

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CARATINGA – ITC

IAGO FERREIRA MACHADO VIANA
LUÍS FERNANDO GONÇALVES

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE TIJOLOS ECOLÓGICOS À
PARTIR DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

CARATINGA – MG
2017

IAGO FERREIRA MACHADO VIANA
LUÍS FERNANDO GONÇALVES

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE TIJOLOS ECOLÓGICOS À
PARTIR DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Civil das Faculdades Integradas de Caratinga, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Engenharia e Sustentabilidade.

Prof.(a) Orientadora: M.Sc. Bárbara Dutra da Silva Luz

CARATINGA – MG

2017

TERMO DE APROVAÇÃO

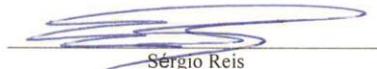
O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: O reaproveitamento dos resíduos de construção civil na confecção de tijolos ecológicos: O potencial do município de Caratinga/MG, elaborado pelo(s) aluno(s) Luis Fernando Gonçalves e Iago Ferreira Machado Viana foi aprovado por todos os membros da Banca Examinadora e aceito pelo curso de ENGENHARIA CIVIL das FACULDADES DOCTUM CARATINGA, como requisito parcial da obtenção do título de

BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.

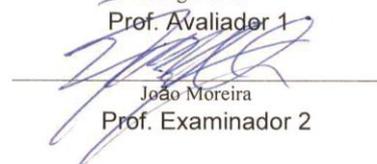
Caratinga 6 de Dezembro de 2017



Bárbara Dutra
Prof. Orientador



Sérgio Reis
Prof. Avaliador 1



João Moreira
Prof. Examinador 2

Dedicamos esta pesquisa às nossas famílias, que nos deram suporte e incentivo para que isto se concretizasse.

AGRADECIMENTO

Agradecemos a Deus, Pai fiel e amoroso;

Às nossas famílias, por sempre nos apoiarem.

Aos colegas de turma, por partilhar todas as experiências;

À nossa orientadora Bárbara Dutra, pela paciência;

Aos demais mestres, pelo aprendizado.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Poluição nas áreas urbanas causada pelo meio de produção	13
Figura 2: Resíduos de Construção Civil	15
Figura 3: Modelo de casa sustentável	16
Figura 4: Piso de Bambu	18
Figura 5: Tinta mineral aplicada na fachada da casa	19
Figura 6: Madeira Plástica	19
Figura 7: Residência construída com superadobe	20
Figura 8: Telhado verde	20
Figura 9: Sistema Fotovoltaico on grid	21
Figura 10 : Aquecimento Solar de Água.....	21
Figura 11: Sistema de Captação e Armazenamento de Água de chuva	22
Figura 12: Bloco de Concreto.....	24
Figura 13: Tijolo Cerâmico	24
Figura 14: Tijolo Ecológico	25
Figura 15: Casa Construída com Tijolo Ecológico.....	26
Figura 16: Entulhos recolhidos no canteiro de obras	32
Figura 17: Trituração do agregado	33
Figura 18: Peneira do agregado.....	33
Figura 19: Tijolos desenformados	35
Figura 20: Outra amostra de tijolos ecológicos	35
Figura 21: Prensa para teste de resistência	36
Figura 22: Tijolo em teste de compressão	37
Figura 23: Tijolo em teste de compressão	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação dos resíduos	27
Tabela 2: Destinação dos Resíduos de Construção	29
Tabela 3: Percentual de materiais para mistura.....	34
Tabela 4: Resultados de teste de resistência à compressão	39

RESUMO

A pesquisa aqui descrita trata da realização de testes de resistência à compressão em tijolos ecológicos à base de resíduos de construção civil. Sabe-se que a construção civil deve utilizar meios mais eficientes de produção e de manutenção dos empreendimentos. O tijolo ecológico é uma alternativa viável para as construções, pois utiliza meios não poluentes, não passando pelo processo de queima na sua fabricação. Outro meio de tornar o tijolo ecológico ainda mais eficiente é agregar resíduos de construção no seu traço. Foi realizada uma pesquisa com fabricação de tijolos ecológicos utilizando resíduos de construção civil em porcentagens de 10%, 20% e 50%. As amostras com prazo de cura de 07 e 14 dias foram submetidas ao teste de resistência á compressão, onde foi encontrado que as amostras com 50% de resíduos em seu traço apresentou resultados de acordo com a NBR 8491/2012, alcançando a resistência de 2 Mpa.

Palavras-chave: Resíduos, tijolo ecológico, viabilidade.

ABSTRACT

The research described here deals with the use of construction waste in the manufacture of ecological bricks. It is known that civil construction must use more efficient means of production and maintenance of the enterprises. The ecological brick is a viable alternative for the constructions, because it uses non-polluting means, not going through the process of burning in its manufacture. Another way to make green brick even more efficient is to add construction waste to your trace. A survey was conducted with the manufacture of ecological bricks using construction waste in percentages of 10%, 20% and 50%. Samples with curing time of 7 and 14 days were submitted to the compressive strength test, where it was found that the samples with 50% residues in their trace presented results according to NBR 8491/2012.

Keywords: Waste, ecological brick, feasibility.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	<u>1140</u>
1.1 Contextualização	<u>1140</u>
1.2 Objetivos	<u>1244</u>
1.2.1 Geral	<u>1244</u>
1.2.2 Específicos	<u>1244</u>
1.3 Estruturação	<u>1244</u>
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	<u>1413</u>
2.1 Construção Civil X Sustentabilidade.....	<u>1413</u>
2.2 Tipos de Tijolos	<u>2423</u>
2.2.1 Bloco de Concreto.....	<u>2423</u>
2.2.2 Tijolo Cerâmico	<u>2524</u>
2.2.3 Tijolo Ecológico.....	<u>2625</u>
2.3 Legislação sobre resíduos de Construção e Demolição no Brasil.....	<u>2827</u>
2.4 Reaproveitamento de Resíduos em Diversas áreas da Engenharia Civil	<u>2928</u>
3. METODOLOGIA.....	<u>3231</u>
3.1 Delimitação do Estudo	<u>3231</u>
3.2 Método de Levantamento de Dados.....	<u>3231</u>
3.3 Apresentação dos Dados e Discussão dos Resultados.....	<u>3332</u>
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	40
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

O cenário econômico atual tem favorecido o crescimento da construção civil no Brasil e no mundo. Aliado a este crescimento está o aumento significativo da geração de resíduos oriundos de demolição e construção civil, tornando-se um problema não somente ambiental, mas também social e econômico (CBIC, 2011).

Diante disso, é necessário estabelecer um planejamento para reaproveitamento dos resíduos oriundos de construção e demolição como forma de reduzir a quantidade de descarte destes no meio ambiente e uma forma de diminuir custos em determinadas áreas de construção.

A construção civil mostra-se como sendo o setor responsável pela parcela predominante da massa total dos resíduos sólidos urbanos bem como pelo consumo do maior volume de recursos naturais do mundo. Em nosso país, são gerados, em média, 0,52 tonelada de resíduos de construção civil (RCC) por habitante anualmente ou 150 kg por m² construído (para obras novas), o que representa de 54% a 70% da massa dos resíduos sólidos urbanos (PINTO, 1998)

Os resíduos de construção que não são reaproveitados têm dois destinos conhecidos: um é o descarte irregular realizado pelo proprietário da obra ou por um terceiro contratado; e o descarte em áreas regulares e autorizadas por empresas que realizam o serviço de coleta dos resíduos mediante pagamento.

Considera-se que nenhum dos dois destinos supracitados é o ideal para os resíduos de construção. Para que haja uma redução do impacto ambiental causado faz-se necessária uma destinação para o reaproveitamento desse material. (Lei 12.305/2010)

O desenvolvimento da Construção Civil no país tem crescido muito nos últimos 10 anos, proporcionando um desenvolvimento econômico, gerando renda e emprego, mas traz como prejuízo o consumo exacerbado de recursos naturais e a geração de grande quantidade de resíduos nas demolições e no desperdício de materiais nos canteiros de obra.

Os resíduos provenientes de construção e demolição são descartados de duas maneiras distintas: irregularmente pelos proprietários dos

empreendimentos ou por empresas terceirizadas que possuem áreas regulamentadas para o resíduo.

No entanto, estes dois caminhos não dão a destinação adequada ao resíduo, que pode ser aproveitado de diversas maneiras, diminuindo os custos da obra e também reduzindo o impacto ambiental.

A resolução nº307 do CONAMA traz uma divisão dos resíduos de construção em classes distintas. Desta forma, o que se pretende analisar neste estudo é o reaproveitamento dos resíduos de construção classe A (resíduos reutilizáveis como agregados) na confecção de tijolos ecológicos e apresentação dos testes de resistência desses tijolos conforme ABNT.

1.2 Objetivos

1.2.1 Geral

Analisar a resistência de tijolos ecológicos produzidos à partir de diferentes porcentagens de resíduos de construção de demolição.

1.2.2 Específicos

- Selecionar resíduos classe I para produção de tijolos ecológicos;
- Produzir tijolos ecológicos à partir dos resíduos de construção;
- Realizar testes de resistência à compressão com os tijolos ecológicos produzidos.

1.3 Estruturação

A pesquisa aqui delimitada se divide em três partes, que são: primeiro capítulo com introdução e considerações conceituais; segundo capítulo que é a parte de referencial teórico onde se aborda a construção civil *versus* sustentabilidade (impactos no meio ambiente, começo da preocupação com o meio ambiente), tipos de tijolos (explicando a necessidade do uso de tijolos na construção, os tipos tradicionais e o elaborado com resíduo de construção), a legislação sobre resíduos de construção e demolição no Brasil e o

reaproveitamento de resíduos em diversas áreas da Engenharia Civil; e o terceiro capítulo com a metodologia, coleta e análise dos dados, bem como a discussão dos resultados.

|

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Construção Civil X Sustentabilidade

A interferência do ser humano no meio ambiente tem trazido para a humanidade muitos prejuízos, pois em geral, essa interferência nem sempre é positiva. A apropriação sobre os recursos naturais, tratando-os como inesgotáveis, sendo que estes não são, traz muito prejuízo à geração atual e pode comprometer a vida das gerações vindouras. Já há algumas décadas a comunidade científica vem advertindo a sociedade em geral com relação aos níveis de poluição na atmosfera, poluição esta oriunda de emissão indiscriminada de gases, causando efeito estufa e diversas alterações no clima (COPARI, 2016).

Figura 1 – Poluição nas áreas urbanas causada pelo meio de produção



Fonte: All Gas Brasil

Mudanças econômicas e a necessidade de produção sem um planejamento para preservação ambiental tem afetado o meio onde se vive. Existe a busca pelo atendimento à demanda populacional, que cresce cada vez mais, fazendo com que essa produção desenfreada gere resíduos e que estes

não recebam o descarte adequado. A partir de então, iniciou-se a realização e divulgação de pesquisas relacionadas aos danos causados ao meio ambiente pelo homem. No entanto, um dos pontos mais destacados é com relação ao crescimento demográfico, pois com o aumento da população cresce também o consumo, a geração de resíduos e com a falta de destinação adequada, o meio ambiente acaba ficando prejudicado (CORTÊS et al, 2011).

A concentração humana nas áreas urbanas acaba por ser um agravante do problema de poluição, não somente pela geração de resíduos sólidos, poluição dos rios, mas também pela poluição do ar. Assim sendo, destaca-se a importância da busca de meios que venham diminuir os prejuízos causados pela ocupação humana do solo. Desta forma, é importante que a Engenharia Civil proponha formas de sustentabilidade para residências, não somente para a construção, mas também para a manutenção da moradia e uma menor geração de resíduos na sua construção (SAVI et al, 2013).

A Engenharia Civil é responsável por um conjunto de obras e serviços em edificações de uma maneira geral; construção de rodovias, ferrovias, aeroportos, pontes, barragens etc. São serviços complementares à execução das obras: escavações, demolições, terraplenagens, concretagens, vidraçarias, etc. Sua função é relevante no desenvolvimento do país e na economia, pois apresenta possibilidades de melhoria na qualidade de vida da população à partir de obras de infraestrutura e habitação; além de ser um dos setores que mais abre postos de emprego, dando contribuição, também para a inclusão social (SANTOS, 2007).

O pensamento dos responsáveis do setor deve estar voltado para a otimização dos recursos e, sendo assim, promover a redução de perdas, de resíduos gerados pela construção, de utilização de materiais ecologicamente eficientes, de menor impacto ambiental e maior eficiência. Nos últimos anos, o interesse por políticas públicas para os resíduos gerados pelo setor da construção civil tem se acirrado com a discussão de questões ambientais. Uma vez que desperdiçar materiais, seja na forma de resíduo, seja sob outra natureza, significa desperdiçar recursos naturais, o que coloca o setor no centro das discussões na busca pelo desenvolvimento sustentável nas suas diversas dimensões (LOUREIRO et al, 2016).

A questão da sustentabilidade deve ocupar um papel central na reflexão em torno das dimensões do desenvolvimento e das alternativas que se configuram. O quadro socioambiental que caracteriza as sociedades contemporâneas revela que o impacto dos humanos sobre o meio ambiente está se tornando cada vez mais complexos, tanto em termos quantitativos quanto qualitativos (OLIVEIRA et al, 2012).

A construção civil é reconhecida como uma das mais importantes atividades para o desenvolvimento econômico e social, mas, por outro lado, apresenta-se como grande geradora de impactos ambientais, quer pelo consumo de recursos naturais, quer pela modificação da paisagem ou pela geração de resíduos. O setor tem o desafio de conciliar uma atividade produtiva dessa magnitude com condições que conduzam a um desenvolvimento sustentável consciente e menos agressivo ao meio ambiente (SOUSA et al, 2013).

No que diz respeito à geração dos resíduos da construção civil, estes são reconhecidamente geradores de poluição ambiental. Nos Estados Unidos são gerados em média 136 milhões de toneladas de resíduos de construção e demolição (RCD) por ano. Os dados mostram também que há nesse país, aproximadamente, 3500 unidades de reciclagem desses resíduos, que respondem pela reciclagem de 25% do total gerado. (CORTÊS et al, 2011).

Figura 2 – Resíduos de Construção Civil



Fonte: Portal Resíduos Sólidos

No Brasil a situação se assemelha. É preciso a implantação de diretrizes para a efetiva redução dos impactos ambientais gerados pelos resíduos oriundos da construção civil. Isto posto, destaca-se que o CONAMA formulou a Resolução 307/02, para responsabilização dos geradores de resíduos do processo de novas construções, como também de reformas, reparos e demolições de estruturas e rodovias, bem como por aqueles resultantes da remoção de vegetação e escavação de solos, por sua destinação final. Além disso, estabelece critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, disciplinando as ações necessárias de forma a minimizar os impactos ambientais (SAVI et al, 2013)

Figura 3 – Modelo de casa sustentável



Fonte: Tecnika Engenharia Especializada

A concepção de construção sustentável indica distintas abordagens nos mais variados países. Alguns fazem a identificação como sendo fundamentais os aspectos econômicos, sociais e culturais da construção sustentável, contudo a maior relevância se dá aos impactos ecológicos da construção, como é o caso da preservação de recursos naturais. Tais impactos têm feito com que os países optem pela adoção de políticas ambientais específicas para o setor. Sendo

assim, não são somente os fatores técnicos como métodos construtivos, maneiras de estocagem, ou processos de qualidade total, que irão resolver os problemas do desperdício e da ausência da qualidade (CAVALCANTI, 2012).

A fim de que seja possível dar uma contribuição para a conservação do meio ambiente, é preciso que se estabeleça uma relação de harmonia e não de domínio da natureza. Sendo assim, tem-se que dois princípios básicos de sustentabilidade são extremamente relevante no desenvolvimento de uma sociedade: o primeiro se refere a não retirada de recursos da natureza que ultrapassem sua capacidade de reposição. O segundo se refere a não adicionar à natureza, resíduos em quantidade maior do que sua capacidade de absorção (MELO, 2012)

A Engenharia Civil pode propor medidas na construção de residências mais sustentáveis. A ideia de se construir uma moradia sustentável ou autossustentável não é somente diminuir o impacto ambiental ou diminuir os custos de manutenção, mas também de melhorar a qualidade de vida das pessoas. Construir uma edificação sustentável é considerar o ciclo de vida em todos os níveis, desde o planejamento, considerando os impactos ambientais que o empreendimento vai causar, descarte dos resíduos, emissão de poluentes, origem dos materiais utilizados e a manutenção da residência após o término da obra (MEDEIROS, 2012)

Para a construção da casa sustentável é necessário um planejamento adequado, pois não basta comprar materiais ecologicamente corretos e utilização de técnicas sustentáveis, pois as técnicas devem ser utilizadas de acordo com a realidade do local onde será realizada a construção. Muitas vezes, os recursos são utilizados indevidamente, sem planejamento adequadamente, não conseguindo eficiência na construção da moradia (MORAES, 2011)

Há de se considerar todos os quesitos envolvidos na construção e na utilização da moradia, assim como na manutenção da moradia ao longo do tempo. A casa sustentável é um organismo vivo. Tudo deve estar integrado: devemos aproveitar o vento, a chuva, a luz diurna e o ar noturno, incorporando os princípios do biomimetismo, olhando o ambiente externo e visando à boa qualidade do ambiente interno. Dentro da edificação, os sistemas e equipamentos devem propiciar o controle de, no mínimo: a temperatura,

umidade, ventilação e iluminação, proporcionando o conforto necessário a cada um dos espaços planejados (MEDEIROS, 2012)

De acordo com Medeiros (2012), algumas técnicas que podem ser utilizadas em uma residência ecologicamente correta e autossustentável, são:

a) Piso de Bambu: por ser uma matéria prima altamente renovável, pode ser considerada como sustentável e abundante, colhido sem prejuízo à natureza, de forma natural. Utilizado como revestimento para quem procura resistência, durabilidade e funcionalidade estética. Necessita pouca manutenção, não precisa de enceramento, somente limpeza com pano úmido. Pode ser utilizado em diversas tonalidades;

Figura 4 – Piso de Bambu



Fonte: Bamboo floors

b) Tinta Mineral Natural ou Tinta Mineral Ecológica: elaborada através de uma mistura de terra crua e emulsão aquosa. Não possui poluentes como os Compostos Orgânicos Voláteis – COVs, estabilizantes ou corantes. Até suas embalagens são recicláveis. Existem diversas tonalidades e espessuras, cobertura interna ou externa. Como ponto forte destaca-se por não descascar, ser durável e lavável. Diminui a ocorrência de mofos e fungos, além de ajudar na adaptação da mudança de umidade.

Figura 5 – Tinta mineral aplicada na fachada da casa



Fonte: Instituto Etno

c) Madeira Plástica: excelente opção para utilização em ambientes externos. É muito parecida com a madeira convencional, mas por ser de material plástico, é imune às pragas que atacam a madeira verdadeira, como os cupins. O plástico utilizado na fabricação deste recurso é oriundo de plásticos reciclados misturados com resíduos vegetais industriais.

Figura 6 – Madeira Plástica



Fonte: Scientia

d) Superadobe: utilizado na construção de paredes, convencionais ou não. Elaborado com terra argilosa, é extremamente resistente às mudanças de temperatura e muito seguro em caso de terremoto. Produto naturalmente térmico, diminuindo custos com calefação.

Figura 7 – Residência construída com superadobe



Fonte: Habitíssimo

e) Telhado Verde: quando preparado corretamente e impermeabilizado de forma adequada, é uma excelente opção para auxiliar na diminuição do aquecimento global, pois melhora a qualidade do ar e trabalha como isolante térmico.

Figura 8 – Telhado verde



Fonte: AECWeb

f) Energia Fotovoltaica: são módulos que transformam a energia solar em energia elétrica limpa. Fonte confiável e inesgotável de energia. Não produz resíduos. Pode ser utilizada desde o início das obras. É possível fazer o armazenamento da energia excedente em baterias para serem utilizadas por até quatro dias, reduzindo a quase zero uma conta de luz.

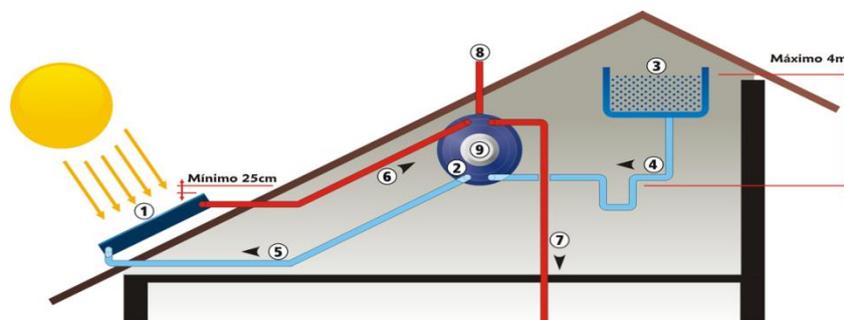
Figura 9 – Sistema Fotovoltaico on grid



Fonte: Portal Solar

g) Aquecimento Solar da Água: por meio de placas instaladas no telhado, a energia solar é captada e utilizada no aquecimento da água, desde pequenos até grandes volumes, economizando energia elétrica.

Figura 10 – Aquecimento Solar de Água



- | | |
|---|-----------------------------------|
| ① Coletor solar SOLAREM | ⑥ Tubulação de retorno do coletor |
| ② Armazenador térmico SOLAREM | ⑦ Tubulação de consumo |
| ③ Caixa de água fria | ⑧ Suspiro |
| ④ Tubulação de alimentação de água fria | ⑨ Resistência elétrica |
| ⑤ Tubulação de alimentação do coletor | |

Fonte: Solarem

h) Água de Chuva: pode ser utilizada na limpeza e manutenção da área externa, descargas dos banheiros e fontes decorativas da residência, não sendo

necessária a utilização da água tratada. Mas para que a água da chuva seja utilizada é preciso um sistema de captação e armazenamento dessa água. A captação se dá antes que haja contato com o solo ou com outras fontes de contaminação. Essa água pode ser captada no telhado e nas calhas, sendo levada por canos até um filtro para ser separada dos resíduos, levada assim para uma cisterna, onde é armazenada. Pode ser utilizada desde o período da construção.

Figura 11 – Sistema de Captação e Armazenamento de Água de chuva



Fonte: Antunes (2010)

i) Tratamento Biológico do Esgoto: é o tratamento do esgoto gerado na própria residência, convertendo-o em água desinfectada e tratada, sem que haja contaminação do meio ambiente. Instalada abaixo da superfície é de funcionamento autônomo e é barato.

j) Reutilização do Esgoto Tratado: o esgoto é transformado em água tratada e esta pode ser utilizada para outros fins, como regar jardins e limpeza da área externa.

Destaca-se que não basta utilizar-se de todas estas técnicas em conjunto para que uma casa seja sustentável. Pode ocorrer que algumas delas sejam ineficientes devido às necessidades e condições do local onde será construída

a moradia. O projeto realizado pelos arquitetos e engenheiros deve ser realizado de forma mais elegante e ecologicamente versátil para uma nova geração de edificações. É preciso aplicar os princípios ecológicos desde o início, evitando assim custos inesperados, bem como priorizar ventilação e iluminação naturais, com materiais de alta durabilidade (CAVALCANTI, 2012)

Conforme o supracitado, destaca-se a necessidade de uma planejamento na escolha de quais técnicas sustentáveis serão utilizadas, pois o conjunto delas contribuirá para o sucesso do empreendimento. Não faz sentido, por exemplo, a instalação de um sistema de captação de água da chuva no telhado e nas calhas para utilizá-la na limpeza da área externa e fazer o tratamento do esgoto da residência para que a água proveniente deste tratamento seja utilizada neste mesmo fim (MORAES, 2011).

2.2 Tipos de Tijolos

No mercado existem algumas variações de tijolos para a construção civil, e que podem ser utilizados em diferentes empreendimentos, de maneira a oferecer maior eficiência ao empreendimento. Por isso, destacam-se quais os tipos mais comumente encontrados.

2.2.1 Bloco de Concreto

O bloco de concreto é um componente utilizado na alvenaria estrutural, e devido à rapidez na utilização, apresenta o melhor rendimento do mercado em comparação com os demais tipos existentes. É muito resistente e apresenta pouco desperdício na sua utilização em comparação com o tijolo maciço e o furado. Na colocação é necessária menor quantidade de argamassa para assentamento e camadas de reboco mais finas, mas como desvantagem oferece menor conforto térmico do que os demais (MOTTA et al, 2014). Um modelo desse tipo de tijolo pode ser visto na figura 1:

Figura 12 – Bloco de Concreto



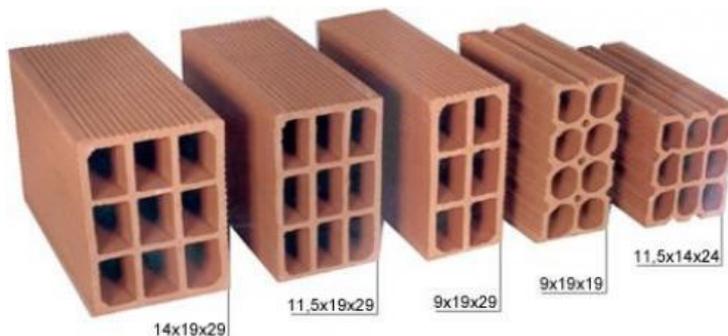
Fonte: Motta et al (2014)

A utilização desse bloco em construções de alvenaria é bastante usual no Brasil devido ao fato de que, de acordo com as normas brasileiras para base de cálculo e execução, estes blocos são os mais apropriados (PAIVA e RIBEIRO, 2011).

2.2.2 Tijolo Cerâmico

O tijolo cerâmico é fabricado com argila, matéria-prima abundante. É um material de alta durabilidade. Sua descoberta data de 4.000 anos a.C. Isto se deve ao fato do homem necessitar de um abrigo contra intempéries e ataques animais. O registro mais antigo do tijolo cerâmico foi encontrado em escavações no Oriente Médio, referente ao período Neolítico. Este tipo de tijolo é mais antigo do que o de blocos (ANICER, 2008). A figura 2 demonstra alguns modelos de tijolos cerâmicos:

Figura 13 - Tijolo Cerâmico



Fonte: Anicer (2008)

Mesmo sendo desenvolvido em uma época em que a tecnologia era escassa, esse modelo de tijolo atravessou o tempo e continua sendo utilizado na

construção civil até hoje. No entanto, o que se utiliza passou por aprimoramento tecnológico para melhoria da sua qualidade (MOTTA et al, 2014)

2.2.3 Tijolo Ecológico

O tijolo ecológico, também chamado de tijolo solo-cimento é composto de uma mistura de solo e cimento, que posteriormente de misturado é prensado e não é necessário processo de queima em forno, reduzindo o impacto ambiental. Outros componentes podem ser adicionados à mistura, como o resíduo de construção civil. O assentamento desse tijolo é realizado de maneira diferente, pois no lugar da argamassa utiliza-se uma cola especial (PAIVA e RIBEIRO, 2011). A figura 3 representa alguns modelos de tijolo ecológico:

Figura 14 – Tijolo Ecológico



Fonte: Motta et al (2014)

O tijolo ecológico possui furos internos onde é possível embutir as redes hidráulicas e elétricas, não sendo necessário o corte nas paredes. Por ser em formato modular, a alvenaria fica uniforme, o processo de assentamento é rápido e há uma redução de perdas do reboco. Outra vantagem é que o tijolo ecológico oferece conforto térmico e acústico à edificação, pois possui características

isolantes (PAIVA e RIBEIRO, 2011). Na figura 4 pode-se ver uma construção feita com tijolo ecológico:

Figura 15 – Casa Construída com Tijolo Ecológico



Fonte: Motta et al (2014)

De acordo com Oscar Neto (2010), um empreendimento convencional apresenta um percentual de perda de materiais de aproximadamente 30%, mas com essa técnica de utilização do tijolo ecológico, pode-se alcançar eficiência, com as vantagens:

- Redução no tempo de construção de 30% do tempo se comparado com a alvenaria convencional;
- Melhor estrutura, pois os encaixes e colunas embutidas nos furos dos tijolos fazem uma melhor distribuição da carga sobre as paredes;
- Redução da utilização de madeira em vigas e pilares, já que o assentamento é facilmente realizado;
- Economia de 70% em argamassa e concreto;
- Economia de ferro em 50%.

Vale ressaltar que na sua fabricação e na utilização, o tijolo solo-cimento gera uma quantidade menor de resíduos, além de se poder aproveitar resíduos

de construção na sua fabricação. Se comparado com o tijolo convencional, é mais resistente, durável e impermeável (MOTTA et al, 2014)

2.3 Legislação sobre resíduos de Construção e Demolição no Brasil

Além o planejamento e logística ao se trabalhar com o aproveitamento do RCD, nacionalmente esbarra-se também na normatização. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) apresenta apenas as normas:

- ABNT NBR 15116: 2004 “Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos”; e
- ABNT NBR 15115: 2004 “Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos”.

Sendo assim, grande parte do resíduo de construção e demolição, quando empregados em serviços de engenharia, se destina a regularização de terrenos. Como destacam Ângulo e Figueiredo (2011), para ser utilizado no concreto, o RCD requer maior rigor no controle de qualidade e há também mais restrições, mas este é um grande mercado para a reciclagem.

Como mencionado anteriormente, há uma grande variabilidade entre os resíduos de construção e demolição que possam vir a ser utilizados em projetos de engenharia. Portanto, é preciso conhecer quais materiais podem ou não ser reciclados.

Há ainda a possibilidade de se reutilizar o agregado convencional a partir do concreto fresco, após lavagem destes, na produção de novo concreto, como prevê a ABNT NBR 12655: 2006.

Em conformidade com a Resolução CONAMA 307, os resíduos de construção são classificados pela ABNT NBR 15116: 2004 em quatro classes, apresentadas na tabela 1.

Tabela 1– **Classificação dos resíduos.**

Classe	Descrição
Classe A	Resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:

	<ul style="list-style-type: none"> • resíduos de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; • resíduos de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento e outros), argamassa e concreto; • resíduos de processo de preparo e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios e outros) produzidos nos canteiros de obras.
Classe B	São os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e outros.
Classe C	São os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou sua recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso.
Classe D	São os resíduos perigosos oriundos do processo de construção (tintas, solventes, óleos e outros) ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos (clínicas radiológicas, instalações industriais e outros) enquadrados como classe I da ABNT NBR 10004.

FONTE ABNT NBR 15116: 2004.

Para uso como agregados, portanto classe A, os resíduos de construção são classificados em agregados de resíduo de concreto (ARC) e agregado de resíduo misto (ARM). O primeiro sendo definido pela ABNT NBR 15116:2004 como “agregado reciclado obtido do beneficiamento de resíduo pertencente à classe A, composto na sua fração graúda, de no mínimo 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas”.

E o segundo, também definido pela norma supracitada, como “agregado reciclado obtido do beneficiamento de resíduo de classe A, composto na sua fração graúda com menos de 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas”.

2.4 Reaproveitamento de Resíduos em Diversas áreas da Engenharia Civil

Porto e Silva (2008) afirmam que existem diferentes tipos de uso para o concreto reciclado, desde que ele tenha sido britado, descontaminado e peneirado. Pode ser utilizado para enchimentos em geral, como sub-base ou base para construção de rodovias, agregado para novos concretos e enchimento em projetos de drenagem.

De modo geral, os agregados de resíduo de construção e demolição são compostos por grãos britados e descontaminados de concretos, argamassas, cerâmica e outros materiais secundários como madeira e aço (ÂNGULO e FIGUEIREDO, 2011).

Sousa et al (2014) acrescenta que os resíduos de construção civil costumam apresentar uma diversidade de componentes. Esses materiais podem ser oriundos tanto de entulhos de construções quanto de materiais dispensados pelas usinas de concreto. É preciso que seja processado em uma máquina para que seja realizada a britagem e trituração para que se obtenha a granulometria desejada, e em termos gerais, não pode apresentar contaminação superior a 50% do total.

Souza e Santos (2014) apresenta uma destinação para cada tipo de resíduos à partir da sua composição:

Tabela 2 – Destinação dos Resíduos de Construção

MATERIAL	COMPOSIÇÃO	RECICLAGEM
Cerâmica	Tijolo branco e cerâmico, telha cerâmica, placa cerâmica, azulejo, piso e revestimento cerâmico, tubulação e louça cerâmica, demais derivados.	Concreto de menor resistência: blocos, contra pisos, passeios, utilizado com argamassa de assentamento ou base de pavimentação e calçamento.
Concreto e Rocha natural	Brita, sobra de rocha natural, sobras de: concreto, viga, bloco de concreto e peça pré-moldada.	Concreto estrutural, cascalho granulado para pavimentação de vias, substituto de brita nº 1, 2, 3.
Argamassa	Areia, cimento e demais agregados	Pode ser utilizado no assentamento de tijolos e blocos de revestimento, proporcionando a redução do uso de areia e cal.

Sousa et al (2014) ressalta que a aplicação do produto reciclado substituindo totalmente ou parcialmente a areia natural pode trazer melhorias para as características de argamassas, contudo ainda é necessário fazer a determinação de certas características destas argamassas para que sejam aplicadas de forma racional e segura. Por outro lado, a utilização em pavimentação mostra-se como um dos mais praticados nos municípios que fazem a reciclagem dos resíduos de construção, chegando a ótimos resultados e fazendo um consumo de quantidades significativas de resíduos. Demais aplicações simples como cobertura de aterros, controle de erosão, camadas

drenante, rip-rap também podem ser feitas e obter sucesso, de acordo com o que é constatado em municípios nos quais a reciclagem está implantada.

3. METODOLOGIA

3.1 Delimitação do Estudo

A pesquisa descrita aborda ao reaproveitamento dos resíduos de construção civil na confecção de tijolos ecológicos. Buscou-se descrever a utilização desses resíduos em tijolos ecológicos como meio de reaproveitamento do resíduo e de utilização de um tijolo de qualidade que possui diversas vantagens frente ao tijolo comum.

Sabe-se que a geração de resíduos de construção civil é um problema crescente, pois estes resíduos nem sempre recebem a destinação adequada, sendo assim necessário, encontrar alternativas para essa destinação, como é o caso do seu reaproveitamento na fabricação de tijolo ecológico.

Para que se atendesse aos objetivos propostos foi construída uma revisão de literatura, a fim de se ter uma base teórica pautada em informações confiáveis para assim se realizar testes de resistência à compressão, para que se pudesse comparar a resistência do tijolo ecológico com as normas que descrevem os padrões para tal.

3.2 Método de Levantamento de Dados

O levantamento de dados foi realizado em duas etapas: a primeira foi a pesquisa sobre os métodos de reaproveitamento de resíduos de construção civil e a confecção de tijolos ecológicos; a segunda parte foi a seleção do material, separação, britagem e peneiramento do resíduo para a confecção dos tijolos, e após o tempo de cura, realização dos testes de resistência à compressão.

Os testes de resistência à compressão foram realizados no laboratório das faculdades Doctum e os dados estão registrados e ilustrados pelas imagens na parte de discussão de resultados.

3.3 Apresentação dos Dados e Discussão dos Resultados

O primeiro passo realizado foi a seleção do resíduo para ser utilizado na confecção do tijolo. Os resíduos de construção utilizados foram recolhidos em um canteiro de obra no município de Caratinga. Os resíduos separados podem ser vistos na figura 16.

Figura 16 – Entulhos recolhidos no canteiro de obras



Fonte: os autores

Como se pode ver na imagem os resíduos utilizados eram provenientes de demolição e são compostos por restos de tijolos e cimentícios (rebocos). Não foi utilizado resíduo de cerâmica (pisos ou azulejos).

Após a separação do agregado que seria utilizado, o mesmo passou por um processo de britagem, para que alcançasse tamanhos menores. Com pedaços menores, os mesmos foram triturados manualmente para que pudessem ser peneirados, conforme indicam figuras 17 e 18:

Figura 17 – Trituração do agregado



Fonte: os autores

Figura 18 – Peneira do agregado



Fonte: os autores

A peneira utilizada para o processo possuía 4,8 mm. O agregado resultante da peneira e que foi utilizado na mistura do tijolo ecológico, em três amostras distintas: 10% de agregado, 20% de agregado e 50% de agregado.

Os tijolos foram feitos nos dias 31 de outubro (amostras com 14 dias de cura) e 07 de novembro (amostras com 7 dias de cura). Os testes de compressão foram realizados no dia 14 de novembro.

A mistura para confecção do tijolo conforme a porcentagem de agregado adicionado à massa, segue conforme a tabela 3.

Tabela 3 – Percentual de materiais para mistura

Misturas para os tijolos			
Tipo de amostra	Agregado	Argila	Cimento
Amostras 10%	10%	82%	8%
Amostras 20%	20%	72%	8%
Amostras 50%	50%	42%	8%

Fonte: os autores

As amostras possuem diferentes quantidades de agregado (10%, 20% e 50%), apresentam variação na quantidade de argila (82%, 72% e 42%), mas apresentam sempre a mesma porcentagem de cimento (8%). Como o traço já apresentava 4% de umidade, foi adicionado apenas 12% de água. As dimensões dos tijolos foi de 30 cm de comprimento, 15 cm de largura e 7,5 cm de altura.

Na elaboração do traço é preciso que alguns cuidados especiais sejam obedecidos na dosagem dos materiais para que o tijolo seja resistente e durável. De acordo com os materiais que são adicionados, neste caso específico o resíduo de construção civil, é preciso que se atente para as propriedades do solo e do resíduo utilizado, pois podem influenciar diretamente na qualidade do tijolo. Outro ponto a ressaltar é o cuidado com as dosagens de cimento e água (PINTO, 2015).

Após a realização da mistura, a massa foi colocada na forma para confecção dos tijolos, conforme imagens 19 e 20.

Imagem 19 – Tijolos desenformados



Fonte: os autores

Imagem 20 – Outra amostra de tijolos ecológicos



Fonte: os autores

Os tijolos feitos no dia 31 de outubro foram submetidos a 14 dias de cura, enquanto os que foram feitos no dia 07 de novembro tiveram período de cura de 7 dias.

Passado o período de cura dos tijolos, os mesmos foram submetidos aos testes de resistência à compressão no laboratório das faculdades Doctum. A utilização da prensa pode ser vista na figura 21.

Figura 21 – Prensa para teste de resistência



Fonte: os autores

Como os tijolos são maciços e possuem dois furos, foi utilizada uma chapa de metal para a distribuição de carga de maneira igual por toda a amostra colocada na prensa.

Alguns dos tijolos que foram submetidos aos testes podem ser vistos nas figuras 22 e 23.

Figura 22 – Tijolo em teste de compressão



Fonte: os autores

Figura 23 – Tijolo em teste de compressão



Fonte: os autores

Após a conversão dos dados, encontra-se a descrição em MPA conforme a tabela 4.

Tabela 4 - Resultados de teste de resistência à compressão

AMOSTRAS	Tijolo com 10%		Tijolo com 20%		Tijolo com 50%	
	7 Dias	14 Dias	7 Dias	14 Dias	7 Dias	14 Dias
1ª amostra	1,73 MPa	1,78 MPa	1,79 MPa	1,83 MPa	1,94 MPa	2,02 MPa
2ª amostra	1,65 MPa	1,69 MPa	1,70 MPa	1,74 MPa	1,97 MPa	2,01 MPa
3ª amostra	1,68 MPa	1,74 MPa	1,71 MPa	1,72 MPa	2,00 MPa	2,05 MPa
4ª amostra	1,70 MPa	1,75 MPa	1,76 MPa	1,74 MPa	2,02 MPa	2,00 MPa

Fonte: os autores

De acordo com a NBR 8491/2012, os resultados de teste de resistência à compressão não podem apresentar valores inferiores a 2,0 MPa (também definido com 20 kgf/cm²). Desta forma, pelos resultados dos testes apresentados, o teste realizado com tijolo ecológico com 50% de resíduo de construção é que apresentou os melhores resultados, com prazo de cura de 14 dias.

Desta forma, considera-se que a utilização do resíduo de construção civil como agregado para o tijolo ecológico é uma alternativa viável, pois apresenta resistência exigida pela NBR 8491/2012 e se apresenta como uma forma de economia e de reciclagem de resíduos que seriam descartados e poluiriam o meio ambiente.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A construção civil é grande geradora de resíduos, que não descartados corretamente, trazem grande poluição para o meio ambiente. Por isso, é preciso buscar soluções alternativas para a reciclagem desses resíduos.

A tijolo ecológico é uma maneira de realizar o reaproveitamento desses resíduos, bem como promover uma redução dos valores investidos em uma construção, pois é um tijolo que tem um custo mais barato, além de utilizar menor quantidade de argamassa.

Na realização desta pesquisa foi possível perceber de forma prática a utilização do resíduo na fabricação desse tijolo. Foram realizadas amostras com traços diferenciados; 10% de resíduo, 20% de resíduo e 50% de resíduo.

Todo o método de fabricação de tijolos e os testes de resistência à compressão devem ser realizados de acordo com a NBR 8491/2012, inclusive a comparação dos resultados.

Foi apurado na pesquisa que as amostras com 10% e 20% de resíduos não atenderam às determinações da NBR 8491/2012, pois os valores se apresentaram inferiores. Já a amostra com 50% de resíduo agregado ao traço apresentou valores dentro dos padrões estabelecidos.

Foram encontrados valores acima de 2,00 de MPa conforme as exigências da NBR 8491/2012. Por isso, acredita-se que seja uma alternativa viável para os empreendimentos da Engenharia Civil a utilização deste tipo de recurso.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR 15116. **Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil** - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos. 2004. Disponível em: <http://www.areiaovitoria.com.br/download/NBR%2015116.pdf>. Acessado em 23 de novembro de 2017.

ABNT NBR 8491: **Tijolo maciço de solo-cimento**. Rio de Janeiro, 1984.

ÂNGULO, S. C.; FIGUEIREDO, A. D.de. **Concreto com agregado reciclado**. In: ISAIA, G. C. (Editor). **Concreto: ciência e tecnologia**. 1. ed. São Paulo: IBRACON, 2011.Vol.2.

ANICER. **Informações diversas**. Disponível em: <http://www.anfacer.org.br>. Acesso em: 13 de outubro de 2017.

ANTUNES, Paulo de Bessa. **Dano Ambiental. Uma abordagem conceitual**. Lumen Juris: Rio de Janeiro, 2000, p. 251. *Apud* SIRVINSKAS, Luís Paulo. **Manual de Direito Ambiental**. 5. ed. rev. e atualizada. São Paulo: Saraiva, 2010..

BRASIL. **Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: http://pegasus.fmrp.usp.br/projeto/legislacao/12305_B3764-120810-SES-MT_D.pdf. Acessado em 28 de outubro de 2017.

CAVALCANTI, C. **Sustentabilidade: mantra ou escolha moral? Uma abordagem ecológico-econômica**. Estudos Avançados, v. 26, n. 74, p. 35-50, 2012.

CBIC. **Câmara Brasileira da Indústria da Construção**. Disponível em: <http://cbic.org.br/>. Acessado em 23 de outubro de 2017.

CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). **Resolução 307** de 5 julho de 2002.

COPARI, Vinícius Pereira. OLIVEIRA, Muriel Batista de. **Confecção de tijolos ecológicos como alternativa para reutilização dos resíduos gerados por centrais dosadoras de concreto**. Revista Interdisciplinar do Pensamento Científico. ISSN: 2446-6778 Nº 1, volume 2, artigo nº 10, Janeiro/Junho 2016.

CORTÊS, Rogério Gomes. FRANÇA, Sérgio Luiz Braga. QUELHAS, Osvaldo Luiz Gonçalves. MOREIRA, Marcos Muniz. MEIRINO, Marcelo Jasmim. **Contribuições para a sustentabilidade na Construção Civil**. Revista Eletrônica Sistemas & Gestão Volume 6, Número 3, 2011, pp. 384-397.

LOUREIRO, Solange Maria. PEREIRA, Vera Lúcia Duarte do Valle. PACHECO JÚNIOR, Waldemar. **A sustentabilidade e o desenvolvimento sustentável na educação em engenharia**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental Santa Maria, v. 20, n. 1, jan.-abr. 2016, p. 306–324 Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas – UFSM ISSN : 22361170.

MEDEIROS, Virgílio Almeida. **Cartilha Casa Sustentável**. CREA-MG, 2012.

MELO, P. T. N. B.; SALLES, H. K.; BELLEN, H. M. V. **Quadro institucional para o desenvolvimento sustentável: o papel dos países em desenvolvimento com base na análise crítica do discurso da Rio+20**. Cad. EBAPE.BR, v. 10, n. 3, p. 701-720, opinião 1, Rio de Janeiro, Set/2012.

MORAES, N. **Educação ambiental nos cursos de engenharia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná câmpus Curitiba**. 2011. Tese (Doutorado em Educação). 220 p. Universidad Del Mar. Viña del Mar, Chile, 2011.

MOTTA, Jessica Campos Soares Silva. MORAIS, Paola Waleska Pereira. ROCHA, Glayce Nayara Rocha. TAVARES, Joicimara da Costa. GONÇALVES, Gabrielle Cristina. CHAGAS, Marcela Aleixo. MAGESTE, Jalson Luiz. LUCAS, Taiza de Pinho Barroso. **Tijolo solo-cimento: análise das características físicas e viabilidade econômica de técnicas construtivas sustentáveis.** Revista Exata, 2014. ISSN: 1984-3151

OSCAR NETO. **Tijolo Ecológico é opção econômica para a construção civil : Casas Ecológicas e Sustentáveis.** 2010.

OLIVEIRA, Lucas Rebello de. MEDEIROS, Raffaella Martins. TERRAC, Pedro de Bragança. QUELHAS, Osvaldo Luiz Gonçalves. **Sustentabilidade: da evolução dos conceitos à implementação como estratégia nas organizações.** Produção, v. 22, n. 1, p. 70-82, jan./fev. 2012

PAIVA, A. P.; RIBEIRO, S. M. **A reciclagem na Construção Civil: como economia de custos.** São Paulo: FEA-RP/USP, 2011.

PINTO, T. P. **Metodologia para gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana.** Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo 1998.

PINTO, Lucas Mazzoleni. **Estudo de tijolos de solo cimento com adição de resíduos de construção civil.** UFSM, Santa Maria, RS. 2015.

PORTO, Maria Edelma Henrique de Carvalho. SILVA, Simone Vasconcelos. **Reaproveitamento dos Entulhos de Concreto na Construção de Casas Populares.** XXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO A integração de cadeias produtivas com a abordagem da manufatura sustentável. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 13 a 16 de outubro de 2008.

SANTOS, G. O. **Análise Histórica do Sistema de Gerenciamento de Resíduos Sólidos de Fortaleza como Subsídio às Práticas de Educação Ambiental.** Monografia de Especialização, Universidade Estadual do Ceará - UECE, Fortaleza, 2007.

SAVI, Antônio Francisco. GONÇALVES FILHO, Eduardo Vila. SAVI, Erika Monteiro de Souza. **Engenharia apoiando o desenvolvimento sustentável.** SIMPEP, 2013. Disponível em: http://www.simpep.feb.unesp.br/anais/anais_13/artigos/316.pdf. Acessado em 24 de outubro de 2017.

SOUZA, Mayssa Alves da. SANTOS, Vito Assis Alencar dos. **Reciclagem e Reaproveitamento de resíduos sólidos da construção civil em São Luís – MA: um processo sustentável.** REVISTA DO CEDS Periódico do Centro de Estudos em Desenvolvimento Sustentável da UNDB N. 1 agosto/dezembro 2014 – Semestral Disponível em: <http://www.undb.edu.br/ceds/revistadoceds> acessado em 30 de outubro de 2017.

APÊNDICE

Memoria de Cálculo						
Amostra com 10%	7 Dias			14 Dias		
	T/F	Área Eq.	Tensão	T/F	Área Eq.	Tensão
1ª amostra	7,70	45.000	1,73	8,01	45.000	1,78
2ª amostra	7,43	45.000	1,65	7,61	45.000	1,69
3ª amostra	7,56	45.000	1,68	7,83	45.000	1,74
4ª amostra	7,65	45.000	1,70	7,88	45.000	1,75
Amostra com 20%	T/F	Área Eq.	Tensão	T/F	Área Eq.	Tensão
1ª amostra	8,06	45.000	1,79	8,24	45.000	1,83
2ª amostra	7,68	45.000	1,70	7,83,	45.000	1,74
3ª amostra	7,70	45.000	1,71	7,74	45.000	1,72
4ª amostra	7,92	45.000	1,76	7,83	45.000	1,74
Amostra com 20%	T/F	Área Eq.	Tensão	T/F	Área Eq.	Tensão
1ª amostra	8,73	45.000	1,94	9,09	45.000	2,02
2ª amostra	8,87	45.000	1,97	9,05	45.000	2,01
3ª amostra	9,0	45.000	2,0	9,23	45.000	2,05
4ª amostra	9,09	45.000	2,02	9,0	45.000	2,00

A área equivalente do tijolo é: $30 \times 15 \text{ cm} = 450 \text{ cm}^2$ (45.000 mm). A fórmula utilizada para conversão dos dados foi:

$$\text{Tensão (MPa)} = \frac{\text{TF} \times 10 \times 1000}{\text{Área equivalente}} = \text{MPa}$$

Como exemplo desse cálculo, apresenta-se:

$$\text{Tensão (MPa)} = \frac{7,3 \times 10 \times 1000}{45.000} = 1,62 \text{ MPa}$$