

**FAEX – FACULDADE DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS DE EXTREMA**

**ALINE CRISTINA DE SOUZA**

**RESÍDUOS DE BLOCOS DE CIMENTO PARA PRODUÇÃO DE TIJOLOS  
ECOLÓGICOS**

**EXTREMA**

**2018**

**ALINE CRISTINA DE SOUZA**

**RESÍDUOS DE BLOCOS DE CIMENTO PARA PRODUÇÃO DE TIJOLOS  
ECOLÓGICOS**

**Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia  
Civil da Faculdade de Ciências Sociais  
Aplicadas de Extrema, como requisito  
parcial para obtenção do grau de  
Bacharel em Engenharia Civil.  
Orientador: Me. Roberta Moraes  
Martins**

**EXTREMA**

**2018**

**ALINE CRISTINA DE SOUZA**

**RESIDUOS DE BLOCOS DE CIMENTO PARA PRODUÇÃO DE TIJOLOS  
ECOLÓGICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharel em Engenharia Civil da Faculdade de Ciências Sociais Aplicadas de Extrema, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em 14 de Dezembro de 2018.



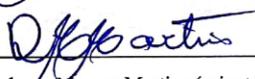
**ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**  
**FAEX – FACULDADE DE EXTREMA**

Em sessão às 13h30 do dia 14 de Dezembro de 2018 o (a) aluno (a) Aline Cristina de Souza apresentou o Trabalho de Conclusão de Curso, intitulado “**Resíduos Sólidos de materiais de construção civil e de blocos de cimento para produção de tijolos ecológicos**” como requisito para conclusão do Curso de Engenharia Civil, perante uma Banca Examinadora composta pelos seguintes membros:



---

Aline Cristina de Souza (Aluno (a))



---

Prof.ª Ma. Roberta Moraes Martins (orientador (a))



---

Prof. Afonso Henrique Vilela



---

Prof. Marcelo Henrique Hermógenes

Aprovado (  )  
Aprovado com restrições (  )  
Reprovado (  )

Dedico esse trabalho a Deus, a minha família, razão de minha existência e a todos que estiveram comigo nessa caminhada.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado saúde e me permitir que chegasse até aqui.

A Faex e seu corpo docente por me proporcionar o conhecimento e toda a dedicação para o meu processo de formação profissional.

Agradeço a Prof<sup>a</sup>. Me. Mariana Junqueira Paduan pela paciência e conhecimento na orientação no início do desenvolvimento do trabalho.

Agradeço a Prof<sup>a</sup>. Me. Roberta Moraes Martins pela paciência e conhecimento na orientação da finalização do trabalho.

Agradeço ao técnico de laboratório João Paulo de Gois por todo suporte e conhecimento compartilhado para os ensaios realizados.

Agradeço minha mãe Isáira pelo apoio e incentivos nos momentos difíceis e nas noites que passava estudando.

Ao meu pai Israel “Engenheiro que a vida formou”, por me mostrar desde pequena o quão linda é a construção civil, por sempre me apoiar em minhas escolhas e por compartilhar seus conhecimentos práticos em Construção Civil.

Aos meus irmãos Alessandra por me ajudar com tecnologia, Amanda por sempre me ajudar com os cálculos e softwares de desenho e projetos e o Arthur mesmo ainda sendo só um bebê em poder me fazer sorrir nos dias mais cansativos.

E a todos que diretamente ou não fizeram parte nessa minha jornada, muito obrigada a todos!

“Ama-se mais o que se conquista com  
esforço.”

Benjamin Disraeli

## RESUMO

A Construção Civil é um grande setor em desenvolvimento no Brasil. Com o crescimento desse setor a retirada de matéria prima da natureza poderá ter um grande problema futuramente com a falta de materiais. Por meio da reciclagem de resíduos de construção civil e resíduos de construção demolição (RCC e RCD) e da reutilização dos resíduos de blocos de cimento (RBC), pode-se realizar a confecção do tijolo maciço, fazendo uso de um processo ecológico mais limpo que o tijolo tradicional, já que o tradicional para ser fabricado requer de alguns fatores prejudiciais à natureza, como a utilização de madeira para a queima, onde pode aumentar ainda mais a questão do desmatamento e também a liberação de gases prejudiciais à natureza como monóxido de carbono. Com a fabricação dos tijolos com materiais de reciclagem e reutilização mostra a melhor maneira que podemos destinar os materiais que seriam jogados fora ou até mesmo descartados em lugares não adequados. A utilização desses materiais irá mostrar uma melhor resistência do tijolo, sendo a resistência além do mínimo permitido e recomendado pela norma.

**Palavras-Chaves:** Construção Civil; Resíduos Sólidos; Sustentabilidade; Tijolos Ecológicos.

## **ABSTRACT**

Civil Construction is a large developing sector in Brazil. With the growth of this sector the withdrawal of raw material from nature may have a major problem in the future with the lack of materials. Through the recycling of construction and demolition waste (RCC and RCD) and the reuse of waste from cement blocks (CBR), the construction of solid brick can be carried out using a cleaner ecological process than traditional brick, since the traditional one to be manufactured requires some factors harmful to nature, such as the use of wood for burning, where it can further increase the issue of deforestation and also the release of gases harmful to nature as carbon. By manufacturing the bricks with recycling and reuse materials it shows the best way we can target the materials that would be thrown away or even discarded in unsuitable places. The use of these materials may show an improvement in the resistance of the brick, the resistance being beyond the minimum allowed and recommended by the standard.

Keywords: Civil Construction; Solid Waste; Sustainability; Ecological Bricks.

## LISTA DE SIGLAS

CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente;

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas;

RCC: Resíduos de Construção Civil;

RCD: Resíduos de Construção e Demolição;

SINDUSCON-MG: Sindicato da Indústria da Construção Civil no Estado de Minas Gerais;

ABRELPE: Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais;

RBC: Resíduos de Blocos de Cimento

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Limites de Atterberg dos solos.....	23
Figura 2 - Resíduos de Bloco de Cimento triturado .....	26
Figura 3 - Solo peneirado para a mistura.....	27
Figura 4 - Aparelho Casagrande - Ensaio de Limite de Liquidez.....	29
Figura 5 - Ranhura feita na mistura.....	30
Figura 6 - Capsula para levar a estufa .....	30
Figura 7 - Temperatura e Umidade ambiente. ....	31
Figura 8 - Mistura dos materiais para a confecção dos tijolos de solo-cimento/RBC.....	33
Figura 9 - Homogeneização da mistura seca.....	33
Figura 10 - Teste prático tático visual da consistência ideal da massa .....	34
Figura 11 - Teste de consistência que não pode ocorrer .....	34
Figura 12 - Mistura no molde da prensa. ....	35
Figura 13 - Tijolos prensados.....	35
Figura 14 - Tijolo sendo comprimido.....	36
Figura 15 - Resultados apresentados nos ensaios em tonelada .....	36
Figura 16 - Limites de Liquidez - Solo + 30% RBC .....	39
Figura 17 - Limite de Liquidez – Solo + 42,5% RBC .....	40
Figura 18 - Absorção de Água - Tijolo solo natural .....	41
Figura 19 - Absorção de Água - 30% RBC .....	42
Figura 20- Absorção de Água - 42,5% RBC.....	43
Figura 21 - Absorção de Água - Solo-Cimento .....	44

Figura 22 – Gráfico de Resistência à compressão - Solo Natural .....	45
Figura 23 – Gráfico de Resistência à compressão - 30% RBC.....	47
Figura 24 - Resistência à compressão – 42,5% RBC.....	48
Figura 25 - Resistência a Compressão – Tijolo Solo-Cimento .....	49
Figura 26 – Resistência à compressão – Tijolo Queimado.....	51

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quantidade de cimento recomenda (% volume) para obter determinada resistência á compressão do tijolo solo-cimento pelo IP.....	24
Tabela 2 - Considerações gerais das características necessárias.....	24
Tabela 3 - Resistência mínima à compressão em relação à categoria.....	25
Tabela 4 - Tipos e dimensões nominais.....	25
Tabela 5 – Dosagem e porcentagem da 1ª amostra.....	32
Tabela 6 - Dosagem e porcentagem da 2ª amostra.....	32
Tabela 7 - Dosagem e porcentagem da 3ª amostra.....	32
Tabela 8 - Limite de Liquidez – Solo + 30% RBC.....	39
Tabela 9 - Limite de Liquidez – Solo + 42,5% RBC.....	40
Tabela 10 - Absorção de Água – Solo + 30% RBC.....	41
Tabela 11 - Absorção de Água - 42,5% RBC.....	42
Tabela 12 - Absorção de Água – Solo-Cimento.....	43
Tabela 13 - Resistência da 1ª amostra.....	45
.Tabela 14 - Resistência da 2ª Amostra.....	46
Tabela 15 - Resistência da 3ª amostra.....	48
Tabela 16 – Resistência Tijolo Solo-Cimento.....	49
Tabela 17 - Resistência Tijolo Queimado.....	50

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....</b>	<b>16</b>
<b>1.2. OBJETIVOS .....</b>	<b>17</b>
1.2.1. Objetivo Geral .....	17
1.2.2. Objetivos Específicos.....	17
<b>1.3. JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>18</b>
<b>2. REFERÊNCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>19</b>
<b>2.1. Agregado Natural .....</b>	<b>19</b>
<b>2.2. Agregados Reciclados .....</b>	<b>19</b>
<b>2.3. Reciclagem.....</b>	<b>20</b>
<b>2.4. Resíduo da Construção e Demolição (RCD) .....</b>	<b>21</b>
<b>2.5. Resíduos de Blocos de Cimento.....</b>	<b>21</b>
<b>2.6. Tijolos de agregados de RCD e solo/cimento .....</b>	<b>22</b>
<b>2.7. Absorção de Água dos Agregados Reciclados.....</b>	<b>22</b>
<b>2.9. Limites de Liquidez e Plasticidade .....</b>	<b>23</b>
<b>2.10. Resistência à Compressão .....</b>	<b>24</b>
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>26</b>
<b>3.1. MATERIAIS .....</b>	<b>26</b>
3.1.1. Agregados de Resíduos de Bloco de Cimento (RBC) .....	26
3.1.2. Solo.....	27
3.1.3. Cimento .....	27
3.1.4. Água .....	28
<b>3.2. MÉTODOS .....</b>	<b>28</b>
3.2.1. Granulometria.....	28

3.2.2. Ensaio de Limite de Liquidez (LL) .....	28
3.2.2. Ensaio de Plasticidade.....	30
3.2.2. Planilha de Composição.....	31
3.2.3. Preparo e Mistura dos Materiais .....	32
3.2.4. Fabricação do tijolo solo-cimento: RBC .....	34
3.2.5. Cura do Tijolo solo-Cimento / RBC .....	35
3.2.5. Ensaio de Compressão Simples .....	35
3.2.6. Ensaio de absorção de água.....	37
<b>4. ANÁLISE E DISCUSSÃO .....</b>	<b>38</b>
<b>4.1. Limites de Atterber.....</b>	<b>38</b>
4.1.1. Limite de Liquidez .....	38
<b>4.2. ABSORÇÃO DE ÁGUA.....</b>	<b>40</b>
<b>4.3. RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO .....</b>	<b>44</b>
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>52</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>54</b>

# 1. INTRODUÇÃO

Através do desenvolvimento das cidades, o problema com a limpeza dos resíduos sólidos provenientes da construção Civil tem aumentado. Com o crescimento urbano, o aumento de casas, edifícios e indústrias, ocasiona a geração desses resíduos, conseqüentemente aumentando os impactos ambientais.

Para o descarte dos resíduos da construção civil existe a Lei – 12.305 de 02/08/2018 – Política Nacional de Resíduos Sólidos que regulamenta através do Art. 20 – Está sujeito a elaboração de plano de gerenciamento de resíduos sólidos; III – as empresas de Construção Civil, onde esses resíduos podem ser compostos por madeiras, tijolos, blocos, concreto, cerâmica, gesso, telhas, aço e entre outros materiais. Sendo a maioria desses materiais ideais para a reciclagem, tanto para confecção de novos materiais, como blocos e tijolos ou para ser usados como bases e sub-bases de rodovias.

O fabrico de tijolos ecológicos de solo cimento pode ser considerado uma das melhores técnicas e alternativas minimizadoras dos impactos ambientais na área da construção civil. Economicamente viáveis, as vantagens da sua utilização vão desde a fabricação do tijolo até a fase final da obra. No processo produtivo são utilizados equipamentos e maquinários simples de pequeno porte e de baixo custo. Com relação à mão de obra, a mesma não precisa ter experiência prévia, permitindo adquiri-la em poucas horas de trabalho, (FERREIRA, R. C, 2003).

A fabricação do tijolo convencional requer de extração da argila, que é passado por um processo de tratamento de longo que pode chegar até 2 anos para reduzir o excesso de matéria orgânica e os sais indesejáveis. Após a argila pronta e moldada é levado para o processo de secagem e depois, levado para o forno para que seja feita a queima, onde nesse processo é necessário utilizar lenha para a queima e nesse processo é lançado na atmosfera  $CO_2$ , sendo prejudicial à natureza.

A tecnologia de fabricação de tijolos ecológicos vem crescendo ultimamente, tornando-se um grande benefício à natureza, reduzindo a queima de lenha evitando também a emissão de monóxido de carbono na atmosfera, contribuindo para pequena parte dos impactos ambientais, ocorridos no desenvolvimento das cidades, mas a falta de conhecimento sobre esse assunto ainda torna-se um obstáculo para a reciclagem e reutilização desses materiais.

A utilização dessa tecnologia de reciclagem de RCD (Resíduo de Construção e Demolição) vem crescendo e pode gerar também economia em obras que utiliza materiais confeccionados por essa tecnologia. Dessa forma contribuindo com o meio ambiente, pois reduzirá as extrações de recursos naturais.

Segundo a ABRECON com seu relatório de Pesquisa Setorial apresenta a estimativa onde o RCD pode representar de 40% a 70% de todos os rejeitos sólidos gerados no Brasil, a geração anual gira em torno de 84 milhões de m<sup>3</sup> e menos da metade desse material é reciclado.

Materiais que são descartados e coletados por empresas de reciclagem que são retirados da obra e levados para os locais adequados, em que é feita a triagem por tipo de materiais e destinados cada tipo para o seu setor de reciclagem.

O processo de reciclagem e moagem dos resíduos sólidos da construção civil é passado por esteiras onde é triturado e passado por um imã de tamanho considerável para que sejam separados ferros de vigas e outros tipos de ferro existentes. Outro processo consequente a isso é a passagem por peneiras de varias malhas granulométricas, sendo o material separado por tamanhos granulométricos, prontos para a utilização.

Outro grande gerador de resíduos que nem sempre são utilizados, são os restos de fabricas de blocos de cimento, materiais provenientes de deformações na fabricação, perdas que podem gerar no momento do carregamento e no transporte.

Nas fábricas de blocos de pequeno porte, em sua maioria, são locais onde os equipamentos para a fabricação são geralmente antigos e ultrapassados, isso favorece a geração de resíduos, diferindo das fabricas modernas que produzem blocos em grande escala e com alto controle de qualidade (MARTINS, 2012).

## 1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A confecção de tijolos ecológicos de materiais reciclados pode substituir partes do material convencional, sendo que o descarte dos materiais de construção civil é amparado por lei, que todo engenheiro responsável pela obra deve se

responsabilizar pela destinação correta dos materiais descartados. Os materiais devem ser descartados em locais adequados e autorizados, exemplo, como uma usina de reciclagem, para dar finalidades corretas, para a utilização em confecção de novos materiais, como blocos e tijolos ou para ser usados como bases e sub-bases de rodovias.

Neste trabalho visa-se dar utilidade aos resíduos de bloco de cimento, como um dos agregados para a confecção dos ecológicos de solo-cimento, onde poderá gerar economia na substituição dos agregados naturais, além disso, gerar renda a novos empreendedores.

## 1.2. OBJETIVOS

### 1.2.1. Objetivo Geral

Confeccionar tijolos de vedação, utilizando agregados reciclados proveniente de fábrica de blocos de cimento atendendo as normas técnicas brasileiras quanto à resistência a compressão e absorção de água através dos ensaios adequados.

### 1.2.2. Objetivos Específicos

- Desenvolver tijolos para alvenaria não estrutural, com materiais reciclados de fábricas de blocos de cimento.
- Avaliar as dosagens aplicadas de RBC para a confecção dos tijolos realizando um comparativo com tijolos com adição de agregados de RBC e os tijolos convencionais mostrando as suas resistências à compressão.
- Mostrar através dos estudos, que o uso do RBC poderá obter bons resultados em sua resistência e mostrar que é uma boa alternativa para reutilizar esses materiais, contribuindo com o meio ambiente, na diminuição do desmatamento e conseqüentemente diminuído a liberação de monóxido de

carbono na atmosfera, até mesmo uma boa alternativa de gerar uma nova renda aos próprios fabricantes desses resíduos.

### 1.3. JUSTIFICATIVA

A geração de resíduos e os impactos ambientais gerados pela construção civil têm aumentado com o desenvolvimento das cidades, esse é um grande fator que tem chamado à atenção, pois com esse aumento, conseqüentemente aumenta a extração dos materiais naturais, e o uso dos materiais reciclados e reutilizados pode diminuir significativamente os recursos naturais, contribuindo dessa forma com o meio ambiente, tornando-se um material sustentável e também gerando economia dos materiais que poderá ajudar nos recursos para o desenvolvimento desse tipo de projeto sustentável.

Dessa forma foi onde despertou a curiosidade de estudar e achar uma solução para esse problema que tanto tem contribuído para degradação da natureza e também mostrar que com esse trabalho pode se colocar a economia de materiais como um dos grandes fatores para a reutilização de resíduos de RBC.

## 2. REFERÊNCIAL TEÓRICO

### 2.1. AGREGADO NATURAL

De acordo com Montagna (2014) “O agregado natural (brita) corresponde a um material pétreo granular que pode ser utilizado tal e qual encontrados na natureza, podendo ser submetido à lavagem ou moagem. A importância industrial do agregado natural (brita) se justifica pelas amplas possibilidades de sua utilização sendo considerado essencial na manutenção do fluxo regular de diversos segmentos econômicos. Dentre suas aplicações, pode-se citar a confecção de bloquetes de cimento para a pavimentação, meio-fio, e outros artefatos. Entretanto, todas essas aplicações se encontram atreladas à suas características físico-químicas. Sendo assim, a brita só pode ser substituída por material com propriedades similares e em condições controladas. Nessa perspectiva, diversos estudos têm sido implementados buscando avaliar a validade do uso do RCD em substituição total ou parcial do agregado natural”.

### 2.2. AGREGADOS RECICLADOS

De acordo Neville (1997), o agregado para material de construção como sendo um sólido, não totalmente inerte, porém coesivo em contato com a pasta de cimento, cujas propriedades físicas, térmicas e químicas influenciam no desempenho mecânico do concreto.

A composição química, formato geométrico, resistência mecânica, textura e estrutura mineral do agregado é o que influencia na resistência e no módulo de elasticidade do concreto. Além disso, o concreto pode ser influenciado pela absorção de água e pela aderência da pasta na superfície do agregado.

De acordo com Ângulo (2000), a viabilidade dos agregados de RCD ocorre em função do cronograma de execução de serviços, fazendo com que, em cada período, os materiais e índices de perdas sejam bem diferentes.

Segundo as especificações da NBR 15116/2014 (Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos), “agregados reciclados é o material granular proveniente do beneficiamento de RCC que apresentam características técnicas para a aplicação em obras de edificação, de estruturas em aterros sanitários ou outras obras de engenharia. Designado como classe A, que apresenta características técnicas adequadas para aplicação em obras de edificação ou infraestrutura”.

### 2.3. RECICLAGEM

A reciclagem pode ser considerada como toda e qualquer atividade que tem como objetivo reutilizar os materiais ou produtos de modo a estender o seu ciclo de vida e diminuir os problemas de descartes desses materiais. Os benefícios da reciclagem são os retornos que a sua aplicação pode oferecer, como economia e melhor custos na venda desses produtos de materiais recicláveis.

A reciclagem do RCD pode gerar vantagens econômicas, sociais e ambientais, como diminuir o custo das obras através da utilização de materiais reciclados, diminuição das áreas de aterros sanitários e preservação do meio ambiente.

De acordo com a ABRECON – “o mercado da reciclagem de resíduos da construção e demolição no Brasil é ainda novo, mas se apresenta muito promissor. A reciclagem deste resíduo é um mercado desenvolvido em muitos países da Europa, em grande parte pela escassez de recursos naturais desses países, que veem em seus resíduos uma enorme fonte de matéria prima”.

Segundo Carneiro (2001), “A reciclagem apresenta vantagens econômicas se comparada com as deposições irregulares de RCD, os custos da limpeza urbana para as administrações municipais são muito elevados, a correção da deposição irregular, com aterramento e controle de doenças”.

## 2.4. RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)

A preocupação atualmente são as questões ambientais, principalmente nos canteiros de obras e na construção civil, pois as demolições e novas edificações têm contribuído para a geração de resíduos. Conseqüentemente ao crescimento da construção civil houve também um grande crescimento com o consumo de recursos naturais.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA – nº 307, de cinco de julho de 2002, define os Resíduos de Construção Civil e Demolição (RCD), como:

“resíduos provenientes de construção civil, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliças ou metralha”.

Apesar dos vários materiais que são descartados e podem ser reciclados, existem resíduos que ainda não podem ser reaproveitados como: gesso, colas e tintas.

Segundo a ABRELPE – Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil (2016), “são coletaram cerca de 45,1 milhões de toneladas de RCD em 2016, o que configura uma diminuição de 0,08% em relação a 2015. Esta situação, também observada anteriormente, exige atenção especial, visto que a quantidade total desses resíduos é ainda maior, uma vez que são coletam apenas os resíduos lançados ou abandonados nos logradouros públicos”.

## 2.5. RESÍDUOS DE BLOCOS DE CIMENTO

Os agregados de resíduos de blocos de cimento por ser constituído por materiais cimentício não contem diversidades mineralógicas e contaminantes como, madeira, cerâmica, gesso e outros tipos de resíduos em relação aos resíduos de

construção civil e de demolição. Portanto os agregados de bloco de cimento propõem um melhor material a ser reciclado, tendo características mais uniformes.

## 2.6. TIJOLOS DE AGREGADOS DE RCD E SOLO/CIMENTO

Segundo Segantini; Alcântara (2010), a produção dos tijolos ecológicos é favorável ao desenvolvimento sustentável, já que não é utilizada quase nada de energia e não ser necessário a queima como os tijolos convencionais, e pelo material poder ser obtido no local da obra, economizando com transporte. Também há a vantagem de os blocos serem produzidos no local da obra. O produto final será de baixo custo de fabricação por não necessitar de mão de obra qualificada e de serem materiais quase 100% reciclado.

A adição de outros tipos de materiais a mistura é uma das grandes vantagens do tijolo de solo/cimento, que é um grande fator no desenvolvimento sustentável, apesar do processo ser caro no início de adaptação por conta dos materiais e das máquinas utilizadas, como por exemplo, uma prensa manual pode custar entre R\$3.000,00 a R\$7.000,00 e o britador de R\$9.000,00 a R\$12.000,00, mesmo com esse investimento inicial poderá trazer bom retornos ambientais e financeiros.

## 2.7. ABSORÇÃO DE ÁGUA DOS AGREGADOS RECICLADOS

Na NBR 13555/1996 (Solo-Cimento – Determinação de Absorção d' água – Método de ensaio), determinam que a absorção não podem ultrapassar o valor de 20%. A relação do peso da amostra seca e o peso da amostra saturada são apontados em porcentagem à absorção de água da amostra na sua pior condição.

Os valores individuais de absorção de água determinada é feita através da Equação 1, que  $m_2$  se refere a massa úmida e  $m_1$  se refere a massa seca, onde a absorção média foi obtida pela media aritmética das duas determinações.

Os agregados de RCD possuem uma grande capacidade de absorção de água, que podem vir a influenciar na trabalhabilidade da mistura do concreto fresco.

De acordo com Leite (2000), este aumento de absorção ocorre devido à existência de porosidade e à elevada área superficial das partículas finas de argila e do material cimentício. Além da granulometria, a composição básica do RCD tem influência na capacidade de absorver água do agregado reciclado. Os métodos propostos pela NBR9777/87 e NBR 9937/87 referentes à determinação de absorção de agregados miúdos e graúdos, respectivamente, são apropriados para agregados naturais, pois estes podem ser considerados impermeáveis, entretanto podem mostrar-se ineficientes aos agregados reciclados e porosos. Por esta razão, entende-se que todos os métodos oficiais de caracterização de agregados mais densos que a água, e com elevada taxa de absorção, como os reciclados.

## 2.9. LIMITES DE LIQUIDEZ E PLASTICIDADE

O limite de liquidez (LL) e o limite de plasticidade (LP) são dois ensaios que apresentam a como os solos podem ser distintos conforme a concentração de umidade.

Segundo Pinto (2000), o solo quando muito úmido se compara a líquidos, quando perde parte de sua água se torna plástico, e quando seco se torna quebradiço. O LL deve obter o teor de umidade que seja necessário 25 golpes para fechar a ranhura feita no aparelho de Casagrande e o LP deve ter o menor teor de umidade possível para moldar um cilindro com 3mm de diâmetro, somente usando a palma da mão para rolar o solo.

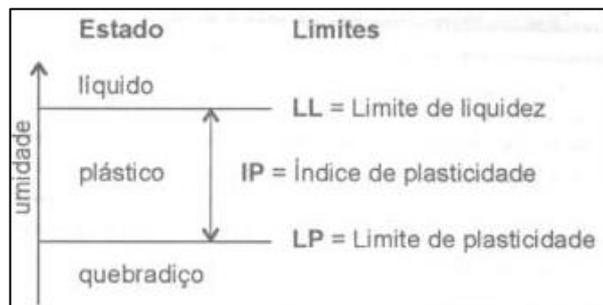


Figura 1 - Limites de Atterberg dos solos  
Fonte: Curso Básico de Mecânica dos Solos

Segundo NEVES (2011), recomenda-se que para a fabricação de tijolos de solo cimento seja utilizado solo que tenha o LL menor ou igual a 45% e o IP menor ou igual a 18%, com essa faixa os solos são mais fáceis de estabilizar. A quantidade de cimento utilizado para que o tijolo tenha a resistência à compressão adequada tem relação com o IP, conforme a (Tabela 1).

Tabela 1 - Quantidade de cimento recomenda (% volume) para obter determinada resistência á compressão do tijolo solo-cimento pelo IP.

Índice de Plasticidade do solo	Quantidade de cimento recomenda (% volume) para obter determinada resistência á compressão (saturado)		
	1 MPa	2 MPa	3 MPa
< 15	5%	7%	10%
15 – 20	5%	10%	Inadequado
20 – 25	6,5%	Inadequado	
25 – 30	8,5%		
30 – 35	10%		
> 35	Inadequado		

Fonte: Walker 1995 apud Milani, (2005).

A NBR 10832/1989 (Fabricação de Tijolo Solo-Cimento com a utilização de prensa manual) informa que os solos mais adequados para a fabricação de tijolos de solo-cimento são os que possuem as seguintes características (Tabela 2).

Tabela 2 - Considerações gerais das características necessárias

Passando na peneira 4,8 mm (nº4)	100%
Passado na peneira 0,075 mm (nº200)	10 a 50%
Limite de Liquidez	≤ 45%
Índice de Plasticidade	≤ 18%

Fonte: NBR 10832 (1989) – Fabricação de Tijolos Solo-Cimento com a utilização de Prensa Manual

## 2.10. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

A resistência à compressão de tijolos maciços de solo-cimento na NBR 6460/1983 (Tijolo Maciço Cerâmico para Alvenaria – Verificação da Resistência á

Compressão) descreve os procedimentos que devem ser seguidos, a resistência mínima exigida para tijolos comuns é representada na (Tabela 3).

Tabela 3 - Resistência mínima à compressão em relação à categoria

Categoria	Resistência a Compressão (Mpa)
A	1,5
B	2,5
C	4,0

Fonte: NBR 7170 (1983) – Tijolo Maciço Cerâmico para alvenaria.

Não é aceitável o valor de resistência individual menor que 1,7 Mpa, com idade de 7 dias.

Segundo Segantini; Wada (2011) a adição de resíduos na massa utilizada para a confecção de tijolos de solo-cimento tem a capacidade de aumentar a sua resistência a compressão. Pode também ter características superiores aos tijolos feitos com cerâmica que passam por queima.

Em estudo feito por Segantini; Wada (2011), foi constatados que vários traços de solo-cimento com adição de resíduos e mesmo com teor de cimento de apenas 4%, apresentam resistências superiores a 2,0 Mpa. A adição de resíduos torna o solo mais arenoso, melhorando as propriedades e a resistência a compressão do tijolo.

Conforme indicado na NBR 8492/1984 (Tijolo Maciço de Solo-Cimento – Determinação da Resistência à Compressão e da absorção d' Água) o tipo de tijolo solo cimento confeccionado através de suas dimensões é o Tipo II apresentado na (Tabela 4).

Tabela 4 - Tipos e dimensões nominais

DESIGNAÇÃO	COMPRIMENTO	LARGURA	ALTURA
TIPO I	20	9,5	5
<b>TIPO II</b>	<b>23</b>	<b>11</b>	<b>5</b>

Fonte: NBR 8491 (1984) – Tijolo Maciço Solo-Cimento

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta etapa serão apresentados os materiais e os métodos utilizados para a fabricação dos tijolos ecológicos com agregados reciclados.

#### 3.1. MATERIAIS

##### 3.1.1. Agregados de Resíduos de Bloco de Cimento (RBC)

Os agregados foram retirados da fabrica de blocos de cimento localizada próxima à faculdade no bairro Vila Rica em Extrema/ MG também chamada de Materiais de Construção “Vila Rica”, esses resíduos coletados já estavam triturados, pelo fato da empresa utilizar esses resíduos para uma nova fabricação. Posterior à coleta os resíduos foram peneirados no intuito de obter um material com dimensões próximas a do solo para que a mistura ficasse com uma forma homogênea e não tivesse no meio dela partículas maiores que pudesse dar um aspecto grosseiro ao tijolo, após o processo de peneiramento foi feita a pesagem do material em varias proporções para obter a melhor proporção para o melhor resultado em relação à resistência, observado na (Figura 2).



Figura 2 - Resíduos de Bloco de Cimento triturado  
Fonte: Própria Autora, (2018).

### 3.1.2. Solo

Para a confecção do tijolo foi utilizado o solo arenoso para a fabricação do tijolo ecológico solo/cimento. O solo natural foi coletado de uma cidade da região chamada Hortolândia onde possui um solo arenoso, o solo era armazenado em local sem cobertura de telhado ou lona plástica, ou seja, exposto ao ar livre. O solo recomendável não pode conter matérias orgânicas, pois pode ter a decomposição das folhas, raízes e plantas não sendo interessante para a resistência do tijolo. O solo adequado para ser retirado para as confecções dos tijolos estão alocados a mais ou menos 50 cm abaixo do nível da superfície do solo, representado na (Figura 3).



Figura 3 - Solo peneirado para a mistura  
Fonte: Própria Autora, (2018).

### 3.1.3. Cimento

O cimento utilizado para a confecção do tijolo foi o cimento Portland CP V-ARI, por possuir melhores propriedades para confecção de solo-cimento, pois ele tem como característica sua alta resistência inicial e a facilidade em ser encontrado no mercado.

### **3.1.4. Água**

Segundo a NBR 15900-1/ 2009 (Água para amassamento do concreto - Parte 1: Requisitos), contaminações na água de amassamento podem alterar os tempos de pega e resistências, portanto a água utilizada deve ser potável, pois se conter a presença de impurezas pode comprometer a hidratação do cimento, onde foi utilizada água destilada.

## **3.2. MÉTODOS**

### **3.2.1. Granulometria**

A granulometria do solo e do RBC para a fabricação dos tijolos foi a inferior a malha da peneira #4 de 4,76mm, conforme recomendado pela norma NBR 6457/1986 (Amostra de Solo – Preparação para Ensaio de Compactação e Ensaio de Caracterização). Portanto o malha utilizada foi a #8 de 2,46mm, ou seja, utilizado o passante desse material, essa granulometria permitiu melhor uniformidade dos grãos de solo e de RBC, mantendo um aspecto homogêneo na mistura da massa facilitando o processo de prensagem.

### **3.2.2. Ensaio de Limite de Liquidez (LL)**

O ensaio de LL foi executado seguindo as instruções e especificações da NBR 6459/1984 (Solo – Determinação do Limite de Liquidez), verificando o aparelho e fazendo os ajustes necessários para o início do ensaio, após o mesmo ajustado foi separado uma amostra de 200g de cada dosagem.

O ensaio foi feito para cada dosagem separadamente, ambas sendo executada da mesma forma, a primeira etapa foi separar essa mistura em duas partes, sendo 100g para ensaio de limite de liquidez e 100g para o ensaio de

plasticidade que faz parte do processo. Foi adicionada em uma capsula de porcelana 100g da mistura e adicionada água destilada em pequenas dosagens, amassando com o auxílio de uma espátula continuamente, de maneira que obtivesse uma mistura homogênea e uma consistência necessária para que a ranhura fosse fechada com no máximo 35 golpes.

O tempo necessário de homogeneização foi de 15 min, após este tempo colocou-se parte da mistura na concha, representada na (Figura 4) onde se moldou na parte central da concha de forma que a espessura tivesse ordem de 10 mm e o excesso retirado retornado para a cápsula.



Figura 4 - Aparelho Casagrande - Ensaio de Limite de Liquidez  
Fonte: Própria Autora, (2018).

Dividiu-se a mistura colocada na concha ao meio por um acessório chamado de cinzel, de forma a abrir uma ranhura central, representado na (Figura 5 e 6), em seguida a concha foi golpeada contra a base em queda livre, girando uma manivela cerca de duas voltas por segundo até que as bordas inferiores se unissem ao longo de 13mm de comprimento. Quando atingido a união das bordas, retirou-se uma pequena quantidade do material no local da união e colocou-a em uma cápsula de alumínio, para que não tivesse a perda de umidade. Esse processo foi repetido por no mínimo 4 vezes, dentro do intervalo de 15 a 35 golpes.

Anotaram-se os pesos das capsulas identificadas por numeração em uma tabela contendo o peso somente da cápsula, cápsula mais solo úmido retirado do ensaio e cápsula mais solo seco que foi seco em estufa a 105°C. A partir desses dados foram gerados a tabela e o gráfico dos resultados obtidos.



Figura 5 - Ranhura feita na mistura  
Fonte: Própria Autora, (2018).



Figura 6 - Capsula para levar a estufa  
Fonte: Própria Autora, (2018).

### 3.2.2. Ensaio de Plasticidade

O ensaio de plasticidade foi feita com a outra parte da mistura do ensaio do limite de liquidez, onde foi colocado o solo em uma cápsula de porcelana e adicionada água destilada em pequenas dosagens, amassando com uma espátula até obter uma mistura homogênea com consistência plástica.

A homogeneização foi feita em 15 min, após esse tempo de homogeneização, tomou-se uma amostra de cerca de 10 g para que fosse moldada uma pequena bola e colocada sobre a placa de vidro, pressionando o com a palma da mão, mas já no

momento em foi tentado moldar a pequena bola não foi possível, pois pelo solo ser um solo arenoso e ter sido adicionado parte do solo por agregados de RBC, a mistura se tornou inviável para esse ensaio, demonstrando não ser plástico o suficiente para ser moldado.

### 3.2.2. Planilha de Composição

A escolha do traço ideal para um bom produto foi referenciado através de outros estudos e também de acordo com a ABCP/ 2000 (Fabricação de Tijolos de Solo-Cimento com a Utilização de Prensas Manuais), onde o traço volumétrico básico pode ser de 1:10 (solo:cimento)

Para cada dosagem foram feitos 5 corpos de provas, onde foram utilizados para a realização do ensaio de compressão simples e para ensaio de determinação de absorção de água, onde os tijolos foram preparados em um ambiente de temperatura e umidade, representado na (Figura 7).



Figura 7 - Temperatura e Umidade ambiente

Fonte: Própria Autora, (2018).

1ª AMOSTRA PADRÃO – Essa amostra foi prensada somente o solo para mostrar a resistência do solo em relação a uma determinada carga à compressão que será a aplicada a essa amostra, representado na (Tabela 5).

Tabela 5 – Dosagem e porcentagem da 1ª amostra

1ª AMOSTRA			
SOLO	RBC	CIMENTO	ÁGUA
95%	-	-	5%

Fonte: Própria Autora, (2018).

2ª e 3ª AMOSTRA – Foram dosadas diferentes frações com a adição de agregados de RBC mostradas nas (Tabelas 6 e 7) para observar a resistência.

Tabela 6 - Dosagem e porcentagem da 2ª amostra

2ª AMOSTRA			
SOLO	RBC	CIMENTO	ÁGUA
42,50%	42,50%	10%	5%
4250 g	4250 g	1000 g	500 g

Fonte: Própria Autora, (2018).

Tabela 7 - Dosagem e porcentagem da 3ª amostra

3ª AMOSTRA			
SOLO	RBC	CIMENTO	ÁGUA
55%	30%	10%	5%
5500 g	3000 g	1000 g	500 g

Fonte: Própria Autora, (2018).

### 3.2.3. Preparo e Mistura dos Materiais

A princípio o resíduo de bloco de cimento coletado já triturado por triturador de mandíbula e o solo arenoso com umidade natural foi levado para o processo de peneiramento e pesado conforme as quantidades nas tabelas já mencionadas no item 3.2.2 para fins de estudo da utilização dos agregados para a confecção dos tijolos com agregados de RBC. Depois o solo, o RBC e o cimento CP V, foram

misturados de forma manual até atingir uma consistência homogênea com o auxílio de uma colher de pedreiro, depois foi adicionada água até que obtivesse uma consistência ideal para a prensagem. (Figura 8 e 9).



Figura 8 - Mistura dos materiais para a confecção dos tijolos de solo-cimento/RBC  
Fonte: Própria Autora, (2018).



Figura 9 - Homogeneização da mistura seca  
Fonte: Própria Autora, (2018).

A dosagem de água utilizada para a consistência ideal de cada amostra foi determinada a partir de um teste prático manual e visual, que para cada amostragem foi adicionada 5% de água. A água foi adicionada aos poucos e misturada até atingir a consistência ideal que ao apertar a mistura na mão ela ficasse marcada com os dedos (Figura 10), caso contrário se a mão ficasse molhada a mistura estaria com excesso de água e se ela esfarelasse facilmente estaria com falta de água (Figura 11).



Figura 10 - Teste prático tático visual da consistência ideal da massa  
 Fonte: Autoria própria, (2018).

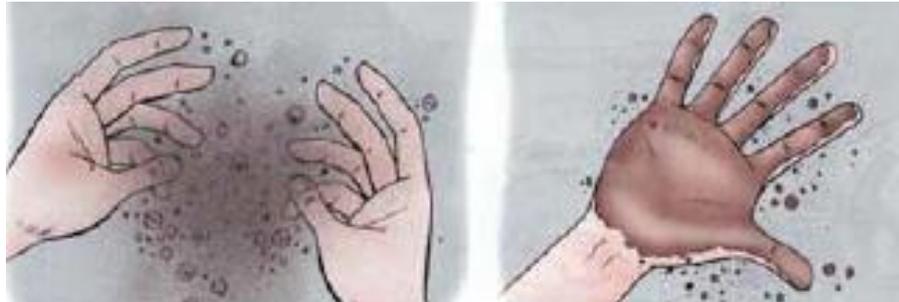


Figura 11 - Teste de consistência que não pode ocorrer  
 Fonte: Manual Prático Sahara

#### 3.2.4. Fabricação do tijolo solo-cimento: RBC

As moldagens dos tijolos foram feitas em uma prensa manual tipo Hobby da marca “Sahara, que após a preparação da mistura foi adicionado ao molde de dimensões (11cm x 23,5cm) da prensa e realizada a prensagem (Figura 12), a força aplicada ao molde é a de uma pessoa, sendo essa força não tão alta, mas o suficiente para prensar a mistura no molde.



Figura 12 - Mistura no molde da prensa  
Fonte: Própria Autora, (2018).

### 3.2.5. Cura do Tijolo solo-Cimento / RBC

O tijolo obtido com a prensa foi retirado com cuidado, pois ainda apresentava baixa resistência e colocado em uma prateleira coberta para que não tivesse contato direto do sol para que não prejudicasse no processo de cura (Figura 13). A cura úmida foi feita até 7 dias, sendo umedecido até 3 vezes ao dia.



Figura 13 - Tijolos prensados  
Fonte: Própria Autora, (2018).

### 3.2.5. Ensaio de Compressão Simples

Para a realização do ensaio de compressão simples foi feita a regularização das faces inferiores e superiores da prensa, pois a mesma não atendia as especificações da NBR 8492/1984 (Tijolo Maciço de Solo-Cimento – Determinação da Resistência à compressão e da absorção d' água). Como o tijolo tem o formato

retangular e a base da prensa é circular e menor, foi necessário à utilização de duas placas de aço retangulares e planas para a realização do rompimento utilizando a prensa hidráulica manual com capacidade de 100 Tf, após atingir o seu pico máximo de resistência, anotou-se o valor da força aplicada em Tf e transformou em MPa, dividindo a carga máxima observada durante o ensaio peça média das áreas das duas faces de trabalho em mm<sup>2</sup>, representado na (Figura 14 e 15).



Figura 14 - Tijolo sendo comprimido  
Fonte: Próprio Autor



Figura 15 - Resultados apresentados nos ensaios em tonelada  
Fonte: Próprio Autor

### **3.2.6. Ensaio de absorção de água**

O ensaio de absorção de Água foi feito conforme a NBR 8492/1984 (Tijolo Maciço de Solo-Cimento – Determinação da Resistência à Compressão e da Absorção de Água), os tijolos com 28 dias de idade foram secados em estufa em 105°C por 24 horas, após atingir a temperatura ambiente as pesagens foram feitas, obtendo-se a massa  $M_1$  dos tijolos secos.

Após as pesagens os tijolos foram imersos em um balde com água por 24 horas, logo após as 24 horas retirou-se os tijolos da água e foi enxuto superficialmente com um pano úmido e foi levado para pesagem novamente, obtendo-se assim a massa do tijolo saturado  $M_2$ .

## 4. ANÁLISE E DISCUSSÃO

A caracterização das misturas entre solo e RBC que foram utilizadas para a produção dos tijolos será representada nos resultados obtidos através dos ensaios de Limite de Liquidez, Limite de Plasticidade, Absorção de Água e de Compressão simples.

### 4.1. LIMITES DE ATTERBER

O solo pode apresentar variações em sua consistência dependendo da quantidade de água que possa possuir, variando entre consistência sólida, semi-sólida, plástica ou fluido denso. Para o Limite de Liquidez é a umidade que separa o estado plástico do estado líquido quando muito úmido o solo tende a ser um fluido denso e para o Limite de Plasticidade a umidade delimita o estado plástico do semi-sólida, quando o teor de umidade muito baixo o solo tende a fissurar.

#### 4.1.1. Limite de Liquidez

O ensaio realizado com a mistura com a adição de 30% de RBC e de 42,5% de RBC ao solo atendeu todas as especificações determinadas pela NBR 10832/1989 (Fabricação de Tijolo Solo-Cimento com a utilização de Prensa Manual), onde é recomendado que a umidade do Limite de Liquidez seja  $\leq 45\%$ .

Podem ser notado que os valores da umidade das amostras da mistura com a adição de 30% RBC foram inferiores a 45%, estando essa mistura dentro do permitido, representado na (Tabela 8) a umidade conforme cada amostra do ensaio e a quantidade de golpes necessários para o fechamento da fissura, assim como representado no (Figura 16), de uma forma visível cada umidade para a quantidade de golpes, sendo que a quantidade de golpes ideais do solo são 25 golpes.

Tabela 8 - Limite de Liquidez – Solo + 30% RBC

Número das Capsulas	88	10	24	58	20
Solo Seco + Cápsula (g)	11,52	12,98	12,51	11,68	11,63
Solo Úmido + Cápsula (g)	10,83	11,99	11,55	10,82	10,73
Cápsula (g)	5,79	6,05	6,03	5,91	5,77
Peso da água (g)	<b>0,69</b>	<b>0,99</b>	<b>0,96</b>	<b>0,86</b>	<b>0,90</b>
Peso do sólido (g)	<b>5,04</b>	<b>5,94</b>	<b>5,52</b>	<b>4,91</b>	<b>4,96</b>
Umidade (%)	<b>13,69</b>	<b>16,67</b>	<b>17,39</b>	<b>17,52</b>	<b>18,15</b>
Número de golpes	35	29	25	16	14

Fonte: Própria Autora, (2018).

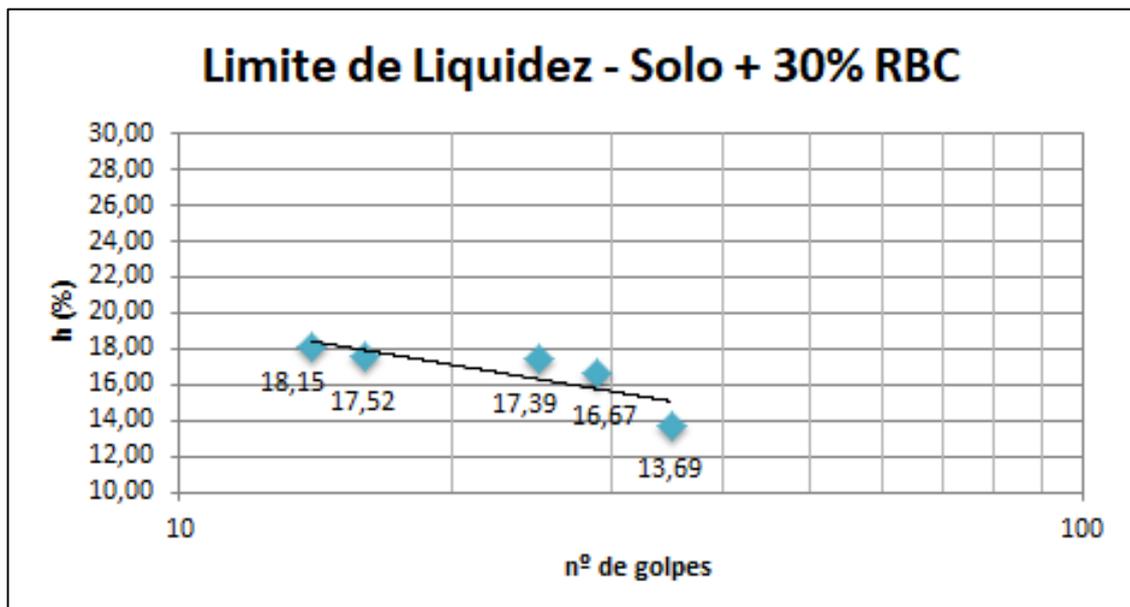


Figura 16 - Limites de Liquidez - Solo + 30% RBC

Fonte: Própria Autora, (2018).

Para essa amostra de 42,5% de RBC ao solo os valores das umidades das amostras foram inferiores a 45%, assim como a de 30% RBC estando dentro do permitido, representado na (Tabela 8) e a umidade conforme cada amostra do ensaio e a quantidade de golpes necessária para o fechamento da fissura, representado de uma forma visível no (Figura 17).

Tabela 9 - Limite de Liquidez – Solo + 42,5% RBC

Número das Capsulas	6	52	22	37	35
Solo Seco + Cápsula (g)	16,84	11,77	10,91	9,91	11,81
Solo Úmido + Cápsula (g)	16,09	10,87	10,12	9,26	10,84
Cápsula (g)	11,63	5,99	5,87	5,80	5,90
Peso da água (g)	<b>0,75</b>	<b>0,90</b>	<b>0,79</b>	<b>0,65</b>	<b>0,97</b>
Peso do sólido (g)	<b>4,46</b>	<b>4,88</b>	<b>4,25</b>	<b>3,46</b>	<b>4,94</b>
Umidade (%)	<b>16,82</b>	<b>18,44</b>	<b>18,59</b>	<b>18,79</b>	<b>19,64</b>
Número de golpes	35	25	21	15	11

Fonte: Própria Autora, (2018).

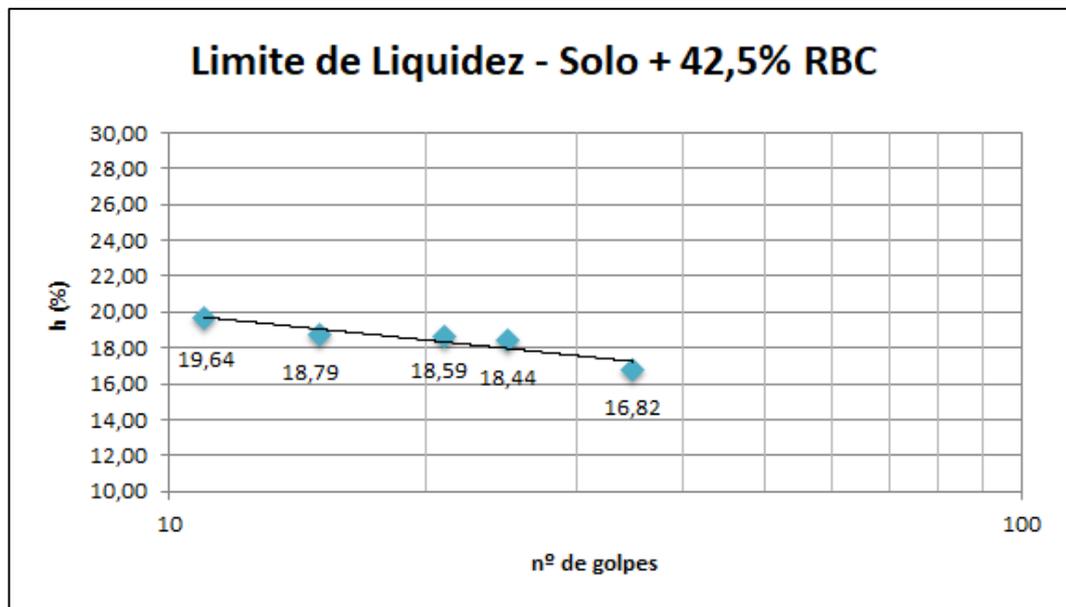


Figura 17 - Limite de Liquidez – Solo + 42,5% RBC  
Fonte: Própria Autora, (2018).

## 4.2. ABSORÇÃO DE ÁGUA

O ensaio de absorção de água tomou a NBR 8492/1984 (Tijolo maciço de solo-cimento – Determinação da resistência á compressão e da absorção d' água) e a NBR 8491/1984 (Tijolo maciço de solo-cimento) como referencia para o ensaio de absorção de água.

As absorções de água não podem ultrapassar de 20%, é notável nos resultados que as absorções dos tijolos com dosagens de 30% e 42,5% aos 28 dias de idade obtiveram valores satisfatórios pela norma.

O tijolo confeccionado somente com solo natural sem a adição de cimento, para o ensaio de absorção, assim como, no ensaio de compressão não obteve resultados favoráveis, sem o cimento que seria o ligante das partículas o tijolos ao entrar em contato com a água se desmanchou na água, tornando se impossível o ensaio e também a utilização do mesmo, representado na (Figura 18).



Figura 18 - Absorção de Água - Tijolo solo natural  
Fonte: Própria Autora, (2018).

Os resultados obtidos da absorção de água para o tijolo com 30% de RBC ao solo foram atendidos ao especificado pela norma, pois o teor de absorção recomendado é de no máximo 20% de água e o mostrado através do ensaio para a maior absorção foi de 14,02%, representado na (Tabela 10), mostrando-se ser um tijolo pouco poroso.

Tabela 10 - Absorção de Água – Solo + 30% RBC

ABSORÇÃO DE AGUA COM 28 DIAS - 30% RBC			
CORPOS-DE-PROVA	MASSA SECA EM ESTUFA A 105° (g)	MASSA SATURADA (g)	ABSORÇÃO DE AGUA (%)
1/3	2229,80	2528,94	13,42
2/3	2091,50	2384,64	14,02
3/3	2198,76	2497,03	13,57
	MÉDIA		13,67

Fonte: Própria Autora, (2018).

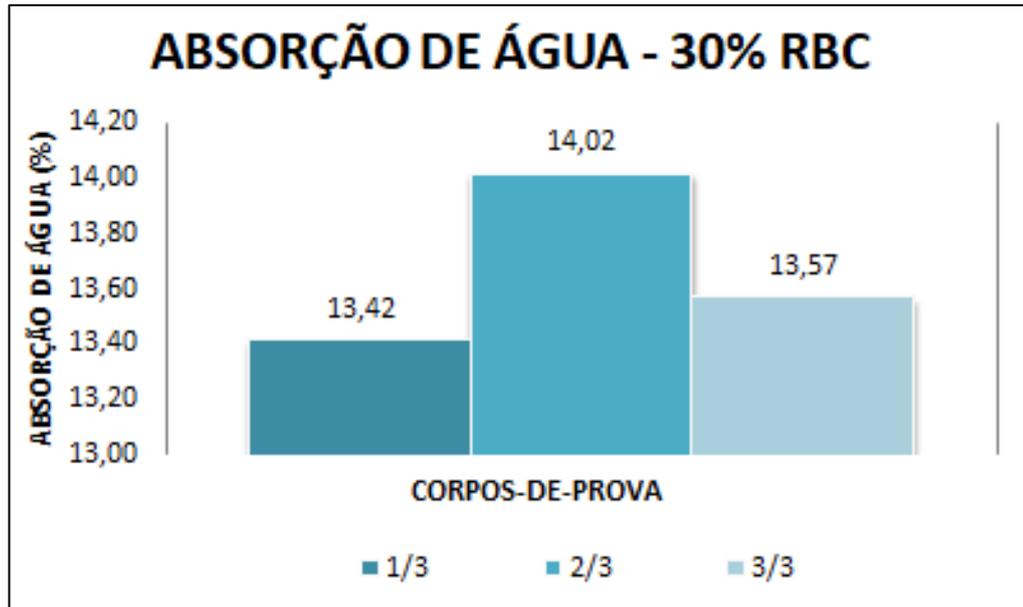


Figura 19 - Absorção de Água - 30% RBC  
Fonte: Própria Autora, (2018).

Assim como tijolos com 30% de RBC, com 42,5% também apresentou os resultados obtidos da absorção de água atendendo ao especificado pela norma, pois o teor de absorção recomendado é de no máximo 20% de água e mostrado através do ensaio para a maior absorção foi de 12,52%, representado na (Tabela 11) mostrando-se ser um tijolo pouco poroso.

Tabela 11 - Absorção de Água - 42,5% RBC

ABSORÇÃO DE AGUA COM 28 DIAS – 42,5% RBC			
CORPOS-DE-PROVA	MASSA SECA EM ESTUFA A 105° (g)	MASSA SATURADA (g)	ABSORÇÃO DE AGUA (%)
1/3	2141,76	2446,99	14,25
2/3	2425,70	2682,68	10,59
3/3	2358,13	2653,42	12,52
MÉDIA			12,46

Fonte: Própria Autora, (2018).

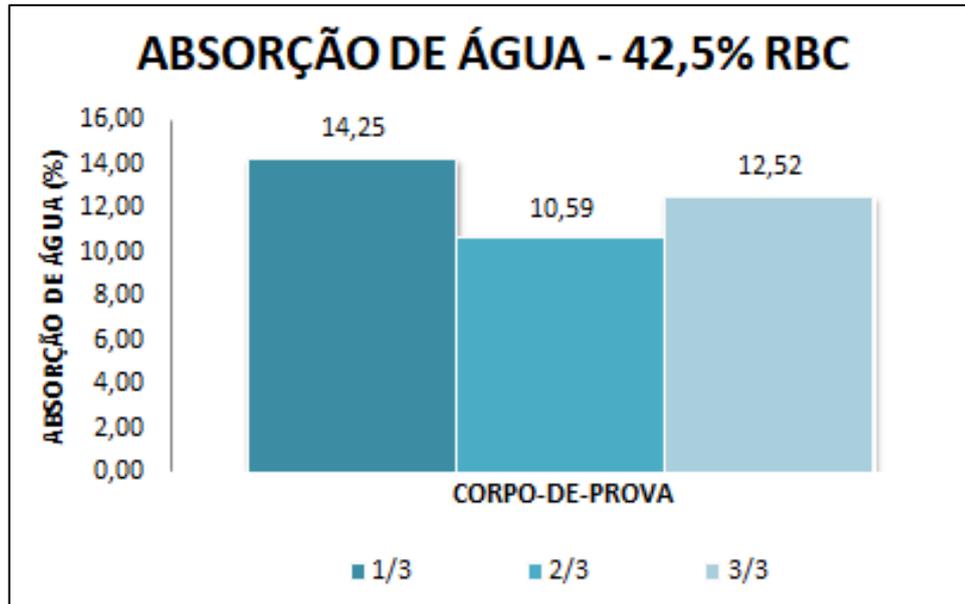


Figura 20- Absorção de Água - 42,5% RBC  
Fonte: Própria Autora, (2018).

Os tijolos solo-cimento também apresentaram os resultados satisfatórios em relação ao ensaio de absorção de água atendendo ao especificado pela norma, mostrado através do ensaio a maior absorção de 10,59%, representado na (Tabela 12) e a absorção de cada tijolo na (Figura 21).

Tabela 12 - Absorção de Água – Solo-Cimento

ABSORÇÃO DE AGUA COM 28 DIAS - SOLO-CIMENTO			
CORPOS-DE-PROVA	MASSA SECA EM ESTUFA A 110° (g)	MASSA SATURADA (g)	ABSORÇÃO DE AGUA (%)
1/3	2010,17	2335,09	16,16
2/3	2093,01	2423,01	15,77
3/3	2062,42	2380,68	15,43
	MÉDIA		15,79

Fonte: Própria Autora, (2018).

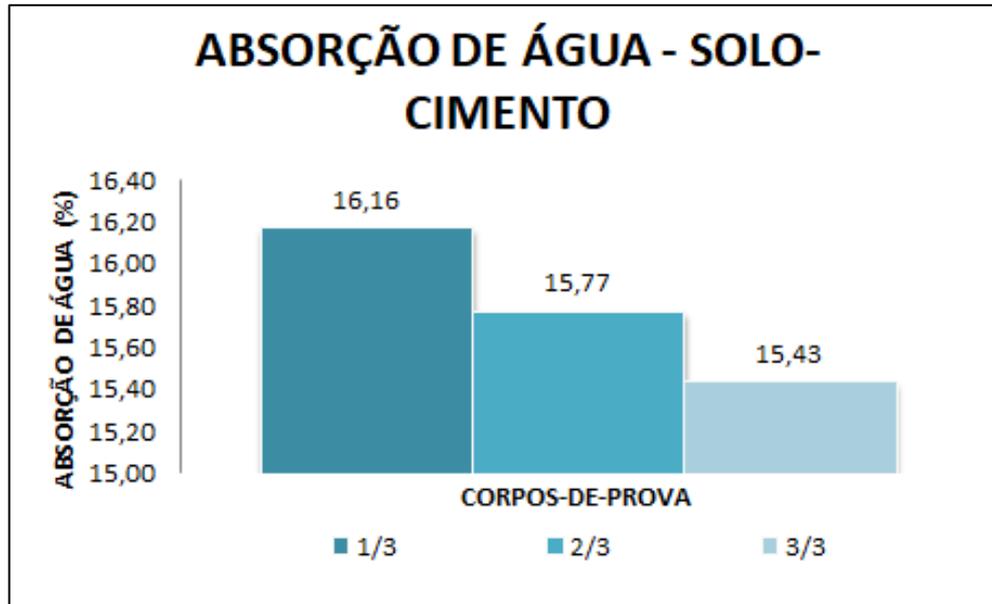


Figura 21 - Absorção de Água - Solo-Cimento  
Fonte: Própria Autora, (2018).

#### 4.3. RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO

Os resultados das resistências individuais de cada amostra obtidas nos ensaios seguem de acordo com as recomendações da NBR 8491/1984 (Tijolo Maciço de Solo-Cimento), onde não devem ter resistências individuais inferiores a 1,7 MPa (com idade mínima de 7 dias), período em que todas as amostras foram observadas e analisadas.

Podemos observar que essa mistura por não conter cimento e ser somente o solo prensado não apresentou resistência, pois só o solo natural que é arenoso se apresentou ser como um agregado e por isso a necessidade de colocar junto ao solo o cimento para que fosse o ligante das partículas do solo, representado na (Tabela 13), e apresentando a carga aplicada a cada amostra e o quanto cada resistiu ao ser submetido à compressão, na (Figura 22).

Tabela 13 - Resistência da 1ª amostra

1ª AMOSTRA			
SOLO (95%) + ÁGUA (5%)			
CORPOS DE PROVA	ÁREA (mm <sup>2</sup> )	CARGA APLICADA (TON)	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO (MPa)
1/5	25530	2,00	0,77
2/5	25530	1,68	0,65
3/5	25530	1,76	0,68
4/5	25530	1,12	0,43
5/5	25530	1,53	0,59
Média			0,62

Fonte: Própria Autora, (2018).

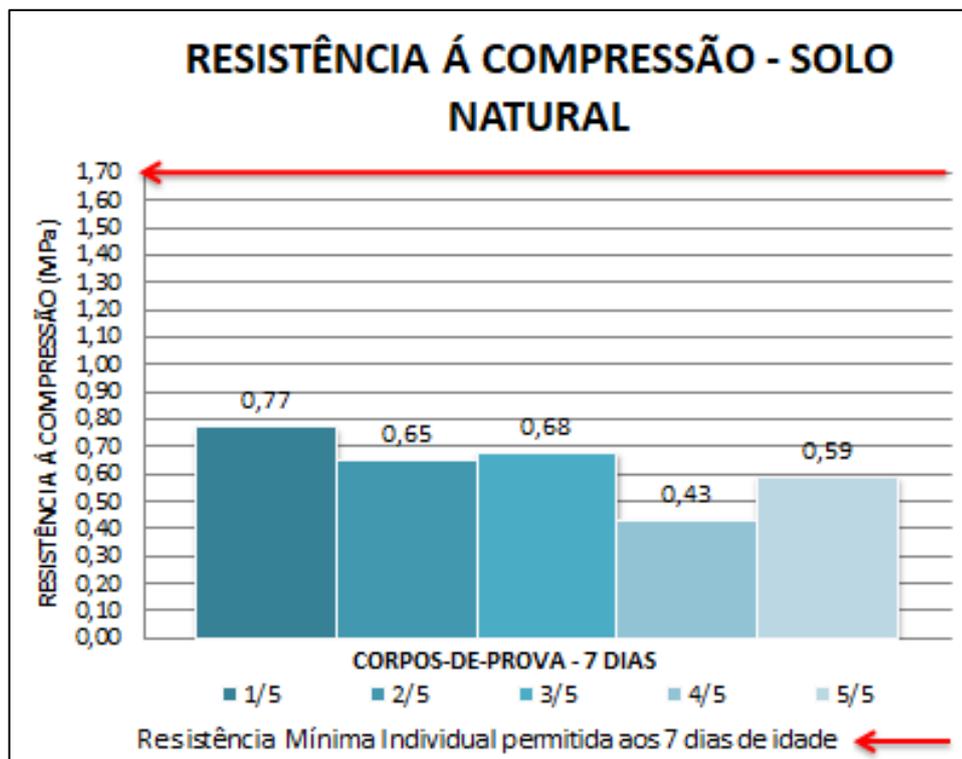


Figura 22 – Gráfico de Resistência à compressão - Solo Natural

Fonte: Própria Autora, (2018).

Os tijolos com dosagem de 30% de agregados de RBC apresentaram valores de resistências consideráveis pela norma, atendendo resistências individuais superiores a 1,7 MPa e média superior a 2 MPa, representado na (Tabela 14).

Pelo fato dessa mistura conter cimento junto ao solo, as amostras apresentaram resultados satisfatórios quanto à carga aplicada e a sua resistência, pois diferente da outra amostra sem cimento, a amostra com 30% de RBC ao solo e com a adição de cimento se mostrou mais resistente ultrapassando o mínimo permitido por norma, onde se obteve o resultado mínimo de 3,85 MPa individual e a média das amostras de 5,41 MPa superior a 2,0 Mpa, mínimo pela norma, apresentando a carga aplicada a cada amostra e o quanto cada resistiu ao ser submetido à compressão, na (Figura 23).

.Tabela 14 - Resistência da 2ª Amostra

2ª AMOSTRA			
SOLO (55%) + AGREGADO RECICLADO (30%) + CIMENTO (10%) + ÁGUA (5%)			
CORPOS DE PROVA	ÁREA (mm <sup>2</sup> )	CARGA APLICADA (TON)	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO (MPa)
1/5	26216	10,28	3,85
2/5	25984	14,96	5,65
3/5	25984	15,05	5,68
4/5	25984	18,82	7,11
5/5	25752	12,50	4,76
Média			5,41

Fonte: Própria Autora, (2018).

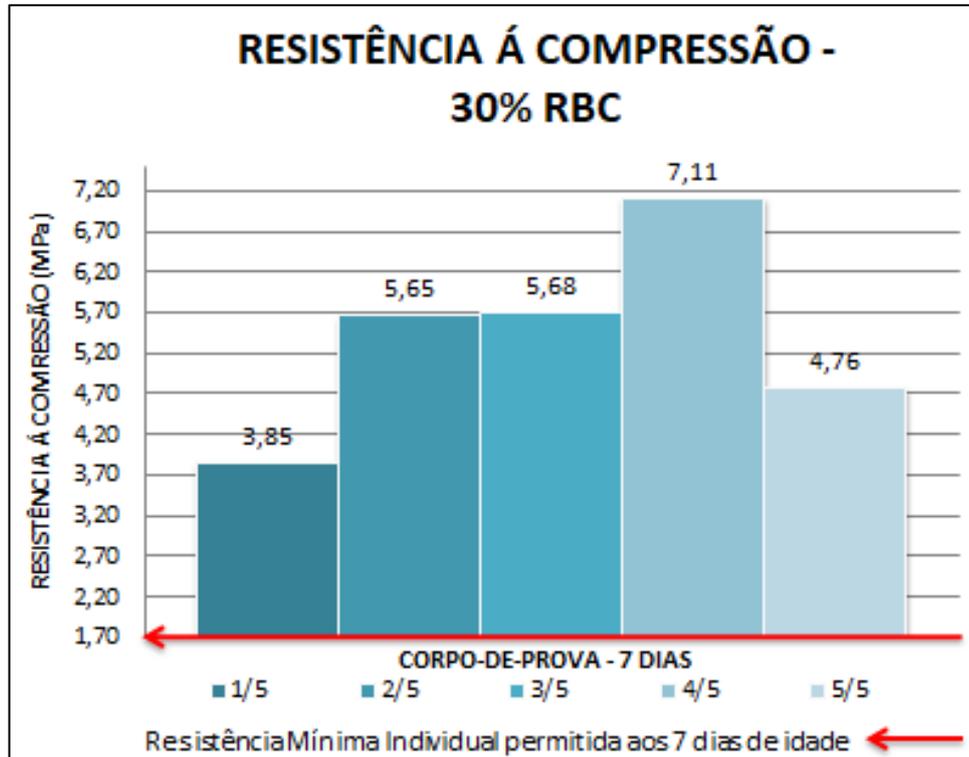


Figura 23 – Gráfico de Resistência à compressão - 30% RBC  
Fonte: Própria Autora, (2018).

Assim como o de 30% de agregados de RBC, os tijolos com dosagem de 42,5% de agregados de RBC apresentaram valores de resistências consideráveis pela norma, atendendo resistências individuais superiores a 1,7 MPa e média superior a 2 MPa. A média resultante dos tijolos rompidos foi de 5,65 MPa, representado na (Tabela 15).

Pelo fato dessa mistura conter cimento junto ao solo, as amostras apresentaram resultados satisfatórios quanto a carga aplicada e a sua resistência, a amostra com 42,5% de RBC ao solo e com a adição de cimento se mostrou mais resistente ultrapassando o mínimo permitido por norma, onde se obteve o resultado mínimo de 5,37 MPa individual.

Tabela 15 - Resistência da 3ª amostra

3ª AMOSTRA			
SOLO (42,5%) + AGREGADO RECICLADO (42,5%) + CIMENTO (10%) + ÁGUA (5%)			
CORPOS DE PROVA	ÁREA (mm <sup>2</sup> )	CARGA APLICADA (TON)	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO (MPa)
1/5	26096	15,18	5,71
2/5	26096	15,98	6,01
3/5	26096	14,62	5,50
4/5	26096	14,28	5,37
5/5	26096	15,12	5,68
Média			5,65

Fonte: Própria Autora, (2018).

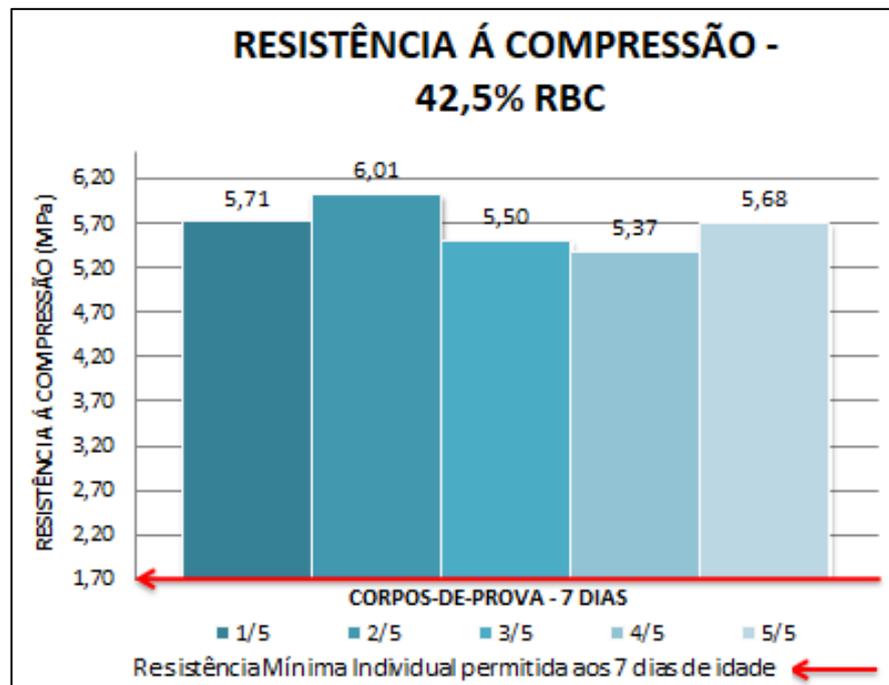


Figura 24 - Resistência à compressão – 42,5% RBC

Fonte: Própria Autora, (2018).

Os tijolos de solo-cimento apresentaram valores de resistências consideráveis pela norma, atendendo resistências individuais superiores a 1,7 MPa e média

superior a 2 MPa. A média resultante dos tijolos rompidos foi de 3,46 MPa, representado na (Tabela 11).

O tijolo solo-cimento encontrado no mercado apresentaram resultados superiores ao recomendado pela norma, estando dentro dos parâmetros para a comercialização, porem se mostrou com resistência inferior aos com adição dos agregados de RBC, onde se resultou a maior resistência individual de 3,64 MPa, comparado com os de RBC, os de solo cimento resistiu menos.

Tabela 16 – Resistência Tijolo Solo-Cimento

TIJOLO SOLO-CIMENTO				
CORPOS DE PROVA	ÁREA (mm <sup>2</sup> )	CARGA APLICADA (TON)	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO (MPa)	
1/5	26795	9,07	3,32	
2/5	26795	9,58	3,51	
3/5	26619	8,93	3,29	
4/5	26166	9,71	3,64	
5/5	26562	9,65	3,56	
Média			3,46	

Fonte: Própria Autora, (2018).

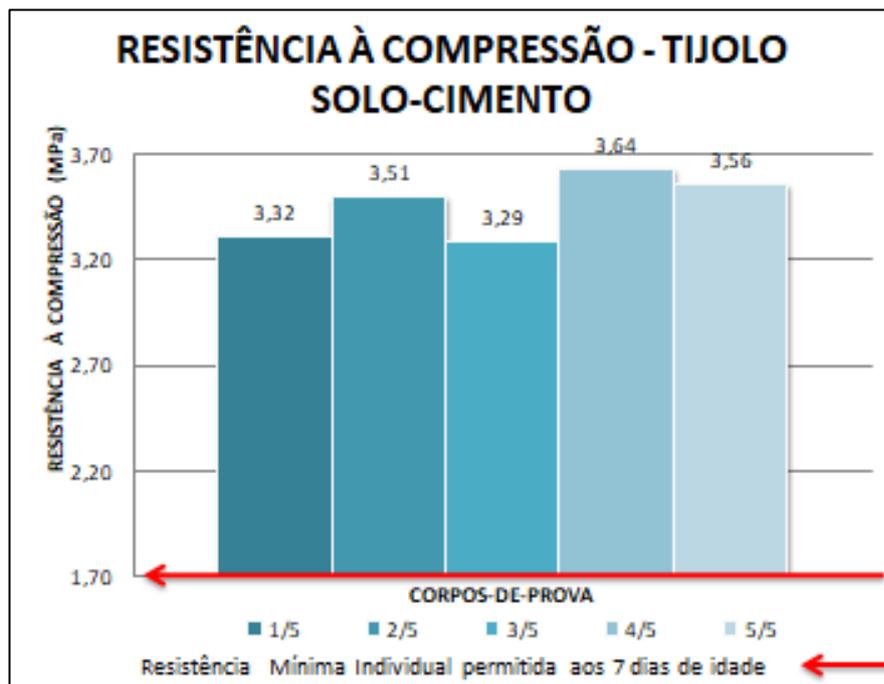


Figura 25 - Resistência a Compressão – Tijolo Solo-Cimento}

Fonte: Própria Autora, (2018).

Os tijolos queimados apresentaram valores de resistências consideráveis pela norma, atendendo resistências individuais superiores a 1,7 MPa e média superior a 2 MPa. A média resultante dos tijolos rompidos foi de 5,97 MPa, representado na (Tabela 11).

O tijolo queimado encontrado no mercado apresentou resultados superiores ao recomendado pela norma, estando dentro dos parâmetros e em relação aos tijolos com adição de RBC obteve resultados próximos, onde a menor resistência individual foi de 4,70 MPa.

Tabela 17 - Resistência Tijolo Queimado

CORPOS DE PROVA	TIJOLO QUEIMADO		
	ÁREA (mm <sup>2</sup> )	CARGA APLICADA (TON)	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO (MPa)
1/5	22881	13,49	5,78
2/5	22833	14,35	6,17
3/5	22730	16,57	7,15
4/5	22834	14,06	6,04
5/5	22886	10,96	4,70
	Média		5,97

Fonte: Própria Autora, (2018).

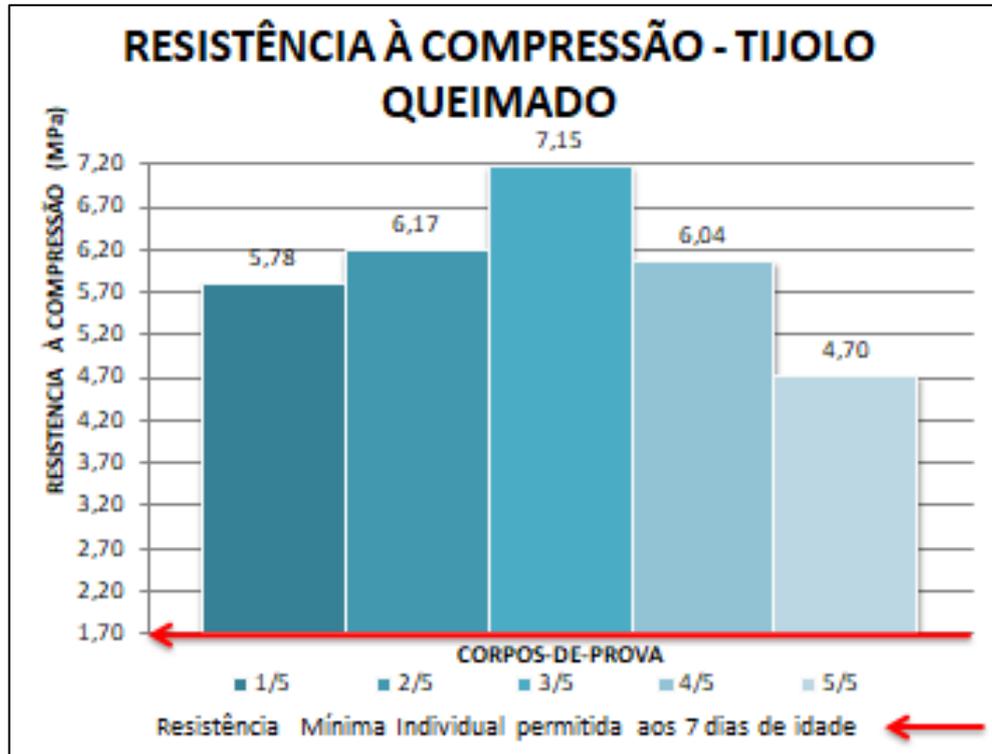


Figura 26 – Resistência à compressão – Tijolo Queimado  
Fonte: Própria Autora, (2018).

## 5. CONCLUSÃO

Os tijolos ecológicos de solo-cimento é uma alternativa muito boa e importante para construção civil, pois além de dar uma boa aparência quando utilizados também ajuda a minimizar os impactos causados ao meio ambiente, diferente do caso dos tijolos queimados. Pode se afirmar que todo o processo de produção dos tijolos além de ser limpo, rápido e prático, não causou nenhum prejuízo a natura, muito pelo contrário somente ajudou a melhorar uma pequena parte dos danos causados a ela.

Com a reciclagem dos agregados de RBC, que na maioria das vezes são descartados, assim como o RCD e RCC sem nenhuma visão de reaproveitamento para que se tenha uma melhora na situação ambiental em que nos encontramos, com esse trabalho despertou o lado empreendedor desse tipo de projeto virar uma fonte renda futuramente e muito mais importante que isso foi em preservar o meio ambiente. A utilização de materiais que são descartados, às vezes, em lugares não apropriados pode gerar economia e ajudar na gestão dos resíduos gerados já que a construção civil como pode ser notada tem aumentado muito nos últimos anos e conseqüente havendo o crescimento de fabricas de blocos de cimento e assim o aumento dos resíduos.

As vantagens de serem utilizados os agregados de RBC e o tijolo ecológico estão em não ser necessária a queima do tijolo, em promover a sustentabilidade, ter economia nos processo de produção e dessa forma podendo incentivar a fabricação e o uso desse recurso, que ainda é pouco abordado e comercializado.

Através dos resultados obtidos e analisados pode-se concluir que a resistência à compressão e a absorção de água apresentaram valores satisfatório em relação ao especificado pela norma. Pelo fato dos agregados serem triturado e conter várias graduações das partículas preencheram melhor os vazios, dessa forma apresentando melhores resultados na resistência e na absorção.

Portanto pode-se dizer que a fabricação dos tijolos com adição de 30% e 42,5% de RBC ser tornou viável, sendo comprovados pelos ensaios e mostrando se até 2 vezes mais resistente que o tijolo fabricado somente de solo-cimento sem

adição de outros materiais, e em relação a resistência do tijolo queimado os com a adição de RBC mostrou valores próximos, assim mais uma vez comprovando que os tijolos ecológicos podem sim substituir os tijolos convencionais queimados e oferecer a mesma resistência e melhor ainda não agredido a natureza.

## BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Solo – Determinação do Limite de Liquidez. NBR 6459, Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Tijolo Maciço Cerâmico para a Alvenaria – Verificação da Resistência à Compressão. NBR 6460, Rio de Janeiro, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Tijolo Maciço Cerâmico para alvenaria. NBR 7170, Rio de Janeiro, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Determinação do Limite de Plasticidade. NBR 7180, Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Tijolo Maciço de Solo-Cimento. NBR 8491, Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Tijolo Maciço de Solo-Cimento – Determinação da Resistência à Compressão e da Absorção d' Água. NBR 8492, Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Fabricação do Tijolo Maciço de Solo-Cimento com a utilização de Prensa Manual. NBR 10832, Rio de Janeiro, 1989.

ABRELPE, Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. São Paulo, 2016.

SINDUCON, Alternativas para a Destinação de Resíduos da Construção Civil. 3ª Edição, Belo Horizonte, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, Boletim Técnico – Fabricação de Tijolos de Solo-Cimento com a Utilização de Prensas Manuais. BT-111, São Paulo, 2000.

PINTO, C. S. Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 aulas. São Paulo, 2000.

SEGANTINI, A. A. S; ALCÂNTARA M. A. M. Solo-cimento e Solo – Cal. In: Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. São Paulo: IBRACON, 2010.

SEGANTINI, A. A.; WADA, H. P. Estudo de dosagem de tijolos de solo-cimento com adição de resíduos de construção e demolição. Acta Scientiarum Technology. Maringá, 2011.

PINTO, Lucas Mazzoleni. Estudo de Tijolos de Solo Cimento com Adição de Resíduos de Construção Civil. Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós Graduação em Construção Civil, Belo Horizonte, 2009.