

UNIEVANGÉLICA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ISAQUE CARLOS CAMPOS

RAFAEL COSTA ÁLVARES DE PINA

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO
DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO NA FABRICAÇÃO DE
TIJOLOS SOLO-CIMENTO**

ANÁPOLIS / GO

2018

**ISAQUE CARLOS CAMPOS
RAFAEL COSTA ÁLVARES DE PINA**

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO
DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO NA FABRICAÇÃO DE
TIJOLOS SOLO-CIMENTO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

ORIENTADORA: KÍRIA NERY ALVES DO E. S. GOMES

ANÁPOLIS / GO: 2018

FICHA CATALOGRÁFICA

CAMPOS, ISAQUE CARLOS/ PINA, RAFAEL COSTA ÁLVARES DE.

Estudo da viabilidade de utilização de resíduo de construção e demolição na fabricação de tijolos solo-cimento.

83 P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2018).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

1. Tijolo ecológico

2. Sustentabilidade

3. Areia reciclada

4. Resíduo de construção e demolição

I. ENC/UNI

II. Título (Série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CAMPOS, Isaque Carlos; PINA, Rafael Costa Álvares de. Estudo da viabilidade de utilização de resíduo de construção e demolição na fabricação de tijolos solo-cimento. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 83 p. 2018.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Isaque Carlos Campos

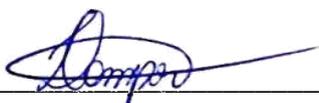
Rafael Costa Álvares de Pina

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Estudo da viabilidade de utilização de resíduo de construção e demolição na fabricação de tijolos solo-cimento.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2018

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



Isaque Carlos Campos

E-mail: eng.isaquecampos@gmail.com



Rafael Costa Álvares de Pina

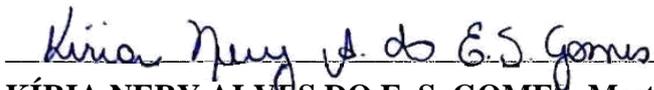
E-mail: rafaelceng2018@hotmail.com

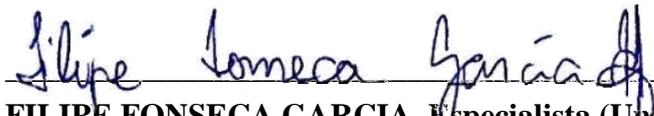
**ISAQUE CARLOS CAMPOS
RAFAEL COSTA ÁLVARES DE PINA**

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO
DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO NA FABRICAÇÃO DE
TIJOLOS SOLO-CIMENTO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**

APROVADO POR:


**KÍRIA NERY ALVES DO E. S. GOMES, Mestra (UniEvangélica)
(ORIENTADORA)**


**FILIPE FONSECA GARCIA, Especialista (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**


**TIAGO DE LIMA BENTO PEREIRA, Mestre (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**

DATA: ANÁPOLIS/GO, 27 de NOVEMBRO de 2018.

AGRADECIMENTOS

Este momento é a concretização de um sonho – sonho árduo passados em 5 anos e que hoje se torna realidade. Nada disso seria possível se não houvessem pessoas para me apoiar, que confiaram em mim e permaneceram ao meu lado.

Minhas palavras serão de agradecimento. Agradeço primeiramente a Deus quem me deu o dom da vida e quem me deu forças para vencer todos os obstáculos necessários para essa conquista. Aos meus avós que sempre acreditaram e me incentivaram a prosseguir com meus estudos. Aos meus pais que me ensinaram o caminho ao qual devo trilhar, e me ensinaram a viver a vida com dignidade e a nunca desistir dos meus sonhos.

Agradeço aos meus familiares e amigos pois todas as pessoas que permitimos fazer parte de nossas vidas nos influenciam a ser pessoas melhores.

Agradeço a todos os professores do Curso de Engenharia Civil da UniEvangélica, pois todos contribuíram de forma direta na minha formação, transmitindo seus conhecimentos e influenciando na minha capacitação.

O trabalho no aprimoramento humano é árduo e exige dedicação, abnegação e experiência. Agradeço àqueles que compartilharam comigo seus conhecimentos e me auxiliaram na busca da realização plena de meus ideais profissionais e humanos.

Isaque Carlos Campos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me concedido essa grande vitória de chegar até aqui, me abençoando abundantemente, cultivando em mim o dom da resiliência e da persistência, nunca me deixando abalar com as dificuldades do dia a dia, fazendo com que eu acreditasse sempre na minha capacidade, possibilitando assim a realização de um dos grandes objetivos da minha vida.

Dedico essa conquista especialmente a minha família, que são peças fundamentais na minha trajetória, pois nada disso seria possível sem o apoio fundamental deles, que sempre influenciaram nas minhas lutas diárias contribuindo de forma positiva durante esses cinco anos.

O meu enorme agradecimento a orientadora deste trabalho: Msc. Kíria Nery que colaborou com seu amplo conhecimento técnico sobre os assuntos abordados, nos orientando de maneira satisfatória e apresentando aspectos essenciais para a melhoria da nossa monografia.

Concluo agradecendo a todos que já foram meus professores, que com sabedoria, carisma, paciência e humildade, compartilharam todo o conhecimento e ensinamentos que me guiaram por caminhos que possibilitaram a realização de mais um sonho.

Rafael Costa Álvares de Pina.

RESUMO

O tijolo solo-cimento, popularmente conhecido como tijolo ecológico, surgiu como uma alternativa em atender o desenvolvimento sustentável relacionado a área da construção civil. O intuito da pesquisa é promover a disseminação quanto a utilização deste material, visto que, ainda há resistência por parte dos construtores para a implementação de novas tecnologias no setor, mesmo este sendo um grande causador de impactos ecossistêmicos. Buscou-se a implementação de outro viés sustentável na obtenção do tijolo solo-cimento, utilizando agregado sustentável oriundo do resíduo de construção e demolição (RCD). Verificou-se a viabilidade de cunho econômico e técnico na substituição parcial de solo por RCD na fabricação dos tijolos solo-cimento. Os tijolos de solo-cimento foram fabricados, seguindo as prescrições normativas contidas na NBR 10833 (ABNT, 2013), com variadas proporções de solo por substituição com areia reciclada variando entre teores de 0%, 10%, 20% e 30%. Em relação ao comportamento mecânico, observou-se um maior ganho de resistência à compressão no traço com substituição de 20%. A adição do RCD beneficiado, conhecido como areia reciclada, apresentou alterações referentes ao ganho de resistência à compressão e também ao custo final do tijolo. Foi constatado que a utilização do RCD apresenta vantagens econômicas e técnicas em sua substituição, desde que observado a variação contida na fabricação. Apresenta também vantagens de cunho social e ambiental pois a reutilização dos resíduos auxilia na diminuição do entulho gerado pela indústria da Construção Civil.

PALAVRAS-CHAVE: Tijolo ecológico. Sustentabilidade. Resíduo de Construção e Demolição. Areia Reciclada.

ABSTRACT

The soil-cement brick, popularly known as ecological brick, emerged as an alternative to meet the sustainable development related to the construction area. The aim of the research is to promote dissemination regarding the use of this material, since there is still resistance on the part of the builders to the implementation of new technologies in the sector, even this being a major cause of ecosystemic impacts. We sought to implement another sustainable bias in obtaining the soil-cement brick, using a sustainable aggregate from the construction and demolition residue (RCD). The economic and technical feasibility of the partial replacement of soil by RCD in the production of soil-cement bricks was verified. The soil-cement bricks were manufactured, following the normative prescriptions contained in NBR 10833 (ABNT, 2013), with varying proportions of soil by substitution with recycled sand varying between 0%, 10%, 20% and 30%. In relation to the mechanical behavior, a greater gain of resistance to the compression in the trait with substitution of 20% was observed. The addition of the RCD benefited, known as recycled sand, presented changes referring to the compressive strength gain and also to the final cost of the brick. It was verified that the use of RCD presents economic and technical advantages in its substitution, provided the variation in the manufacturing is observed. It also has social and environmental advantages because the reuse of waste helps in reducing the rubble generated by the Civil Construction industry.

KEYWORDS: Ecological Brick. Sustainability. Waste from Construction and Demolition. Recycled Sand.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Resíduos de construção e demolição	28
Figura 2 – Areia Reciclada	29
Figura 3 - Necrópole de Gizé	30
Figura 4 - Confecção e posterior construção realizada em adobe	35
Figura 5 - Técnica de construção denominada Taipa de Pilão	35
Figura 6 - Metodologia construtiva baseada em tijolos de terra compactada	36
Figura 7 - Solo empregado na manufatura dos tijolos.....	38
Figura 8 - Cimento utilizado na produção dos tijolos	39
Figura 9 - Misturador automático e esteira transportadora.....	41
Figura 10 - Prensa automática da Alroma	42
Figura 11 - Solo	44
Figura 12 - Areia reciclada	45
Figura 13 - Mistura solo e cimento.....	46
Figura 14 - Esteira de transporte do solo cimento	47
Figura 15 - Tijolo solo-cimento vazado	48
Figura 16 - Tijolo solo-cimento saindo da prensa	49
Figura 17 - Tijolo solo-cimento acabado.....	49
Figura 18 – Tijolos paletizados para cura.....	50
Figura 19 - Cura dos tijolos	50
Figura 20 - Análise dimensional.....	51
Figura 21 - Ensaio corte perpendicular.....	52
Figura 22 - Ensaio faces sobrepostas.....	53
Figura 23 - Ensaio regularização	53
Figura 24 - Capeamento concluído.....	54
Figura 25 - Imersão dos corpos de prova	54
Figura 26 - Rompimento dos CPs	55
Figura 27 - Ruptura padrão.....	55
Figura 28 – Ensaio da absorção de água – CP na estufa	56
Figura 29 - Submersão dos corpos de prova	56
Figura 30 - Valores dos agregados reciclados	70

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Porcentagens de RCD.....	46
Quadro 2 - Critérios de análise	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Aspectos característicos do solo conforme a NBR 10833 (ABNT, 2013).....	37
Tabela 2 - Traços fabricados	48
Tabela 3 - Dimensões nominais	51
Tabela 4 - Análise granulométrica saibro.....	57
Tabela 5 - Limite de liquidez saibro.....	58
Tabela 6 - Composição granulométrica média das amostras de Areia Reciclada.....	59
Tabela 7 - Análise dimensional - Traço 1.....	60
Tabela 8 - Análise dimensional - Traço 2.....	61
Tabela 9 - Análise dimensional - Traço 3.....	61
Tabela 10 - Análise dimensional - Traço 4.....	62
Tabela 11 - Valores individuais das amostras conforme NBR 8492 (ABNT, 2012)	63
Tabela 12 - Valores médios das amostras conforme NBR 8492 (ABNT, 2012)	63
Tabela 13 - Resultado de ensaio à compressão - Traço 1.....	65
Tabela 14 - Resultado de ensaio à compressão - Traço 2.....	66
Tabela 15 - Resultado de ensaio à compressão - Traço 3.....	67
Tabela 16 - Resultado de ensaio à compressão - Traço 4.....	68
Tabela 17 - Valores médios do ensaio à compressão NBR 8492 (ABNT, 2012)	69
Tabela 18 - Análise do custo dos insumos dos traços fabricados.....	71

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Distribuição Granulométrica.....	58
Gráfico 2 - Limite de liquidez saibro.....	59
Gráfico 3 – Ensaio à compressão - Traço 1.....	65
Gráfico 4 – Ensaio à compressão - Traço 2.....	66
Gráfico 5 – Ensaio à compressão - Traço 3.....	67
Gráfico 6 – Ensaio à compressão - Traço 4.....	68
Gráfico 7 - Média das tensões de ruptura.....	69

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABCTerra	Associação Brasileira dos Construtores em Terra
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRECON	Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
AQUA	Alta Qualidade Ambiental
BT	Boletim Técnico
CIB	Conselho Internacional da Construção
CRATerre	International Centre on Earthen Architecture
CT	Centro Tecnológico
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CP	Corpo-de-prova
HQE	Haute Qualité Environnementale
LDO	Lei de diretrizes orçamentarias
NBR	Norma Brasileira
ONU	Organização das Nações Unidas
PCA	Portland Cement Association
PGRCC	Programa de Gerenciamento de Resíduos de Construção Civil
PGRS	Planos de gerenciamento de resíduos sólidos
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PPA	Plano plurianual
RCC	Resíduo de Construção Civil
RCD	Resíduo de Construção e Demolição
SANEAGO	Saneamento de Goiás
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 JUSTIFICATIVA.....	15
1.2 OBJETIVOS	16
1.2.1 Objetivo geral	16
1.2.2 Objetivos específicos.....	16
1.3 METODOLOGIA	17
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	17
2 SUSTENTABILIDADE.....	18
2.1 SUSTENTABILIDADE E ENGENHARIA CIVIL	18
2.1.1 Contexto Histórico.....	19
2.2 GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS	22
2.2.1 Resolução CONAMA	23
2.2.2 Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil.....	24
2.3 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)	25
2.3.1 Utilização do RCD	27
3 ALVENARIA E SOLO-CIMENTO.....	30
3.1 ALVENARIA	30
3.2 ALVENARIA DE SOLO CIMENTO	32
3.2.1 Contexto Histórico.....	33
3.2.2 Técnicas construtivas utilizando o solo	34
3.2.3 Materiais constituintes dos tijolos ecológicos.....	36
3.2.3.1 Solo	37
3.2.3.2 Cimento.....	38
3.2.3.3 Água.....	39
3.2.4 Fabricação dos tijolos ecológicos.....	40
4 PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	43

4.1	INTRODUÇÃO	43
4.2	FABRICAÇÃO TIJOLO SOLO-CIMENTO	43
4.2.1	Solo.....	44
4.2.2	Areia reciclada.....	44
4.2.3	Cimento	45
4.2.4	Traços	45
4.2.5	Cura	50
4.3	ENSAIOS.....	51
4.3.1	Análise dimensional.....	51
4.3.2	Ensaio de resistência à compressão	52
4.3.3	Ensaio da absorção de água.....	56
5	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	57
5.1	CARACTERIZAÇÃO DO SOLO	57
5.1.1	Saibro.....	57
5.1.2	Areia reciclada.....	59
5.2	RESULTADOS DOS ENSAIOS	60
5.2.1	Análise dimensional.....	60
5.2.2	Absorção de água.....	62
5.2.3	Resistência à compressão.....	64
5.3	VIABILIDADE ECONÔMICA.....	70
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	72
6.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	73
	REFERÊNCIAS	74
	APÊNDICE A – ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO TRAÇO 1.....	80
	APÊNDICE B – ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO TRAÇO 2.....	81
	APÊNDICE C – ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO TRAÇO 3.....	82
	APÊNDICE D – ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO TRAÇO 4.....	83

1 INTRODUÇÃO

O termo Construção Civil é um vocábulo incorporado à engenharia para definir atividades relacionadas à concepção de projetos e execução de obras independentemente de suas dimensões construtivas e características implementares.

É um conceito que inquestionavelmente é usado como um dos principais índices que configura e estabelece o desenvolvimento de um país, não só pelo fato de promover melhorias em determinadas áreas específicas, como infraestrutura e habitação, mas principalmente por atuar como uma máquina econômica funcional, que tem influência prática direta na geração quantitativa de empregos.

Nesse aspecto, o aperfeiçoamento da construção civil determina uma repercussão em numerosos outros âmbitos de atuação econômica, pois as aplicações de capitais em obras, fomentam à expansão urbana promovendo facilidade e melhorando a qualidade de vida da população.

No entanto, a idealização desse fator tão importante para o crescimento econômico de uma sociedade, apresenta desfavoráveis efeitos colaterais quando é instituída uma analogia com os impactos gerados ao meio ambiente.

Segundo o Conselho Internacional da Construção – CIB, o funcionamento da indústria da construção civil é o ramo de ocupações humanas que mais extenuam os recursos naturais e manipula energia de maneira abundante, gerando variados impactos ecossistêmicos, além desses elementos é de suma importância ressaltar a grande quantidade de resíduos sólidos que são gerados amplamente por essas atividades (CIB, 2002).

Consequentemente, a elaboração de recentes metodologias tecnológicas e a criação de novos materiais de pequeno impacto ambiental, desde que estabeleça um vínculo vantajoso de custo-benefício, são extremamente indispensáveis para a consolidação e prosperidade na esfera organizacional e executiva da construção civil, sendo que a provável insuficiência de recursos acaba por se tornar um dos principais argumentos na busca por elementos construtivos sustentáveis.

Dentre as técnicas construtivas em prol da busca pela redução dos abalos ambientais, destaca-se o que chamamos de tijolo de solo-cimento também conhecido como tijolo ecológico, que em sua estrutura física é constituído basicamente por solo consolidado com cimento Portland e água, modelado por intermédio de prensas manuais ou hidráulicas.

Visando a implementação de materiais ecológicos no mercado consumidor, a pesquisa com o tijolo ecológico, tem como propósito a reutilização de resíduos de construção

e demolição (RCD), objetivando o aumento da sua resistência aliado a um menor custo de produção. Este objetivo se alcançado acarretará em uma maior utilização deste produto na construção civil e conseqüentemente em um ganho ambiental, pois para sua fabricação não é necessária a queima e com isso amenizará a emissão de gases causadores do efeito estufa.

O tijolo de solo-cimento é gerado através da combinação intrínseca de solo, água e cimento Portland, sendo que de acordo com as características de teor de umidade e densidade, em medidas anteriormente definidas, o mesmo garante resistência e estabilidade, por intermédio das interações de hidratação do aglomerante hidráulico presente na mistura (ABCP, 1986; SILVA, 1994; GRANDE, 2003).

Comparado aos sistemas construtivos de alvenaria existentes e mais usuais em nosso país, a alvenaria de tijolo solo-cimento demonstra determinados benefícios em analogia as demais metodologias, uma vez que é possível deixar os elementos aparentes, isentando o revestimento, e até mesmo dispensando a utilização de argamassa de assentamento, sendo também um fator relevante é o de não ser necessário na sua fabricação a queima de madeira, conforme ocorre nos blocos cerâmicos (FIGUEROLA, 2004).

Portanto, é indispensável assinalar os prós e contras da produção e aplicação desse material, verificando a sua viabilidade econômica, denotando suas propriedades representativas, realizando ensaios normativos de resistência à compressão, análise dimensional e determinação do índice de absorção de água, para demonstrar sua viabilidade e assim conseqüentemente melhorar sua receptividade no mercado.

1.1 JUSTIFICATIVA

Devido ao aumento populacional e expansão dos centros urbanos houve uma intensificação no setor da construção civil. Como sua execução se dá basicamente por métodos artesanais há uma geração intensa de resíduos que são descartados em larga escala. A utilização dos resíduos de construção e demolição são um exemplo da reutilização como agregados reciclados, aos quais trazem vantagens de perspectivas sociais, econômicas e ambientais.

Os resíduos de construção e demolição (RCD), podem ser definidos como todo resíduo gerado nos processos de reforma, construção, demolição ou escavação. O entulho de construção é basicamente composto por restos e fragmentos de materiais, enquanto os de demolição são formados apenas por fragmentos. A reciclagem é a melhor maneira de

reutilizar os resíduos, pois além de evitar que se torne lixo poluente, contribui para a economia como oportunidade de trabalho e negócio (ABRECON, 2016).

Respalhada pelos impactos causados pela indústria de construção civil no ecossistema, a pesquisa busca por meios alternativos e seguros de construção, determinar um traço de produção de tijolos solo-cimento com adição de RCD, no qual resulte em um produto economicamente viável e assim popularizar a utilização dos tijolos ecológicos no mercado da construção civil.

Serão alvos do alcance dos resultados os engenheiros e construtoras, a fim de realizar uma substituição dos tijolos comuns, que exigem a queima para a sua obtenção, pelos tijolos solo-cimento, provocando assim uma quebra de paradigma relacionado ao que se diz respeito a utilização deste material.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

A pesquisa tem por objetivo determinar os teores de solo, cimento e resíduos de construção e demolição, na composição do tijolo solo-cimento atendendo as normas legais de fabricação, no qual resulte em um produto resistente, econômico e ecológico para assim promover maior propagação de sua utilização, e conseqüentemente contribuir com a atenuação dos impactos ambientais causados pela indústria da construção civil.

1.2.2 Objetivos específicos

- Estudar um traço viavelmente econômico para a fabricação dos tijolos solo-cimento;
- Realizar ensaios para as diferentes composições de traço testando substituições parciais dos resíduos de construção e demolição;
- Comparar o resultado final (análise de resistência à compressão e absorção) dos tijolos de solo-cimento seguindo as prescrições das normas técnicas regulamentadoras;
- Apresentar dados sobre a viabilidade da substituição parcial do material solo por adições de RCD.

1.3 METODOLOGIA

A metodologia aplicada para a elaboração desta pesquisa será guiada por referenciais teóricos como: normas, livros e artigos de mestrado e doutorado e também por parte experimental a qual será gerada a partir dos resultados atingidos através de ensaios laboratoriais.

Os ensaios laboratoriais serão gerados com características quantitativas – análise dos resultados de ensaios à compressão, dimensionamento e grau de absorção de água das amostras, e qualitativas – detalhamentos dos procedimentos de fabricação e levantamento de sua viabilidade.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

No capítulo 1 apresenta-se uma introdução a respeito do assunto a ser tratado em um contexto geral, os objetivos e metodologias do trabalho, também aborda a inevitabilidade de modernização, implementações de técnicas e reutilização de resíduos a fim de diminuir os impactos causados ao meio ambiente.

No capítulo 2 desenvolve-se a metodologia do trabalho onde será apresentado a sustentabilidade inserida no setor da construção civil e a reutilização do RCD como agregado reciclado.

No capítulo 3 demonstra-se as características sobre a utilização dos tijolos ecológicos apresentando as implicações da obtenção deste componente e suas peculiaridades no processo de fabricação.

No capítulo 4 é apresentado o programa experimental, demonstra-se as etapas relacionadas aos materiais e procedimentos utilizados nos ensaios conforme prescrições normativas.

No capítulo 5 é descrito os resultados e análises obtidos nos ensaios laboratoriais, abordando e analisando o processo de fabricação dos traços com diferentes níveis de adição do agregado reciclado RCD.

O capítulo 6 traz as considerações finais relacionadas ao desenvolvimento da pesquisa abordada, apresentando também as questões propostas pelo estudo ao qual aborda a viabilidade no processo de fabricação do tijolo de solo-cimento com substituições parciais de RCD e sugestões para trabalhos futuros.

2 SUSTENTABILIDADE

2.1 SUSTENTABILIDADE E ENGENHARIA CIVIL

As alterações ambientais proporcionadas pelas ações humanas estão gradativamente diminuindo a qualidade e quantidade dos recursos de sobrevivência das espécies. A engenharia civil é uma indústria responsável por gerar uma série de impactos ambientais, que se originam desde a fabricação do cimento, material utilizado em larga escala no desenvolvimento de projetos, e se estendem ao vasto volume de resíduos gerados nos processos construtivos (ABRECON, 2016).

Há uma crescente demanda na área da construção civil devido ao intensivo ritmo de desenvolvimento urbano fomentado pelos créditos habitacionais. Esta indústria causa impactos ambientais devido ao consumo elevado de recursos esgotáveis e pelo desconhecimento dos meios que geram poluição e degradação do ecossistema (MELO, 2006).

Tornam-se necessárias movimentações que busquem solucionar as causas das poluições ambientais e modelos de produção que almejem reduzir as agressões provocadas ao eco-sistema, como o caso do reaproveitamento dos resíduos gerados no desenvolvimento construtivo (CIB, 2002).

A questão dos resíduos de construção civil, tem sido um fator abrangente no Brasil pela alta quantidade de material gerado. Em relação a termos de coleta, uma pesquisa apresentada pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE, apresenta uma quantidade estimada de resíduos de construção civil coletados em 2010 de 99354 toneladas por dia (ABRELPE, 2011).

O RCD gerado é utilizado como matéria-prima para agregados de excelente qualidade, podendo ser reaproveitados em uma série de processos construtivos, são exemplos: confecção de tijolos, meio fio, calçadas, blocos pré-moldados, argamassa de revestimento, camadas de base e sub-base, pavimentos, dentre outros (BRASILEIRO; MATOS, 2015).

Uma tendência crescente no mercado é a incorporação de práticas de sustentabilidade na construção civil. As associações, governos e investidores são os principais agentes causadores desta demanda, visto que, as práticas sustentáveis se tornaram necessárias devido as influências do homem no ecossistema.

Há vários instrumentos que remetem acerca do planejamento de uma cidade os quais contemplam as necessidades de uma melhoria na qualidade ambiental, como por exemplo o Plano Plurianual (PPA), Lei de Diretrizes Orçamentárias (LDO) e o Plano Diretor.

Os municípios, devem gerir suas diretrizes em relação ao plano diretor, pois ele é o instrumento legal relacionado ao planejamento, assim como os direitos ligados ao uso, controle, parcelamento e ocupação do solo urbano conciliando as necessidades econômicas às de interesse do desenvolvimento sustentável (MOREIRA, 2005).

O planejamento das cidades está estabelecido na lei 10.257/2001 no Estatuto da Cidade (2008), ele estabelece as normas de ordem pública e interesse social que regem o uso da propriedade urbana em prol do bem coletivo, da segurança e do bem-estar social, assim como do equilíbrio ambiental.

O conceito de sustentabilidade não possui medida absoluta, todo projeto sempre poderá adotar soluções que diminuam seus impactos ambientais adequando seus meios de produção e direcionando seus resíduos para serem reaproveitados.

A construção sustentável é definida como o processo globalizante para estabelecer a harmonia entre os ambientes naturais e os que sofreram qualquer tipo de modificação causadas pelo homem, criando uma relação entre a dignidade humana e o desenvolvimento econômico (CIB, 2002). O desafio se tratando do desenvolvimento sustentável, basicamente gira em torno da diminuição do impacto ambiental, aumentando a justiça social dentro de um orçamento disponível.

Segundo o artigo 225 da Constituição Federal (BRASIL, 1988), todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

2.1.1 Contexto Histórico

Após a Primeira Grande Guerra Mundial e a criação da Liga das Nações, surge em 1920 a vontade do pensamento global com o objetivo de promover a paz, cooperação e a segurança internacional. Em decorrência à tragédia ocorrida em Hiroshima, na Segunda Guerra Mundial com o intuito de evitar outro desastre, nasce a Organização das Nações Unidas (ONU) em 1945. Com o nascimento da ONU há uma grande percussão relacionada a Declaração Universal dos Direitos Humanos em 1948, a qual reivindica os direitos básicos dos indivíduos sendo os direitos relacionados ao bem-estar social, econômico e ambiental (UNIETHOS, 2004).

O primeiro marco relacionado ao desenvolvimento sustentável, ocorreu em 1972 com a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio de Ambiente Urbano, conhecida como

Conferência de Estocolmo. Foram abordados diversos temas, estando presentes mais de 400 instituições governamentais e não governamentais e contou com a participação de 113 países. Essa conferência foi de extrema importância para a gestão e uso dos recursos naturais pelo homem, pontuando a necessidade da gestão visto que grande parte dos recursos não são renováveis e que seu consumo em larga escala deixa lacunas, muitas vezes irreversíveis (ONU, 1972).

Ocorre em 1987, a segunda reunião promovida pela Comissão Mundial do Meio Ambiente e Desenvolvimento, onde é elaborado o Relatório de Brundtland ou Nosso Futuro Comum, onde é estabelecido o conceito de desenvolvimento sustentável. Definido como o desenvolvimento que atende às necessidades do presente sem comprometer às necessidades de gerações futuras (BRUNDTLAND, 1991).

É realizada a terceira conferência após o fim da Guerra Fria, na década de 90 ocorre a conferência conhecida como Rio-92, Eco-92 ou Cúpula da Terra, onde por meio desta reunião foi gerada a Agenda 21, a conferência ocorreu passados 20 anos após a primeira conferência em Estocolmo. Na Rio-92 fica acordado, que os países em desenvolvimento devem receber apoio tecnológico e financeiro de maneira que alcancem um modo de agregar os componentes econômicos, sociais e ambientais, garantindo assim um desenvolvimento sustentável (RUIVO, 1993).

O tema sustentabilidade e o comportamento sustentável são relevantes para uma vasta área do conhecimento, ainda há poucos estudos relacionados a esta temática, principalmente aos relacionados às práticas exercidas pelas pessoas, empresas e organizações. Como propõe Souza e Pereira (2011), o mundo sofre por diversos problemas ambientais e a relação entre homem e natureza propõe cada vez mais, ações que ajam de maneiras preventivas com o objetivo de minimizar estes impactos.

No final da década de 80 e início da década de 90, foi apresentado o discurso da sustentabilidade como sentença principal nas argumentações que envolvem questões ambientais e de desenvolvimento social em um sentido abrangente. A sustentabilidade passou a assumir variados sentidos, suas representações passaram a ser notadas a partir do início da década de 70. Surgem movimentações relacionadas as preocupações com a sustentabilidade nos desenvolvimentos sociais, passando a ser tratados nas conferências internacionais promovidas pela Organização das Nações Unidas a discussão dos temas do meio ambiente e do desenvolvimento sustentável (LIMA, 2003).

São consideradas algumas diretrizes para uma construção sustentável, como por exemplo: pensar em longo prazo o planejamento da obra, eficiência energética, uso adequado

e reaproveitamento da água, uso de técnicas que busquem otimizar o aproveitamento dos recursos naturais, uso de materiais e técnicas corretas, permeabilidade do solo e gestão de resíduos sólidos (CIB, 2002).

Na indústria da construção civil, apenas na década de 1990 o conceito de “sustentabilidade” passa a ser acrescentado as ações e preocupações relacionadas ao desenvolvimento das obras, visto que a construção civil possui considerável impacto no desenvolvimento econômico regional, é de fundamental importância que a responsabilidade ambiental possua papel significativo. Estima-se que cerca de um terço do consumo de todos os recursos naturais despendidos no mundo é de responsabilidade da construção civil (TAIPALE, 2012).

Na década seguinte em 2000, uma nova etapa sobre sustentabilidade ganha destaque na indústria da construção civil, trata-se da discussão de construções sustentáveis e sistemas de certificação de empreendimentos sustentáveis. Conhecido como selo ambiental, a certificação surge nas conferências nomeadas de “Sustainable Building”, o selo passa a gerar uma maior necessidade de adequação por parte das construtoras em sistemas mais sustentáveis que busquem diminuir os impactos ao meio ambiente, com o auxílio da implementação de sistemas que garantam uma melhor gestão dos recursos demandados pela obra (SILVA *et al*, 2000).

É recente no Brasil o desenvolvimento das construções sustentáveis. É solicitado aos profissionais e empresas uma organização diferente, que implemente a necessidade de realizar o projeto de maneira integrada a fim de facilitar a efetivação do sistema e desta maneira conciliar os objetivos organizacionais aos de interesse social (ABRECON, 2016).

Entre as metodologias utilizadas a francesa conhecida como Haute Qualité Environnementale (HQE[®]) foi adaptada, resultando na certificação de Alta Qualidade Ambiental – AQUA, passando a ser implementada nas edificações brasileiras. A certificação AQUA é um processo de gestão de projeto visando obter a qualidade ambiental de empreendimento de construção ou reabilitação, gerenciando os impactos sobre o ambiente exterior criando um espaço interior sadio e confortável (VANZOLINI, 2015).

O termo “construção verde” surge a partir de uma preocupação coletiva relacionada com a preservação do meio ambiente, motivada pela consciência por parte da população em relação aos impactos ambientais gerados e os malefícios que serão provocados para as gerações próximas. A construção verde se instala no campo social respaldada pela necessidade da preservação do meio ambiente, buscando assim um desenvolvimento econômico sustentável (VANZOLINI, 2015).

2.2 GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS

No âmbito nacional, os resíduos de construção civil são gerados em uma escala preocupante, eles são coletados no montante de 7.192.372,71 toneladas/ano de origem pública, e de 7.365.566,51 toneladas/ano de origem privada, totalizando 14.557.939,22 toneladas/ano, segundo dados coletados pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS (BRASIL, 2010a).

O gerenciamento dos resíduos baseia-se na redução, reutilização e/ou reciclagem dos rejeitos, incluindo o planejamento, responsabilidades, práticas, procedimentos e recursos para desenvolver e executar as ações necessárias ao cumprimento das etapas previstas em programas e planos (BRASIL, 2002).

As gestões responsáveis dos resíduos gerados em canteiros de obras necessitam de um entendimento das dificuldades relacionadas aos processos construtivos de uma edificação e as complexidades em combinar os métodos de disposição dos resíduos. A implementação de programas é fundamental para auxiliar na gestão dos resíduos e proporcionar uma maior propagação dos conhecimentos de posturas sustentáveis por parte dos colaboradores.

Tais dificuldades necessitam de uma adequada combinação das formas de disposição do material. A prioridade está relacionada a não geração, o que significa a redução da geração do resíduo na fonte. Após gerado a sua reutilização deve ser considerada, verificando as possíveis possibilidades de reciclagem do material (BRASIL, 2002).

Outra maneira de reaproveitamento dos resíduos é na recuperação da energia, ou seja, a incineração do material, porém esse método de reaproveitamento deve ser avaliado realizando um comparativo se o impacto da queima justifica seu reaproveitamento. Em relação aos problemas, podemos destacar as falhas de manutenção e operacionais as quais resultam na emissão de gases poluentes na atmosfera – uma das razões pelas quais foram desativadas diversas unidades de incineração no país (CHIRICO, 1996).

No Brasil, a gestão e manuseio de resíduos de construção e demolição estão baseados, desde 2002, pela resolução 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. As legislações vigentes que regem o saneamento básico definidas pela política nacional para os resíduos sólidos incorporam as indicações gerais desta resolução e posicionam suas definições de saneamento e gestão dos resíduos (BRASIL, 2002).

2.2.1 Resolução CONAMA

Verificada a necessidade de implementação de diretrizes para a efetiva redução dos impactos ambientais, em 5 de julho de 2002 é gerada a resolução CONAMA de número 307, com o intuito de estabelecer critérios e métodos para o gerenciamento dos resíduos da construção civil. O Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA é o órgão responsável consultivo e deliberativo do Sistema Nacional do Meio Ambiente – SISNAMA, instituído pela Lei 6.938 (BRASIL, 1981), que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente.

A resolução define os resíduos de construção civil como provenientes de reformas, construções, demolições e reparos. Os resíduos abrangem uma vasta gama de materiais, como tijolos, forros, argamassa, vidros, plásticos, dentre outros. São popularmente conhecidos como metralha, calça ou entulho de obras. Os resíduos deverão ser classificados conforme sua reutilização, sendo separados em quatro categorias:

- **Classe A** – São os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados de construção, pré-moldados e pavimentação;
- **Classe B** – São os resíduos recicláveis para outras destinações, como exemplo: plástico, vidro, metal, madeira, papel entre outros.
- **Classe C** – São resíduos onde não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam sua reciclagem, como exemplo o gesso.
- **Classe D** – São os resíduos perigosos oriundos do processo de construção ou demolição que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde, como exemplo: tintas, solvente, óleo, instalações industriais, clínicas radiológicas, entre outros.

A resolução estabelece responsabilidade aos geradores, eles são definidos como os responsáveis pelas atividades ou empreendimentos que produzam os resíduos. São imputados para a redução e reutilização dos resíduos gerados. Fica determinado a proibição da destinação do material à aterros de resíduos domiciliares, em áreas de “bota fora”, encostas, corpos d’água, lotes vagos e em áreas protegidas por lei.

É estabelecido a implementação da gestão dos resíduos da construção civil com o auxílio do Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, este deve ser elaborado pelos municípios e pelo Distrito Federal, devendo incorporar projetos de gerenciamento de resíduos da construção civil.

2.2.2 Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil

Os Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos – PGRS são documentos com valor constitucional que instruem de forma eficaz na gestão dos resíduos. Eles orientam as empresas de modo que a auxiliem a gerir todos os resíduos que ocasionalmente venham produzir.

A partir de 02 de agosto de 2010 no Brasil, os PGRS são exigidos à um determinado grupo de empresas. Assim a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS tem nos Planos de Resíduos Sólidos um forte instrumento de aplicação da lei 12.305/2010. Em relação a sua elaboração e implementação, deve ser realizada a nível federal, estadual e municipal e por empresas públicas ou privadas (BRASIL, 2010b).

O plano integrado de gerenciamento de resíduos da construção civil deve conter as indicações técnicas e procedimentos necessários para a formulação do programa e dos projetos vinculados ao gerenciamento dos resíduos. Será de responsabilidade dos municípios e do Distrito Federal sua elaboração e implementação. Devem ser elaborados pelos grandes geradores os projetos de gerenciamento em obra possibilitando o exercício das responsabilidades relacionadas aos procedimentos de triagem, acondicionamento, transporte e destinação.

Para a elaboração do plano de gerenciamento serão apresentadas em formas de tópicos os passos necessários para sua formulação, são eles:

- I. Caracterização: etapa onde o gerador deverá identificar e quantificar os resíduos.
- II. Triagem: preferencialmente esta etapa deverá ocorrer na origem pelo gerador, também podendo ser realizada nas áreas de destinação licenciadas para esta finalidade.
- III. Acondicionamento: o gerador deve garantir a estocagem dos resíduos após a geração, garantindo a condição de reutilização até a etapa de transporte.
- IV. Transporte: deverá ocorrer conforme prescrições das normas técnicas vigentes relacionadas ao transporte de resíduos.
- V. Destinação: deverá ser prevista de acordo com o estabelecido na Resolução CONAMA número 307.

Para a elaboração de modelos de gestão são analisados e levados em consideração alguns parâmetros que influenciam na destinação dos recursos vinculados ao direcionamento de tais resíduos. Como exemplo: condições socioeconômicas do município, características

físicas da localidade, aspectos qualitativos e quantitativos dos resíduos, panorama de destinação dos resíduos, dentre outros critérios os quais se adaptem as necessidades de cada localidade e conforme solicitações específicas.

O Plano de Gerenciamento de resíduos da Construção Civil – PGRCC, precisa estar incorporado à estrutura organizacional da empresa, não deve ser uma ação pontual ou fora de contexto da realidade de execução da obra. Portanto, para facilitar sua implementação o programa de gestão deve ser inserido em programas de gestão já existentes na obra, como exemplo programas de qualidade, certificações ou sistema de gestão ambiental, para que a implementação seja executada de maneira mais efetiva.

Os hábitos a serem inseridos nos canteiros de obra visam principalmente garantir as condições para que as ações de seleção e armazenamento possam ser realizadas de forma eficiente, permitindo que os resíduos possam ser coletados, seletivamente, e transportados conforme a classe dos resíduos, para os locais de destinação adequados.

2.3 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)

Os resíduos produzidos pelas diversas atividades humanas precisam ser tratados e dispostos adequadamente, ao qual provoca um grande desafio para a administração privada e pública e, principalmente nos centros urbanos. Estes se baseiam de riscos potenciais à saúde humana e ao meio ambiente, uma vez que, quando classificados, manuseados, armazenados, transportados ou dispostos incorretamente podem causar impactos ambientais consideráveis e geração de défices ambientais (FIRJAN, 2006).

As técnicas de sustentabilidade ambiental buscam compatibilizar as ações antrópicas com as particularidades dos meios físicos, biológicos e socioeconômicos, diminuindo os impactos ambientais por meio da diminuição da geração de resíduos sólidos e pelo manejo apropriado dos resíduos produzidos (NAIME; SARTOR; GARCIA, 2004).

Os volumes de resíduos gerados são tidos como um problema de saneamento básico urbano, pelo grande volume e pela variedade dos materiais que o compõem. Diferente das demais operações de reciclagem, o resíduo de construção e demolição, é um resíduo com vastas combinações de materiais, pois os mesmos possuem alto volume de componentes com diferentes maneiras de reprocessamento o que acaba dificultando na sua reutilização (CIB, 2002).

Segundo a SINDUSCON-CE (2011), a composição dos resíduos de construção e demolição (RCD), está relacionada com fatores que envolvem a situação do desenvolvimento

econômico e tecnológico da região, as técnicas empregadas nas demolições, estação do ano e as matérias primas utilizadas.

Segundo a Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil (ABRECON, 2016), a indústria da construção civil é uma das ocupações mais antigas que se conhece e desde o princípio da humanidade foi produzida de forma artesanal, concebendo como subprodutos grandes volumes de entulho mineral. Embora os métodos de reciclagem dos resíduos minerais de construção e demolição tenham se modernizado, não se pode afirmar com ampla certeza de que a reciclagem tenha se tornado uma solução amplamente difundida.

O lixo proveniente de escombros da construção civil, embora não seja o lixo mais inconveniente, em relação a parâmetros de toxicidade, cria um alerta pela sua quantidade gradativa e requer providências imediatas. Podem ser utilizados na recuperação de áreas inundadas ou mesmo em aterros, porém muitas vezes são dispostos de maneira aleatória e irregular, na beira de estradas, cursos d'água ou antigas cavas, quando não lançados em aterros sanitários. Porém o dilema reside na carência de áreas apropriadas para o seu descarte, que com o crescimento das metrópoles, tais áreas tornam-se cada vez mais remotas, cabendo a reutilização dos resíduos gerados em alvos construtivos (AMORIM *et al.*, 1999).

Segundo Melo (2006) os principais impactos causados pelos resíduos de construção e demolição são: o assoreamento de rios e córregos, ocupações de vias, diminuição da vida útil de aterros sanitários, atração de vetores causadores de doenças, obstrução de canais de drenagem, enchentes, entre outros.

Há diversas formas de eliminação dos resíduos de construção e demolição, são exemplos: reciclagem, incineração ou aterro. A prioridade é baseada na minimização da utilização de recursos naturais e na preservação do meio ambiente. A redução é o método melhor e mais eficiente para a diminuição da geração de resíduos e eliminação de muitos dos problemas de disposição destes materiais. O reuso simplesmente movendo materiais de uma aplicação para outra, é a aplicação mais desejável depois da redução pela simplicidade do processo e pouca energia usada. A reciclagem é um dos processos fundamentais, principalmente no caso do produto resultante for transformado em um novo material (PENG *et al.*, 1997).

Embora os métodos de reciclagem dos RCDs tenham se modernizado, não pode-se afirmar com convicção que a reciclagem se tornou uma ideia vastamente difundida. Devido a isso países tecnologicamente desenvolvidos como os Estados Unidos, Japão, Bélgica e outros, notaram a necessidade de reciclar os resíduos de construção civil e buscam padronizar os processos para a obtenção de agregados com alto padrão de qualidade (LEVY, 1995).

2.3.1 Utilização do RCD

Em relação à utilização dos resíduos de construção e demolição, a primeira aplicação significativa registrada foi após a Segunda Grande Guerra Mundial. Foi utilizado na reconstrução das cidades Europeias, as quais tiveram seus edifícios totalmente destruídos nesta situação com o vasto volume de escombros e entulho resultantes, o material foi britado para produção de agregado visando atender à demanda na época. Assim, pode-se dizer, que a partir de 1946 houve o início do desenvolvimento das tecnologias de reciclagem de entulho da construção civil (LEVY, 1995).

A caracterização do RCD e o entendimento de seus componentes são obrigatórios para definir os meios de processamento e destino do material. Definir qual tratamento deverá ser realizado para garantir um reaproveitamento e reciclagem bem-sucedida, estas definições são necessárias pois tanto as composições quanto as proporções se diversificam em cada região.

O agregado reciclado pode ser utilizado em vários segmentos do setor da construção, e as aplicações mais indicadas são em bases e sub-bases na pavimentação de estradas, aterros, argamassas, concreto e matéria-prima para produção de tijolos e blocos solo-cimento, mas para esta última finalidade é necessário que o material reciclado apresente características compatíveis para fabricação de elementos com qualidade (COSTA; CARNEIRO; NEVES, 2000).

Segundo Araújo e Carnáuba (2010), são parâmetros importantes na caracterização: massa aparente, composição gravimétrica, absorção de água, distribuição do material nos intervalos de densidade, as fases minerais presentes, a composição química e a composição física.

Segundo a NBR 10004 (ABNT, 2004), os resíduos sólidos em geral são classificados de acordo com a atividade que lhes deu origem e conforme seus materiais constituintes. Eles podem ser classificados como:

Classe I – Perigosos

Classe II – Não perigosos

- a) Classe II A – Não inertes
- b) Classe II B – Inertes

Os resíduos de construção civil são classificados como sendo Classe II B, conforme indicações contidas na NBR 10004 (ABNT, 2004) podem ser definidos como sendo todo resíduo que, quando submetido a um contato dinâmico e estático com água destilada ou

desionizada, à temperatura ambiente não sofra quaisquer tipos de reações químicas mantendo seus aspectos físicos inertes, assim como apresentados os materiais ilustrados na Figura 1.

Figura 1 - Resíduos de construção e demolição



Fonte: ABRECON, 2016

A reutilização dos resíduos se torna possível a partir da definição dos sistemas e tecnologias de construção durante as etapas de desenvolvimento do projeto. Os resíduos produzidos numa obra podem ser reutilizados desde que sejam adequados procedimentos na busca de maior racionalização.

No Brasil, os estudos relacionados ao RCC tiveram início na década de 80 trazendo dados de caracterização e quantificação, além de possíveis aplicações após as etapas de beneficiamento nas usinas de triagem e reciclagem (PINTO, 1999).

Em relação a suas vantagens de utilização podem ser pontuadas: utilização de todos os componentes sem a necessidade de seleção, economia energética no processo de moagem do entulho, possibilidade de utilização de uma maior parcela do entulho produzido e a probabilidade de melhorias no comportamento do concreto em relação aos agregados convencionais (BRASILEIRO; MATOS, 2015).

Um dos principais impedimentos na reutilização do RCD está relacionado a crença de que materiais reciclados não possuem constância na qualidade. As produções de materiais secundários de bom desempenho podem alcançar alta qualidade, porém quando comparados com os primários possuem maior custo de produção, porém em contrapartida quando empregado de maneira consciente os custos de produção podem ser convertidos em lucro recuperando assim o capital despendido no reprocessamento (BRASILEIRO; MATOS, 2015).

2.3.2 Areia reciclada

A areia reciclada é um produto obtido a partir dos resíduos de concreto da construção civil, possui como característica física ser livre de impurezas, durável e isenta de materiais estranhos que possam interferir na reação de endurecimento do cimento. Sua utilização é recomendada em argamassas de assentamento, contrapisos, tijolos solo cimento, blocos e tijolos de vedação e em regiões onde não hajam solicitações mecânicas.

Segundo a Resolução do CONAMA n° 307, define agregado reciclado como material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção que apresentem características técnicas para a aplicação em obras de edificações, infraestrutura, aterros sanitários ou outros alvos de construção (BRASIL, 2002).

O entulho pode ser utilizado junto ou separado a porções de solo, necessita ser processado por equipamentos de britagem até alcançar a granulometria desejada. Também pode ser empregado na obtenção de concreto não utilizado à fins estruturais partindo do pressuposto da substituição dos agregados convencionais, conforme ilustra Figura 2.

Figura 2 – Areia Reciclada



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

Em relação a confecção de blocos de concreto, principalmente com a utilização de agregado reciclado deve-se analisar pontos bastante relevantes como o caso das características necessárias que se deve atender, quando os mesmos forem submetidos às solicitações de serviço, podemos citar características como a taxa de resistência à compressão onde é observado quando os blocos são introduzidos como material de pavimentação, assim como analisar as taxas de absorção de água e abrasão. Na utilização dos blocos como vedação, os principais dados que serão avaliados devem ser tanto à compressão, além da absorção de água medindo conseqüentemente as suas taxas (HOOD, 2006).

3 ALVENARIA E SOLO-CIMENTO

3.1 ALVENARIA

O sistema construtivo baseado na alvenaria surgiu a partir do empilhamento de maneira pura e simples de tijolos ou blocos de modo a suprir as necessidades de seus alvos de construção. Chamamos de alvenaria o conjunto de componentes sobrepostos unidos em sua interface, por uma argamassa apropriada, formando um elemento vertical coeso (TAUIL; NESE, 2010).

A utilização da alvenaria remonta a milhares de anos, onde de maneiras empíricas o homem fazia o uso de materiais como pedras e barro para compor suas edificações, sendo eles para uso desde residenciais, monumentais, templos religiosos entre outros fins.

Em suas formas primitivas, a alvenaria foi construída tipicamente com tijolos de barro de baixa resistência ou de pedra, sendo o projeto baseado em métodos experimentais. Ao longo do tempo, foram desenvolvidas unidades cerâmicas cozidas e outros materiais de alta resistência, porém o empirismo nos desenvolvimentos de projetos e construções se mantiveram até o século 20 (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

As três pirâmides de Quéfren, Queóps e Miquerinos as quais datam de 2600 anos antes de Cristo representam a capacidade humana de movimentação de recursos para a obtenção de grandes monumentos (RAMALHO; CORRÊA, 2003). Os monumentos são um marco histórico devido sua importância nos conceitos relacionados a engenharia e arquitetura conforme ilustrado na Figura 3:

Figura 3 - Necrópole de Gizé



Fonte: LIBERATO, 2006

Ainda segundo Ramalho e Corrêa (2003), classifica-se como componente da alvenaria uma entidade simples, elementos que compõem paredes que por sua vez irão compor a estrutura. Os componentes principais da alvenaria modular são: blocos, argamassas, graute e armadura. Os elementos são uma parte suficientemente elaborada da estrutura, sendo formada pelo menos por dois componentes, como exemplo: paredes, pilares, cintas, vergas, dentre outros.

A alvenaria possui como função resistir as ações de ventos e carregamentos mecânicos empregadas às mesmas, resistir a solicitações sem manifestar sinais de colapso, garantir isolamento acústico e conforto térmico ao ambiente, resistir as ações do fogo e também não possibilitar que as intempéries externas as edificações possam de alguma maneira atingir seu interior (BUSSAB; CURY, 1990).

Os modelos de alvenaria utilizados se distinguem principalmente quanto a sua finalidade e solicitações, há aquelas que não possuem nenhuma função estrutural, apenas utilizadas para vedação, se estendem até as autoportantes, a alvenaria que substitui estruturas, podendo ou não ser reforçadas por barras de aço. Ainda em relação a essa diversificação, há alvenarias executadas com ou sem argamassa de assentamento (TAUIL; NESE, 2010).

A alvenaria predominou como material estrutural até o final do século XIX possuindo limitações relacionadas as técnicas empregadas na obtenção de edificações, isto devido as características empíricas envolvidas no processo de obtenção dos propósitos construtivos (ROCHA, 2012).

Na indústria de construção civil, os conhecimentos técnicos são as soluções do trabalho produtivo para o projetista, construtor ou fiscal. Entender sobre as limitações dos materiais e o alcance das técnicas construtivas auxilia nas etapas de elaboração e conclusão dos projetos que são propostos (FIRJAN, 2006).

Segundo Kazmierczak (1989) as alvenarias se diferenciam segundo critérios conforme sua finalidade, podendo ser estruturais ou mesmo de vedação; quanto os materiais constituintes, podendo ser: alvenaria de tijolos maciços, de blocos cerâmicos, dentre outros; e também pelo seu processo de fabricação: alvenarias pré-fabricadas ou feitas em obra.

Com a utilização de modelos mais racionais juntamente com a evolução das técnicas construtivas, incentivados com o amparo do contexto histórico e da eficiência construtiva, a alvenaria se solidifica e passa a ganhar cada vez mais otimizações e implementações com o intuito de aperfeiçoamento do modelo construtivo.

3.2 ALVENARIA DE SOLO CIMENTO

A alvenaria de solo-cimento passou a ser conhecida há algumas décadas no país, porém o grande estimulante que denota e propicia o seu uso atual, se dá pelo fato da sua relevante divulgação nos núcleos de pesquisa, sendo que a facilidade de aquisição de equipamentos para sua fabricação, também demonstra uma parcela considerável na sua difusão no mercado (TEIXEIRA, 2004).

A construção baseada na utilização da terra crua é considerada um dos métodos construtivos mais antigos utilizados no contexto da construção civil, porém a sua regressão é estimulada similarmente a medida que se diligência por construções designadas sustentáveis (MATOS, 2012).

Todavia, a terra é ponderada e caracterizada como um material de construção aparentemente delicado, no entanto quando se realiza a combinação com água, é executável a fabricação de materiais com resistências relevantes, permitindo edificar sistemas altamente duráveis (FERNANDES, 2006).

Na constituição dos elementos pertencentes a utilização do sistema construtivo desse tipo de alvenaria, o solo é o componente que apresenta maior intensidade, devendo ser executado de forma que consuma quantidades controladas de cimento, em prol de favorecer um melhor custo-benefício.

De acordo com Pinto (1980) o ideal é que o solo aplicado na fabricação dos tijolos contenha aproximadamente 15 % de areia e silte, estando englobado com 20% de areia fina, sendo que a parcela referente ao pedregulho é de 35%, utilizando assim 30% de areia grossa.

Consoante com Faria (1990) o principal fator que determina a propriedade qualitativa resultante dos tijolos de solo-cimento comprimido, é o empacotamento das partículas de grãos logo após a compactação do solo. Uma vez que o equipamento empregue para sua fabricação e moldagem tem primordial importância, pelo fato de determinar as características produtivas finais do produto, de forma que propicie uma baixa porosidade e apreciável densidade.

Segundo ABCP (1987) o emprego da alvenaria de solo-cimento na produção de edificações populares concede uma ampla economia, com atenuação dos empenhos em até 40% do custo integral da obra, pela ocorrência abundante de utilização do solo e devido ao seu pequeno dispêndio de mercado. Outra virtude é a possibilidade de minimizar os gastos realizando a fabricação dos tijolos no próprio canteiro de obras, aproveitando assim de forma admissível a mão de obra já existente.

Como indicado por Teixeira (2004), além do adequado desempenho termoacústico e da atenuação dos custos quando comparados com a alvenaria convencional de tijolos cerâmicos, a principal vantagem de se aderir a esse tipo de sistema, está nas circunstâncias que envolvem a questão ambiental, pois para se ter uma dimensão do quesito citado, na fabricação de aproximadamente mil tijolos cerâmicos com 20 cm de largura, 20 cm de comprimento e 10 cm de espessura, é inevitável a incineração de cinco árvores de médio porte ou a utilização de óleo combustível na razão de 120 kg.

3.2.1 Contexto Histórico

As primeiras informações de projetos significativamente atuais, com o intuito de obter pela fusão do solo com o cimento um elemento de construção econômico, tecnológico e estável, surgiu na Flórida (EUA), onde no ano de 1995 um construtor decidiu pavimentar a rua da cidade de Sarasota, alinhando a aplicação de conchas retiradas do mar, cimento e areia de praia, porém pela quase ausência de técnicas consolidadas no período, essa experiência não se tornou válida cientificamente (PITTA, 1995).

O tijolo de terra comprimida pode ser considerado um aperfeiçoamento do adobe, na qual é uma metodologia construtiva que utiliza terra crua para a concepção de paredes com fôrmas secas ao sol, executada em sua maioria por processos artesanais.

Após ensaios realizados em 1935 no laboratório da Portland Cement Association (PCA), simultaneamente com o Departamento de Estradas da Califórnia, foi procedida a construção de uma pista probatória de aproximadamente 2,5 km de extensão nos arredores da cidade de Johnsonville, na qual a partir desse feito foi onde se tornou válida a aplicação dos ensaios efetuados. Posteriormente à realização desses estudos, diversos estados iniciaram procedimentos de utilização para o sistema de solo-cimento, manuseando o material principalmente na elaboração de pavimentos rodoviários, aprimorando cada vez mais as observações acerca do material e aperfeiçoando as técnicas usuais e a sua avaliação de qualidade (LIMA, 2006).

A finalidade aplicacional do solo-cimento teve início no Brasil na ocasião em que a Associação Brasileira de Cimento Portland, em 1936 regularizou o seu desempenho, utilizando o material inicialmente em sub-bases e bases de pavimentos, para logo após ser empregue como revestimentos em canais, taludes e reservatórios (GRANDE, 2003).

Silva (1994) salienta que a utilização do solo-cimento na edificação de moradias no Brasil, teve o seu surgimento em 1948, com construções das casas no Vale Florido, situadas

na cidade de Petrópolis, no Estado do Rio de Janeiro. Os atributos qualitativos relacionados a preservação que tais obras apresentam, demonstra as virtudes técnicas e construtivas do material utilizado.

A começar dos anos 70, iniciou-se discussões referentes aos efeitos ambientais provocados pela construção civil, engenheiros e arquitetos e vários institutos de pesquisa começaram a favorecer a prática do solo-cimento como um objeto de construção civil. Em decorrência dessa concepção, dentre as corporações internacionais que defendem tal causa, destaca-se o International Centre on Earthen Architecture (CRATerre), situado na França. No Brasil ressalta algumas instituições congruentes ao conhecimento dessa ciência, dentre elas a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) e Associação Brasileira dos Construtores em Terra (ABCTerra) (GRANDE, 2003).

3.2.2 Técnicas construtivas utilizando o solo

O aproveitamento da terra como material de construção, se remonta em torno de aproximadamente nove mil anos pelo homem, utilizando a mesma em metodologias como a construção em adobe, taipa de pilão ou então o conjunto em prol da confecção de blocos em terra compactada (MATOS, 2012).

As táticas convencionais fundamentadas no exercício usual da terra crua como instrumento de construção civil, são técnicas consideradas artesanais, visto que emprega materiais existentes na própria localidade da construção. Por esse motivo, muitas das vezes denotam mudanças de uma região para a outra (GONÇALVES; GOMES, 2012).

Conforme destaca Cunha (1978), os adobes são tijolos produzidos através do amoldamento do barro molhado com elevada plasticidade, no qual são usados moldes para a fabricação e secagem ao sol, apesar de ser um conjunto construtivo modesto, é possível alcançar paredes com resistência significativa. Os tijolos de terra compactada por sua vez são submetidos através de utensílios mecânicos a pressões extremamente altas, sendo utilizados solos preferencialmente arenosos estabelecidos com cimento. Finalmente a taipa de pilão é caracterizada pelo fato do solo ser compactado interiormente em moldes móveis com posições sucessivas distribuídas em camadas, sendo o solo arenoso o mais viável para a sua manufatura.

Dentre as técnicas mais aplicadas no Brasil no período da colonização, evidencia o pau a pique e o uso da taipa, uma vez que o processamento da taipa de pilão era destinado exclusivamente para a construção de departamentos públicos, dentre eles igrejas e edificações

da ordem diretora, tal ocorrência se deve pelo fato de necessitar de esforços superiores e mão de obra ocasional (SILVA, 2000).

As Figuras 4, 5 e 6 expõe as táticas de construção em terra usualmente trabalhadas, relacionadas previamente, demonstrando o seu processo de fabricação e peculiaridades finais das obras realizadas.

Figura 4 - Confeção e posterior construção realizada em adobe



Fonte: VENDRAMI, 2006

Figura 5 - Técnica de construção denominada Taipa de Pilão



Fonte: RECRIAR, 2018

Figura 6 - Metodologia construtiva baseada em tijolos de terra compactada



Fonte: AECWEB, 2018

3.2.3 Materiais constituintes dos tijolos ecológicos

Os tijolos ecológicos, também conhecidos como tijolos de solo-cimento, perante a um cenário onde os materiais como o plástico e concreto governam, é situado como um elemento que chega para agradar e cada vez mais ganhar espaço, pertinente a atender as necessidades tanto da população mais carente, tais quais podem fabricá-los e obter um controle de gastos apropriados, mas também por ser aplicado por pessoas de classes sociais mais altas, na edificação de obras customizadas.

Sala (2006) indica que o tijolo ecológico é obtido através da mistura do solo com cimento, que posteriormente são comprimidos, evidenciando que seu método de fabricação não requer queima, não poluindo o ar e nem provocando o desmatamento.

No quesito qualidade, Barbosa (2003) declara que as condições características do tipo de solo empregado, umidade de apropriação, modo de realização da prensagem e outros fatores como o estabilizante usado, têm ligação direta com o resultado do produto final.

A NBR 10833 (ABNT, 2013) procede com a recomendação dos materiais que devem ser utilizados na produção dos tijolos de solo-cimento, tanto os fabricados por prensa manual ou hidráulica, definindo também os requisitos gerais de cada um dos elementos relacionados com a mistura.

3.2.3.1 Solo

Segundo o Dossiê Técnico elaborado pelo Instituto de Tecnologia do Paraná (UCHIMURA, 2006), no qual discorre a respeito de informações tecnológicas importantes acerca de componentes de solo-cimento, o solo deve ser o constituinte mais abundante da mistura, em uma quantidade aproximada entre 6% a 10% em agente de peso, tendo como principal função a estabilização dos elementos e a adequação das resistências desejáveis para o produto final.

Conforme descrito na NBR 10833 (ABNT, 2013), o solo utilizado na montagem dos tijolos não deve abranger matéria orgânica em quantidades que interfira de maneira negativa na hidratação do estabilizante usado, no caso o cimento. Recomenda-se que o solo a ser utilizado na junção dos materiais para proceder com a composição final das peças, atenda as prescrições da NBR NM 49 (ABNT, 2001) que trata das impurezas orgânicas dos agregados miúdos.

A Tabela 1 demonstra consoante a NBR 10833 (ABNT, 2013) os requisitos comuns que o solo utilizado na preparação deve atender:

Tabela 1 - Aspectos característicos do solo conforme a NBR 10833 (ABNT, 2013)

Atributos	Circunstâncias %
% passando na peneira com abertura de malha de 4,75 mm	100
% passando na peneira com abertura de malha de 75 µm	10 a 50
Limite de liquidez	≤ 45
Índice de plasticidade	≤ 18

Fonte: NBR 10833 (ABNT, 2013)

Em conformidade com o mesmo Dossiê Técnico citado anteriormente, o solo a ser utilizado para a elaboração das unidades de tijolos, deve ser um solo no qual suas propriedades sejam semelhantes com a do solo arenoso, os mesmos utilizados na preparação do reboco e das argamassas de alvenaria.

Acrescentando e fundamentando a afirmação anterior, o Boletim Técnico 111 (2000) elaborado pela Associação Brasileira de Cimento Portland, evidencia que na maioria das vezes os solos caracterizados como arenosos demandam quantidades menores de cimento quando se faz um paralelo com os solos siltsosos ou argilosos. Um dos outros fatores que devem ser levados em consideração é a estocagem do solo a ser usado, sendo que o mesmo

deve apresentar baixa umidade e algumas quantidades de argila, para proporcionar a coesão, possibilitando o seu desmolde após a compactação e o seu subsequente manuseio.

As proporções existentes na constituição do solo, difere em conformidade das colocações de cada autor e de alguns institutos, a Portland Cement Association (PCA, 1969) conceitua o solo arenoso compósito com pedregulho como sendo o ideal, englobando de 65% a 90% de areia, com a composição de silte e areia diversificando de 10% a 35%.

Barbosa (2003) descreve que para conseguir tijolos de excelente qualidade, o solo ideal é o que manifesta em sua formação, 70% de areia, 11% da constituição em argila e 18% de silte. O solo utilizado pela empresa que procede com a fabricação dos tijolos está ilustrado na Figura 7.

Figura 7 - Solo empregado na manufatura dos tijolos



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

3.2.3.2 Cimento

A NBR 10833 (ABNT, 2013) determina que seja utilizado o Cimento Portland que atenda conforme a categoria aplicada, as normas técnicas propícias e as suas recomendações, observando as diretrizes, conforme o tipo escolhido seguindo as prescrições previstas em norma.

O cimento utilizado para a determinação dos traços e posterior fabricação dos tijolos ensaiados, tem suas instruções fundamentadas na NBR 16697 (ABNT, 2018). O Cimento Portland de alta resistência inicial (ARI), em concordância com o que é descrito na norma, é um ligante hidráulico que contempla os requisitos de uma elevada resistência inicial, sendo

obtido através da trituração do clínquer Portland, formado em sua maioria por silicatos hidráulicos de cálcio, sendo que o que possibilita a sua alta resistência é a dosagem diferenciada de argila e calcário na geração do clínquer.

Conhecido como cimento ARI, a sua sigla usual é determinada em norma, e atende por CP V-ARI, sendo essa designação (ARI) o fator mínimo de resistência à compressão contados 7 dias após sua execução, representado por 34 MPa.

Segundo a empresa fabricante dos tijolos, optou-se pelo cimento Portland de alta resistência inicial, pelo fato do mesmo alcançar uma resistência inicial elevada, viabilizando a fabricação e alcançando resistências significativas já nos primeiros dias após sua fabricação.

A Figura 8 retrata o cimento utilizado no estudo da dosagem inerente a utilização para a constituição dos traços.

Figura 8 - Cimento utilizado na produção dos tijolos



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

3.2.3.3 Água

A NBR 10833 (ABNT, 2013) aponta que a água integrante da mistura, na qual será preparado os tijolos, não deve conter em sua composição a existência de impurezas nas quais prejudique a hidratação do cimento.

Congruente a mesma norma citada anteriormente, a água deve estar em conformidade com a NBR 15900-1 (ABNT, 2009) que demonstra os requisitos da água para a fundamentação do amassamento do concreto, descrevendo os procedimentos de análise e suas metodologias de avaliação.

3.2.4 Fabricação dos tijolos ecológicos

Enquanto descrito na NBR 10833 (ABNT, 2013) previamente a confecção dos tijolos, é necessário realizar determinados ensaios de caracterização do solo, tais quais respondam as exigências estabelecidas nas condições de definição, granulometria, limite de liquidez, índice de plasticidade e demais fatores que englobam os seus aspectos característicos citados na Tabela 1, de maneira que seja possível verificar o seu atendimento as regras expostas.

Segundo a ABCP (2000), a fabricação de tijolos de solo-cimento com a utilização de prensas tem seu início na etapa de preparação do solo, no qual o solo contendo baixa umidade é retirado da jazida e transportado para um depósito. Realiza-se o destorroamento do material, seguido de peneiramento através da peneira ABNT 4,8 mm e posterior descarte do material retido.

Coerente com os aspectos da NBR 10833 (ABNT, 2013) no procedimento de dosagem é essencial preparar três traços distintos de solo-cimento, sucedendo com a moldagem de no mínimo 20 tijolos ou blocos, sendo que em seguida deverão ser separadas 10 amostras para submetê-las aos ensaios.

Na mesma norma aludida anteriormente, apresenta-se outros critérios que relacionam particularidades referidas a premissas específicas, que compreende aos fatores relacionados como mistura, moldagem, cura, armazenamento e transporte.

No item mistura, especifica-se que para a sua consolidação é necessário inserir o cimento já gradado e peneirado ao solo até que se obtenha uma tonalidade uniforme, transferindo a associação imediatamente para a fôrma, de maneira que propicie a execução da prensagem, determinando que o procedimento pode ser realizado tanto de maneira manual quanto mecânica.

O argumento no qual é citado a metodologia de moldagem, define que após a retirada dos tijolos ou blocos fabricados, é essencial empilhá-los na sombra, sobre um plano liso com uma altura máxima de 1,5 metros.

A norma também aponta que a realização da cura, é baseada no princípio de manter os elementos úmidos nos primeiros 7 dias consecutivos da sua produção, podendo ser utilizados 14 dias após a confecção.

Finalmente nos parâmetros inerentes ao armazenamento e transporte, a NBR 10833 (ABNT, 2013) sugere a utilização de paletes para a conservação das unidades.

Na preparação dos tijolos nos quais buscou-se a definição de um traço que concilie um ganho de resistência com um incentivo em relação a viabilidade econômica, foi utilizado um

misturador automático em conjunto com esteira transportadora, uma vez que tal conjunto dispõe da função de transferir a mistura diretamente para o sistema de prensagem.

Na empresa que foi procedida a industrialização dos tijolos, utiliza-se uma prensa automática da marca Alroma, destinada especificamente à produção de tijolos de solo-cimento e pavers.

Segundo o fabricante do equipamento usado para a prensagem, as principais vantagens dessa máquina, são que a mesma atende os critérios de segurança das normas regulamentadoras do ministério do trabalho, oferece ergonomia, tranquilidade e segurança, de modo que o mesmo funcionário que opera o aparelho extrai o tijolo, possuindo também conjunto exclusivo de remoção dos tijolos.

A obtenção dos tijolos solo-cimento seguem basicamente as mesmas etapas de produção manual, utilizando de equipamentos misturadores, peneiras vibratórias e prensas. As etapas consistirão em: peneiramento do solo e areia; medição de volume dos componentes; realização do processo de mistura; controle de umidade com adição de água; operação de prensagem, retirada dos moldes e organização para transporte e locação das peças em local apropriado para os processos de secagem e cura (SEBRAE, s. d.).

As Figuras 9 e 10, apresentam o misturador automático, esteira e a prensa automática que opera na construção dos tijolos.

Figura 9 - Misturador automático e esteira transportadora



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

Figura 10 - Prensa automática da Alroma

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

Conforme Neves (1989) os tijolos de solo-cimento, independentemente da fabricação por ferramentas manuais ou automatizadas, estabelece um sistema consolidado no fortalecimento dos projetos habitacionais, pelo fato de apresentar uma mão de obra habituada e simples operação dos maquinários.

O mercado brasileiro oferece variados tipos e modelos de tijolos de solo-cimento, que são adotados nas construções conforme o projeto, mão-de-obra, materiais, equipamentos locais, e demais especificidades, segundo Pisani (2002). A escolha dos modelos será definida conforme projeto de modulação da edificação, deverá ser escolhido o tijolo que melhor se adeque as necessidades construtivas buscando uma otimização e agilidade na etapa construtiva.

Os tijolos devem ser ensaiados conforme prescrições normativas contidas nas normas regulamentadoras: NBR 8492 (ABNT, 2012) – Tijolo de solo-cimento – Análise dimensional, determinação de resistência à compressão e da absorção de água, para verificação dos requisitos físicos do produto. Em relação aos índices específicos necessários para a aceitação do material estão descritos na NBR 8491 (ABNT, 2012) – Tijolo de solo-cimento – Requisitos, nesta norma estão contidas as exigências mínimas de referência para as solicitações mecânicas empregadas aos tijolos, sendo necessário atingir 2,0 MPa em relação a resistência média, não devendo ser inferior a 1,7 MPa em relação a resistência individual, já em relação ao índice de absorção de água não deverá ultrapassar 20% de seu volume.

4 PROGRAMA EXPERIMENTAL

4.1 INTRODUÇÃO

O programa experimental apresentado neste trabalho foi desenvolvido no Centro Tecnológico (CT) do Centro Universitário de Anápolis – UniEvangélica, já a fabricação dos tijolos de solo-cimento foi realizada em uma empresa da cidade de Anápolis especializada na produção deste material. O objetivo dos experimentos foi, através de ensaios laboratoriais, contribuir com novas informações no estudo deste tipo de alvenaria, verificando as alterações de resistência à compressão conforme variação do teor de RCD presente no produto.

De uma maneira geral, os ensaios laboratoriais apresentam equações relacionadas com variáveis de simples definição, porém não podem ser aplicadas de maneira generalizada por tornarem-se válidas somente nos elementos presentes naquela pesquisa em específico. As relações elaboradas também são uma forma de prescrição da ação da alvenaria, porém as mesmas envolvem propriedades e componentes dos materiais aos quais são de complexa determinação. Dessa maneira, em geral, os projetistas acolhem as proposições normativas e os resultados são elementos superdimensionados a favor da segurança, situação a qual poderia ser evitada caso ocorresse uma melhor aplicação dos materiais (OLIVEIRA, 2006).

Neste capítulo serão exibidos, os materiais e suas caracterizações utilizadas para obtenção dos resultados, conforme prescrições normativas. Em relação aos ensaios de resistência à compressão serão realizados comparativos relacionando as resistências obtidas em relação a variabilidade do índice de RCD presente na amostra.

4.2 FABRICAÇÃO TIJOLO SOLO-CIMENTO

Para a obtenção dos tijolos de solo-cimento, é necessário a combinação de materiais como o solo, cimento Portland e água, sendo necessária a caracterização do teor de umidade e densidade dos materiais que possam influenciar em relações que afetem diretamente a resistência do produto, como a relação água/cimento. O tijolo terá como constituinte parcial um agregado conhecido como areia reciclada, o qual irá compor diferentes variações da composição em três traços, de modo que seja realizada uma verificação quanto sua influência relacionada as solicitações mecânicas e no custo de produção.

4.2.1 Solo

Para a fabricação foi utilizado o solo de uso comum da empresa na fabricação dos tijolos, caracterizado com granulometria menor que 4,75 milímetros, ou seja, solo passante na peneira de #4 (número de abertura por polegada linear denominado “mesh”), ou 3/16” polegadas, sua caracterização está detalhada no capítulo 5.1.1. A realização da escolha do solo, foi efetuada com a exposição a temperatura ambiente para sua secagem, conforme ilustra Figura 11. De maneira que se simplifica o processo produtivo, o material passou pelo procedimento de destorroamento devido à presença de uma haste metálica situada no eixo do misturador, o solo também foi submetido ao sistema de peneiramento em virtude da peneira de malha 25 milímetros situada sob a saída dos insumos com destino a esteira transportadora, para que as posteriores etapas de mistura fossem beneficiadas.

Figura 11 - Solo



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

4.2.2 Areia reciclada

Uma empresa situada na cidade de Aparecida de Goiânia na qual é especialista na gestão, transporte, tratamento e reciclagem de resíduos de construção civil, disponibilizou uma quantidade de areia reciclada para a realização desta pesquisa. Foram aplicados processos de peneiramento manual pelo fato da visualização de agregados com tamanhos consideráveis, tais quais oriundos de um possível britagem irregular, de modo que as implementações de prováveis alterações no processo não fujam da realidade de produção. Todo RCD utilizado possui granulometria inferior a 4,75 mm, sua caracterização esta

detalhada no capítulo 5.1.2, o agregado foi utilizado da mesma maneira que saiu do seu reprocessamento com posterior peneiramento na peneira de malha 2,79 milímetros, ilustrado na Figura 12.

Figura 12 - Areia reciclada



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

4.2.3 Cimento

O cimento utilizado para fabricação dos tijolos de solo-cimento, foi o empregue pela empresa da cidade de Anápolis responsável pela produção, conhecido como CP V – ARI da marca Tocantins (Obras Especiais), indicado para a fabricação de artigos pré-fabricados, utilizado devido a sua peculiaridade de atingir altas resistências iniciais, auxiliando no manuseio e também nos processos de transporte e cura.

4.2.4 Traços

Conforme orienta NBR 10833 (ABNT, 2013), deverão ser preparados três traços de solo-cimento, de cada traço deverá ser moldado no mínimo 20 unidades de tijolos ou blocos para que sejam retiradas dez amostras aleatoriamente, para posterior realização dos ensaios. Após produzidos, as amostras serão ensaiadas conforme requisita NBR 8492 (ABNT, 2012) que trata dos métodos de ensaio utilizados para a caracterização do tijolo solo-cimento.

Para a confecção dos tijolos submetidos aos ensaios, foram realizadas substituições parciais do solo pela areia reciclada com a finalidade de reduzir a quantidade utilizada de solo natural. Para uma melhor representação dos resultados, foram testadas quatro variações nas

quantidades de RCD, foram substituídas em percentagem em relação ao volume total do solo conforme demonstrado no Quadro 1.

Quadro 1 - Porcentagens de RCD

Solo + Areia Reciclada	100% de solo + 0% de areia reciclada	T1
	90% de solo + 10% de areia reciclada	T2
	80% de solo + 20% de areia reciclada	T3
	70% de solo + 30% de areia reciclada	T4

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

Conforme exemplifica a NBR 10833 (ABNT, 2013) que trata a respeito da fabricação dos tijolos de solo-cimento, a mistura dos materiais deve ser realizada de forma manual ou mecânica, devendo ocorrer até os materiais atingirem coloração uniforme apresentando uma homogeneização dos constituintes. A água, deve ser colocada gradativamente, misturando os materiais até que atinjam a umidade ideal de trabalho.

Na Figura 13 é demonstrado o recipiente utilizado para realização do lançamento do material no misturador automático, o qual irá garantir a homogeneização dos constituintes do tijolo de solo-cimento.

Figura 13 - Mistura solo e cimento



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

Após misturado, o material deverá ser transferido para a execução da prensagem (Figura 14), para que as interações de hidratação do cimento não comprometam os requisitos mecânicos do produto.

Figura 14 - Esteira de transporte do solo cimento



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

Segundo informações repassadas pela empresa de Anápolis fabricante dos tijolos de solo-cimento, o parâmetro de fabricação que eles utilizam se baseia na aplicação de 400 litros de solo, 40 quilogramas de cimento, sendo que a água é variável de acordo com a umidade do solo baseada nos aspectos visuais do componente, visto que tal relação proporciona a fabricação de 140 tijolos.

Diante do destacado, usou-se um vínculo proporcional para chegarmos ao traço T1 que é o de referência, no qual foi estipulada a fabricação de 30 tijolos de cada traço para proceder com a análise e os ensaios regulamentares.

Com o atributos matemáticos da regra de três simples, chegou-se na relação resultante de 86 litros de solo e 8,57 quilogramas de cimento, sendo que em prol de facilitar e aprimorar a execução dos cálculos e resultantes de resistência, implementou-se as propriedades do arredondamento, adequando a massa equivalente do cimento para 10 quilogramas, sendo que com o auxílio de um dos técnicos da empresa, após uma observação visual determinou-se o emprego de 6 litros de água, pelo fato do aglomerado ter chegado a aspectos parecidos com os usuais.

Para obtenção dos tijolos foram produzidos quatro traços, o primeiro fabricado como traço referência e os demais respeitando as variações propostas no Quadro 1, substituindo parcialmente os volumes de solo, adequados de maneira que facilitassem a sua execução e implementação, sendo descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Traços fabricados

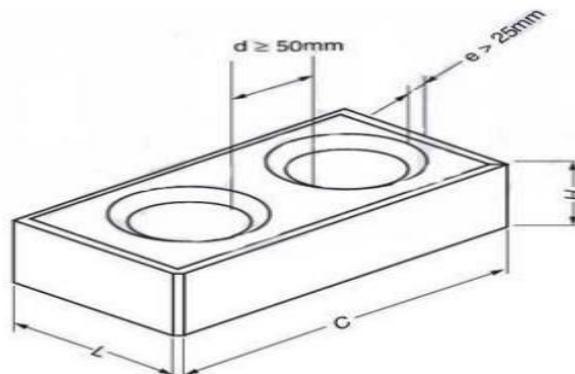
TRAÇO	RCD (%)	SOLO (L)	CIMENTO (Kg)	ÁGUA (L)	RESÍDUO (L)	TIJOLOS FABRICADOS (UNDD)
T1	0	86	10	6	-	21
T2	10	77	10	6	9	21
T3	20	69	10	6	17	29
T4	30	60	10	6	26	24

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

Devido as perdas ocorridas durante o processo de fabricação o material previsto não produziu a quantidade levantada, porém como a norma NBR 10833 (ABNT, 2013) exemplifica, são necessários 20 unidades para que sejam realizados os ensaios seguindo as prescrições normativas da NBR 8492 (ABNT, 2012), sendo que dentre as 20 unidades devem ser selecionadas 10 aleatoriamente onde 7 unidades serão submetidas ao ensaio de compressão e as outras 3 deverão ser submetidas aos ensaios da absorção de água para verificação do atendimento a norma.

Para os tijolos vazados, os furos devem estar dispostos em relação ao seu eixo perpendicular a superfície de assentamento, visto que, além das características estruturais relacionadas a sua forma tal disposição auxilia na execução de alvenaria armada, na disposição de eletrodutos ou tubulações hidráulicas.

Quanto aos requisitos relacionados a sua estrutura são descritos pela NBR 8491 (ABNT, 2012), os tijolos devem possuir espessura mínima das paredes no seu entorno devendo ser de 25 mm e a distância mínima entre os furos de 50 mm, conforme exemplifica Figura 15.

Figura 15 - Tijolo solo-cimento vazado

Fonte: NBR 8491 (ABNT, 2012)

Assim como é solicitado pelas normas vigentes, o tijolo possui arestas vivas e não apresenta fissuras, fraturas ou quaisquer outros defeitos que possam comprometer sua utilização ou durabilidade da alvenaria, o resultado é demonstrado nas Figuras 16 e 17.

Figura 16 - Tijolo solo-cimento saindo da prensa



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

Figura 17 - Tijolo solo-cimento acabado



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

O produto da fabricação foram tijolos solo-cimento com dimensões nominais de 25 x 12,5 x 7 centímetros, os quais atendem a NBR 10833 (ABNT, 2013) tanto pela metodologia aplicada para a obtenção do produto quanto pelas características físicas relacionadas a suas dimensões.

4.2.5 Cura

Conforme NBR 10833 (ABNT, 2013) após produzidos, os tijolos ou blocos devem ser empilhados, à sombra em superfície plana e lisa, até uma altura máxima de 1,5 metros, conforme ilustra Figura 18. Quanto a sua utilização, os tijolos de solo-cimento poderão ser utilizados após os 14 dias de sua fabricação.

Figura 18 – Tijolos paletizados para cura



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

Os tijolos foram empilhados em paletes para passarem pelo processo de cura. Conforme prescrições normativas após a moldagem os elementos devem ser umedecidos durante os sete primeiros dias a fim de garantir a cura necessária. Para auxiliar o processo de cura, os tijolos foram colocados em um paleta coberto por plástico bolha para que não houvessem interações entre os tijolos e a madeira e os mesmos pudessem ter sua umidade absorvida pelo material, tal procedimento é demonstrado na Figura 19.

Figura 19 - Cura dos tijolos



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

4.3 ENSAIOS

4.3.1 Análise dimensional

Para a realização dos ensaios, utilizamos os tijolos com dimensões de 25 x 12,5 x 7 centímetros fabricados conforme descrito na seção 3.2.4. As dimensões devem atender prescrições normativas contidas na Tabela 3.

Tabela 3 - Dimensões nominais

Tipos	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Altura (mm)
A	200	100	50
B	240	120	70

Fonte: NBR 8491 (ABNT, 2012)

Segundo NBR 8491 (ABNT, 2012) as dimensões devem atender as constantes na Tabela 3, porém podem apresentar diferenças das contidas nesta tabela, desde que o tijolo possua altura menor que sua largura, sendo este o caso ao qual estará embasada esta análise.

Para realização das análises dimensionais, foi utilizado um paquímetro digital pertencente ao CT da UniEvangélica (Anápolis) com aferição de calibração. Conforme NBR 8492 (ABNT, 2012), para cada dimensão de prova devem ser executadas pelo menos 3 aferições em pontos distintos de cada face, sendo realizada uma determinação em cada extremidade e no meio do corpo de prova conforme ilustra Figura 20, o paquímetro conforme exigido por norma possui resolução de 0,5 mm.

Figura 20 - Análise dimensional



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

4.3.2 Ensaio de resistência à compressão

Para a realização dos ensaios de resistência à compressão, foram seguidas as determinações contidas na NBR 8492 (ABNT, 2012). De cada amostra deverão ser ensaiados, quanto as solicitações mecânicas de sete unidades, as quais precisarão passar por procedimentos para validar sua resistência à compressão.

Os ensaios de resistência as solicitações de compressão, foram embasados na norma citada no parágrafo anterior. É estipulado na NBR 8491 (ABNT, 2012) os parâmetros necessários para a aceitação dos tijolos onde a mesma estabelece a resistência mínima individual de 1,7 MPa para cada tijolo ensaiado.

Os valores individuais de resistência à compressão, são obtidos através da divisão da carga máxima de ruptura pela área da seção de trabalho. A realização do rompimento se deu após 25 dias a data de sua fabricação.

As etapas a serem seguidas para a obtenção do corpo de prova, o qual será submetido ao ensaio de compressão deverá seguir as orientações prescritas na norma NBR 8492 (ABNT, 2012), as quais serão apresentadas a seguir.

1 - Realizar um corte perpendicular à sua maior dimensão, cortando o tijolo ao meio, conforme ilustrado na Figura 21.

Figura 21 - Ensaio corte perpendicular



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

2 - Sobrepor suas faces de modo que suas dimensões de maior proporção fiquem perpendiculares no sentido horizontal conforme demonstrado na Figura 22. Realizar a união do CP com a utilização de pasta de cimento Portland.

Figura 22 - Ensaio faces sobrepostas



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

3 - Quando o tijolo possuir rebaixos, sobrepor as faces de maneira que as reentrâncias fiquem localizadas nas faces de trabalho. Realizar o preenchimento das reentrâncias com pasta de cimento Portland para realizar uma regularização de modo que não prejudique os resultados, conforme ilustra Figura 23.

Figura 23 - Ensaio regularização



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

4 - Para obtenção da pasta de capeamento para realização do ensaio de compressão, foi utilizado pasta de cimento Portland com espessura de 3 milímetros, conforme exemplifica NBR 8492 (ABNT, 2012). Após realizado o capeamento (Figura 24), foi utilizado um nível de bolha para verificação do nivelamento dos corpos de prova, visto que seu desnível pode influenciar na etapa de rompimento que irá definir sua resistência as solicitações mecânicas.

Figura 24 - Capeamento concluído



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

5 – Após capeados e a pasta atingir o endurecimento necessário, os tijolos de solo-cimento deverão ser imersos em água por no mínimo 6 horas. Para garantir o devido índice de absorção os corpos de prova foram deixados submersos em 7 horas antes da realização do ensaio à compressão, conforme ilustra Figura 25.

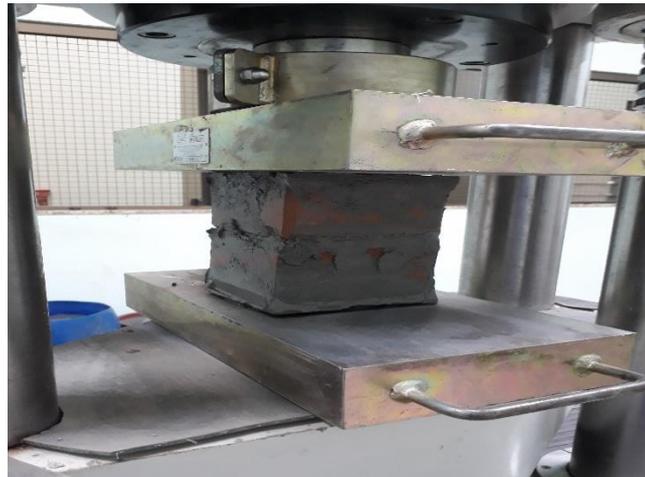
Figura 25 - Imersão dos corpos de prova



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

6 – Realizou-se o rompimento dos corpos de prova com o auxílio da prensa mecânica Universal Pavitest Contenco, a qual é responsável pela distribuição das solicitações ao corpo de prova de modo contínuo sem gerar impactos que possam atrapalhar a interpretação dos resultados. O corpo de prova deverá ser colocado no prato inferior da máquina e ficar centralizado para que as solicitações sejam melhor distribuídas (Figura 26). A carga foi elevada até ocorrer a ruptura do corpo de prova.

Figura 26 - Rompimento dos CPs



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

Os tijolos de solo-cimento durante o ensaio de resistência à compressão, apresentaram uma forma de ruptura semelhante em todas as amostras, caracterizada por fissuras no sentido vertical assim como apresentada na Figura 27.

Figura 27 - Ruptura padrão



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

4.3.3 Ensaio da absorção de água

Para realização do ensaio da absorção de água conforme orientação da NBR 8492 (ABNT, 2012), utilizou-se a parte correspondente aos 30% da amostra representativa. No caso estudado foram ensaiados três corpos de prova de cada traço (Figura 28). Como orienta a norma os corpos de prova foram colocados em uma estufa em temperatura de 105 °C. Segundo a NBR 8492 (ABNT, 2012) a temperatura da estufa pode estar de 105 °C a 110 °C e o CP deverá permanecer na estufa até atingir uma massa constante, obtendo assim a massa M_1 do corpo de prova seco.

Figura 28 – Ensaio da absorção de água – CP na estufa



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

Após atingir constância de massa, os corpos de prova deverão ser retirados da estufa e expostos ao ambiente. Como serão imergidos a rápida variação de temperatura não poderá causar nenhum efeito em sua estrutura, portanto os tijolos devem estar a temperatura ambiente quando forem ser submetidos a imersão no tanque.

Os tijolos deverão ser imergidos (Figura 29) em um tanque durante o período de 24 horas. Após retirados da água, enxugar superficialmente com um pano levemente umedecido e realizar a pesagem dos tijolos antes de decorridos 3 minutos, para assim determinar a massa M_2 correspondente ao corpo de prova saturado NBR 8492 (ABNT, 2012).

Figura 29 - Submersão dos corpos de prova



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

5.1.1 Saibro

O saibro é definido como um elemento argilo-arenoso ou areia argilosa o qual possui origem sedimentar. Segundo NBR 13529 (ABNT, 2013), o saibro é um material oriundo de granitos e gnaises, com minerais parcialmente decompostos, sendo arenoso ou siltoso, possui baixo teor de argila e cor variada.

Para a fabricação dos tijolos ecológicos, o solo deve atender algumas recomendações descritas na NBR 10833 (ABNT, 2013), são elas:

- 100% do material deve passar na peneira com abertura de malha de 4,75 mm
- 10% a 50% do material deve passar na peneira com abertura de 75 µm
- Limite de liquidez menor ou igual a 45%
- Índice de plasticidade menor ou igual a 18%

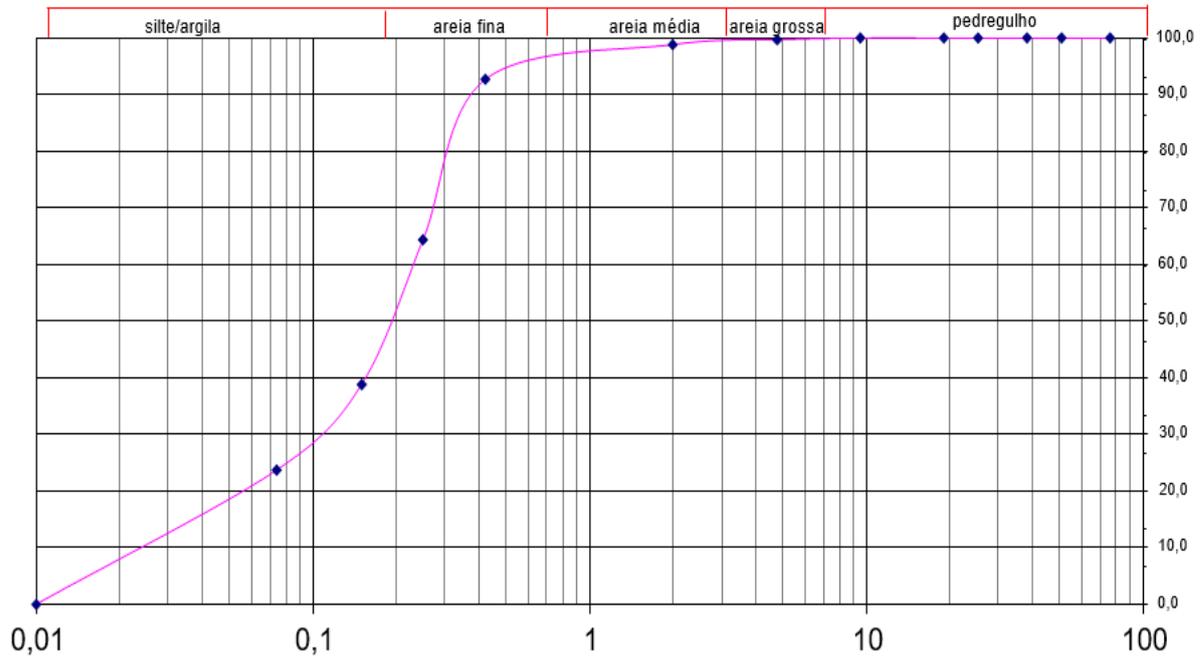
A Tabela 4 apresenta o resumo relacionando as dimensões características dos agregados ao material retido em cada peneira, e no Gráfico 1 é representada a distribuição granulométrica da amostra. Assim é demonstrado que, em relação ao material passante nas peneiras, o solo atende em partes os tópicos em relação as recomendações exigidas pela norma.

Tabela 4 - Análise granulométrica saibro

PENEIRAS	mm	PESO RETIDO (g)	% RETIDA	% ACUMULADA	% PASSANTE
3/8"	9,52	0	0	0	100
4	4,76	5,34	0,27	0,27	99,7
10	2	17,27	0,9	1,17	98,9
16	1,2	0,67	0,7	1,87	98,2
30	0,6	1,79	1,8	3,67	96,4
40	0,42	3,7	3,7	7,37	92,7
60	0,25	28,52	28,4	35,77	64,4
100	0,15	25,67	25,5	61,27	38,8
200	0,074	15,2	15,1	76,37	23,7
FUNDO	0	23,8	23,72	100	0
Amostra Seca (g):	Módulo de finura (MF):		Dimensão máx. característica (mm):		
1987,9	2,75		9,52		

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

Gráfico 1 - Distribuição Granulométrica



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

Mesmo com o pequeno desvio relacionado a retenção de material na peneira de 4,76 mm, o saibro foi utilizado para fabricação devido o mesmo ser empregado pela empresa na obtenção dos tijolos de solo cimento. A variação apresentada foi de 0,3% de retenção de material na peneira de 4,76 mm, sendo assim o aconselhado é que o solo seja trocado para algum que atenda todas as prescrições normativas.

Como requisito exigido nos ensaios de solo, também foi realizado o ensaio de limite de liquidez do saibro, o qual é apresentado a seguir na Tabela 5 e ilustrado no Gráfico 2.

Tabela 5 - Limite de liquidez saibro

Nº CÁPSULA	C + S + A ¹ (g)	C + SOLO ² (g)	CÁPSULA (g)	ÁGUA (g)	SOLO (g)	UMIDADE %	GOLPES
222	20,58	18,23	7,26	2,35	10,97	21,4	49
240	20,57	17,23	7,11	3,34	10,12	33	40
253	20,58	17,83	7,34	2,75	10,49	26,2	34
231	21	17,78	7,4	3,22	10,38	31	23
242	21,43	17,42	7,19	4,01	10,23	39,2	12
LIMITE DE LIQUIDEZ						29,8	

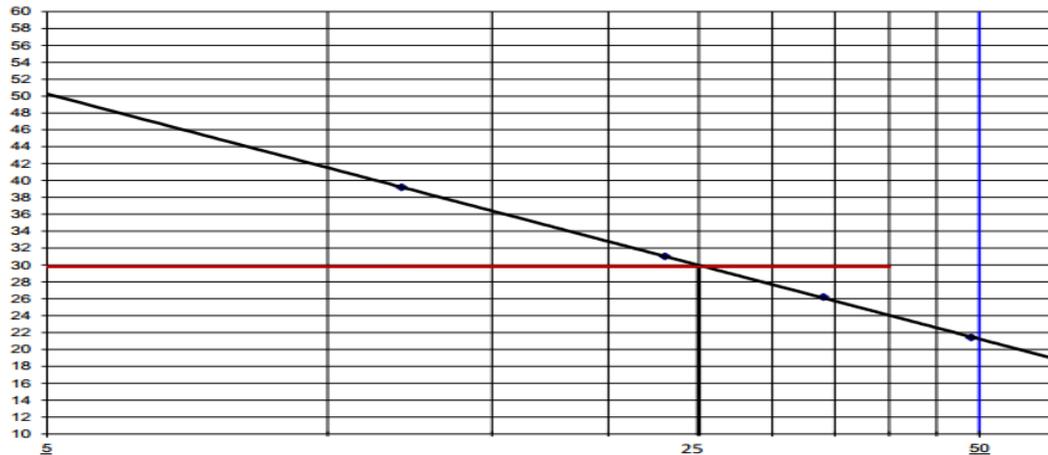
Onde:

C + S + A¹ - representa a composição de cimento, solo e água

C + Solo² - representa a composição de cimento e solo

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

Gráfico 2 - Limite de liquidez saibro



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

Quanto ao requisito de limite de liquidez, o ensaio demonstrou que o solo atende as prescrições normativas, visto que, o limite aceitável é de 45% e o resultado atingido foi de 29,8%. Em relação ao ensaio de índice de plasticidade o solo não apresentou características físicas que possibilitassem sua execução.

5.1.2 Areia reciclada

A caracterização da areia reciclada foi embasada na NBR NM 248 (ABNT, 2003), a qual dita os procedimentos necessários para a obtenção dos resultados apresentados na Tabela 6. Notou-se que a areia reciclada atende os requisitos exigidos pela NBR 10833 (ABNT, 2013).

Tabela 6 - Composição granulométrica média das amostras de Areia Reciclada

ABERTURA	MASSA RETIDA (g)	PORCENTAGEM RETIDA (%)	PORCENTAGEM ACUMULADA (%)
4,75 mm	0,00	0	0
2,36 mm	9,80	1,96	1,96
1,18 mm	80,2	16,04	18
600 µm	94,7	18,94	36,94
300 µm	134,9	26,98	63,92
150 µm	100,2	20,04	83,96
Fundo	80,10	16,02	99,98
Σ	499,90	99,98	
Módulo de Finura		Classificação	DMC (mm)
2,05		Areia Fina	2,36 mm

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

5.2 RESULTADOS DOS ENSAIOS

Os resultados obtidos serão analisados conforme parâmetros prescritos na NBR 8491 (ABNT, 2012) – Tijolo de solo cimento – Requisitos. É apresentado no Quadro 2 os parâmetros obedecidos para realização do aceite dos resultados apresentados pelos ensaios.

Quadro 2 - Critérios de análise

Classificação		Requisito
Tolerâncias dimensionais	Largura	± 1 mm
	Altura	
	Comprimento	
Resistência à compressão	Valores médios	≥ 2,0 MPa
	Valores individuais	Não inferior a 1,7 MPa
Absorção de água	Valores médios	≤ 20% para valores médios
	Valores individuais	≤ 22% para valores individuais

Fonte: NBR 8491 (ABNT, 2012)

5.2.1 Análise dimensional

Análise relacionada ao Traço 1, o qual não possui em sua composição adição de resíduos de construção e demolição, resultados apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Análise dimensional - Traço 1

Amostra	Comprimento (mm)				Largura (mm)				Altura (mm)			
	1	2	3	Média	1	2	3	Média	1	2	3	Média
1A	249,81	249,70	249,99	249,83	125,50	126,46	125,37	125,78	70,71	70,43	71,29	70,81
1B	249,09	248,84	249,11	249,01	125,50	126,45	125,53	125,83	68,92	69,26	69,02	69,07
1C	249,18	248,96	249,16	249,10	125,81	126,43	125,41	125,88	69,87	68,50	69,95	69,44
1D	248,99	248,87	249,15	249,00	125,41	126,46	125,40	125,76	69,08	69,29	69,06	69,14
1E	249,51	249,45	249,39	249,45	125,68	126,77	125,01	125,82	69,90	68,07	69,20	69,06
1F	249,45	249,29	249,46	249,40	125,65	126,82	125,04	125,84	69,32	68,88	69,36	69,19
1G	249,49	249,25	249,42	249,39	125,65	126,79	125,08	125,84	69,38	69,69	68,84	69,30
1H	249,22	249,40	249,37	249,33	125,62	126,42	125,72	125,92	70,02	68,05	69,07	69,05
1I	249,32	249,21	248,99	249,17	125,46	126,44	126,03	125,98	69,33	69,02	68,74	69,03
1J	249,36	249,33	249,17	249,29	125,82	126,72	125,15	125,90	69,42	67,99	69,96	69,12

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

Análise relacionada ao Traço 2, o qual possui em sua composição adição de 10% de resíduos de construção e demolição, resultados apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Análise dimensional - Traço 2

Amostra	Comprimento (mm)				Largura (mm)				Altura (mm)			
	1	2	3	Média	1	2	3	Média	1	2	3	Média
2A	249,51	249,57	249,64	249,57	126,17	125,14	125,81	125,71	69,26	68,73	69,55	69,18
2B	249,12	249,56	248,94	249,21	125,42	126,43	125,53	125,79	69,91	68,31	69,08	69,10
2C	249,20	248,99	249,11	249,10	125,90	126,48	125,41	125,93	68,87	68,52	69,91	69,10
2D	248,99	249,72	249,01	249,24	125,32	126,49	125,40	125,74	69,10	68,44	69,60	69,05
2E	249,22	249,57	249,38	249,39	125,58	126,05	126,01	125,88	69,32	68,79	69,29	69,13
2F	249,39	249,26	249,42	249,36	125,59	125,90	126,04	125,84	69,89	67,90	69,31	69,03
2G	249,51	249,28	249,36	249,38	125,64	125,89	125,78	125,77	69,29	69,71	68,90	69,30
2H	249,25	249,32	249,16	249,24	125,92	125,42	126,02	125,79	69,68	68,40	69,01	69,03
2I	249,24	248,97	249,38	249,20	125,77	125,51	125,98	125,75	69,16	69,04	68,99	69,06
2J	249,37	248,55	249,42	249,11	125,64	125,99	125,79	125,81	69,04	68,95	69,04	69,01

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

Análise relacionada ao Traço 3, o qual possui em sua composição adição de 20% de resíduos de construção e demolição, resultados apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Análise dimensional - Traço 3

Amostra	Comprimento (mm)				Largura (mm)				Altura (mm)			
	1	2	3	Média	1	2	3	Média	1	2	3	Média
3A	249,75	249,68	249,80	249,74	126,06	125,04	126,13	125,74	70,38	68,91	70,69	69,99
3B	249,21	248,98	249,16	249,12	125,61	126,69	125,49	125,93	69,09	68,85	69,11	69,02
3C	249,22	249,05	249,23	249,17	125,91	125,33	125,62	125,62	68,99	69,59	69,84	69,47
3D	249,08	248,84	249,25	249,06	125,49	125,36	125,44	125,43	69,17	69,35	69,26	69,26
3E	249,20	249,77	249,45	249,47	125,72	125,57	126,13	125,81	69,47	69,55	69,40	69,47
3F	249,57	249,11	249,62	249,43	125,68	126,92	125,08	125,89	69,51	68,91	69,42	69,28
3G	249,81	249,67	249,46	249,65	125,72	125,79	125,38	125,63	69,28	69,05	69,81	69,38
3H	249,95	249,89	249,58	249,81	125,76	126,02	125,42	125,73	68,99	69,09	69,45	69,18
3I	249,70	249,68	249,67	249,68	125,84	126,33	125,21	125,79	69,46	69,04	69,08	69,19
3J	249,63	249,69	249,99	249,77	125,91	125,98	125,56	125,82	68,97	68,94	69,11	69,01

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

Análise relacionada ao Traço 4, o qual possui em sua composição adição de 30% de resíduos de construção e demolição, resultados apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Análise dimensional - Traço 4

Amostra	Comprimento (mm)				Largura (mm)				Altura (mm)			
	1	2	3	Média	1	2	3	Média	1	2	3	Média
4A	249,76	249,70	249,70	249,72	126,11	125,31	125,99	125,80	71,20	70,11	71,36	70,89
4B	249,71	248,97	248,99	249,22	125,33	126,46	126,02	125,94	69,01	68,45	69,69	69,05
4C	249,24	248,99	249,13	249,12	125,51	125,99	125,21	125,57	69,77	69,02	68,92	69,24
4D	248,99	249,22	249,37	249,19	125,71	125,36	125,34	125,47	69,58	68,79	69,15	69,17
4E	249,56	249,81	249,42	249,60	125,78	125,87	126,11	125,92	69,32	69,79	69,29	69,47
4F	249,27	249,56	249,47	249,43	125,85	125,92	125,99	125,92	69,53	68,02	69,56	69,04
4G	249,81	248,97	249,58	249,45	125,25	126,22	125,88	125,78	69,58	69,11	68,95	69,21
4H	249,06	249,91	249,02	249,33	125,11	125,33	125,09	125,18	68,99	68,09	69,98	69,02
4I	249,11	249,05	249,33	249,16	125,38	125,42	125,87	125,56	69,57	69,19	68,99	69,25
4J	249,26	249,45	248,97	249,23	125,46	125,38	125,33	125,39	69,06	69,55	69,55	69,39

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

Conforme delimita NBR 8492 (ABNT, 2012), todas as amostras ensaiadas dos tijolos fabricados atendem as normas devido suas alterações em relação as dimensões não ultrapassarem o valor de 1 milímetro.

5.2.2 Absorção de água

Para a realização da leitura dos resultados colhidos no ensaio da absorção de água prescrito pela NBR 8492 (ABNT, 2012), foi utilizada a literatura para exemplificar e orientar a respeito das operações a serem utilizadas para obtenção dos resultados. Define-se o índice de absorção do material por:

$$A = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100 \quad (1)$$

onde:

A – é a absorção de água, expressa em porcentagem (%);

M_1 – é a massa do corpo de prova seco em estufa, expressa em grama (g);

M_2 – é a massa do corpo de prova saturado, expressa em gramas (g).

O índice de absorção do material, é um fator que influencia diretamente o desempenho do elemento, onde tal ensaio simula a execução prática do produto em situações a qual será aplicado. Este índice está diretamente ligado a porosidade do material, que é um fator que influência significativamente na vida útil deste elemento.

Para efeitos de cálculo, foi utilizada a Equação 1 que orienta em relação a determinação do índice de absorção de cada amostra. Após aplicados, os resultados foram dispostos nas Tabelas 11 e 12 apresentadas a seguir:

Tabela 11 - Valores individuais das amostras conforme NBR 8492 (ABNT, 2012)

NOMECLATURA	M1 (g)	M2 (g)	A (%)
1H	3245	3715	14,48
1I	3245	3725	14,79
1J	3255	3755	15,36
2H	3250	3735	14,92
2I	2990	3525	17,89
2J	3230	3695	14,4
3H	2950	3505	18,81
3I	2910	3480	19,59
3J	2895	3455	19,34
4H	3055	3600	17,84
4I	2975	3535	18,82
4J	3040	3580	17,76

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

A Tabela 11 contém os valores individuais das amostras ensaiadas. Utilizou-se conforme delimita NBR 8492 (ABNT, 2012) os valores médios alcançados para a obtenção da Tabela 12, onde estão descritos as médias dos resultados dos traços ensaiados para assim realizar o aceite conforme exemplificado no subitem 7.2 da norma supracitada.

Tabela 12 - Valores médios das amostras conforme NBR 8492 (ABNT, 2012)

TRAÇO	MÉDIA DOS VALORES INDIVIDUAIS (%)
1	14,88
2	15,74
3	19,25
4	18,14

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

As amostras ensaiadas atendem as solicitações contidas na NBR 8491 (ABNT, 2012), visto que ela estipula que a média dos valores de absorção de água não podem ultrapassar 20% em relação a seu índice de absorção e nem os valores individuais superiores a 22%.

5.2.3 Resistência à compressão

Os valores individuais relativos a resistência à compressão de cada amostra dos quatro traços distintos, conforme prescrições da NBR 8492 (ABNT, 2012) são expressos em megapascals (MPa), tais quais os valores são atingidos dividindo a carga máxima alcançada através do experimento, pela área de contato da face de trabalho conforme ilustrado pela Equação 2.

$$f_t = \frac{F}{S} \quad (2)$$

onde:

f_t – é a resistência à compressão simples, expressa em Mega Pascal (MPa);

F – é a carga de ruptura do corpo de prova, expressa em Newtons (N);

S – é a área de aplicação da carga, expressa em milímetros quadrados (mm²).

Para efeitos de cálculo, considera-se 1 MPa = 10 Kgf/cm²

Compatível com os critérios de aceitação e rejeição determinados na NBR 8491 (ABNT, 2012) os valores médios atingidos nos ensaios de resistência à compressão não deve exibir valores menores que 2,0 MPa e nem resultados individuais inferiores a 1,7 MPa, com a ressalva de que o subitem 7.2.1 orienta que caso mais da metade das amostras individuais apresentem valores individuais inferiores aos definidos anteriormente, o lote deve ser rejeitado, sendo que tal observação é de grande importância para o estudo proposto, uma vez que conforme as Tabelas 14 a 17, alguns corpos de prova apresentaram desvio padrão desproporcional aos demais resultados, porém na verificação geral em paralelo com o item 7.2 da NBR 8491 (ABNT, 2012) todos os traços atendem as condições médias e individuais de compressão.

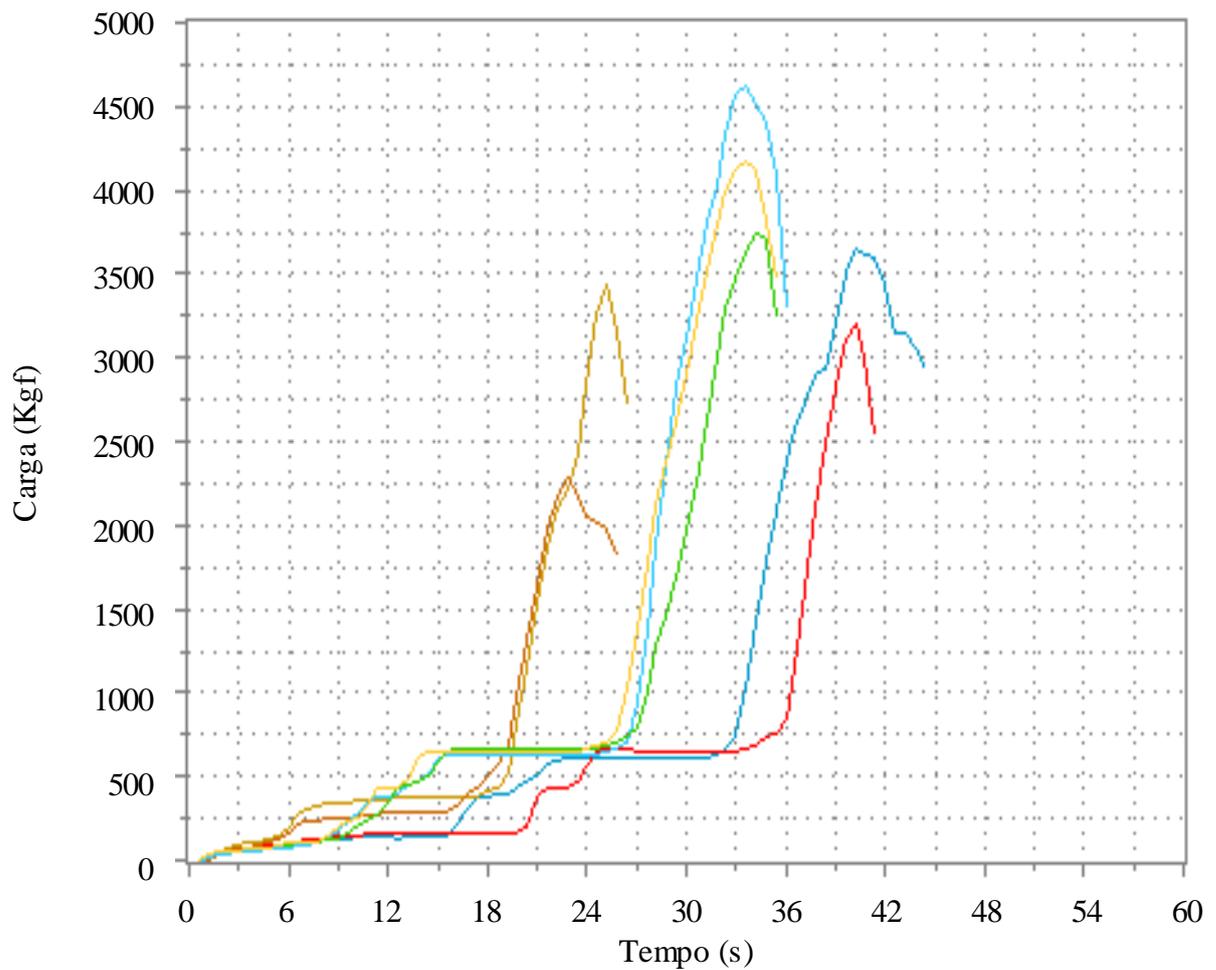
- Traço 1 - Composto de 100% de solo natural

Tabela 13 - Resultado de ensaio à compressão - Traço 1

Id. CP	Idade (dias)	Tensão Ruptura (MPa)	Carga Ruptura (kgf)	Carga Ruptura (N)
Tijolo 1A	25	2,3	3.660	35.892,34
Tijolo 1B	25	2,0	3.210	31.479,35
Tijolo 1C	25	2,2	3.430	33.636,81
Tijolo 1D	25	1,4	2.280	22.359,16
Tijolo 1E	25	2,9	4.630	45.404,79
Tijolo 1F	25	2,4	3.760	36.873,00
Tijolo 1G	25	2,6	4.170	40.893,73

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

Gráfico 3 – Ensaio à compressão - Traço 1



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

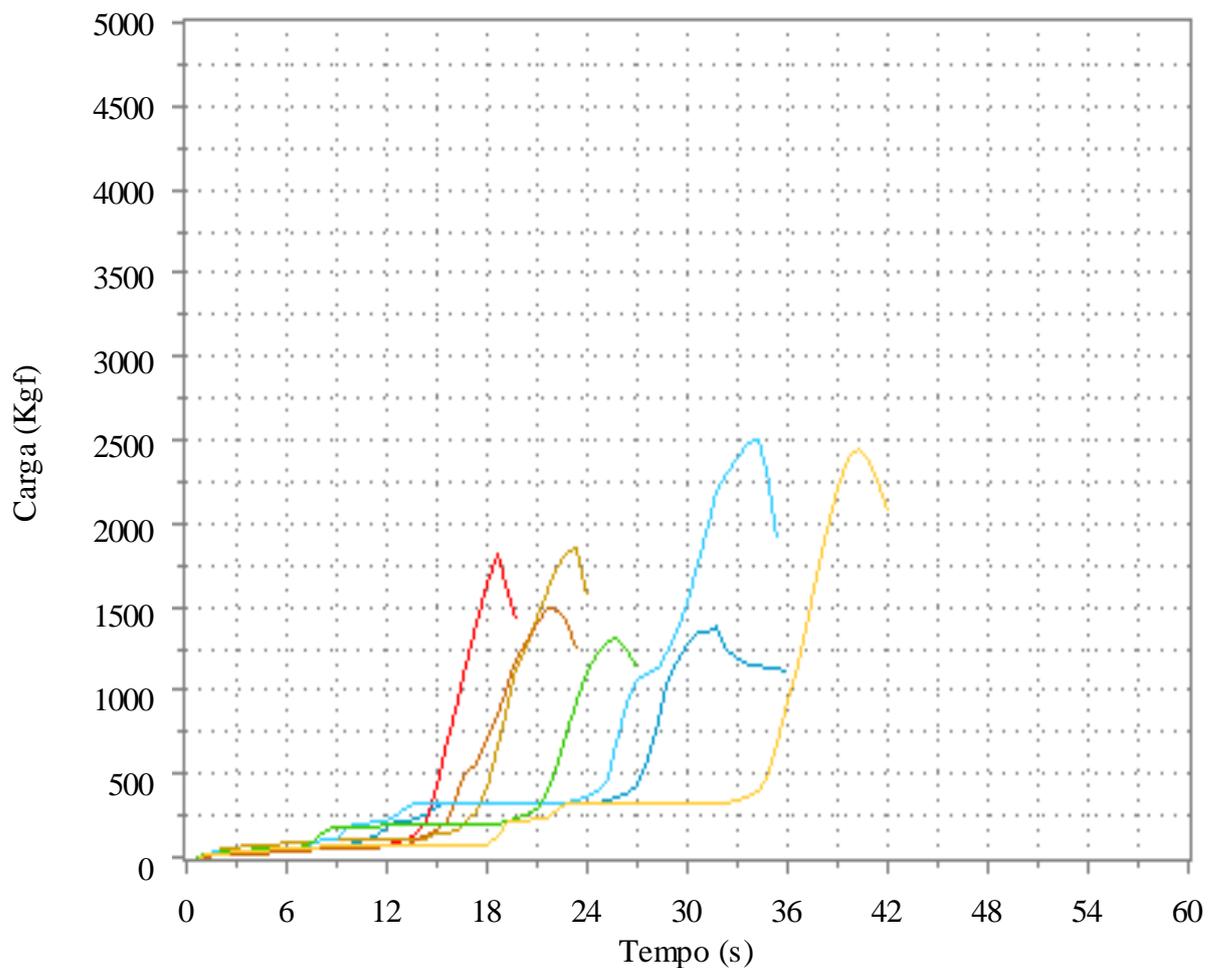
- Traço 2 – Composto por 90% de solo natural e 10% de areia reciclada

Tabela 14 - Resultado de ensaio à compressão - Traço 2

Id. CP	Idade (dias)	Tensão Ruptura (MPa)	Carga Ruptura (kgf)	Carga Ruptura (N)
Tijolo 2A	25	1,7	2.760	27.066,35
Tijolo 2B	25	2,3	3.620	35.500,07
Tijolo 2C	25	2,3	3.710	36.382,67
Tijolo 2D	25	1,9	2.990	29.321,88
Tijolo 2E	25	3,2	5.020	49.229,38
Tijolo 2F	25	1,6	2.620	25.693,42
Tijolo 2G	25	3,1	4.890	47.954,51

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

Gráfico 4 – Ensaio à compressão - Traço 2



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

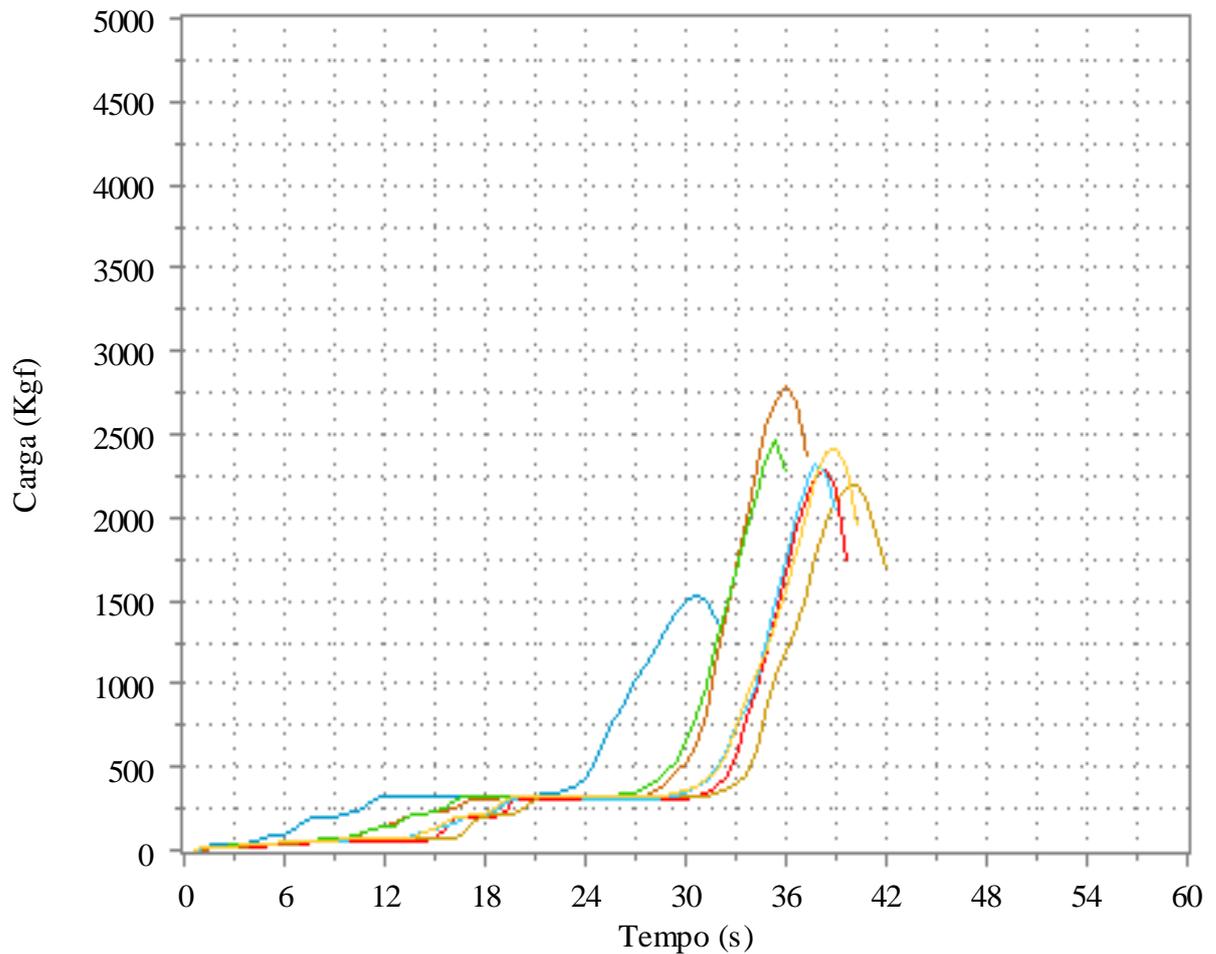
- Traço 3 - Composto por 80% de solo natural e 20% de areia reciclada

Tabela 15 - Resultado de ensaio à compressão - Traço 3

Id. CP	Idade (dias)	Tensão Ruptura (MPa)	Carga Ruptura (kgf)	Carga Ruptura (N)
Tijolo 3A	25	1,9	3.060	30.008,35
Tijolo 3B	25	2,9	4.580	44.914,46
Tijolo 3C	25	2,8	4.410	43.247,33
Tijolo 3D	25	3,5	5.560	54.524,97
Tijolo 3E	25	2,9	4.630	45.404,79
Tijolo 3F	25	3,1	4.920	48.248,72
Tijolo 3G	25	3,1	4.870	47.758,39

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

Gráfico 5 – Ensaio à compressão - Traço 3



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

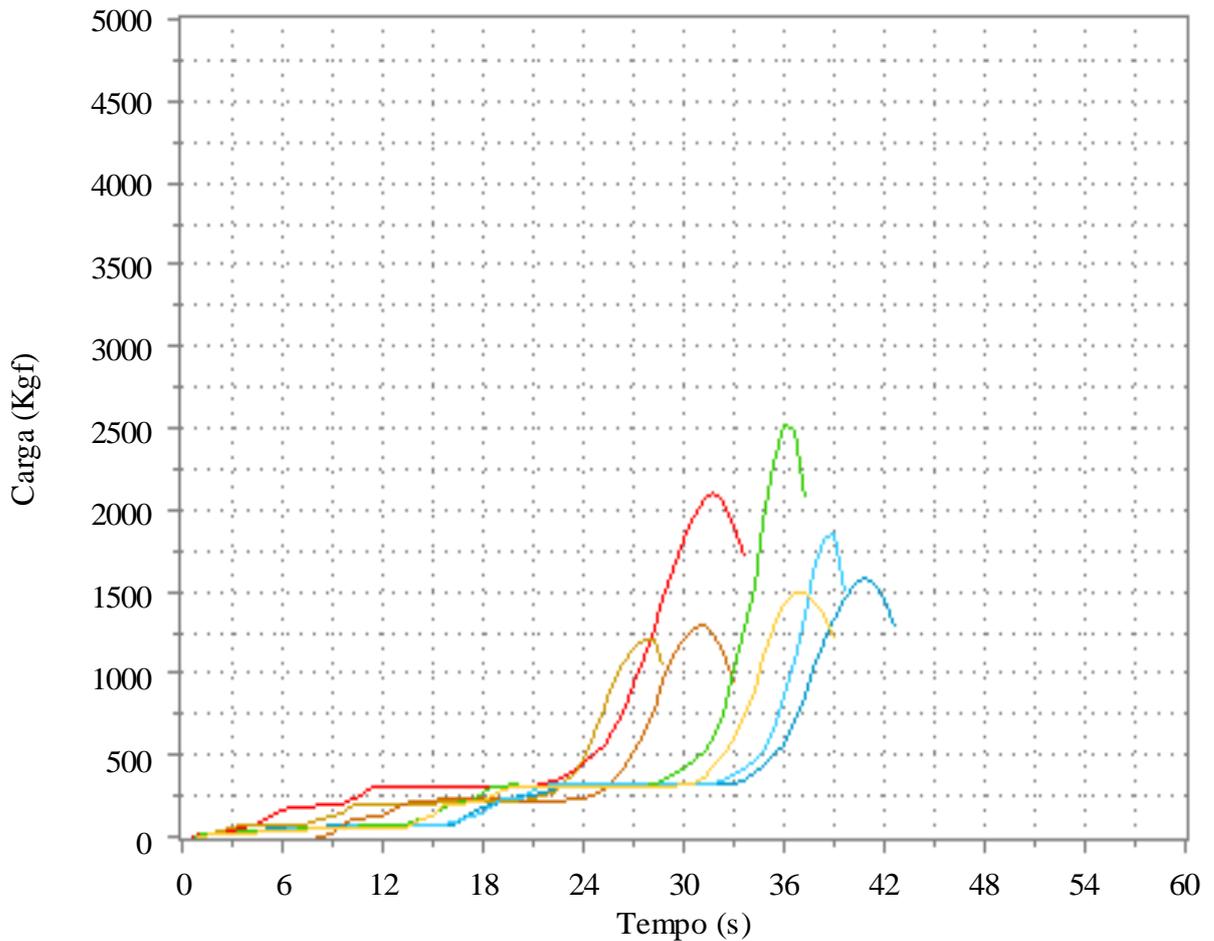
- Traço 4 - Composto por 70% de solo natural e 30% de areia reciclada

Tabela 16 - Resultado de ensaio à compressão - Traço 4

Id. CP	Idade (dias)	Tensão Ruptura (MPa)	Carga Ruptura (kgf)	Carga Ruptura (N)
Tijolo 4A	25	2,0	3.160	30.989,01
Tijolo 4B	25	2,6	4.200	41.187,93
Tijolo 4C	25	1,5	2.430	23.830,16
Tijolo 4D	25	1,6	2.590	25.399,22
Tijolo 4E	25	2,3	3.730	36.578,80
Tijolo 4F	25	3,2	5.090	49.915,85
Tijolo 4G	25	1,9	2.990	29.321,88

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

Gráfico 6 – Ensaio à compressão - Traço 4



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

Após ensaiados, resultados representados nas Tabelas 13 à 16 e Gráficos 3 à 6 , foi realizado o cálculo da média de resistência de cada traço para verificação conforme orientado pela NBR 8491 (ABNT, 2012), a norma instrui no subitem 5.2 que a média dos resultados de resistência à compressão deverão ser superiores a 2,0 MPa o qual é constatado na Tabela 17.

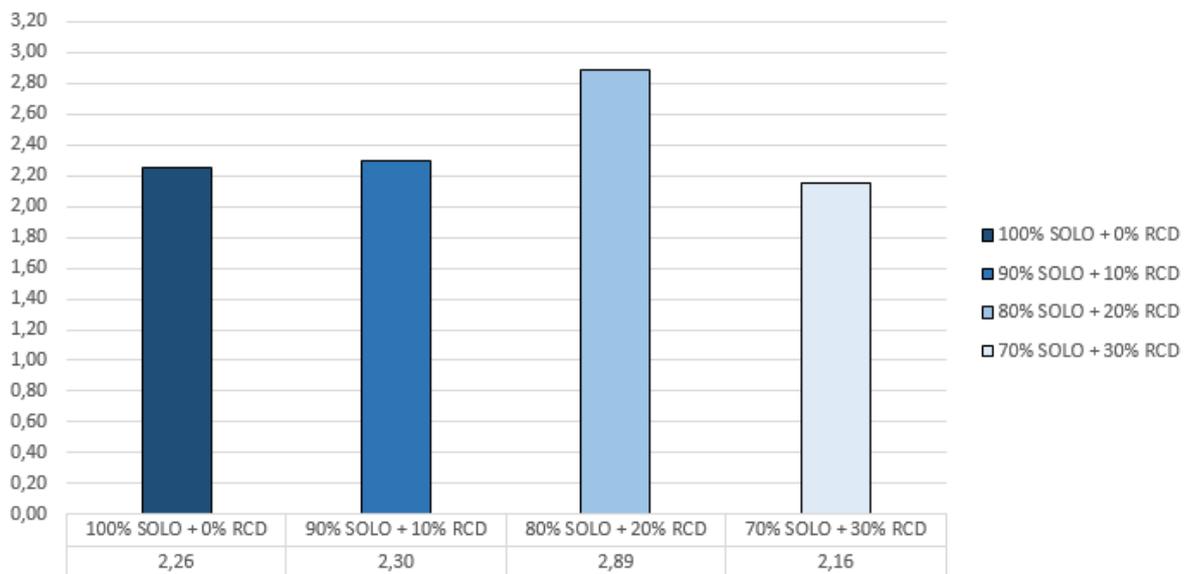
**Tabela 17 - Valores médios do ensaio à compressão
NBR 8492 (ABNT, 2012)**

TRAÇO	MÉDIA DOS VALORES INDIVIDUAIS (MPa)
1	2,26
2	2,30
3	2,89
4	2,16

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

O Gráfico 7 demonstra as variações observadas de resistência de cada traço, observou-se que a adição de 20% de resíduo é a proporção ideal em relação ao intervalo estudado. Após o aumento da proporção houve um declínio em relação as propriedades mecânicas do material, o traço de 30% de adição de resíduo demonstrou resistência a compressão inferior ao traço de referência, o qual não possui adição de RCD.

Gráfico 7 - Média das tensões de ruptura



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

5.3 VIABILIDADE ECONÔMICA

É interessante realizar a análise de custos dos insumos utilizados na fabricação dos tijolos de cada traço em prol de promover um comparativo de preços, para consolidar a viabilidade não só técnica e normativa, mas também financeira da utilização do resíduo no processo de confecção, no intuito de determinar uma observação de quesitos relacionados ao custo final do produto.

Diante dessa situação, a empresa que nos forneceu o RCD informou que o m³ do que também é caracterizado como areia reciclada, equivale ao preço de R\$ 28,00, conforme demonstra a Figura 30.

Figura 30 - Valores dos agregados reciclados

VALORES	
RECEBIMENTO DE RESÍDUOS	
RECEBIMENTO DE ENTULHO LIMPO	R\$ 7,00/m ³
RECEBIMENTO DE ENTULHO MISTURADO (ATE 15% DE CLASSE B)	R\$ 23,00/m ³
AGREGADOS RECICLADOS	
AREIA RECICLADA	R\$ 28,00/m ³
BRITA 0 RECICLADA	R\$ 32,00/m ³
BRITA 1 RECICLADA	R\$ 32,00/m ³
RACHÃO RECICLADO	R\$ 32,00/m ³
BRITA GRADUADA SIMPLES (BGS)	R\$ 32,00/m ³
NÃO RECEBEMOS RESÍDUOS PERIGOSOS, GESSO E TERRA	

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

O solo por sua vez representa uma parcela de R\$ 50,00 o m³, informações destacadas por um dos colaboradores que exerce função gerencial na empresa que procedeu com a fabricação e posterior fornecimento dos tijolos nos seus respectivos traços.

Com relação ao aglomerante hidráulico, conforme destacado anteriormente, foi utilizado o Cimento Portland de alta resistência inicial da marca Tocantins, sendo que também foi informado que o fornecedor disponibiliza a um preço equivalente de R\$ 17,00 o saco com 40 kg do material.

O levantamento de preço do custo da água foi retirado da tabela de tarifas de água e esgoto disponibilizada pelo site da Companhia Saneamento de Goiás – Saneago, na qual determina que para categorias industriais o valor da água demonstrada em m³ é correspondente a R\$ 8,98 para taxas de consumo entre 1 e 10 metros cúbicos, situação na qual se enquadra a empresa.

A relação de custo unitário de produção foi realizada com base nos traços estudados, foi realizado o levantamento dos materiais utilizados e os valores foram definidos com base nas informações fornecidas pelo fabricante, os valores levantados são apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 - Análise do custo dos insumos dos traços fabricados

TRAÇO	SOLO (L)	CIMENTO (KG)	ÁGUA (L)	RCD (L)	SOLO (R\$)	CIMENTO (R\$)	ÁGUA (R\$)	RESÍDUO (R\$)	PREÇO TOTAL (R\$)	PREÇO UNDD (R\$)
1	86	10	6	-	4,3	4,25	0,0538	-	8,6	0,29
2	77	10	6	9	3,85	4,25	0,0538	0,252	8,41	0,28
3	69	10	6	17	3,45	4,25	0,0538	0,476	8,23	0,27
4	60	10	6	26	3	4,25	0,0538	0,728	8,03	0,27

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

Foi constatado que a substituição do agregado reciclado é interessante quando relacionado ao viés econômico, visto que, o agregado reciclado é mais barato que o agregado comumente utilizado para a fabricação dos tijolos ecológicos.

Para a determinação do preço unitário, foi utilizado como base as 30 unidades definidas na obtenção dos traços, foi ignorado o volume final, pois houveram perdas durante o processo de produção e para que o ocorrido não influenciasse no cálculo do valor unitário dos tijolos foi utilizado a quantidade prevista pelo traço.

Como o intuito da pesquisa esta relacionada aos materiais, foram ignorados os valores de mão de obra e custo operacional da fábrica, pois a implementação da utilização da areia reciclada não influenciará na contratação de mão de obra, ou mesmo demandaria um espaço ao qual necessitaria de uma ampliação da indústria.

A implementação dos resultados do estudo é interessante, pois o mesmo comprovou a influência de cunho econômico e técnico, demonstrando assim que a substituição parcial do solo trará vantagens relacionadas a fabricação e ao desempenho do produto.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os resultados alcançados através do estudo executado, pode-se verificar que em todos os critérios de análise em conformidade com as orientações de fabricação, ensaios e requisitos de aceitação, estão coerentes e atendendo de maneira satisfatória todos os parâmetros definidos.

As Tabelas de 7 a 10 que indicam a análise dimensional de todos os traços fabricados e avaliados, demonstra coerência com o que a empresa se propõe a oferecer aos clientes, sendo que o produto final destinado a venda, estabelece dimensões de comprimento, largura e altura respectivamente de 25 cm x 12,5 cm x 7 cm.

Nos decorrentes resultados obtidos através das médias de porcentagens individuais dos índices de absorção de água dos corpos de prova, de todos os quatro traços analisados, foi possível deduzir que consoante ao aumento de porcentagem de Resíduo de Construção e Demolição, a tendência é o acréscimo numérico desse fator, conforme comprova a Tabela 17, tornando se possível salientar que o RCD é um agregado convencionado a uma maior absorção.

Pela disponibilidade do agregado RCD triturado e após o peneiramento antes da fabricação, uma das condições na qual contradiz ao que era esperado, foi o aumento considerável ainda no quesito absorção, pois o fato dos procedimentos citados garantir a eliminação da disposição do material em formato de grumos (pequenos coágulos), teoricamente deveria garantir tijolos menos porosos, conseqüentemente com menores indicadores de absorção de água.

Sendo que mesmo evidenciando tais ocorrências, chegou-se a valores coerentes aos estabelecidos na NBR 8491 (ABNT,2012) na qual determina que as amostras ensaiadas não devem ter a média calculada acima de 20%, nem resultados individuais maiores que 22%.

Em padrões de aceitação e rejeição determinados na NBR 8491 (ABNT,2012) indica que a resistência à compressão deve satisfazer a média dos resultados maior ou igual que 2,0 MPa, não devendo apresentar seguimentos individuais menores que 1,7 MPa.

Porém, o segundo critério de análise definido na indicação do subitem 7.2.1 na norma supracitada, ressalta que na perspectiva individual a amostra só deve ser descartada caso mais da metade dos resultados não satisfaça as premissas individuais, tornando tal observação fundamental para o estudo abordado, pois quase todos os traços executados tiveram alguns valores inferiores a 1,7 MPa congruentes com as Tabelas 13 a 16, não influenciando assim na aceitação dos lotes.

Portanto, verificou-se também que em analogia ao aditamento do RCD nas misturas efetuadas e estipulando uma equivalência ao traço 1 que é o de referência, houve um aumento na resistência média das amostras do traço 2 na ordem de 1,77% e do traço 3 na ordem de 27,88%, contrapondo ao traço 4, no qual houve um decréscimo de resistência de 4,42%, dessa forma o traço 3 foi definido como a proporção ideal de substituição do solo para a implementação na fabricação dos tijolos.

Na presença de um apanhado geral das informações alcançadas, foi verificado que a utilização de RCD na manufatura de tijolos ecológicos é amplamente viável em uma porcentagem de até 20% proporcional ao quantitativo de solo na combinação, pois além de atender as imposições dispostas em normas regulamentadoras, é uma destinação que consolida os atributos ecológicos dos tijolos de solo-cimento, além de promover um custo reduzido nos preços dos insumos de fabricação, como demonstrado no item 5.3.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Em relação a recomendações para trabalhos futuros envolvendo os tijolos de solo-cimento, seguem algumas sugestões:

- Testar novas proporções de substituições de RCD superiores a 30% para verificação se o comportamento mecânico continua o mesmo observado pela pesquisa;
- Realizar estudo comparativo utilizando métodos de secagem do solo para realizar um controle total da adição de água na fabricação dos tijolos;
- Estudar o aumento de resistência entre com traços compostos no intervalo de 20% a 30% de substituição por RCD, definindo proporção ideal que irá proporcionar maior resistência ao tijolo;
 - Utilizar diferentes composições de RCD na fabricação do tijolo;
 - Análise da influência do capeamento no ensaio de resistência do tijolo;
 - Utilização de outros tipos de solos na fabricação dos tijolos de solo-cimento, realizando comparativos de solos mais e menos argilosos;
 - Análise da influência do perfil na resistência obtida, testar diferentes moldes para a fabricação do tijolo.

REFERÊNCIAS

- ABCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 1986. **Dosagem das misturas de solo-cimento**: normas de dosagem e métodos de ensaio. São Paulo, SP, ABCP, ET-35, 51p.
- . EC-4: **Solo-cimento na habitação popular**. 2 ed. São Paulo, 1987.
- . Fabricação de tijolos de solo cimento com a utilização de prensas manuais. 3.ed.rev.atual. São Paulo, ABCP, 2000. 16p. (BT-111).
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 49**: Agregado miúdo - Determinação de impurezas orgânicas. Rio de Janeiro: ABNT, 2001. 3 p.
- . **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 6 p.
- . **NBR 8491**: Tijolo de solo-cimento — Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2012. 5 p.
- . **NBR 8492**: Tijolo de solo-cimento — Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água — Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2012. 4 p.
- . **NBR 10004**: Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 71 p.
- . **NBR 10833**: Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica — Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. 3 p.
- . **NBR 13529**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas — Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. 13 p.
- . **NBR 15900-1**: Água para amassamento do concreto Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2009. 11 p.
- . **NBR 16697**: Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018. 12 p.
- ABRECON - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO, 2016. Disponível em: <http://abrecon.org.br/entulho/o-que-e-entulho/>. Acesso em: 10 de setembro, 2018.
- ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**, 2010. ABRELPE, 2011.
- AECweb, 2018. Disponível em: https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/8-perguntas-sobre-tijolo-ecologico_9601_0_1>. Acesso em: 19 de maio, 2018.
- AMORIM, L. V.; PEREIRA, A. S. G.; NEVES, G. A. *et al.* **Reciclagem de rejeitos da construção civil para uso em argamassas de baixo custo**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.3, 1999.

ARAÚJO, N. M. C.; CARNAÚBA, T. M. G. V. **Composição Gravimétrica e Massa Específica dos RCD Oriundos de Obras de Edificações Verticais de Maceió**. Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2010.

BARBOSA, N. P. **Transferência e Aperfeiçoamento da tecnologia Construtiva com Tijolos Prensados de Terra Crua em Comunidades Carentes**. In: Gestão da Qualidade & Produtividade e Disseminação do Conhecimento da Construção Habitacional. [S.I.] Coletânea Habitare/Inovação, 2003.

BRASIL. **Constituição (1981)**. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. DA POLÍTICA NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Brasília: 160º da Independência e 93º da República, 1981. 12p.

———. **Constituição (1988)**. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988. 292 p.

———. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: **Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos - 2008**. Brasília: SNSA/MCidades, 2010a.

———. **Lei nº 12.305 Seção 1, p. 3**, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, 03 out. 2010b.

———. **Resolução CONAMA nº 307**, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. 7 p. Brasília, 2002.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. **Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil**. Teresina: Universidade Federal de Piauí, 2015.

BRUNDTLAND, G. H. **Relatório Brundtland – Nosso Futuro Comum**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1991. 71 p. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4245128/mod_resource/content/3/Nosso%20Futuro%20Comum.pdf>. Acesso em: 28 set. 2018.

BOLETIM TÉCNICO - 111: **Fabricação de tijolos de solo-cimento com a utilização de prensas manuais**. 3.ed.rev.atual. São Paulo, ABCP, 2000. 16p.

BUSSAB, S; CURY, F. J. Arquitetura. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA. **Manual Técnico de Alvenaria**. São Paulo, 1990.

CIB. CONSELHO INTERNACIONAL PARA A PESQUISA E INOVAÇÃO EM CONSTRUÇÃO. **Agenda 21 for Sustainable Construction in Developing Countries: A discussion document**. Pretória, 2002.

CHIRICO, V. d. **Incineração de resíduos urbanos**. Zurich: Schweizerische Rückversicherungs-gesellschaft Tm, 1996. 97 p. Disponível em: <http://www5.ensp.fiocruz.br/biblioteca/dados/txt_349995799.pdf>. Acesso em: 11 out. 2018.

COSTA, D. B.; CARNEIRO, A. P.; NEVES, C. M. M. **Uso do agregado reciclado em tijolos de solo estabilizado com cimento**. Salvador: EDUFBA, 2000.

CUNHA, U. V. L. **Terra-cimento**: contribuição para o estudo da casa de baixo custo. São Carlos. EESC-USP (Dissertação de Mestrado), 1978.

ESTATUTO DA CIDADE. – 3. ed. – Brasília: Senado Federal, Subsecretaria de Edições Técnicas, 2008.

FARIA, J. R. G. **Unidade de produção de tijolos de solo estabilizado**. Dissertação de Mestrado, EESC-USP, São Carlos, 1990.

FERNANDES, M. **Técnicas de construção em terra**. 10ª Mesa Redonda de Primavera. TERRA: forma de construir. Universidade de Coimbra. Coimbra. 2006.

FIGUEROLA, V. **Alvenaria de solo-cimento**. Técnica, São Paulo: PINI, 2004.

FIRJAN - FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **Manual de gerenciamento de resíduos**: Guia de procedimento passo a passo. Rio de Janeiro, 2006.

GONÇALVES, T. D.; GOMES, M. I. **Construção de Terra Crua**: Potencialidades e Questões em Aberto. 2012. Disponível em: <http://jornadas2012.lnec.pt/site_2_Cidades_e_Desenvolvimento/COMUNICACOES/T3_GONCALVES_c021.pdf> Acesso em 09 de abril. 2018.

GRANDE, F. M. **Fabricação de tijolos Modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica**. Dissertação de Mestrado, Escola de engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, SP, 2003.

HOOD, S. R. D. S. **Análise da viabilidade técnica da utilização de resíduos de construção e demolição como agregado miúdo reciclado na confecção de blocos de concreto para pavimentação**. Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul. Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2006.

KAZMIERCZAK, C. S. **Desempenho de alvenarias de materiais cerâmicos à penetração de água da chuva**: uma análise de fatores condicionantes. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1989.

LEVY S. M. **RECICLAGEM DE ENTULHOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL A SOLUÇÃO POLÍTICA E POLITICAMENTE CORRETA**. Goiânia: Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassa, 1995.

LIBERATO, R., 2006. Disponível em: <https://www.flickr.com/photos/liberato/171610084/in/photostream/>. Acesso em: 4 de abril, 2018.

LIMA, G. **O Discurso da Sustentabilidade e suas implicações para a Educação**. Ambiente & Sociedade, v. 6, n. 2, 99-119, 2003.

- LIMA, T. V. **Estudo da produção de blocos de solo-cimento com solo do núcleo urbano da cidade de Campos dos Goytacazes – RJ**. Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2006.
- MATOS, A. C. **Uso da Terra Crua em Blocos de Terra Compactada**. Monografia (Graduação em Ciência e Tecnologia). Universidade Federal Rural do Semiárido/UFERSA. 2012.
- MELO, T. M., **Sistema de gestão sustentável de resíduos de construção e demolição**. In: Seminário de gestão de resíduos sólidos – Goiás, 2006.
- MOREIRA, M. *et al.* **Plano diretor passo a passo**. São Paulo: Fundação Prefeito Faria Lima - CEPAM, 2005. 208 p.
- NAIME, R.; SARTOR, I.; GARCIA, A. C. **Uma abordagem sobre a gestão de resíduos de serviços de Saúde**. Revista Espaço para a Saúde, Londrina, v. 5, 2004.
- NEVES, C. M. M. **Tijolos de Solo-Cimento**. In: **Dez Alternativas Ecológicas para Habitação**. Anais, p.141-166. Brasília - DF: MHU/PNUD, 1989.
- OLIVEIRA, M. H. **Análise da resistência de prismas de blocos de concreto com variação da espessura das juntas de argamassa em alvenaria estrutural**. (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, 2006.
- ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Declaração de Estocolmo sobre o Meio Ambiente Humano**. In: Anais Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente Humano. Estocolmo, 1972.
- PCA – PORTLAND CEMENT ASSOCIATION. **Soil-cement construction handbook**. Illinois, 1969. 42p.
- PENG, C. *et al.* **Strategies for successful construction and demolition waste recycling operations, Construction Management and Economics**. Center for Construction and Environment, University of Florida, Gainesville, 1997.
- PINTO, C. S. **Evolução das pesquisas de laboratório sobre solo-cimento**. São Paulo: ABCP, 1980. 22p.
- PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.
- PISANI, M. A. J. **Um material de baixo impacto ambiental: O tijolo de solo e cimento**. São Paulo, 2002.
- PITTA, M. R. **Estabilização com solo-cimento**. Revista Técnica, São Paulo: Pini, n. 17, jul./ago. 1995.
- RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. São Paulo: PINI, 2003.

RECRIAR, 2018. Disponível em: http://www.recriarcomvoce.com.br/blog_recriar/tecnicas-construtivas-com-terra/. Acesso em: 19 de maio, 2018.

ROCHA, I. **Tijolo por Tijolo: Construindo Alvenarias no Vale do Paraíba do Sul**. Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

RUIVO, M. **Balanço e Perspectivas da Eco-92 – Do Crescimento Zero a um Desenvolvimento Sustentável**. In: COTRIM, João Paulo (Coord.). De Planeta nas Mãos: No pós Eco-92. Lisboa: Edições Colibri, 1993.

SALA, L. G. **Proposta de Habitação Sustentável para Estudantes Universitários**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul/UNIJUI, 2006.

SEBRAE. **Como montar uma fábrica de tijolos ecológicos**. Disponível em: http://www.sebrae.com.br/appportal/reports.do?metodo=runReportWEM&nomeRelatorio=ideiaNegocio&nomePDF=F%C3%A1brica%20de%20tijolos%20ecol%C3%B3gicos&COD_IDEIA=be387a51b9105410VgnVCM1000003b74010a_____. Acesso em: 04 out. 2018

SINDUSCON-CE. **Manual sobre os Resíduos Sólidos da Construção Civil**. Programa Qualidade de Vida na Construção. Fortaleza, 2011.

SILVA, C. G. T. **Conceitos e Preconceitos relativos às Construções em Terra Crua**. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) - Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz. Rio de Janeiro, 2000.

SILVA, M. R. **O solo-cimento**. In: BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de Construção**, Livros Técnicos e Científicos. 5. ed. Rio de Janeiro: Editora S.A., 1994.

SILVA, V.G.; SILVA, M.G; JOHN, V.M.; AGOPYAN, V. **Perspectives for development of environmental assessment of buildings in Brazil**. In: Sustainable Buildings 2000/GRC2000 Section. Proceedings... Maastricht, 2000.

SOUZA, P. P. S.; PEREIRA, J. L. G. **Representação social de meio ambiente e educação ambiental nas escolas públicas de Teófilo Otoni-MG**. Revista Brasileira de Educação Ambiental, Rio Grande, 2011.

TAIPALE, K. **De construções quase verdes para construções sustentáveis**. In: WORLDWATCH INSTITUTE. Estado do mundo 2012: rumo à prosperidade sustentável. Tradução: Claudia Strauch. Salvador: Universidade Livre da Mata Atlântica, 2012. pp. 143-151.

TAUIL, C. A.; NESE, F. J. M. **Alvenaria Estrutural: Metodologia do projeto, detalhes, mão de obra, norma e ensaios**, São Paulo, PINI, 2010.

TEIXEIRA, F. **Tecnologia: Alvenaria de solo-cimento**. 2004. Disponível em: <http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/85/artigo286284-1.aspx>. Acesso em: 04 maio, 2018.

UCHIMURA, M. S. **Dossiê Técnico**: Solo-cimento. Instituto de Tecnologia do Paraná, 2006. 21p.

UNIETHOS, Instituto Ethos e. **Diretrizes para relatórios de sustentabilidade da Global Reporting Initiative (GRI)**. Versão Brasileira: São Paulo: Insituto Ethos e Uniethos, 2004.

VANZOLINI. **Certificação AQUA-HQE em detalhes**. 2015. Disponível em: <<https://vanzolini.org.br/aqua/certificacao-aqua-em-detalhes/>>. Acesso em: 03 out. 2018.

VENDRAMI, J. M., 2006. Disponível em: <http://pet.ecv.ufsc.br/2015/03/construcao-sustentavel-com-adobe/>. Acesso em: 19 de maio, 2018

APÊNDICE A – ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO TRAÇO 1



Dados Cadastrais da Amostra

Amostra: Tijolo Ecológico
Tipo de ensaio: Bloco Vazado para alvenaria
Cliente:
Responsável:
Data de Moldagem: 15/09/2018

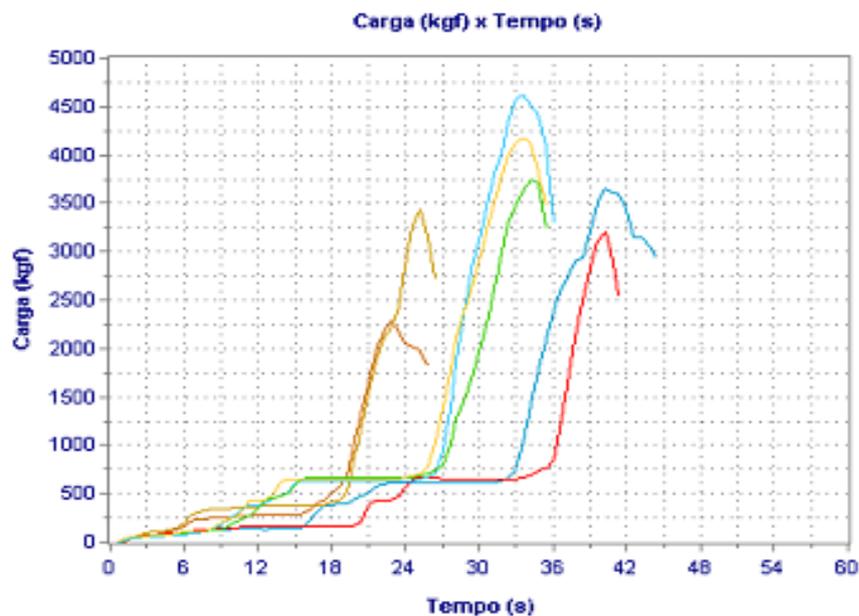
Dados Complementares

Tensão ruptura prevista:
Distância fixação extensômetros:

Dados dos Corpos de Prova

Id. CP	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo
Tijolo 1A	25	2,3 (MPa)	3.660 (kgf)	
Tijolo 1B	25	2,0 (MPa)	3.210 (kgf)	
Tijolo 1C	25	2,2 (MPa)	3.430 (kgf)	
Tijolo 1D	25	1,4 (MPa)	2.280 (kgf)	
Tijolo 1E	25	2,9 (MPa)	4.630 (kgf)	
Tijolo 1F	25	2,4 (MPa)	3.760 (kgf)	
Tijolo 1G	25	2,6 (MPa)	4.170 (kgf)	

Gráfico dos Ensalos



APÊNDICE B – ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO TRAÇO 2



Dados Cadastrais da Amostra

Amostra: Tijolo Ecológico
 Tipo de ensaio: Bloco Vazado para alvenaria
 Cliente:
 Responsável:
 Data de Moldagem: 15/09/2018

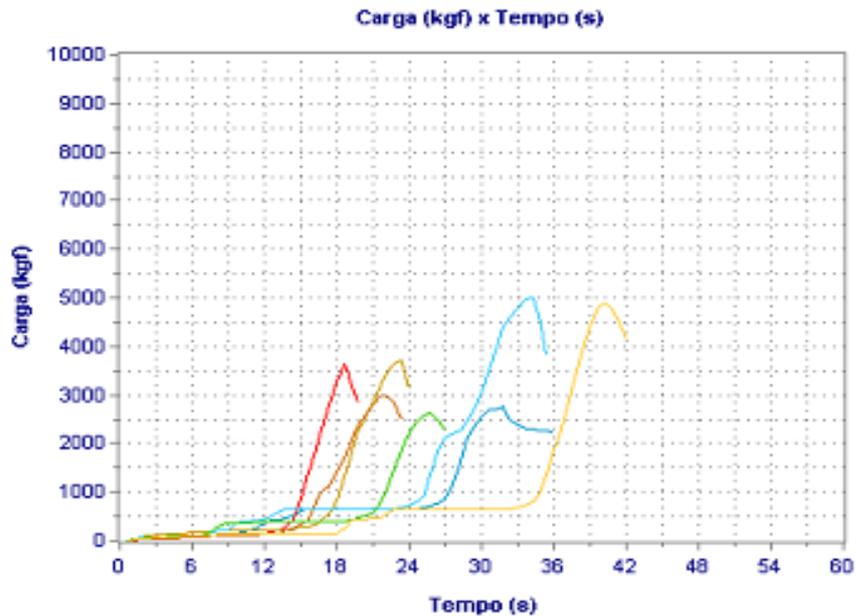
Dados Complementares

Tensão ruptura prevista:
 Distância fixação extensômetros:

Dados dos Corpos de Prova

Id. CP	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo
Tijolo 2A	25	1,7 (MPa)	2.760 (kgf)	
Tijolo 2B	25	2,3 (MPa)	3.620 (kgf)	
Tijolo 2C	25	2,3 (MPa)	3.710 (kgf)	
Tijolo 2D	25	1,9 (MPa)	2.990 (kgf)	
Tijolo 2E	25	3,2 (MPa)	5.020 (kgf)	
Tijolo 2F	25	1,6 (MPa)	2.620 (kgf)	
Tijolo 2G	25	3,1 (MPa)	4.890 (kgf)	

Gráfico dos Ensalos



APÊNDICE C – ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO TRAÇO 3



Dados Cadastrais da Amostra

Amostra: Tijolo Ecológico
 Tipo de ensaio: Bloco Vazado para alvenaria
 Cliente:
 Responsável:
 Data de Moldagem: 15/09/2018

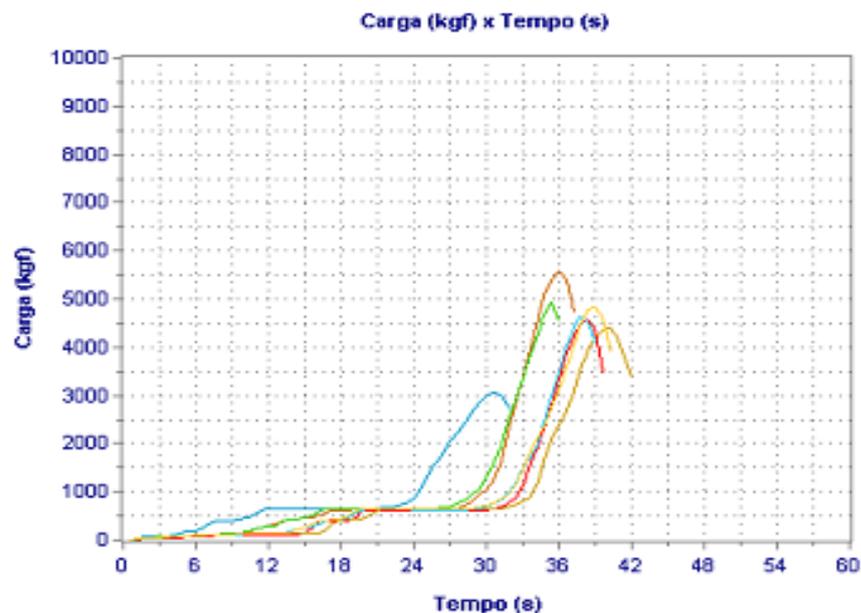
Dados Complementares

Tensão ruptura prevista:
 Distância fixação extensômetros:

Dados dos Corpos de Prova

Id. CP	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo
Tijolo 3A	25	1,9 (MPa)	3.060 (kgf)	
Tijolo 3B	25	2,9 (MPa)	4.580 (kgf)	
Tijolo 3C	25	2,8 (MPa)	4.410 (kgf)	
Tijolo 3D	25	3,5 (MPa)	5.560 (kgf)	
Tijolo 3E	25	2,9 (MPa)	4.630 (kgf)	
Tijolo 3F	25	3,1 (MPa)	4.920 (kgf)	
Tijolo 3G	25	3,1 (MPa)	4.870 (kgf)	

Gráfico dos Ensaios



APÊNDICE D – ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO TRAÇO 4



Dados Cadastrais da Amostra

Amostra: Tijolo Ecológico
 Tipo de ensaio: Bloco Vazado para alvenaria
 Cliente:
 Responsável:
 Data de Moldagem: 15/09/2018

Dados Complementares

Tensão ruptura prevista:
 Distância fixação extensômetros:

Dados dos Corpos de Prova

Id. CP	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo
Tijolo 4A	25	2,0 (MPa)	3.160 (kgf)	
Tijolo 4B	25	2,6 (MPa)	4.200 (kgf)	
Tijolo 4C	25	1,5 (MPa)	2.430 (kgf)	
Tijolo 4D	25	1,6 (MPa)	2.590 (kgf)	
Tijolo 4E	25	2,3 (MPa)	3.730 (kgf)	
Tijolo 4F	25	3,2 (MPa)	5.090 (kgf)	
Tijolo 4G	25	1,9 (MPa)	2.990 (kgf)	

Gráfico dos Ensaio

