O CONAMA, determina que deve ser feita a separação dos resíduos pelos seus próprios geradores, e essa separação deve ser feita de acordo com suas classificações, conforme a Resolução Nº 307/2002.

A necessidade de preservação ambiental e a tendência de escassez dos recursos naturais fazem com que a construção civil adquira novos conceitos e soluções técnicas visando à sustentabilidade de suas atividades.

Neste sentido, a adequada gestão desses resíduos é, portanto, essencial ao contexto urbano, razão pela qual a execução de políticas que possibilitem a redução, a reutilização, o reaproveitamento e a reciclagem de tais materiais devem ser priorizadas pelo Poder Público municipal, destaca Pozzobon (2013).

A reciclagem e o aproveitamento dos resíduos de construção e demolição se destacam como alternativas alinhadas a esses novos conceitos, buscando valorizar os materiais descartados nas obras de engenharia, atribuindo-lhes a condição de material nobre, ao invés de simplesmente lançá-los na natureza (Souza et al, 2008).

Em prol de também contribuir positivamente sobre o destino dos resíduos sólidos gerados pelas atividades da construção civil, existe a ABRECON - Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição.

A ABRECON surgiu da necessidade das empresas recicladoras de entulho, mobilizar e sensibilizar governos e sociedade sobre a problemática do descarte irregular dos resíduos da construção e oferecer soluções sustentáveis para a construção civil em um dos momentos mais importantes da história para o setor produtivo.

Nas palavras de Pozzobon (2013) é inconcebível que um município planeje apenas a forma de ocupação do solo, regre a construção de novas edificações e a ampliação da malha viária, sem se preocupar com a gestão dos resíduos oriundos destas obras.

É imprescindível que pensem também na gestão ambientalmente adequada das “sobras” dos materiais utilizados nas construções e demolições, seja para fins de adequação de cotas, utilização como matéria prima de pavimentos, recolocação no mercado de materiais reciclados, enfim, seja qual for a destinação que possa ser dada aos resíduos oriundos da construção civil (resíduos classes A e B), os planos diretores devem preocupar-se em contemplar locais apropriados e estrategicamente definidos para a instalação de áreas nos quais se possam realizar atividades de beneficiamento dos resíduos da construção civil Pozzobon (2013).

2.4 AGREGAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE À CONSTRUÇÃO CIVIL

Já é sabido a todos que hoje em dia, qualquer atividade que alguém se propõe a fazer, gera um impacto, seja ele por qualquer aspecto. Também não é novidade, que está cada vez mais presente a preocupação em minimizar o máximo possível esses impactos, e na construção civil não é diferente.

Segundo Fraga et al. (2016), na tentativa de redução do custo dos empreendimentos, as empresas estão investindo cada vez mais em novas tecnologias, dentre elas a utilização de materiais reaproveitáveis: madeira, entulho, garrafas pet.

A adoção de tecnologias inovadoras pode proporcionar coisas que vão além da redução de custo, o que proporciona maior lucro à empresa, existe também a questão ambiental que tanto se fala atualmente (Fraga et al. 2016).

Nas palavras de Fraga et al. (2016, apud GAVA; INO, 2014, p.2), uma definição que poderia ser usada para conceituar a construção sustentável, seria levar em consideração “aspectos relacionados a todo o processo produtivo, que vão desde o planejamento, passando pela construção e desempenho durante o uso, até a demolição das edificações, considerando o ambiente em que se inserem, suas características e peculiaridades”.

Além das vantagens já conhecidas por utilizar os tijolos ecológicos ao invés de tijolos tradicionais, como por exemplo: O assentamento, vigas e amarrações, conforto térmico acústico, parte elétrica e hidráulica e por fim o acabamento, tem-se o fator que talvez seja um dos mais importantes, o fato de ser ecologicamente sustentável.

O assentamento é rápido e prático, o que acaba sendo dando mais agilidade ao serviço. Quanto as vigas e amarrações, o formato que é gerado durante o assentamento, faz com que seja eficaz. Durante o assentamento, faz com que, que tenha isolamento, calibrando a temperatura e ruídos, gerando um conforto térmico acústico. No que diz respeito a parte elétrica e hidráulica, durante o assentamento, é produzido passagens para a rede elétrica e hidráulica, evitando a quebra de paredes posteriormente. E por fim o acabamento, que após serem assentados, os tijolos ecológicos formam uma parede plana e lisa, dando um acabamento todo alinhado.

Além de todos esses benefícios citados, essa adesão conta com um fator de suma importância, a agregação da sustentabilidade. A implantação do aproveitamento dos resíduos da construção civil classe A e o lodo produzido pela ETA durante o processo de tratamento de água, pode ser muito vantajoso. Porque estará lidando com dois problemas ao mesmo tempo e, por conseguinte, dando uma solução ambientalmente correta.

A junção desses dois potenciais fatores ambientais, causadores de impactos, será uma proposta de combate a degradação ao meio ambiente, uma vez que de uma vez só, encontrará uma destinação adequada para esses dois tipos de resíduos sólidos.

Desta maneira, surge a união da sustentabilidade à construção civil. Ribeiro et al. (2016) conceitua a sustentabilidade como uma forma de conscientizar a população da importância da preservação do meio ambiente, mantendo um processo de produção eficiente com responsabilidade ambiental. Ainda segundo ele, a sustentabilidade é um processo o qual as empresas estão buscando implantar com o intuito de suprir suas necessidades financeiras, contribuindo para um desenvolvimento saudável do meio ambiente.

Conhecimento dos aspectos ambientais, sociais e econômicos de cada sistema de modo a permitir que a opção da rota de reaproveitamento seja feita com base em critérios ambientais, sociais e econômicos, são bases para a possibilidade de se ter um sistema de gestão de resíduos. Desta maneira, viabilidade do reaproveitamento de resíduos sólidos Classe A da construção civil e lodo da estação de tratamento de água para produção de tijolos ecológicos, é uma grande proposta. Levando-se em consideração que cada parte deve ser o responsável por minimizar e procurar o descarte adequado para seus resíduos, seja por razão ambiental, social ou econômica.

Uma empresa, ao procurar se adequar ambientalmente falando, além de ser proveitoso para a empresa, uma vez que ela estará destinando seus resíduos de maneira correta, sendo “amiga” do meio ambiente, faz com que ela tenha vantagens no quesito econômico também. O governo participa disso, através dos incentivos fiscais.

As variações que os conceitos jurídicos vêm tendo em função do mundo o qual estamos inseridos, as vezes se fazem eficazes. Atualmente, várias empresas, incluindo as do setor da construção civil, são incentivadas por adotarem práticas ecologicamente corretas, um desses incentivos são os fiscais, ganhando assim, a redução ou isenção da alíquota de determinados impostos.

3 METODOLOGIA

3.1 COLETA, PREPARO E CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS – PRIMAS

Para confecção dos tijolos ecológicos foi utilizado: solo, resíduo classe A da construção e demolição civil, lodo (resultante da Estação de Tratamento Água - ETA 006), Cimento Portland CII e água.

3.1.1 Coleta Das Matérias-Primas

Os compostos utilizados para confecção dos tijolos ecológicos foram coletados no segundo semestre 2017.

O solo necessário à fabricação dos tijolos foi coletado nas coordenadas $10^{\circ}09'03.6''S$ $48^{\circ}21'29.5''W$, próximo à empresa Marconcelos Mineração no município de Palmas – TO, conforme figura 1.

Figura 1: vista aérea do local da coleta do solo.



Fonte: Google Earth Pro (acesso em 07. Out. 2017)

O resíduo da construção civil classe A – RCD foi coletado na 201 sul CJ 01 Lote 15 AV Teotônio Segurado na obra Urban Futuro da empresa Urban Incorporações em Palmas – TO, conforme figura 2.

Figura 2: vista aérea do local de coleta do RDC.



Fonte: Google Earth Pro (acesso em 07. out. 2017)

Já o lodo foi recolhido da Estação de Tratamento de Água 006 - ETA 006 localizada no km 12 da rodovia TO – 050, na margem esquerda do Ribeirão Taquaruçu Grande, sob as coordenadas 10°17'25'' S e 48°17'45''O, conforme figura 3.

Figura 3: vista aérea do local de coleta do lodo.



Fonte: Google Earth Pro (acesso em 07. out. 2017)

A água utilizada foi coletada a partir da rede de distribuição de água do município de Palmas - TO, fornecida pela BRK Ambiental. E o cimento foi adquirido do fabricante Votorantim (Portland II).

3.1.2 Caracterização E Preparo Das Matérias-Primas

➤ Solo

Em sequência a coleta, o solo foi encaminhado para o laboratório de Mecânica dos solos do Centro Universitário Luterano de Palmas CEULP/ULBRA, convenientemente embalado de modo a evitar alterações (como perda de umidade) e foi feito à remoção manual de raízes, gravetos, etc., e ao processo de secagem.

Após a secagem a amostra de solo foi homogeneizada e os torrões desmanchados evitando – se a quebra de grãos, posteriormente a amostra seguiu com o procedimento de quarteamo para redução da quantidade de material até obter uma amostra representativa, conforme as prescrições da NBR NM 27 (ABNT, 2001) que estabelece as condições exigíveis na redução da amostra de agregado formada no campo, para ensaio de laboratório.

O procedimento utilizado para o preparo do solo seguiu as recomendações da NBR 7181 (ABNT, 1984), norma que prescreve o método para a análise granulométrica de solos, realizada por peneiramento ou por combinação de sedimentação e peneiramento.

Também as NBRs abaixo elencadas e descritas foram consultadas, pois esses documentos complementares foram necessários na aplicação da norma NBR 7181 e caracterização das amostras.

- NBR 6457 – Preparação de amostras de solo para ensaio normal de compactação e ensaios de caracterização – método de ensaio;
- NBR NM-ISO 2395 – Peneiras de ensaio e ensaio de peneiramento – Vocabulário;
- NBR NM-ISO3310 - 1 – Peneiras de ensaio – Requisitos técnicos e verificação - Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico;
- NBR NM-ISO3310 - 2 – Peneiras de ensaio – Requisitos técnicos e verificação - Parte 1: Peneiras de ensaio de chapa metálica perfurada;
- NBR 6508 – grãos de solos que passaram na peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica – método de ensaio (norma cancelada sem substituição);

- NBR 6458 - Grãos de pedregulho retidos na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água;
- NBR 6459 - Solo – Determinação do limite de liquidez;
- NBR 7180 - Determinação do Limite de Plasticidade de Solos.

Assim, através do laboratório de Mecânica dos solos do Centro Universitário Luterano de Palmas CEULP/ULBRA e de posse das recomendações e instruções das normas apresentadas obteve características do solo quanto a:

- Granulométrica;
- Teor de umidade;
- Limite de Liquidez;
- Limite de Plasticidade;
- Massa específica dos grãos;
- Absorção de água dos grãos.

◦ ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Este ensaio foi feito no Laboratório de Mecânica dos solos do Centro Universitário Luterano de Palmas CEULP/ULBRA, a quantidade de amostra preparada foi de acordo com o disposto no método de ensaio, correspondente à norma NBR 6457 (ABNT, 1986).

A efetivação deste ensaio foi através da passagem de toda a massa inicial pela série de peneiras do peneirador. Após 10 minutos de peneiramento, em cada peneira encontram – se retidas as partículas com granulometria maior ou igual à mesma e passante na abertura anterior, além das partículas passantes em todas as peneiras que ficaram retidas no fundo. Depois, a massa do resíduo de cada peneira e do fundo foram pesadas e anotadas em uma tabela e comparada com a tabela de referência da norma.

◦ ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDEZ

A determinação do limite de liquidez consistiu na secagem prévia da amostra e dos procedimentos estabelecidos na norma NBR 6459 (ABNT, 1984) a qual determina que o limite de liquidez, ou seja, o teor de umidade no qual o solo deixa de apresentar plasticidade é estabelecido através do ensaio conhecido por “Casa Grande”.

Neste procedimento a mostra sob diferentes níveis de umidade, foi colocada em um recipiente côncavo do equipamento “Casa Grande”, onde primeiro foi feito um corte em bisel (1 cm de altura, 2 mm de largura e 60° de inclinação das paredes) nas amostras, que foram submetidas a um determinado número de batidas, até que as paredes do corte da amostra se unam em uma espessura de 1 polegada.

Esse método foi feito de forma que obteve um conjunto de dados pareados de umidade da amostra e número de batidas. É recomendado que o conjunto de dados atenda uma faixa de número de batidas entre 18 e 32. Os dados então foram plotados em um gráfico, a partir do qual se estima a umidade que equivalha a um número de 25 batidas.

O ensaio foi realizado no laboratório de Mecânica dos solos do Centro Universitário Luterano de Palmas CEULP/ULBRA, conforme figura 4.

Figura 4: Ensaio de determinação do limite de liquidez.



Fonte: Autor, 2017

◦ ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE PLASTICIDADE

Este ensaio também foi realizado no Laboratório de Mecânica dos solos do Centro Universitário Luterano de Palmas CEULP/ULBRA, seguindo os procedimentos estabelecidos pela norma NBR 7181 e NBR 6457 está para a secagem prévia da amostra.

O limite de plasticidade foi determinado a partir de amostras de solo fino e seco, as quais foram umedecidas e moldadas em cilindros de 3 a 4 mm de diâmetro. De acordo com a norma, a umidade referente ao limite de plasticidade é atingida quando os cilindros, em função do trabalho em uma superfície lisa, começam a apresentar rachaduras. O resultado final deve ser pelo menos três valores de umidade considerados satisfatórios, será expresso em porcentagem, aproximando para o valor inteiro mais próximo.

° ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DOS GRÃOS

A determinação da massa específica dos grãos de solo que passaram na peneira de 4,8mm, submeteu-se uma fração da amostra com secagem prévia ao peneiramento de modo a ter aproximadamente 500g de material passado. O material assim obtido constituiu a amostra a ensaiada.

De acordo com NBR 6457 das 500g de amostra preparada tomou-se 250g, homogeneizou e pesou a amostra. Depois, depositou em recipiente com água destilada por 12 horas.

Com o restante do material (250g) seguiu o direcionamento do anexo da NBR 6457 para determinação do Teor de Umidade do solo. Assim, transferiu a amostra para aparelho de dispersão, que dispersara por aproximadamente 15min, com auxílio do funil, a amostra foi transferida para picnômetro e completara com água destilada até marcação correspondente. Após pesou o conjunto (picnômetro + solo + água) e determinou a massa do picnômetro cheio de água até a marcação correspondente. A seguir foi feito os cálculos para determinar a massa específica do solo.

A massa específica dos grãos foi calculada por meio da formula a seguir:

$$\gamma = \frac{MSS}{(MSS + MPCA - MPSA)}$$

Onde:

γ = massa específica dos grãos do solo, em g/cm³

MSS = massa do solo seco

MPCA = massa do picnômetro cheio de água

MPSA = massa do picnômetro + solo + água

° ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE

Inicialmente tomou a quantidade de material em função das dimensões dos grãos segundo a Tabela 5 da NBR 6457, e colocou em cápsula com tampa e pesou o conjunto. Na sequência removeu a tampa e colocou em estufa (105°C a 110°C) por 24h. Após depositou a cápsula em dessecador até atingir temperatura ambiente e recolocou a tampa da cápsula e pesou o conjunto. Efetuaram-se os cálculos para determinação do Teor de Umidade (w; h), utilizando a seguinte expressão:

$$h = \frac{M1 - M2}{M2 - M3} \times 100$$

Onde:

h = teor de umidade, em %

M1 = massa do solo úmido mais a massa do recipiente, em g

M2 = massa do solo seco mais a massa do recipiente, em g

M3 = massa do recipiente, em g

° ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA DOS GRÃOS

Para determinação de absorção de água, foi colocado a amostra em um recipiente e secar a uma temperatura de 100 a 110°C, até que a diferença da massa seja menor que 0,1g, em duas determinações consecutivas.

Depois cobriu a amostra com água e deixou descansar por 24h. Logo após retirou a amostra da água e estendeu sobre uma superfície plana, submetendo-a ação de uma suave corrente de ar quente, revolvendo a amostra com frequência para garantir uma secagem uniforme.

Em seguida colocou a amostra em um molde, sem comprimi-lo, aplicando suavemente em sua superfície 25 golpes com a haste de compactação e levantara verticalmente o molde. Continuou a secagem, revolvendo a amostra constantemente, até que o cone do agregado

desmoronou ao ser retirado o molde. Neste momento o agregado chegou à condição de saturado superfície seca.

Então, determinou-se a massa com aproximação de 0,1g, calculando a absorção subtraindo o valor da massa da amostra seca em estufa, do valor da massa ao ar da amostra na condição saturada e de superfície seca, dividindo-as pelo valor da massa seca em estufa.

➤ **Lodo**

O lodo coletado e armazenado foi disposto em bandejas para secagem com auxílio de estufa, sendo posteriormente destorroado, triturado, conforme figura 5.

Figura 5: Lodo seco e triturado.



Fonte: Autor, 2017

As amostras de lodo seguiu o mesmo procedimento adotado para o solo, ou seja, adotara as indicações da NBR 7181 (ABNT, 1984), após essas etapas, foi disponibilizado para a mistura.

➤ **Resíduo de construção e demolição civil**

Assim como o lodo, o resíduo de construção e demolição civil seguiu o mesmo procedimento adotado para o solo, as recomendações da NBR 7181 (ABNT, 1984), conforme figura 6.

Figura 6: RDC seco e triturado.



Fonte: Autor, 2017

➤ **Água**

A água utilizada foi água potável coletada do Laboratório de Mecânica dos solos do Centro Universitário Luterano de Palmas CEULP/ULBRA a partir da rede de distribuição de água do município de Palmas - TO, fornecida pela BRK Ambiental.

➤ **Cimento**

O cimento utilizado foi o Cimento Portland CP II Z - 32 do fabricante Votorantim por questões de disponibilidade no mercado local, e por atender as normas vigentes.

3.2 CONFECÇÃO DOS TIJOLOS

O tijolo ecológico proposto é um produto obtido através da mistura homogênea de solo, resíduo da construção e demolição civil, lodo (resultante de ETA), Cimento Portland CPII e água em proporções adequadas.

Posteriormente a mistura tem se uma argamassa, que é conformada, compactada em uma prensa para tijolo ecológico, assim obtendo o bloco.

Confeccionado, o tijolo foi armazenado por 24 horas e em seguida encaminhado para imersão para o procedimento de cura hídrica por um período de sete dias, resultando num produto com características de durabilidade e resistência.

3.2.1 Proporção Investigada

O solo é o componente mais utilizado para a obtenção do tijolo. O cimento entra em uma quantidade que varia de 5% a 10% do peso do solo, o suficiente para estabilizá-lo e conferir as propriedades de resistência desejadas para o composto.

No processo de preparação da mistura para a moldagem dos tijolos, foi acrescentado água gradativamente até a obtenção da umidade ótima de compactação e umidade ideal de moldagem. Assim para verificação da umidade ideal da mistura utilizou dois testes simples:

- a) Pegou-se um punhado da mistura úmida, faz uma bolinha entre as mãos e apertou-se energeticamente entre os dedos e a palma da mão; ao abrir a mão o “bolo” teve a marca deixada pelos dedos, isso significa que a umidade está ótima.
- b) Deixando-se cair o “bolo” de uma altura aproximada de 1,00m sobre uma superfície dura, obteve o seguinte resultado: o bolo se desfez em muitos pedaços, isso significa que a umidade está ótima.

O presente estudo definiu como proporção a ser utilizada na confecção dos tijolos, os valores apresentados na figura 7.

Figura 7: traços dos tijolos ecológicos.

Traços	Solo	RDC	Lodo	Cimento
1	90%	-	-	10%
2	50%	32%	8%	10%

3	50%	35%	5%	10%
4	50%	37%	3%	10%

Fonte: Autor, 2017

3.2.2 Moldagem dos blocos

Foram confeccionados blocos ecológicos com substituição parcial do solo por lodo e RDC como material alternativo, com dimensões 25x12,5x7 cm (comprimento x largura x altura).

Os blocos foram confeccionados em uma indústria de alvenaria ecológica da capital com auxílio de uma prensa hidráulica. Primeiramente o material foi colocado dentro da caçamba e logo despejado no misturador, que tem a função de misturar, triturar e peneirar como mostra a figura 8, e posteriormente através da esteira a mistura foi para a prensa, conforme a figura 9, moldando os blocos com um pistão aplicando uma força de 10 toneladas.

Figura 8: Material no misturador.



Fonte: Autor, 2017

Figura 9: Material na prensa hidráulica



Fonte: Autor, 2017

Conforme a NBR 8492 (2012), foi confeccionado a quantidade mínima de blocos para o ensaio de resistência a compressão e da absorção d'água que são 13 unidades.

3.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E ABSORÇÃO DE ÁGUA

O uso de tijolos ecológicos surge como uma boa opção a sustentabilidade e a economia, sendo sua fabricação simples, porém demandam cuidados, no sentido de evitar patologias como, fissura por efeito de retração, desgaste superficial e percolação de umidade através de paredes. Por este motivo a resistência à compressão é um dos parâmetros mais testados e importantes do tijolo ecológico.

Os ensaios neste trabalho foram realizados em conformidade com a norma NBR 10836(ABNT, 1994), que estabelece o método para análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água em tijolos vazado de solo-cimento para alvenaria sem função estrutural.

Também foi observada a norma NBR 8491(ABNT, 2012) onde institui os requisitos para o recebimento de tijolos de solo-cimento e aos tijolos de solo-cimento destinados à execução de alvenaria sem função estrutural em obras de construção civil.

3.3.1 Análise Da Resistência À Compressão

A análise da resistência à compressão das amostras dos blocos ecológicos foi realizada no Laboratório de Materiais de Construção do Centro Universitário Luterano de Palmas CEULP/ULBRA, utilizando a prensa hidráulica da marca EMIC modelo PC200C, com capacidade máxima de 200 toneladas.

Como mostra a figura 10, o capeamento das faces de trabalho dos corpos de provas foi feito com pasta de cimento Portland de consistência plástica, com espessura mínima necessária para que se obtenham faces planas e paralelas. Após o endurecimento do material do capeamento, foi identificado e colocado os corpos de prova em imersão em água por 24 h, depois foi retirado imediatamente antes do ensaio os corpos de prova da água e enxugados superficialmente.

Figura 10: Capeamento das amostras



Fonte: Autor, 2017

Os valores individuais de resistência a compressão, expressos em Mpa (kgf/cm^2), foram obtidos dividindo-se a carga máxima em N, observada durante o ensaio pela média das áreas das duas faces de trabalho em mm^2 . A resistência média dos corpos de prova, foi obtida pela média das tenções de ruptura.

Foram feitas as análises das amostras com idade de 28 (vinte e oito) dias, rompendo as amostras para a idade respectiva, obedecendo as exigências da NBR 10836 (1994). A figura 11 mostra um dos corpos de prova sendo rompido.

Figura 11: Rompimento dos corpos de prova



Fonte: Autor, 2017

3.3.2 Análise Da Resistência À Absorção De Água

A análise da resistência à absorção de água das amostras dos blocos ecológicos foi realizada no Laboratório de Mecânica dos solos do Centro Universitário Luterano de Palmas CEULP/ULBRA, de acordo com a ABNT NBR 10836 (1994).

Para o ensaio foi utilizado três amostras de blocos, as amostras foram submetidas a secagem em estufa por 24h com temperatura de (105 ± 5) °C até a consistência de massa, obtendo-se assim a massa seca M_1 , em g. Depois foi colocado os corpos de provas em um tanque com água à temperatura ambiente durante 24 h, conforme figura 12.

Figura 12: Rompimento dos corpos de prova



Fonte: Autor, 2017

Após retirar da imersão, foi enxugado com um pano úmido e determinou a massa, antes de decorridos 3 minutos, obtendo assim a massa saturada M2, em g de acordo figura 13. O índice de absorção de água foi expresso em porcentagem para cada corpo de prova, e calculado pela equação:

$$AA(\%) = \frac{M2 - M1}{M1} \times 100$$

Sendo:

AA: índice de absorção de água;

M2: massa saturada;

M1: massa seca.

A absorção média dos corpos de prova foi obtida pela média dos valores individuais.

Figura 13: Rompimento dos corpos de prova



Fonte: Autor, 2017

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

4.1.1 Determinação da granulometria

A composição granulométrica encontrada na figura 14, e o gráfico conforme a figura 15, o solo caracteriza-se como solo fino, conforme estabelece a norma NBR 7181 (1984), pois está situado dentro da faixa granulométrica 2, que indica o tipo do agregado.

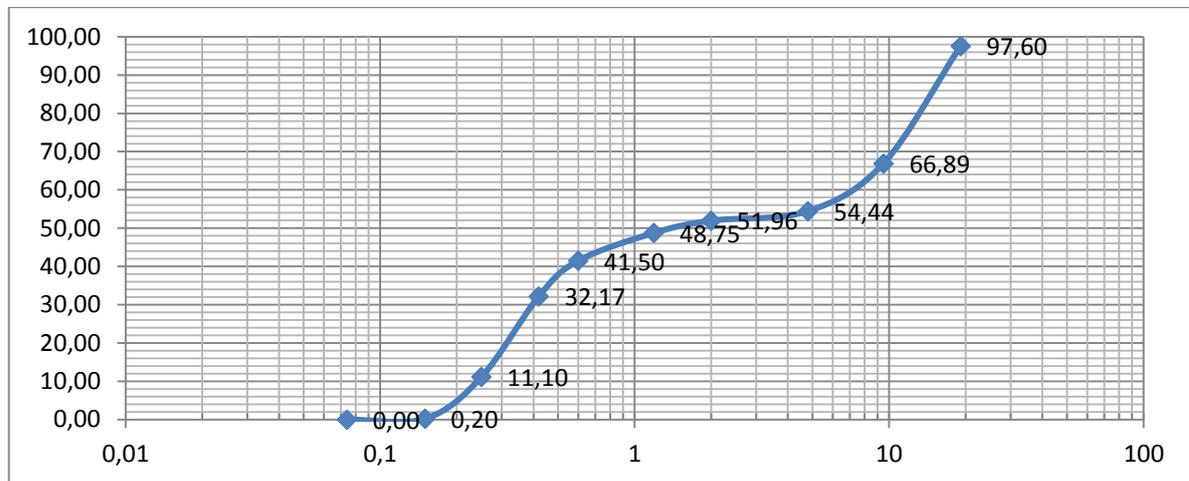
Figura 14: Resultado Composição granulométrica.

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA - NBR - 7181				
Φ peneira (mm)	massa retirada (g)	% retida em cada peneira	% retida acumulada	% que passa em cada peneira
19,1	15,7	2,40	2,40	97,60
9,5	200,8	30,71	33,11	66,89
4,8	81,4	12,45	45,56	54,44
2	16,2	2,48	48,04	51,96

1,19	21	3,21	51,25	48,75
0,6	47,4	7,25	58,50	41,50
0,42	61	9,33	67,83	32,17
0,25	137,7	21,06	88,90	11,10
0,15	71,3	10,91	99,80	0,20
0,074	1,3	0,20	100,00	0,00
< 0,074	0	0,00	100,00	0,00
Σ	653,8	100,00		

Fonte: Autor, 2017

Figura 15: Resultado Análise granulométrica do solo.



Fonte: Autor, 2017

Os resultados das amostras obtiveram variações de acordo variações na quantidade de material retido em cada peneira.

4.1.2 Determinação do limite de liquidez e limite de plasticidade

Para os Limites de liquidez e plasticidade foram obtidas umidades de 38,0 % e 16,90 %, respectivamente, conforme figura 16. Com base na tabela de materiais silto-argilosos (DNIT, 2010), o solo em estudo é classificado como solo argiloso.

Figura 16: Resultado Análise do limite de liquidez e plasticidade do solo.

LIMITE DE LIQUIDEZ - NBR-6459								
Determinação	#	1	2	3	4	5	6	7
Cápsula	#	1	2	3	4	7		
Massa Solo Úmido + Cápsula	(g)	56,80	55,00	51,60	55,50	47,10		
Massa Solo Seco + Cápsula	(g)	50,80	48,20	44,10	43,80	32,80		
Massa da Cápsula	(g)	18,80	17,30	17,10	18,90	12,20		
Massa da Água	(g)	6,00	6,80	7,50	11,70	14,30		
Massa Solo Seco	(g)	32,00	30,90	27,00	24,90	20,60		
Teor de Umidade	(%)	18,75	22,01	27,78	46,99	69,42		
Número de Golpes	#	40	34	28	21	15		

LIMITE DE PLASTICIDADE - NBR-7180								
Determinação	#	1	2	3	4	5	6	7
Cápsula	#	3	4	6	18	24		
Massa Solo Úmido + Cápsula	(g)	9,80	9,30	9,40	9,00	10,00		
Massa Solo Seco + Cápsula	(g)	9,60	9,10	9,20	8,80	9,80		
Massa da Cápsula	(g)	8,10	7,80	8,00	7,60	8,70		
Massa da Água	(g)	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20		
Massa Solo Seco	(g)	1,50	1,30	1,20	1,20	1,10		
Teor de Umidade	(%)	13,33	15,38	16,67	16,67	18,18		

CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO DA MÉDIA (\bar{L}_P)				
#	\bar{L}_P	$0,95\bar{L}_P$	$1,05\bar{L}_P$	Nº Serve
1	16,05	15,24	16,85	2
2	16,21	15,40	17,02	

LL = A.ln(Nº de Golpes) + B	
A	53,23
B	210,51

Limite de Liquidez (LL)	38,0
Limite de Plasticidade (LP)	16,9
Índice de Plasticidade (IP)	21,1

Fonte: Autor, 2017

4.1.3 Determinação da massa específica dos grãos

Os resultados foram considerados satisfatórios, pois não diferem de mais que 0,02 g/cm³, conforme figura 17.

Figura 17: Resultado da massa específica dos grãos.

MASSA ESPECÍFICA - Grãos que passam na # 4,8mm - NBR-6508			
Picnômetro Nº	#	1	2
Teor de Umidade	(%)		
Massa Solo Úmido	(g)	76	76
Massa Picnômetro+Solo+Água,T°C de Ensaio	(g)	666,50	667,20
Massa Picnômetro Cheio de Água	(g)	636,40	636,20
Temperatura de Ensaio	(°C)	24	24
Massa Solo Seco	(g)	50,00	50,00

Massa Específica da Água, T°C de Ensaio	(g/cm ³)	1,0000	1,0000
Massa Específica dos Grãos	(g/cm ³)	2,51	2,63
Massa Específica dos Grãos Média	(g/cm ³)	2,57	

Fonte: Autor, 2017

4.2 CARACTERIZAÇÃO DO LODO

4.2.1 Determinação da granulometria

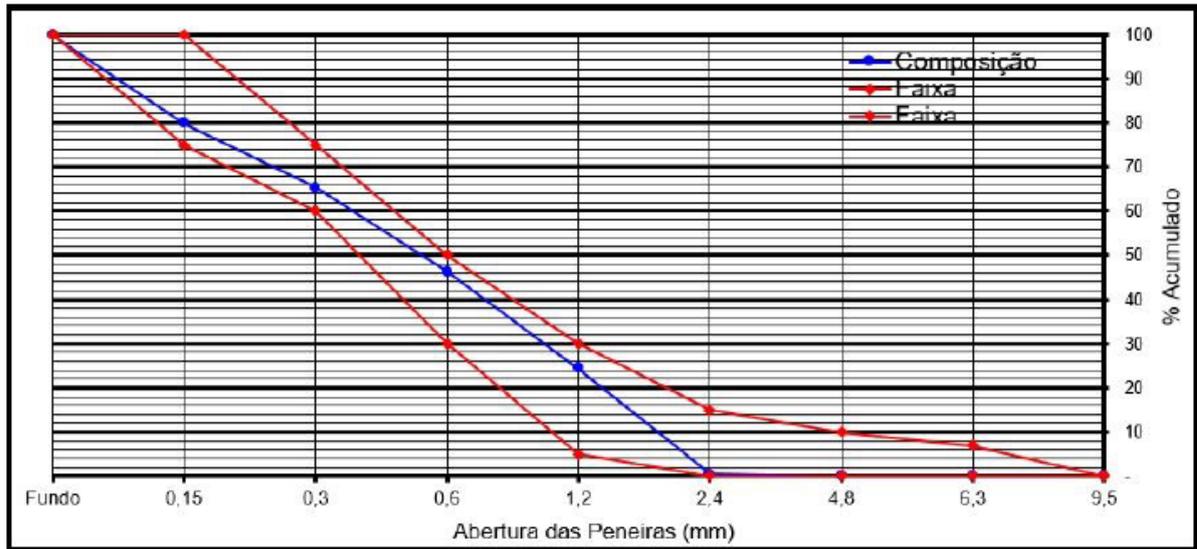
A composição granulométrica encontrada na figura 18, e o gráfico conforme a figura 19, o lodo caracteriza-se como solo fino, conforme estabelece a norma NBR NM 248 (2003), pois está situado dentro da faixa granulométrica 2, que indica o tipo do agregado.

Figura 18: Resultado Composição granulométrica.

Peneira (mm)	1ª Determinação			2ª Determinação			Média % Retida	
	Massa	% Retida		Massa	% Retida		Simples	Acumul.
	Retida (g)	Simples	Acumul.	Retida (g)	Simples	Acumul.		
4,8	-	-	-	-	-	-		
2,4	2,10	0,42	0,42	2,70	0,54	0,54	0,48	0,48
1,2	115,90	23,18	23,60	123,60	24,72	25,26	23,95	24,43
0,6	108,80	21,76	45,36	110,50	22,10	47,36	21,93	46,36
0,3	98,00	19,60	64,96	91,10	18,22	65,58	18,91	65,27
0,15	74,90	14,98	79,94	71,10	14,22	79,80	14,60	79,87
FUNDO	99,30	19,86	99,80	100,00	20,00	99,80	19,93	99,80
TOTAL	499,00	99,80	-	499,00	99,80	-	99,80	

Fonte: Autor, 2017

Figura 19: Resultado Análise granulométrica do solo.



Fonte: Autor, 2017

Os resultados das amostras obtiveram variações de acordo variações na quantidade de material retido em cada peneira.

4.2.2 Determinação do limite de liquidez e limite de plasticidade

Não foi possível realizar os ensaios dos limites, porque o lodo apresentou-se um solo não plástico. Ao umedecer e misturar o lodo, não houve coesão, o que impossibilitou de dar continuidade no ensaio.

Portando, conclui-se que o lodo é um conjunto de composição proveniente de resíduos da ETA (resíduos de impurezas), o que não tem vínculo com o solo.

4.2.3 Determinação da massa específica do lodo

Foram realizados dois ensaios para obtenção da massa específica, conforme figura 20.

Figura 20: Resultado da massa específica do lodo.

MASSA ESPECÍFICA - Grãos que passam na # 4,8mm - NBR-6508			
Picnômetro N°	#	1	2
Teor de Umidade	(%)		
Massa Lodo Úmido	(g)	76	76
Massa Picnômetro+Solo+Água, T°C de Ensaio	(g)	659,20	658,50
Massa Picnômetro Cheio de Água	(g)	635,60	635,60
Temperatura de Ensaio	(°C)	24	24
Massa Lodo Seco	(g)	50,00	50,00
Massa Específica da Água, T°C de Ensaio	(g/cm ³)	1,0000	1,0000
Massa Específica dos Grãos	(g/cm ³)	2,89	2,85
Massa Específica dos Grãos Média	(g/cm ³)	1,87	

Fonte: Autor, 2017

Os resultados foram considerados satisfatórios, pois não diferiram mais que 0,02 g/cm³ conforme a norma.

Portanto, o resultado final foi obtido a média de 1,87 g/cm³ de massa específica.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DO RCD

4.3.1 Determinação da granulometria

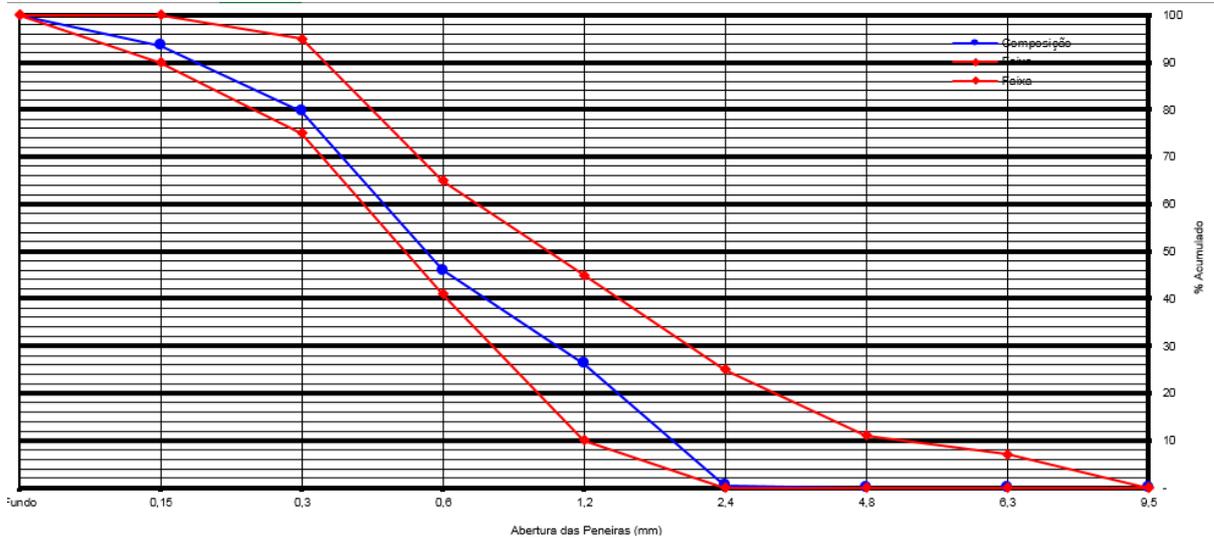
A composição granulométrica encontrada na figura 21, e o gráfico conforme a figura 22, o solo caracteriza-se como solo fino, conforme estabelece a norma NBR 7181 (1984), pois está situado dentro da faixa granulométrica 2, que indica o tipo do agregado.

Figura 21: Resultado Composição granulométrica.

PENEIRAS		1ª DETERMINAÇÃO			2ª DETERMINAÇÃO			MÉDIA % RETIDA		FAIXAS GRANULOMÉTRICAS-NBR 7211 AGR P/CONCRETO			
		MASSA	% RETIDA		MASSA	% RETIDA				ZONA-1	ZONA-2	ZONA-3	ZONA-4
Poi/ N°	(mm)	RETIDA (g)	Simples	Acumul.	RETIDA (g)	Simples	Acumul.	Simples	Acumul.	MUITO FINA	FINA	MÉDIA	GROSSA
3/8	9,5		-	-		-	-	-	-	0	0	0	0
1/4	6,3		-	-		-	-	-	-	0 - 3	0 - 7	0 - 7	0 - 7
4	4,8		-	-		-	-	-	-	0 - 5	0 - 10	0 - 11	0 - 12
8	2,4	2,00	0,40	0,40	2,30	0,46	0,46	0,43	0,43	0 - 5	0 - 15	0 - 25	5 - 40
16	1,2	116,10	23,22	23,62	142,70	28,54	29,00	25,88	26,31	0 - 10	0 - 25	10 - 45	30 - 70
30	0,6	100,20	20,04	43,66	96,50	19,30	48,30	19,67	45,98	0 - 20	21 - 40	41 - 65	66 - 85
50	0,3	167,20	33,44	77,10	169,90	33,98	82,28	33,71	79,69	50 - 85	60 - 88	75 - 95	80 - 95
100	0,15	84,20	16,84	93,94	55,10	11,02	93,30	13,93	93,62	85 - 100	90 - 100	90 - 100	90 - 100
FUNDO		30,30	6,06	100,00	33,80	6,76	100,06	6,41	100,03	100	100	100	100
TOTAL		500,00	100,00		500,30	100,06		100,03		FAIXA GRANULOMÉTRICA			
TOTAL DA AMOSTRA		500,00	100,00		500,00	100,00		100,00		DETERMINE A ZONA:			
DIF. DA AMOSTRA		-	-		(0,30)	(0,06)		(0,03)					
MÓDULO DE FINURA		2,39			2,53			2,46		3 Areia			
DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA:		2,4			-								

Fonte: Autor, 2017

Figura 22: Resultado Análise granulométrica do solo.



Fonte: Autor, 2017

Os resultados das amostras obtiveram variações de acordo variações na quantidade de material retido em cada peneira.

4.3.2 Determinação do limite de liquidez e limite de plasticidade

Não foi possível realizar os ensaios dos limites, porque o RCD ficou caracterizado como areia, e areia não tem coesão. Isso impossibilitou de dar continuidade no ensaio.

4.3.3 Determinação da massa específica do RCD

Os resultados foram considerados satisfatórios, pois não diferem de mais que 0,02 g/cm³, conforme figura 23.

Figura 23: Resultado da massa específica do RCD.

MASSA ESPECÍFICA - Grãos que passam na # 4,8mm - NBR-6508			
Picnômetro N°	#	1	2
Teor de Umidade	(%)		
Massa Solo Úmido	(g)	76	76
Massa Picnômetro+Solo+Água, T°C de Ensaio	(g)	1263,90	1264,10
Massa Picnômetro Cheio de Água	(g)	1200,50	1203,50
Temperatura de Ensaio	(°C)	24	24
Massa Solo Seco	(g)	100,00	100,00
Massa Específica da Água, T°C de Ensaio	(g/cm ³)	1,0000	1,0000
Massa Específica dos Grãos	(g/cm ³)	2,73	2,54
Massa Específica dos Grãos Média	(g/cm ³)	2,64	

Fonte: Autor, 2017

O resultado final obtido foi a média de 1,87 g/cm³ de massa específica do RCD.

4.4 CARACTERIZAÇÃO DO BLOCO

4.4.1 Resistência à compressão

Os blocos ecológicos com suas respectivas substituições, foram avaliados segundo sua resistência à compressão no Laboratório de Materiais de Construção Civil do Centro Universitário Luterano de Palmas CEULP/ULBRA, seguindo as exigências da NBR 10836 (1994). A resistência é a capacidade que a parede de alvenaria possui de suportar diversas ações mecânicas previstas em projeto, tais como as cargas da estrutura, vento, deformações, choques, dentre outros.

4.4.1.1 Traço referencial

O traço referencial é o traço com 90% de solo e 10% de cimento que a empresa onde os tijolos foram moldados utiliza. Conforme figura 24, as resistências dos tijolos foram satisfatórias, atendendo ao mínimo necessário de 2,0 Mpa para valores médios e 1,7 Mpa para valores individuais, conforme a NBR 8491 (1984).

Figura 24: Resultado Traço Referencial

Corpo de Prova	Largura média (mm)	Altura média (mm)	Comprimento médio (mm)	Tensão ruptura (MPa)
CP 1	125	70	250	3.8
CP 2	125	70	250	3.3
CP 3	125	70	250	3.7
CP 4	125	70	250	3.7
CP 5	125	70	250	3.4
CP 6	125	70	250	3.3
CP 7	125	70	250	3.4
CP 8	125	70	250	3.7
CP 9	125	70	250	3.7
CP 10	125	70	250	3.9
CP 11	125	70	250	3.5
CP 12	125	70	250	3.4
CP 13	125	70	250	3.7
Número CPs	13	13	13	13
Média	125.0	70.00	250.0	3.572
Desv.Padrão	0.0000	0.0000	0.0000	0.1976
Coef.Var.(%)	0.0000	0.0000	0.0000	5.533
Mínimo	125.0	70.00	250.0	3.280
Máximo	125.0	70.00	250.0	3.895

Fonte: Autor, 2017

As amostras ensaiadas de acordo a NBR 8491 não deve apresentar a média dos valores de resistência à compressão menor do que 2,0 Mpa (20kgf/cm²), nem valor individual inferior a 1,7 Mpa (17 kgf/cm²) com idade 28 dias. Portanto, os valores são satisfatórios.

4.4.1.2 Traços com suas respectivas substituições

A figura 25 ilustra as médias dos traços com suas substituições. As resistências dos tijolos foram satisfatórias, atendendo ao mínimo necessário de 2,0 Mpa para valores médios e 1,7 Mpa para valores individuais, conforme a NBR 8491 (1984).

Figura 25: Resultados Traços com Substituições

Traços	Lodo	RCD	Solo	Cimento	Médias
1	8%	32%	50%	10%	2,21 MPa
2	5%	35%	50%	10%	2,39 MPa

3	3%	37%	50%	10%	2,64 MPa
---	----	-----	-----	-----	----------

Fonte: Autor, 2017

4.4.2 Resistência à absorção de água

Os blocos ecológicos com suas respectivas substituições, foram avaliados segundo sua resistência à absorção de água no Laboratório de Materiais de Construção Civil do Centro Universitário Luterano de Palmas CEULP/ULBRA, seguindo as exigências da NBR 10836 (1994). A absorção de água está diretamente relacionada à impermeabilidade dos produtos, ao acréscimo imprevisto de peso à parede saturada e à durabilidade.

Foram submetidos a ensaios de absorção de água 3 (três) corpos de prova de tijolo ecológico com dimensões de 25x12,5x7cm. Os resultados encontram na figura 26 abaixo.

Figura 26: Resultados Absorção de Água

CP (nº) Traços	Massa Inicial (g)	Absorção (%)	Área Líquida (mm ²)
1	3.504,3	8,62	2649,8
2	3.503,1	9,34	2648,5
3	3.503,3	9,33	2649,6
Media	3.503,6	9,10	2649,3

Fonte: Autor, 2017

O índice de absorção é utilizado como indicador de durabilidade. Os valores individuais de absorção de água não podem ser superiores a 22%, nem o valor médio dos três maiores do que 20%, sendo assim, os resultados obtidos são satisfatórios.

5 CONCLUSÃO

Conforme apresentado, o objetivo principal desse trabalho foi fazer a junção do lodo da ETA 006 do município de Palmas – TO, com os resíduos classe A da contrição civil, juntamente com os materiais convencionalmente utilizados (cimento, água e solo) para produção de tijolos ecológicos.

Todos os traços com adições de lodo e RCD obtiveram resultados satisfatórios, com isso, utilizar esses resíduos para fabricação de blocos ecológicos é uma boa alternativa de destinação final para estes resíduos.

Visando o conceito de sustentabilidade, a demanda por produtos sustentáveis cresce constantemente, seja por pressão da sociedade, que cada vez mais se torna consciente, ou seja pela necessidade de inovações que possam solucionar os problemas relacionados à escassez dos recursos naturais. O tijolo ecológico já é uma inovação para reduzir o uso de recursos naturais, e com a junção desses resíduos, esse trabalho teve o objetivo de incentivar o uso dos mesmos.

Os valores de resistência dos tijolos possibilitam concluir que todos os traços com utilização dos resíduos apresentaram resultados de resistência a compressão acima do exigido por norma, servindo então para comprovar que pode ser produzido tijolos ecológicos com utilização desses resíduos.

Conforme os resultados apresentados, a resistência dos blocos confeccionados é compatível com os convencionais, obedecendo a resistência mínima por norma.

6 REFERÊNCIAS

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2014**. São Paulo 2014. <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2014.pdf>> Acesso em: 27 de agosto de 2017.

ACHON C. L.; CORDEIRO J.S. **Destinação e disposição final de lodo gerado em ETA – Lei 12.305/2010**.

<<http://www.trabalhosasemae.com.br/sistema/repositorio/2015/1/trabalhos/103/151/t151t1e1a2015.pdf>> Acesso em: 27 de agosto de 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO. Disponível em: <http://www.abrecon.org.br/quem-somos/> . Acesso em 16 de abril de 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 10836 de outubro de 1994. **Blocos Vazados de solo-cimento sem função estrutural** – Determinação da resistência à compressão e da absorção de água. Rio de Janeiro/RJ, 1994.

___ NBR 7211 de abril de 2009. **Agregados para concreto – Especificação**. Rio de Janeiro/RJ, 2009.

___ NBR 6508 de outubro de 1984. **Grãos de solos que passam na peneira de 4.8 mm- Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro / RJ, 1984.

___ NBR NM 248 de 2003. **Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro / RJ, 2003.

___ NBR NM 45 de 2006. **Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro / RJ, 2006.

___ NBR NM 46 de 2003. **Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75mm, por lavagem**. Rio de Janeiro / RJ, 2003.

BRASIL. **Lei nº 9.433**, de 08 de janeiro de 1997. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 09 de janeiro de 1997.

DENISE RIBEIRO; Larissa Santos de Moura; Natália Stéfanie dos Santos Pirotea
Sustentabilidade: **Formas de Reaproveitar os Resíduos da Construção Civil**. Rev. Cienc.
Gerenc., v.20, n.31, p.41-45, 2016.

FRAGA, Yuri S. B.; Barbosa, Andréa Q.; Dortas, Ivan S.; Santos, Luís H. P.; Mota, Walter V.;
Tecnologia Dos Materiais: A Utilização Do Tijolo De Solo-Cimento Na Construção Civil.
Ciências exatas e tecnológicas | Aracaju | v. 3 | n. 3 | p. 11-24 | outubro 2016 |
periodicos.set.edu.br.

POZZOBON, Marcus Paulo. Resíduos da construção civil. Universidade Federal do Rio
Grande do Sul. Faculdade de Direito. **Curso de especialização em Direito Internacional,
Ambiental e Consumidor**. Porto Alegre (2013). Disponível em:
<http://hdl.handle.net/10183/156512>.

SAHARA – INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS LTDA.
Manual informativo ilustrado – O Solo-Cimento na Fabricação de Tijolo Modular. São
Paulo, 1998. 30 p.

SOUZA, Márcia I. B.; Segantini, Antonio A. S.; Pereira, Joelma A. **Tijolos prensados de solo-
cimento confeccionados com resíduos de concreto**. Revista Brasileira de Engenharia
Agrícola e Ambiental, v. 12, n. 2, p. 205-212, 2008. Disponível em:
<http://hdl.handle.net/11449/70331>.

SOUZA, Walterler Alves de. **Tratamento de água** – Natal: CEFET/RN, 2007.