



Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Escola Politécnica & Escola de Química  
Mestrado em Engenharia Ambiental

**Raphael Mesquita de Aguiar**

**DESENVOLVIMENTO DE TIJOLO MODULAR BASEADO EM PAPEL IMPRENSA**

Rio de Janeiro

Fevereiro de 2017



**UFRJ**

Raphael Mesquita de Aguiar

**DESENVOLVIMENTO DE TIJOLO MODULAR BASEADO EM PAPEL IMPRENSA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica & Escola de Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Estevão Freire

Coorientador: Dr. Sergio Rafael Cortes de Oliveira

Rio de Janeiro  
2017

FICHA CATALOGRÁFICA

Aguiar, Raphael Mesquita.

Título: Processamento e Caracterização de Tijolo Ecológico Baseado em Papel Imprensa. / Raphael Mesquita de Aguiar. – 2017.

94f.; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica e Escola de Química, Programa de Engenharia Ambiental, Rio de Janeiro, 2016.

Orientador: Estevão Freire e Sergio Rafael Cortes de Oliveira.

1. Indústria da Construção Civil. 2. Cerâmica vermelha. 3. Tijolo de Papel Imprensa. 4. Resíduo. 5. Impacto Ambiental. I. Freire, Estevão e Oliveira, Sergio Rafael Cortes. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola Politécnica e Escola de Química. III. Gerenciamento dos Resíduos Eletroeletrônicos no Instituto Federal Fluminense *campus* Campos dos Goytacazes – Centro.



UFRJ

## DESENVOLVIMENTO DE TIJOLO MODULAR BASEADO EM PAPEL IMPRENSA

Raphael Mesquita de Aguiar

Orientador: Prof. Dr. Estevão Freire  
Coorientador: Dr. Sergio Rafael Cortes de Oliveira

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica & Escola de Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Aprovado pela Banca:

---

Prof. Dr. Estevão Freire  
Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Orientador

---

Prof. Dr. Marcos Barreto de Mendonça  
Universidade Federal do Rio de Janeiro

---

Prof. Dr. Armando Lucas Cherem da Cunha  
Universidade Federal do Rio de Janeiro

---

Prof. Dr. Luciano Falcão da Silva  
Instituto Federal Fluminense

Rio de Janeiro  
2017

## **DEDICATÓRIA**

Dedico esta dissertação a minha mãe, Rosinea, por todo apoio e carinho, e a toda a minha família e amigos que torceram por mim. Vocês fazem parte deste trabalho.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por me fortalecer todos os dias e não me deixar desistir deste sonho.

Agradeço as pessoas mais importantes da minha vida: minha mãe e minha irmã, que me apoiaram e incentivaram em todos os momentos difíceis da minha vida, sempre com palavras de generosidade e carinho. Amo vocês.

Ao meu orientador, professor Dr. Estevão Freire, pela paciência, incentivo, disponibilidade e orientação ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores do Programa de Engenharia Ambiental/UFRJ, pelas aulas, pelos trabalhos, pelos seminários e principalmente pelos conhecimentos compartilhados.

A minha querida amiga: Mônica Chagas Gomes. Obrigado por ao longo desta jornada termos nos mantido unidos, por toda amizade, dedicação, entusiasmo e alegria. Agradeço também aos meus demais amigos de turma, que compartilharam muitos momentos de alegria, cansaço e correria ao longo destes dois anos de mestrado.

A todos os integrantes do projeto de extensão tijológico, que muito contribuíram e deram subsídios para elaboração deste trabalho, estando sempre presentes em todos os momentos.

A minha namorada, Patrícia Azevedo, pela paciência, orações e compreensão em todo esse período do Mestrado e por todo amor dedicado a mim.

Aos professores, Regina Coeli e Luciano Falcão, pelas contribuições e sugestões.

Ao Instituto Federal Fluminense pelo apoio e oportunidade.

## RESUMO

Campos dos Goytacazes é um dos maiores polos de produção de artefatos de cerâmica vermelha do estado do Rio de Janeiro, sendo este setor de grande importância econômica e social para a região. A matéria prima base para produção de tijolos cerâmicos, no município em questão é a argila, extraída do meio ambiente e queimada em fornos nas olarias. Desde a extração e beneficiamento da argila, diversas etapas causam impacto ao meio ambiente e a sociedade, podendo ser destacado os processos agressivos de extração da argila, a derrubada de árvores e o lançamento de gases tóxicos. O setor ceramista faz parte de um seguimento econômico muito maior que é a indústria da construção civil (ICC), responsável pela construção dos maiores bens do planeta e consequentemente pelo consumo de somas significativas de recursos naturais, podendo ser caracterizado como um setor com enorme potencial de utilização de resíduos sólidos. O investimento em pesquisa e desenvolvimento de novos materiais e metodologias que visem atenuar os impactos que a ICC como um todo exerce sobre o meio ambiente se torna cada vez mais importante. Neste contexto, um tema que ganha crescente destaque é a incorporação de resíduos sólidos na cadeia produtiva de materiais construção, uma medida que contribui para o correto gerenciamento de resíduos e diminuição de custos. A presente dissertação, evidencia técnicas de processamento e utilização de cimento, papel imprensa, argila e água, para o desenvolvimento de tijolos ecológicos modulares, cujo processo metodológico enfatiza a reciclagem, tendo como objetivo principal a análise de seus parâmetros físicos e mecânicos. Desta forma os tijolos foram submetidos a métodos de avaliação como: análise dimensional, determinação da massa específica, resistência mecânica individual e de prisma, capacidade de absorção de água, durabilidade por molhagem e secagem e desgaste utilizando *slake durability*. Após a apuração dos resultados pode-se apontar o novo material como um possível substituto para os tijolos cerâmicos e consequentemente um minimizador dos impactos ambientais e sociais causados pela indústria da construção civil.

Palavras-chave: Indústria da construção civil. Cerâmica vermelha. Tijolo de papel imprensa. Resíduo. Impacto ambiental.

## ABSTRACT

Campos dos Goytacazes is one of the major centers of production of red ceramic artifacts in the state of Rio de Janeiro, being this sector of great economic and social importance for the region. The basic raw material for the production of ceramic bricks in the municipality in question is clay, extracted from the environment and burned in ovens in pottery. Since the extraction and processing of the clay, several stages have an impact on the environment and society, and the aggressive processes of clay extraction, tree felling and the release of toxic gases can be highlighted. The ceramicist sector is part of a much larger economic follow-up that is the construction industry (ICC), responsible for the construction of the greatest goods of the planet and consequently for the consumption of significant sums of natural resources, being able to be characterized as a sector with enormous potential Use of solid waste. Investment in research and development of new materials and methodologies to mitigate the impacts of the ICC as a whole on the environment becomes increasingly important. In this context, a topic that is gaining increasing prominence is the incorporation of solid waste in the production chain of construction materials, a measure that contributes to the correct waste management and cost reduction. This dissertation demonstrates techniques for the processing and use of cement, paper press, clay and water for the development of modular ecological bricks, whose methodological process emphasizes recycling, with the main objective being the analysis of its physical and mechanical parameters. In this way the bricks were submitted to evaluation methods such as: dimensional analysis, determination of specific mass, individual and prism mechanical strength, water absorption capacity, wettability and drying and wear using slake durability. After the calculation of the results, the new material can be identified as a possible substitute for the ceramic bricks and consequently a minimizer of the environmental and social impacts caused by the construction industry.

Keywords: Construction industry. Red ceramics. Brick paper press. Residue. Environmental impact.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Geração de RSU (t/dia) em 2013 e 2014. ....	18
Figura 2: Participação das Regiões do País no Total de RSU Coletado. ....	20
Figura 3: RCD Coletados nas Regiões - ton/dia. ....	21
Figura 4: Produção de Papel – ton/ano. ....	27
Figura 5: Ciclo de vida do papel. ....	27
Figura 6: Perfil do tijolo ecológico de papel reciclável. ....	32
Figura 7: Fluxograma do processo de produção dos blocos de tijolos de papel imprensa. ....	37
Figura 8: Papel imprensa coletado. ....	38
Figura 9: Fragmentação do papel reciclável: (a) fragmentadora; (b) processo de fragmentação. ....	39
Figura 10: Papel imprensa fragmentado imerso em tonel com água. ....	39
Figura 11: Liquidificador industrial. ....	40
Figura 12: Processo de peneiramento: (a) material na peneira; (b) massa úmida resultante. ....	41
Figura 13: Preparação da massa seca de papel imprensa: (a) massa úmida na estufa; (b) material obtido após secagem total. ....	41
Figura 14: Fragmentação do material seco: (a) trituração em liquidificador doméstico; (b) material particulado obtido. ....	42
Figura 15: Pesagem dos componentes da mistura: (a) cimento; (b) massa úmida de papel imprensa; (c) massa seca de papel imprensa; (d) argila; (e) água. ....	43
Figura 16: Mistura dos componentes: (a) batedeira industrial utilizada; ....	44
Figura 17: Prensa manual utilizada. ....	44
Figura 18: Mistura na prensa: (a) colocação na forma; (b) compactação manual; (c) início do curso da alavanca; (d) fim do curso da alavanca; (e) retorno da alavanca com abertura da forma (f) tijolos produzidos. ....	45
Figura 19: Cura seca dos blocos: (a) recipiente fechado; (b) blocos no recipiente. ....	46
Figura 20: Produto final: (a) T1b; (b) T2b; (c) T3b; (d) T4b. ....	47
Figura 21: Micrografias dos compósitos: (a) T1b; (b) T2b; (c) T3b; (d) T4b. ....	49
Figura 22: Espectro de energia dispersiva de raio X do compósito T1b. ....	50
Figura 23: Espectro de energia dispersiva de raio X do compósito T2b. ....	50
Figura 24: Espectro de energia dispersiva de raio X do compósito T3b. ....	51

Figura 25: Espectro de energia dispersiva de raio X do compósito T4b. ....	51
Figura 26: Geometria dos tijolos de papel imprensa. ....	53
Figura 27: Corte a seco: (a) serra circular empregada; (b) serragem de bloco.....	55
Figura 28: Preparação do corpo de prova para ensaio de compressão: (a) aplicação da pasta; (b) assentamento; (c) capeamento da superfície.....	56
Figura 29: Prensas utilizadas: (a) prensa hidráulica para os blocos feitos com CP III; (b) prensa automática para os blocos feitos com CP V durante ensaio de resistência a compressão de bloco. ....	57
Figura 30: Ensaio de resistência à compressão individual: (a) tijolo na prensa automática; (b) início da formação de fissura vertical; (c) esmagamento (d) destacamento de face. ....	58
Figura 31: Ensaio de resistência à compressão de prisma: (a) prisma sendo preparado para ensaio; (b) fissura em “V”; (c) destacamento de face. ....	59
Figura 32: Ensaio de absorção de água: (a) secagem em estufa; (b) pesagem do corpo de prova seco; (c) imersão em água; (d) pesagem do corpo de prova saturado.....	61
Figura 33: Aspecto dos tijolos após o sexto ciclo do ensaio de durabilidade: (a) T1; (b) T2; (c) T3; (d) T4.....	64
Figura 34: Ensaio de desgaste: (a) conjunto de partículas no cilindro; (b) slake durability.....	65
Figura 35: Aspecto dos tojolos após o primeiro e o sexto ciclo do ensaio de durabiliadde: (a) T1b após o primeiro ciclo; (b) T1b após o último ciclo; (c) T2b após o primeiro ciclo; (b) T2b após o último ciclo; (e) T3b após o primeiro ciclo; (f) T3b após o último ciclo; (g) T4b após o primeiro ciclo; (h) T4b após o último ciclo. ....	67
Figura 36: Tijolo do tipo T2b.....	69
Figura 37: Resultados de resistência a compressão simples dos tijolos com cimento CIII. ....	71
Figura 38: Resultados de resistência a compressão simples dos tijolos com cimento CPV. ...	73
Figura 39: Ruptura dos blocos sob compressão: (a) esmagamento; (b) trincas verticais.....	74
Figura 40: Resultados de absorção de água dos tijolos com cimento CPV.....	75
Figura 41: Comparativo entre os resultados de eficiência obtidos entre os tijolos analisados. .....	77
Figura 42: Ruptura típica dos prismas sob compressão. ....	78
Figura 43: Destacamento de face dos prismas do tipo T2. ....	79
Figura 44: Comparativo entre os resultados de durabilidade.....	80
Figura 45: Desagregação do tijolo T2b após o ensaio de durabilidade.....	81

Figura 46: Evolução da perda de massa dos corpos de prova após cada ciclo. ....	82
Figura 47: Deterioração dos corpos de prova do tipo T2b após o ensaio o Slake Durability.....	83

### LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tipos de tijolos de solo cimento. ....	31
Tabela 2: Comparativo entre os tijolos cerâmico, solo-cimento e de papel imprensa. ....	33
Tabela 3: Tipos de proporções produzidas com cimento CPIII. ....	36
Tabela 4: Tipos de proporções produzidas com cimento CPV.....	36
Tabela 5: Programação dos ensaios para os blocos feitos com CP III e CP V.....	52
Tabela 6: Classificação da durabilidade de rochas em função da perda de massa no ensaio.	66
Tabela 7: Comprimento, largura, altura e diâmetro dos furos de cada tipo de bloco de tijolo. .....	68
Tabela 8: Massa específica aparente dos blocos. ....	69
Tabela 9: Resistência a compressão simples dos blocos feitos com cimento CPIII aos 14 e 28 dias.....	70
Tabela 10: Resistência a compressão simples dos blocos feitos com cimento CPIII aos 8, 14 e 28 dias.....	72
Tabela 11: Resistência a compressão dos prismas.....	77
Tabela 12: Perda de massa dos blocos de tijolos após ciclos de molhagem e secagem .....	80
Tabela 13: Perda de massa dos corpos de prova após o quinto ciclo de desgaste .....	82
Tabela 14: Custo de matéria-prima dos tijolos. ....	84
Tabela 15: Resumo dos resultados para cada ensaio .....	85
Tabela 16: Resumo das características de cada tipo de tijolo .....	86

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas técnicas
Abrelpe	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
CP	Cimento Portland
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICC	Indústria da Construção Civil
PCA	Portland Cement Association
IFF	Instituto Federal Fluminense
NBR	Norma Brasileira
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RAIS	Relatório Anual de Informações Sociais
RCD	Resíduos de Construção e Demolição
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
UENF	Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	15
1.1	Objetivos .....	16
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1	Perfil do resíduo sólido urbano gerado no Brasil .....	17
2.2	Geração e utilização de resíduos sólidos provenientes da Indústria de Construção Civil .....	20
2.3	Impactos ambientais e ciclo de vida das edificações .....	23
2.4	Utilização de fibras vegetais em materiais de construção .....	24
2.5	Produção, reuso e reciclagem de papel.....	26
2.6	Tijolo de cerâmica vermelha.....	28
2.7	Tijolo de Solo Cimento para uso na construção civil .....	29
2.8	Tijolo ecológico de papel imprensa .....	32
3.	METODOLOGIA.....	33
3.1	Materiais utilizados.....	33
3.1.1	Cimento Portland .....	34
3.1.2	Papel imprensa.....	34
3.1.3	Argila .....	35
3.1.4	Água.....	35
3.2	Processamento das composições .....	35
3.3	Processo de produção dos blocos prensados.....	37
3.3.1	Coleta dos materiais.....	38
3.3.2	Fragmentação do papel imprensa à seco .....	38
3.3.3	Imersão do papel imprensa fragmentado em tonel com água .....	39
3.3.4	Fragmentação do papel imprensa imerso .....	40
3.3.5	Peneiramento.....	40
3.3.7	Fragmentação do material seco.....	42
3.3.8	Mistura dos componentes .....	42
3.3.9	Moldagem dos blocos .....	44
3.3.10	Cura dos blocos .....	46
6.	CARACTERIZAÇÃO PRÉVIA DO MATERIAL.....	47
6.1	Determinação da massa específica do material particulado e da polpa úmida .....	47
6.2	Caracterização morfológica do compósito.....	48
7.	CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES DOS BLOCOS.....	52
7.1	Programação dos ensaios.....	52
7.2	Análise dimensional dos blocos.....	53

7.3	Ensaio para determinação da massa específica aparente dos tijolos .....	54
7.4	Ensaio de resistência à compressão individual.....	54
7.5	Ensaio de resistência à compressão dos prismas .....	58
7.6	Ensaio de absorção de água .....	60
7.7	Ensaio de durabilidade por molhagem e secagem.....	61
7.8	Ensaio de desgaste utilizando slake durability .....	65
8.	RESULTADOS .....	68
8.1	Análise dimensional dos blocos.....	68
8.2	Massa específica aparente dos blocos .....	69
8.3	Resistência à compressão individual dos blocos .....	70
8.4	Absorção de água dos blocos .....	75
8.5	Resistência à compressão dos prismas.....	76
8.6	Durabilidade por ciclos de molhagem e secagem .....	79
8.7	Durabilidade por desgaste: Slake Durability.....	81
8.8	Análise de custos entre os tipos de tijolos produzidos .....	83
8.9	Análise geral sobre os blocos ensaiados.....	84
9.	CONCLUSÕES E SUGESTÕES FUTURAS.....	87
10.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	90

## 1. INTRODUÇÃO

Os impactos ambientais causados pela indústria de produção de tijolos e a tendência de escassez dos recursos naturais faz com que a construção civil busque novos conceitos e soluções técnicas visando a sustentabilidade de suas atividades. Uma alternativa que pode contribuir para uma nova mentalidade voltada as atividades deste setor é o investimento em desenvolvimento de novos materiais com a incorporação de resíduos, algo que representa uma tendência mundial.

A Indústria de produção de tijolos, também chamada de indústria cerâmica tem papel de relevância na economia de alguns municípios brasileiros, como o de Campos dos Goytacazes<sup>1</sup>. Segundo o RAIS (Relatório Anual de Informações Sociais) do Ministério do Trabalho e Emprego de 2002 e informações fornecidas pelo sindicato dos ceramistas de Campos em 2016, o setor produtivo que mais emprega mão de obra no município, é o setor de cerâmica vermelha, sendo responsável pela alocação de aproximadamente 5.000 trabalhadores diretos e outros 25.000 indiretos. Representa cerca de 40% de toda produção do Estado do Rio de Janeiro, com cerca de 110 empresas envolvidas.

O setor tem ainda uma importante participação na regulação do mercado de trabalho local, essencialmente no período de entressafra do setor sucroalcooleiro, empregando grande parte da mão de obra oriunda desta indústria (Pedroti, 2007).

Além da importância econômica, a indústria ceramista agregada a indústria da construção civil (ICC) possuem relevante papel social, tanto pela capacidade de diminuição do déficit habitacional brasileiro quanto pelo seu potencial de geração de emprego e renda.

Para a produção de tijolos a indústria cerâmica usa a argila como matéria prima base, extraída do meio ambiente e queimada em fornos. Desde a extração da argila, beneficiamento e produção dos vários materiais cerâmicos, diversas etapas causam impacto ao meio ambiente e a sociedade, como o processo de extração da argila sem qualquer estudo prévio da reserva explorada, a derrubada de árvores para utilização como lenha, a

---

<sup>1</sup> Campos dos Goytacazes é um município localizado no norte do estado do Rio de Janeiro, Brasil. É o maior município do interior do estado em extensão territorial e o décimo maior do interior do país, situado a 234 km da capital, Rio de Janeiro. Possui uma população de quase 500 mil habitantes, distribuídos em uma área de 4.032 km<sup>2</sup>, pouco menor que a área do Distrito Federal (IBGE, 2014).

queima da madeira utilizada como combustível nos fornos e o lançamento de gases e material particulado na atmosfera devido à ausência de filtro nas chaminés (Pedroti, 2007).

A escolha do tema descrito na presente dissertação surgiu através prospecção tecnológica em documentos de patente, chegando ao conhecimento da patente PI1003663-6 A2 intitulada “Tijolo Ecológico de Papel Reciclável”, atualmente arquivada. Santos (2012) não descreve em seu documento de patente o processo metodológico utilizado, apenas explicita a proporção de materiais adotada, sendo esta de doze partes de jornal para uma de cimento.

O novo material surge como alternativa ao uso dos tijolos cerâmico, possibilitando através de sua adoção diminuir a agressão ambiental oriunda dos processos de extração e beneficiamento da argila.

## **1.1 Objetivos**

### **Geral**

O objetivo geral desta dissertação é o desenvolvimento de um material de construção do tipo tijolo ecológico modular de papel reciclável, utilizando como matéria prima principal folhas de papel imprensa.

### **Específicos**

- 1) Identificar os impactos ambientais causados pela indústria de construção civil;
- 2) Avaliar os materiais a serem empregados na confecção do tijolo ecológico de papel imprensa;
- 3) Estudar, aplicar e aperfeiçoar possíveis processos metodológicos aplicados à produção de tijolos ecológicos com incorporação de resíduos;
- 4) Avaliar a potencialidade técnico-econômica do tijolo de papel imprensa face ao seu comportamento nos ensaios físico-mecânicos.



## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Perfil do resíduo sólido urbano gerado no Brasil**

De acordo com a Associação Brasileira de Normas técnicas (ABNT) em sua norma NBR 10004 (ABNT, 2004), resíduo sólido pode ser definido por um material em estado sólido e semi-sólido, resultante de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. São incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e econômicas inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

Outra definição para resíduo é a descrita por SEWELL (1978), que caracteriza resíduo sólido como sendo materiais indesejados pelo homem que não podem fluir diretamente para os rios ou se elevar imediatamente para o ar. São os resíduos não-líquidos, não gasosos, da manufatura, construção, preparo de alimentos, recreação, agricultura e outras atividades que fazem uso destes materiais e posteriormente os descartam.

O conceito de “resíduo” pode variar de acordo com a maneira como as pessoas se relacionam com aquele material. Uma forma de exemplificar essa questão é observar a relação entre o homem e o uso do papel, um papel que é usado hoje para produzir um texto, amanhã poderá ser reciclado e voltar a ter uma aplicação nobre; ou seja, os tipos e qualidades de resíduos sólidos são determinados pelos hábitos culturais e pelas instituições econômicas. “Existem tecnologias para reciclar quase qualquer objeto jogado fora, mas esse uso da tecnologia tem um preço. Frequentemente, não estamos dispostos a pagá-lo” (Sewell, 1978).

Alguns autores usam os termos “lixo” e “resíduo sólido” de maneira indistinta, o que não significa que na literatura esses termos são utilizados como sinônimos. Grimberg (2007) considera que o termo “lixo” seja inadequado para se referir a tudo que é descartado do processo de produção ou de consumo. Hamada (2003) explica que o termo resíduo pode ser empregado tanto para coisas sem utilidade ou valor, como para o que não se aproveita da atividade humana e que contém os mesmos materiais encontrados nos produtos que originalmente tinham valor ou utilidade.

De qualquer modo, é importante saber gerenciar os resíduos sólidos, dando-lhes uma destinação final correta. A reciclagem é apontada por Gurgel (2015) como a principal alternativa para este problema, considerando a grande quantidade de material reciclável existente entre os resíduos.

O não aproveitamento dos resíduos e a falta de iniciativa das indústrias para promover a sua redução nos processos de origem estão entre as maiores agressões ao meio ambiente, além de se tratar de um desperdício de energia e de recursos naturais (GRIMBERG; BLAUTH, 1998).

Segundo o IBGE (2016), a população mundial que é de 6,1 bilhões de pessoas em 2016, deverá chegar a 9,3 bilhões em 2050, perfazendo um crescimento de 50%. O aumento populacional faz com que aumente a geração de resíduos urbanos, tornando uma grande preocupação a falta de espaço para sua correta disposição, especialmente em regiões metropiltanas.

Conforme descrito na Lei Federal 12.305/2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), a partir de 2 de agosto de 2014, resíduos sólidos e rejeitos deveriam ter destinação final ambientalmente adequada.

De acordo com o relatório anual publicado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe) com base no "Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2014", a geração total de resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil em 2014 foi aproximadamente 78,6 milhões de toneladas, o que representa um aumento de 2,9% em relação ao ano de 2013, conforme pode ser observado na Figura 1.

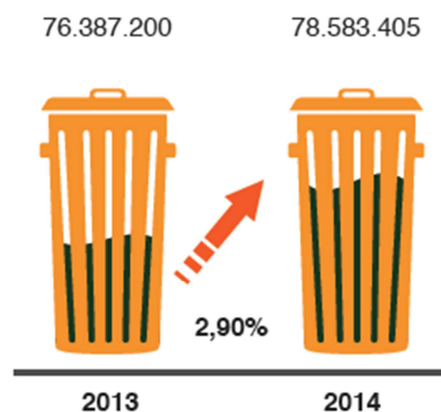


Figura 1: Geração de RSU (t/dia) em 2013 e 2014. Fonte: ABRELPE (2014)

O Brasil apresenta alto índice de cobertura do serviço de coleta domiciliar de resíduos na zona urbana dos municípios. Em muitos deles, a taxa referente ao serviço se aproximou de 100%, em 2010, segundo o Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos (2010), que divulga a base de dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS (2010). Porém, um dos maiores problemas nas cidades densamente urbanizadas, especialmente nas regiões metropolitanas, é a falta de locais apropriados para dispor os resíduos adequadamente (Besen, 2006; Jacobi, Besen, 2011).

Prefeituras de cidades de todo o Brasil, gastam somas significativas do orçamento público no manejo do lixo urbano. Estima-se que cerca de R\$ 11,8 bilhões são gastos anualmente neste serviço (SNIS, 2012). Neste sentido, Grimberg (2007) relata que há um duplo desperdício: deixa-se de reutilizar ou reciclar uma grande quantidade de materiais que poderiam dinamizar um mercado gerador de trabalho e renda, uma economia inclusiva, e ainda são utilizados recursos públicos para aterrar resíduos.

No ano de 2013 nos municípios brasileiros a quantidade de RSU destinada a locais inadequados oferecendo riscos à saúde e ao meio ambiente, como lixões<sup>2</sup> e aterros controlados<sup>3</sup>, totalizou cerca de 29,6 milhões de toneladas (ABRELPE, 2014). Nesse sentido, é importante ressaltar que os aterros controlados pouco se diferenciam dos lixões, uma vez que ambos não possuem o conjunto de sistemas e medidas necessários para proteção do meio ambiente contra danos e degradações.

Mesmo com uma legislação mais restritiva e dos esforços empreendidos em todas as esferas governamentais, a destinação inadequada de RSU se faz presente em todas as regiões e estados brasileiros. Em 3.344 municípios brasileiros, correspondente a 60,0% do total, foram usados em 2013 locais impróprios para destinação final dos resíduos coletados (ABRELPE, 2014).

De acordo com ABRELPE (2014) a região Sudeste lidera o *ranking* de produção de resíduos sólidos urbanos com mais 50% de tudo o que é gerado em território brasileiro, como pode ser observado na Figura 2. Os 1.668 municípios dos quatro Estados da região Sudeste geraram, em 2013, 102.088 toneladas/dia de RSU, das quais 97,1% foram coletadas.

---

<sup>2</sup> Um lixão é uma área de disposição final de resíduos sólidos sem nenhuma preparação anterior do solo. Não tem nenhum sistema de tratamento de efluentes líquidos - o chorume (líquido preto que escorre do lixo).

<sup>3</sup> Um aterro controlado é uma forma mais adequada de disposição de resíduos sólidos urbanos em que antes de iniciar a disposição do lixo teve o terreno preparado previamente.

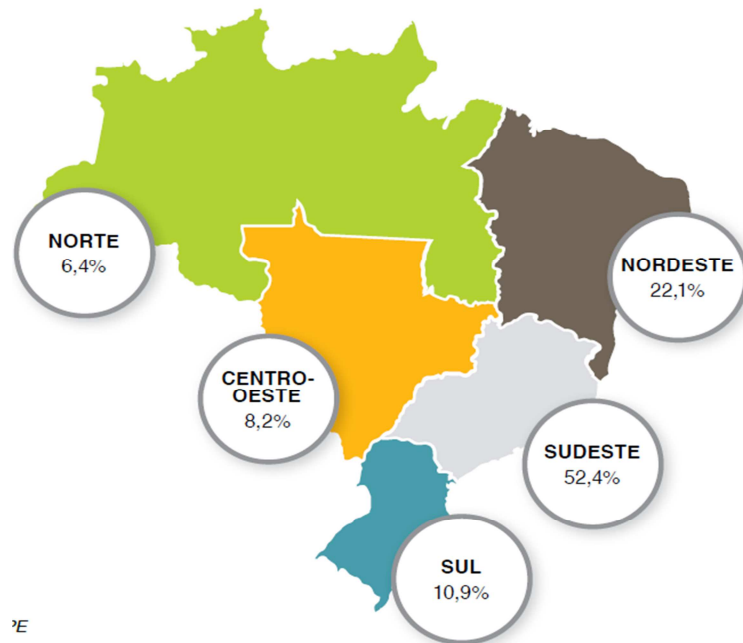


Figura 2: Participação das Regiões do País no Total de RSU Coletado. Fonte: ABRELPE (2014).

Cerca de 20% de todo o lixo gerado no país não é efetivamente coletado, o que significa que cerca de 20 mil toneladas por dia deste material ficam abandonadas em locais impróprios podendo em muitos casos parar em corpos d'água (ABRELPE, 2014).

## 2.2 Geração e utilização de resíduos sólidos provenientes da Indústria de Construção Civil

A indústria da construção civil (ICC) é responsável pela utilização de até metade de todo recurso natural extraído em um país, caracterizando-se como um setor com grande potencial de utilização de resíduos sólidos, devido à variedade e grande quantidade de material consumido, além da necessidade de minimização de custos.

De acordo com John (2000) é destinada a construção civil cerca de 14 a 50% de todo recurso natural extraído em um país. Segundo o autor, no Brasil são produzidos aproximadamente 35 milhões de toneladas de cimento Portland, e assumindo o traço médio de 1:6 em massa na sua mistura com agregado, pode-se estimar um consumo anual de 210 milhões de toneladas de agregados, somente na produção de concretos e argamassas.

Estima-se que a produção anual de resíduos de construção e demolição (RCD) seja em torno de 45 milhões de toneladas; ou seja, a ICC responde por uma enorme quantidade geração de resíduos. Em contrapartida, a ICC tem sua importância socioeconômica no que tange à aspectos de moradia da população e na geração de emprego e renda (John, 2000).

De acordo com o relatório da Abrelpe (2014), os municípios coletaram mais de 117 mil toneladas/dia de resíduos de construção e demolição (RCD) em 2013, o que implica no aumento de 4,6% em relação a 2012. Esta situação, também observada em anos anteriores, exige atenção especial quanto ao destino final dado aos RCD, haja vista que a quantidade total desses resíduos é ainda maior, uma vez que os municípios, via de regra, coletam apenas os resíduos lançados nos logradouros públicos.

A região sudeste é responsável pela maior quantidade de lixo de construção e demolição coletados no país, como mostrado na Figura 3. Isto ocorre pelo seu maior número de obras ligadas a urbanização e arquitetura comparativamente com as outras regiões.

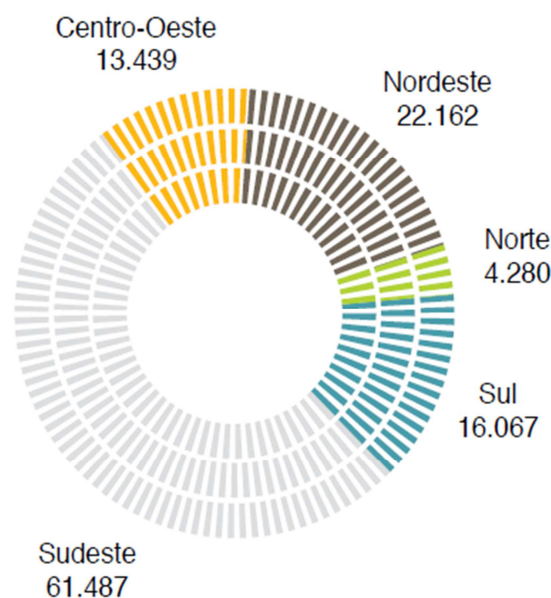


Figura 3: – RCD Coletados nas Regiões - ton/dia. Fonte: Pesquisa Abrelpe (2014).

Deve-se destacar que em relação aos dados de RCD aqui apresentados considera-se os dados de coleta executada pelo serviço público, ou seja, não são incluídos os RCD oriundos de demolições e construções gerados em obras privadas e descartados através de contratação particular.

Souza (2008) explica que os materiais encontrados em maior quantidade entre os RCD são restos de argamassa, concreto e materiais cerâmicos que podem ser transformados em agregados para uso na matriz de blocos de tijolos ou até mesmo voltando a compor a mistura que os deu origem, e em menor quantidade podem ser encontrados, metais, plásticos, madeiras, papéis e vidros.

As pesquisas sobre materiais de construção durante muito tempo não abordaram a incorporação de resíduos em seu processo de fabricação, devido a existência de matéria prima não renovável de origem natural abundante. Essa mentalidade só foi alterada a partir de 1980, com a intensa industrialização, advento de novas tecnologias, aumento populacional, crescimento das cidades, intensificação do consumo e o acúmulo crescente de resíduos.

Conforme descrito por Dorsthost e Hendriks (2000) a indústria deve fechar seu ciclo produtivo priorizando a minimização da geração de resíduos e o aumento do uso de matéria-prima renovável. A construção civil deve se aproximar de um real desenvolvimento sustentável, mas para isso é preciso que o seu ciclo produtivo implique em mudanças na exploração de recursos, na direção dos investimentos, na orientação do desenvolvimento tecnológico e nas mudanças institucionais, todas visando à harmonia e ao entrelaçamento das aspirações e necessidades humanas (Angulo, 2000; John, 2000).

De acordo com John (2000), a reciclagem na construção civil pode ser uma maneira de contribuir para redução no consumo de recursos naturais não renováveis quando há sua substituição por resíduos reciclados.

Muita pesquisa relacionada a incorporação de resíduos na produção de materiais de construção, é realizada em universidades, porém pouco sai das instituições de ensino e chega a escala de produção industrial e conseqüentemente a aplicação no campo.

Ribeiro (2013) estudou a reutilização de rocha ornamental na produção de tijolos solo-cimento. Os resultados experimentais indicaram que, nas condições estudadas, o solo arenoso pode ser incorporado em até 40% em peso de resíduo de rocha ornamental em tijolos de solo-cimento.

Grande (2003) analisou a adição de sílica ativa na fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual. A pesquisa permitiu relacionar a tecnologia da fabricação de tijolos de solo-cimento com o contexto de construção sustentável e o aproveitamento de resíduos, chegando à conclusão que a adição de sílica é benéfica ao material.

Valenciano e Freire (2004) analisaram as características físicas e mecânicas de misturas de solo, cimento e cinzas de bagaço cana de açúcar, para produção de tijolos, obtendo como resultado a possibilidade de substituir até 20% do cimento Portland, na mistura por cinzas, sem prejuízo da resistência a compressão simples.

Souza *et al.* (2008) avaliaram a possibilidade de aproveitamento de resíduos de concreto na confecção de tijolos prensados de solo-cimento. Verificaram que a adição dos resíduos proporcionou melhoria nas propriedades mecânicas do solo-cimento, favorecendo a redução do consumo de cimento e a obtenção de tijolos de melhor qualidade.

Cazzonatto *et al.* (2004) fabricaram tijolos compactados com resíduos da indústria de papel. Os ensaios realizados, constataram que o compósito com 30% desse resíduo apresentou as melhores respostas em comparação aos demais traços estudados, verificando-se sua viabilidade em relação a trabalhabilidade, plasticidade e acabamento dos corpos de prova.

Filho (2004) estudou a aplicação de pó de serra da madeira em elementos de alvenaria de concreto não estrutural. A análise dos resultados concluiu que a utilização do pó de serra em substituição ao agregado miúdo aumentou a resistência térmica e reduziu o peso da alvenaria.

Siqueira (2014) estudou a influência da adição de polpas celulósicas de pinho e eucalipto na hidratação e comportamento mecânico de pastas de cimento, chegando à conclusão que as misturas fibrosas tiveram resistência menor do que as pastas de cimento com ausência de polpa de celulose.

Nolasco (1993) produziu corpos de prova utilizando resíduos da indústria de papel na elaboração de materiais de construção (painéis, placas e blocos). A pesquisa apontou como resultado o uso do referido resíduo como material de vedação.

### **2.3 Impactos ambientais e ciclo de vida das edificações**

O projeto é o ponto de partida para a construção de qualquer edifício, sendo esta a fase de maior importância na busca de soluções minimizadoras dos impactos ambientais ocasionados pelas etapas subsequentes: implantação, uso, manutenção e demolição.

A etapa de projeto, também chamada de planejamento é a primeira fase do ciclo de vida de um edifício, onde são feitas as especificações de materiais e todos os estudos prévios de engenharia e arquitetura; a implantação ou construção é a fase de controle e execução da obra *in situ*; o uso do edifício é a fase de utilização do mesmo, após o término das obras; a manutenção faz parte do controle das necessidades de reposição de materiais que chegaram ao fim de sua vida útil, ou então a necessidade de mudanças e/ou correções em

equipamentos e layout do edifício; a demolição é o fim da vida útil da edificação, o momento em que o edifício como um todo é inutilizado (Degani, 2002).

Segundo Degani (2002) todas as etapas anteriormente relatadas causam impactos ao meio físico, biótico e socioeconômico. Uma edificação impacta ao meio físico, por causar alteração das propriedades físicas do solo; poluição sonora e do lençol freático; escassez de energia elétrica e água; emissão de material particulado respirável.

Como aspectos relacionados aos impactos causados ao meio biótico tem-se a alteração na fauna e interferência na flora. Como impacto socioeconômico tem-se a alteração nas condições de saúde; incômodo para comunidade local; alteração nas condições de segurança; interferência em edifícios vizinhos; obstrução de vias públicas; geração de resíduos.

John (2000) explica que outro impacto ambiental significativo se deve ao esgotamento de recursos naturais decorrentes especialmente do consumo elevado de matéria-prima. De modo geral o volume de água, energia elétrica e matérias-primas utilizadas pela construção civil corresponde a pelo menos um terço do total consumido anualmente por toda a sociedade. Vale ressaltar que o maior consumo de água e energia nos edifícios deve-se a etapa de uso do mesmo, o que aumenta a responsabilidade do projetista, seja ele arquiteto ou engenheiro, na concepção dos projetos, haja vista que esses profissionais são responsáveis pela especificação de sistemas de iluminação, operação de equipamentos e refrigeração.

## **2.4 Utilização de fibras vegetais em materiais de construção**

Existem diversos estudos voltados à avaliação de materiais com o emprego de fibras vegetais (como as fibras de celulose), do bagaço da cana-de-açúcar, da casca de arroz, de sisal, etc. No Brasil as primeiras pesquisas envolvendo o assunto iniciaram-se na década de 80 com a incorporação de fibras a matriz de cimento. Destacam-se, aqui, os trabalhos de Nolasco (1993) e Neves (2000). Nolasco (1993), conforme explicado no item 2.2, utilizando resíduo sólido industrial proveniente do processo de manufatura do papel para a produção de materiais voltados a construção civil, avaliou positivamente a eficiência do compósito de cimento e resíduo de papel na fabricação de painéis de divisórias, placas de forro e blocos. Neves (2000) utilizou fibras de celulose provenientes do papel imprensa em compósitos para



produção de argamassa, enfatizando a importância de estudos complementares que comprovem a durabilidade do material, quando submetido a agentes de degradação de natureza física, química e biológica.

As fibras podem ser divididas em dois grupos principais: fibras industriais e fibras orgânicas, também chamadas de vegetais, extraídas de madeiras, sementes, folhas e caules de diversas árvores e plantas (Nolasco, 1993; Neves, 2000). Cada tipo de fibra possui propriedades particulares. As fibras industriais de aço, vidro, amianto e carbono têm alto módulo de elasticidade<sup>4</sup> e tração, já as fibras vegetais possuem baixo módulo de elasticidade, o que contribui para produção de compósitos mais dúcteis e com maior resistência a impacto (Neves, 2000; Ceped, 1982).

Apesar das fibras orgânicas serem viáveis em termos de custo e quantidade de material, alguns aspectos necessitam de atenção como a sua vulnerabilidade ao meio alcalino das matrizes de cimento reduzindo sua durabilidade e a susceptibilidade ao ataque de fungos e insetos. Alguns estudos já apontam soluções para os problemas anteriormente citados, como o uso de veneno misturado ao compósito para eliminar o ataque de pragas (Nolasco, 1993; Neves, 2000; Ceped, 1992).

A perda de durabilidade das fibras orgânicas em meios alcalinos acontece porque a lignina é facilmente dissolvida e a hemicelulose decomposta, porém no caso das fibras provenientes de madeira esse problema não é tão grave devido as baixas concentrações de lignina e hemicelulose encontrados neste material (Neves, 2000; Agopyan e Derolle, 1988).

De acordo com Craig (1986), Guimarães (1987) e Nolasco (1993) quando as fibras orgânicas são empregadas na matriz de cimento de um compósito tem-se a melhoria da resistência ao impacto, da ductilidade, do controle de fissuras, a preservação da integridade estrutural do material e especialmente melhoria nas resistências à tração e flexão. Essas propriedades são influenciadas pelo tipo, comprimento e distribuição das fibras nas matrizes, porém as fibras não são as únicas responsáveis pelas características do compósito. Para as mesmas matérias-primas e mesma metodologia de produção é possível obter melhorias significativas na resistência à tração e ductilidade em função da proporção entre agregados, cimento, água e possíveis aditivos.

---

<sup>4</sup> É a razão entre a tensão e a deformação na direção da carga aplicada, sendo a máxima tensão que o material suporta sem sofrer deformação permanente.

As fibras de madeira são mais caras se comparadas a outras fibras orgânicas, como cana de açúcar, coco e sisal, porque neste caso o material é proveniente dos resíduos da indústria de beneficiamento. No entanto as fibras de celulose podem ser viabilizadas através da reciclagem de papéis, como na presente dissertação.

## **2.5 Produção, reuso e reciclagem de papel**

Segundo Neves (2000), o papel é obtido através da prensagem e secagem de uma pasta composta de um emaranhado de fibras de celulose. Esta pasta de celulose pode ser obtida por dispersão mecânica da celulose em água ou através de processos químicos que eliminam os constituintes diferentes da celulose na matéria-prima. Dependendo dos processos de refinamento da pasta podem ser produzidos papéis naturais (jornal e papelão) ou papéis brancos (papéis de primeira linha para embalagens ou impressão).

Atualmente o papel é fabricado seguindo a mesma metodologia inventada no início do século II. A inovação se dá hoje pelo investimento em novos equipamentos ligados a produção e em novas fontes de matéria prima exploradas para fabricação, como ocorrido no Brasil, que foi um dos primeiros países a usar eucalipto para produção de celulose (Neves, 2000).

As madeiras utilizadas para fabricação de papel e celulose são geralmente provenientes de áreas de reflorestamento, sendo elas basicamente o pinho e o eucalipto. Nesse aspecto, não apresenta risco ao meio ambiente, desde que haja planejamento e controle de suas atividades (Neves, 2000).

Em 2014, o setor de papel e celulose gerou no país 128 mil empregos diretos (78 mil nas atividades industriais e 50 mil pessoas dedicadas à área florestal) e 640 mil empregos indiretos; arrecadou R\$ 3,5 bilhões em impostos, contra R\$ 1,7 bilhões em 2003; e exportou US\$ 6,7 bilhões, contra US\$ 556 milhões no início da década de 90 e US\$ 2,5 bilhões em 2003, sendo as exportações de celulose igual a 13,977 toneladas o que faz o Brasil ocupar a 4ª posição no ranking mundial (BRACELPA, 2014).

Em 2013, a produção de papel no Brasil foi cerca de 10,4 milhões de toneladas, e a evolução de 2002 a 2013 pode ser observada na Figura 4.

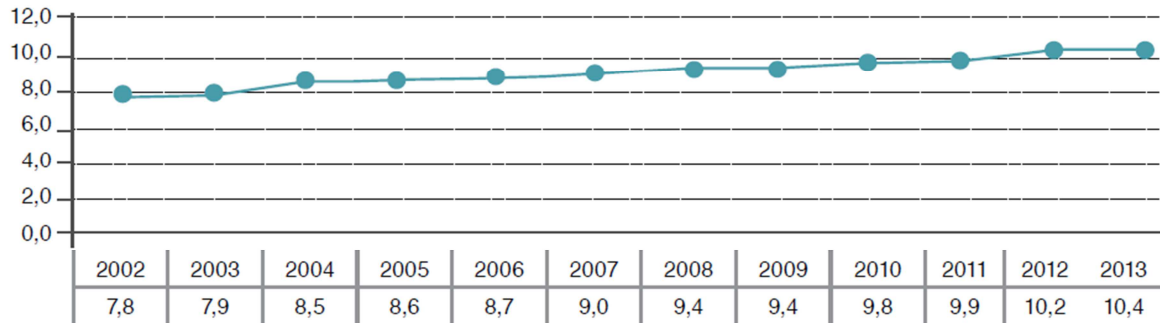


Figura 4: Produção de Papel – ton/ano. Fonte: Pesquisa BRACELPA (2014).

Os produtos provenientes da indústria de celulose também podem ser usados na composição de materiais de construção. De acordo com Gurgel (2015), vários segmentos, como o da construção civil e o de embalagens, também têm feito do papel recuperado uma importante matéria-prima. Além disso, nos países mais pobres, milhares de pessoas ainda sobrevivem da prática de “catar” e vender papel usado.

O papel é um produto consumido no mundo inteiro, responsável pela maior parcela de resíduo sólido urbano descartado no lixo domiciliar. Muitos países preocupados com escassez de matéria prima para fabricação de papel, devido à falta desse recurso local ou preocupados em dar uma destinação correta a este material quando resíduo, têm investido em mecanismos que possibilitem sua reciclagem. Nestes países, a indústria papelreira depende quase que exclusivamente da fibra secundária proveniente do resíduo de papel.

O ciclo de vida do papel pode ser explicado através da Figura 05.

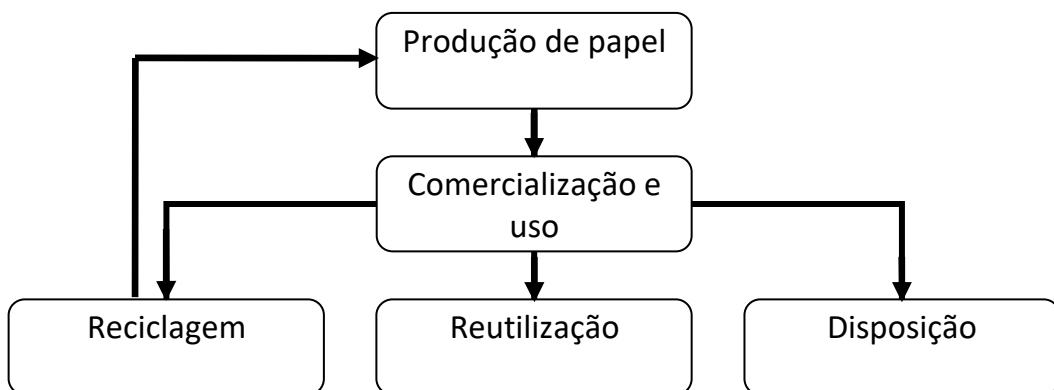


Figura 5: Ciclo de vida do papel. Fonte: Arquivo pessoal.

No Brasil mais de 60% do volume total de papelão, também chamado de papel ondulado, consumido é reciclado. A taxa média anual de recuperação de aparas<sup>5</sup>, relação entre a quantidade de material reaproveitado e o consumo de papel, gira em torno de 38% (Neves, 2000).

De acordo com Neves (2000), muita madeira é economizada na produção de papel quando há a substituição por pasta celulósica de aparas. Alguns benefícios que podem ser considerados por essa ação remete a economia de energia, já que o consumo energético por tonelada de papel produzido é mais baixo e o fato de que uma tonelada de aparas equivale ao rendimento lenhoso de uma área plantada da ordem de 250m<sup>2</sup>.

## **2.6 Tijolo de cerâmica vermelha**

O tijolo de cerâmica vermelha fabricado pela indústria ceramista é o mais utilizado na construção civil. A matéria-prima deste tijolo é a argila extraída do meio ambiente e queimada em fornos nas olarias.

Conforme Kenerich *et al.* (2011), as olarias são empreendimentos que se baseiam na argila como matéria-prima. No processo de extração da argila, no beneficiamento e produção dos tijolos, telhas, pisos e afins, que ocorre nas olarias são realizadas diversas ações que podem causar impactos ao meio ambiente, como o processo agressivo de extração da argila, sem qualquer estudo prévio que levante informações sobre a vida útil da reserva explorada, e o processo de queima da madeira, muitas vezes em fornos artesanais, utilizando-se de madeiras de áreas rurais provenientes de derrubadas, lançando durante a queima gases e material particulado na atmosfera devido à ausência ou ineficiência dos filtros nas chaminés, comprometendo assim a qualidade do ar dos moradores do entorno.

Segundo Mendonça (2008), geralmente no processo de extração da argila, a cobertura vegetal é totalmente retirada e armazenada, para posterior utilização na recuperação da própria área após o término da extração. Na medida em que o solo vai sendo retirado, o lençol freático torna-se mais vulnerável, facilitando assim, a contaminação

---

<sup>5</sup> Aparas corresponde ao nome comercial dado a resíduos de produtos de papel, cartas e papelões coletados antes e após sua utilização, que são escolhidos, selecionados, enfardados e vendidos usualmente como matéria-prima para fábricas de papéis.

das águas subterrâneas, caso ocorram derramamentos de óleo ou derivados provenientes das máquinas que atuam no local.

Além dos impactos ambientais intensos provocados pela indústria de cerâmica vermelha, pode ser atribuído ao tijolo cerâmico outra característica desfavorável como: a fragilidade do produto, propiciando problemas de armazenamento, transporte e utilização, o que pode acarretar em um aumento no custo total da obra e prejuízos para o fabricante.

## **2.7 Tijolo de Solo Cimento para uso na construção civil**

O emprego dos tijolos de solo-cimento apresenta-se como uma das possíveis soluções comprometidas com as questões ambientais. Segundo a ABNT, o solo-cimento pode ser definido como o produto endurecido resultante do processo de cura da união de solo, água e cimento compactados em proporções pré-estabelecidas conforme a NBR 12253 (ABNT, 2012) e executados de acordo com os procedimentos enunciados na NBR 12254 (ABNT, 2013).

A mistura solo-cimento resulta em um material particulado que depois de compactado e curado, torna-se mais rígido, menos permeável, com uma estrutura densa, representando um produto de massa específica superior à dos componentes dos solos puros, que lhe dá maior resistência e impermeabilidade, relata LIMA (2006).

Segundo Pinto (1980) o solo ideal deve conter 15% de silte mais argila, 20% de areia fina, 30% de areia grossa e 35% de pedregulhos, sendo que os solos arenosos bem graduados e com razoável quantidade de silte mais argila, são os mais indicados, porque exigem baixo consumo de cimento.

É importante ressaltar que para fabricação de um tijolo de solo-cimento o solo é o material que entra em maior quantidade na mistura, devendo ser selecionado de maneira criteriosa, permitindo o menor consumo possível de cimento. Por isso existem vários estudos que visam contribuir para criação de uma proporção ótima de composição do solo, como as defendidas pela Portland Cement Association (PCA) e pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). Mesmo que o solo não atenda as proporções ideais, alguns autores consideram a possibilidade de correção em sua composição granulométrica, através da mistura com solos mais arenosos ou até mesmo a adição de areia grossa, de modo que o resultado seja favorável, técnica e economicamente (Ferraz, 2004).

O solo a ser escolhido para fabricação do tijolo deve ser física e mecanicamente caracterizado, estudando-se a resistência à compressão simples do material solo-cimento, em corpos de prova, tijolos e painéis de alvenaria, analisando-se também a deformidade (Pedroti, 2007).

Como principais vantagens dos tijolos de solo-cimento podem ser destacadas: baixa agressividade ao meio ambiente, pois dispensa a queima no processo produtivo; não requer mão de obra especializada; apresenta baixo custo de extração, transporte e energético, pois geralmente emprega-se material do local da obra; tem maior regularidade na forma com faces mais lisas; quando do tipo vazado permite a passagem das instalações elétricas e hidráulicas; pode ser utilizado sem revestimento; possibilita conforto térmico e acústico; boas resistências à compressão, ao desgaste e à umidade; possibilitam a racionalização do processo construtivo, por meio do uso de tijolos modulares, que permitem o emprego de técnicas utilizadas na alvenaria estrutural, proporcionando redução de desperdícios e diminuição no volume de entulho gerado; proporcionam maior rapidez no processo construtivo; reduzem o consumo de argamassa de assentamento e de regularização.

Entretanto, de acordo com Lopes (2002), o solo-cimento é afetado pelo conjunto de propriedades do solo, de modo que a presença de uma característica desfavorável pode comprometê-lo, inviabilizando-o ou exigindo medidas especiais para o seu aproveitamento.

Existem no mercado diversas formas de tijolos de solo-cimento fabricados no Brasil, conforme pode ser observado na Tabela 01.

Tabela 1: Tipos de tijolos de solo cimento. Fonte: <http://uenf.br/pos-graduacao/engenharia-de-materiais/files/2013/07/Disserta%C3%A7%C3%A3o-Simone-Val%C3%A9ria-Ribeiro-vers%C3%A3o-final.pdf>

<b>Tipo</b>	<b>Dimensões (A x L x C)</b>	<b>Uso</b>	<b>Exemplo</b>
<b>Tijolo maciço comum</b>	(5 x 10 x 20) cm	Assentamento de alvenaria semelhante ao tijolo convencional.	
<b>Tijolo maciço com encaixe</b>	(5 x 10 x 21) cm	Assentamento com baixo consumo de argamassa.	
<b>Meio tijolo com encaixe</b>	(5 x 10 x 10,5) cm	Elemento para conectar as juntas e armações sem necessidade de quebras.	
<b>Tijolo com dois furos e encaixe</b>	(5 x 10 x 20) cm (7 x 12,5 x 25) cm (7,5 x 15 x 30) cm	Assentamento a seco, com cola branca ou pasta de cimento. As tubulações hidrossanitárias, elétricas e outras, passam pelos furos.	
<b>Meio tijolo com furos e encaixe</b>	(5 x 10 x 10) cm (7 x 12,5 x 12,5) cm (7,5 x 15 x 15) cm	Elemento para conectar as juntas e armações sem necessidade de quebras.	
<b>Canaleta</b>	(5 x 10 x 20) cm (7 x 12,5 x 25) cm (7,5 x 15 x 30) cm	Empregado em execução de vergas, reforços estruturais, cintas de amarração e passagem de tubulações horizontais.	

## 2.8 Tijolo ecológico de papel impressa

Há tempos são desenvolvidos estudos que avaliam a utilização de novos materiais e tecnologias não convencionais a partir da reciclagem e do aproveitamento de resíduos sob uma perspectiva sustentável, visando buscar soluções para construção civil, com o intuito valorizar os materiais descartados, atribuindo-lhes uma nova condição.

De acordo com Santos (2012) o tijolo ecológico de papel reciclável pode ser construído a partir da mistura de papel e papelão reciclado proveniente do lixo urbano, domiciliar ou resíduo da industrialização de papel e celulose. A sua metodologia dispensa o processo de queima e o seu assentamento é feito da mesma forma que os tijolos de solo-cimento existentes no mercado, ou seja, utilizando-se de argamassa, pasta de cimento ou até mesmo cola branca.

Santos (2012) explica que o tijolo ecológico de papel reciclável pode ser revestido com materiais convencionais, como chapisco, reboco, cerâmica ou pintura.

A Figura 06 apresenta o perfil do tijolo feito por Santos.

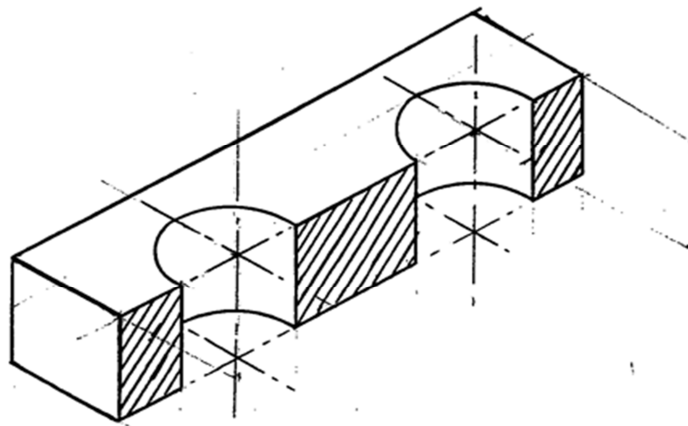


Figura 6: Perfil do tijolo ecológico de papel reciclável. Fonte: Documento de patente Nº PI 1003663-6 A2.



A Tabela 02 compara as características de todos os tijolos descritos na presente dissertação.

Tabela 2: Comparação entre os tijolos cerâmico, solo-cimento e de papel imprensa.

<b>Características</b>	<b>Tijolo cerâmico</b>	<b>Tijolo de solo-cimento</b>	<b>Tijolo de papel imprensa</b>
<b>Escassez de matéria-prima</b>	Maior	Menor	Menor
<b>Alteração na flora durante o processo de extração da matéria-prima</b>	Maior	Menor	-
<b>Necessidade de queima para a fabricação</b>	Maior	-	-
<b>Poluição (gases tóxicos e material particulado)</b>	Maior	-	-
<b>Fragilidade do material</b>	Maior	Menor	Menor
<b>Necessidade de uso de argamassa de assentamento</b>	Maior	Menor	Menor
<b>Geração de entulho durante a execução de instalações elétricas e hidráulicas</b>	Maior	Menor	Menor
<b>Necessidade de revestimento</b>	Maior	Menor	Menor
<b>Custo</b>	Maior	Menor	Menor
<b>Geração de entulho</b>	Maior	Menor	Menor
<b>Disponibilidade no mercado</b>	Maior	Menor	-

### 3. METODOLOGIA

Para elaboração da metodologia foi tomada como base uma pesquisa anterior realizada no Instituto Federal Fluminense (IFF).

O procedimento metodológico consistiu: na caracterização dos materiais empregados; na escolha das proporções utilizadas para confecção dos tijolos; na elaboração dos métodos aplicados a produção dos blocos prensados; na sequência de ensaios para a verificação de suas propriedades quanto ao comportamento mecânico, absorção de água e durabilidade.

#### 3.1 Materiais utilizados

Para confecção dos tijolos foram utilizados os seguintes materiais: cimento Portland com escória de alto forno resistente a sulfatos (CP III RS), cimento Portland de alta resistência inicial (CP V ARI), papel imprensa, argila e água.

### **3.1.1 Cimento Portland**

De acordo com Izquierdo (2011) o cimento pode ser definido como um aglomerante hidráulico produzido pela moagem do clínquer, obtido através da calcinação e clinquerização da mistura de calcário e argila. Existem vários tipos de cimento Portland produzidos no Brasil, diferentes entre si principalmente em função de sua composição.

Para a confecção dos blocos foram empregados os cimentos Portland (CP) III e V, adquiridos respectivamente no comércio local e por meio de doações.

A escolha do cimento com escória de alto forno resistente a sulfatos (CP III RS) está associada à disponibilidade deste aglomerante no mercado e sua frequente utilização em obras de construção local. É um tipo de cimento que apresenta características como impermeabilidade, durabilidade e baixo calor de hidratação, alta resistência à expansão e resistência à sulfatos, sendo recomendado para uso em argamassas, em obras de grande porte e em obras situadas em ambientes agressivos.

O cimento de alta resistência inicial (CP V ARI), apesar da dificuldade de obtenção no mercado local e do custo mais elevado em relação aos outros tipos, foi escolhido pela sua larga aplicação em pesquisas acadêmicas, devido à sua resistência inicial elevada e possibilidade de desforma rápida, o que justifica seu emprego em argamassas e concretos para produção de artefatos de cimento em indústrias de médio e pequeno porte, permitindo uma aceleração no processo produtivo.

### **3.1.2 Papel imprensa**

O papel empregado foi o papel imprensa (jornal), doado pela distribuidora de jornais Folha da Manhã e pela biblioteca do Instituto Federal Fluminense (IFF), ambos localizados na cidade de Campos dos Goytacazes-RJ.

O papel imprensa assim como o papelão, por não passarem por tantas etapas de beneficiamento, possuem fibras vegetais mais longas se comparado ao papel branco, o que contribui para um melhor entrelaçamento das fibras e conseqüentemente maior resistência mecânica. Para produção desses dois tipos de papel são adicionados a pasta de celulose algumas substâncias, tais como: caulim, carbonato de cálcio, cola de breu e sulfato de alumínio (Neves, 2000).

Para a produção de 1000 blocos de tijolo papel reciclável são necessários em torno de 8000 folhas de papel imprensa.

### **3.1.3 Argila**

A argila, adquirida comercialmente em depósito de construção, foi utilizada em uma das proporções com a finalidade de avaliar as possíveis contribuições deste componente.

Segundo a Associação Brasileira de Normas técnicas (ABNT) em sua norma NBR 6502 (ABNT, 1995), as argilas são compostas por partículas coloidais de diâmetro inferior a 0,002 mm, com alta plasticidade quando úmidas e que quando secas, formam torrões dificilmente desagregáveis pela pressão dos dedos. Quimicamente podem ser formadas essencialmente por silicato de alumínio hidratado, ferro e magnésio.

### **3.1.4 Água**

Para a composição das misturas foi utilizada água potável, em diferentes quantidades, proveniente da rede pública de abastecimento da concessionária Águas do Paraíba, no município de Campos dos Goytacazes-RJ.

De acordo com Grande (2003) o teor de umidade é tão importante quanto a porcentagem de cimento empregada, pois exerce forte influência nas características de resistência e de absorção de água.

## **3.2 Processamento das composições**

As proporções produzidas, assim como parte da metodologia, foram norteadas por uma pesquisa anterior realizada no Instituto Federal Fluminense (IFF). Inicialmente foram produzidos cinco tipos diferentes de proporções usando o cimento CP III com as denominações T1a, T2a, T3a, T4a e T5a, utilizando cimento, papel imprensa e água. Os tipos T3a e T5a também apresentam argila em suas composições. Foi feito, ainda, um traço modificado, T3a\*, com adição de 50 gramas de cola branca, a fim de minimizar o surgimento de trincas para blocos pouco hidratados, diante do baixo teor de água no traço T3a.

Na Tabela 03 são apresentados os seis tipos de proporções na sequência cimento (C) : jornal (J) : argila (A) : água (a).

Tabela 3: Tipos de proporções produzidas com cimento CPIII.

Tipos		Proporções (C:J:A:a)
Polpa seca	T1a	1:6:0:4
	T2a	1:6:0:2
	T3a	1:6:1:1
	T3a*	1:6:1:1 +50g de cola branca
Polpa úmida	T4a	3:6:4:0
	T5a	3:6:0:0

As proporções utilizando o cimento CP III serviram para orientar a metodologia de confecção dos blocos, no que diz respeito ao tempo e ao modo de: fragmentação, imersão, secagem, mistura, moldagem e cura.

Após avaliação dos resultados encontrados, a pesquisa prosseguiu utilizando o CP V apenas com as proporções T1a, T2a, T4a e T5a, que passaram a ser chamados, então, de T1b, T2b, T3b e T4b.

Na Tabela 04 são apresentados os quatro tipos de proporções na sequência cimento (C) : jornal (J) : argila (A) : água (a).

Tabela 4: Tipos de proporções produzidas com cimento CPV.

Tipo		Proporção (C:J:A:a)
Polpa seca	T1b	1:6:0:4
	T2b	1:6:0:2
Polpa úmida	T3b	3:6:3:0
	T4b	3:6:0:0

Os tipos T1b e T2b são chamados de polpa seca, pois a massa de papel imprensa é empregada triturada após secagem em estufa durante 48 horas e a água é adicionada durante a mistura de todos os componentes. Já os traços T3b e T4b são chamados de polpa úmida, uma vez que o papel imprensa é empregado com água residual do peneiramento da

massa após passar por triturador industrial, sem a etapa de secagem em estufa, não requerendo adição de água na mistura dos componentes.

A diferença entre os tipos T1b e T2b é o teor de água e entre os traços T3b e T4b é a presença ou não da argila. A umidade presente na polpa é cerca de 75%, equivalente à quantidade de água de amassamento adicionada no tipo polpa seca T1b.

Preferiu-se utilizar o termo “proporção” em vez de “traço”, por este último estar relacionado às proporções em massa e não em volume como o empregado aqui.

Durante o período da presente pesquisa foram produzidos 162 tijolos para realização de ensaios.

### 3.3 Processo de produção dos blocos prensados

A Figura 07 apresenta um fluxograma com todas as etapas do processo de produção dos blocos prensados para as massas de papel imprensa dos tipos polpa seca e úmida.

A descrição de cada etapa do processamento está apresentada a seguir.

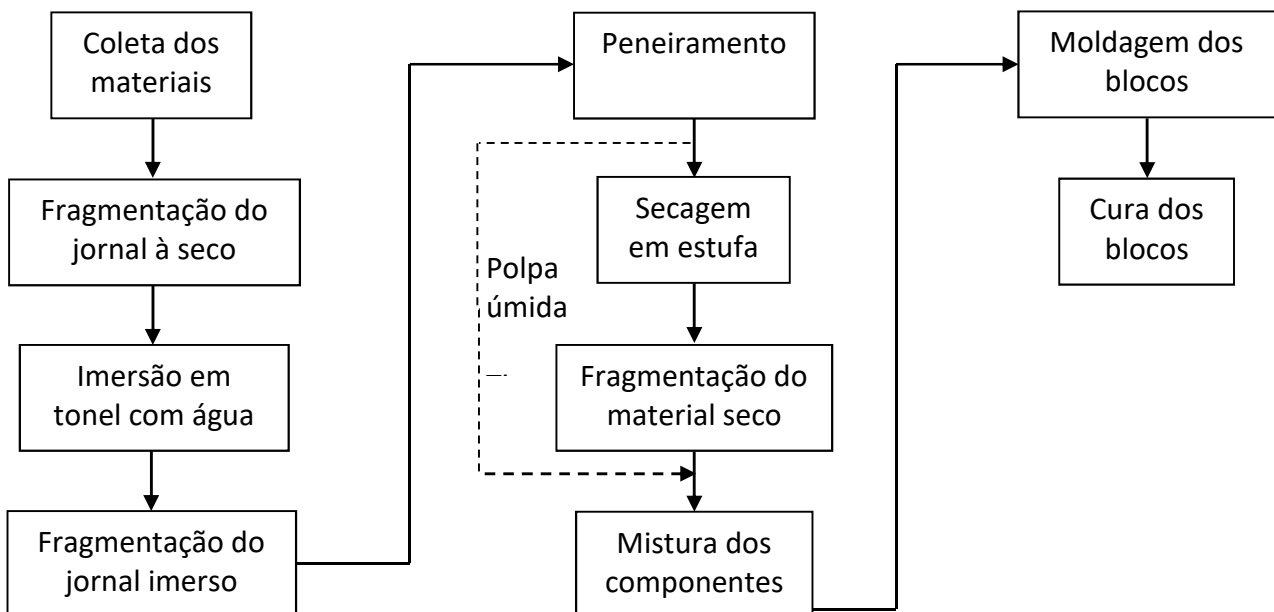


Figura 7: Fluxograma do processo de produção dos blocos de tijolos de papel imprensa. Fonte: Arquivo pessoal.

### 3.3.1 Coleta dos materiais

A primeira etapa consistiu na coleta do papel imprensa para a preparação dos traços (Figura 8). Inicialmente o papel foi coletado na biblioteca do Instituto Federal Fluminense e posteriormente na distribuidora de jornais Folha da Manhã, ambos localizados na cidade de Campos dos Goytacazes-RJ.



Figura 8: Papel imprensa coletado. Fonte: Arquivo pessoal.

### 3.3.2 Fragmentação do papel imprensa a seco

O papel imprensa foi triturado em uma fragmentadora de papel da marca HSM (Figura 9). O papel foi posicionado na parte superior da fragmentadora empurrado levemente para as lâminas de corte, que o fragmentam e depois todo material é depositado no cesto coletor.



(a)



(b)

Figura 9: Fragmentação do papel reciclável: (a) fragmentadora; (b) processo de fragmentação. Fonte: Arquivo pessoal.

### 3.3.3 Imersão do papel imprensa fragmentado em tonel com água

Para esta etapa, o produto obtido após fragmentação, foi colocado em um tonel, com capacidade de 70l, até enchê-lo e depois o material foi coberto com água, onde permaneceu durante 48 horas, até atingir o estágio de desmanche ao toque (Figura 10).



Figura 130: Papel imprensa fragmentado imerso em tonel com água. Fonte: Arquivo pessoal.

### 3.3.4 Fragmentação do papel imprensa imerso

Para a obtenção da massa de papel imprensa, o produto oriundo da etapa de imersão foi colocado em liquidificador industrial basculante da marca Bermar, modelo BM 40 e capacidade de 25 litros, junto com a água residual do tonel e triturado durante 2 minutos (Figura 11).



Figura 141: Liquidificador industrial. Fonte: Arquivo pessoal.

### 3.3.5 Peneiramento

O material após a trituração foi, peneirado, tentando-se retirar o excesso de água, pressionando-o manualmente. Para a confecção dos traços úmidos, utilizou-se a massa resultante desse peneiramento. A mesma era colocada em sacos fechados para impedir a evaporação da água da composição. Na Figura 12 tem-se o processo de peneiramento e a massa úmida obtida após a realização deste.





(a)



(b)

Figura 152: Processo de peneiramento: (a) material na peneira; (b) massa úmida resultante. Fonte: Arquivo pessoal.

Para a confecção dos traços secos, a massa resultante do peneiramento era colocada na estufa a 110 °C durante 48 horas até a secagem total do material, que devido ao entrelaçamento das fibras vegetais contidas no papel durante a evaporação da água, apresentava aspecto floculado (Figura 13).



(a)

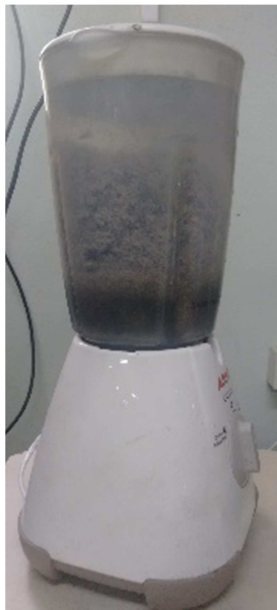


(b)

Figura 13: Preparação da massa seca de papel impressa: (a) massa úmida na estufa; (b) material obtido após secagem total. Fonte: Arquivo pessoal.

### 3.3.7 Fragmentação do material seco

Depois da secagem em estufa, os fragmentos secos floculados, eram batidos em liquidificador doméstico no modo pulsar em um total de 10 pulsos, para obtenção de um material bem particulado (Figura 14).



(a)



(b)

Figura 164: Fragmentação do material seco: (a) trituração em liquidificador doméstico; (b) material particulado obtido. Fonte: Arquivo pessoal.

### 3.3.8 Mistura dos componentes

Para a etapa de mistura, os materiais foram empregados em quantidades proporcionais a partir da adoção de um recipiente cilíndrico com volume correspondente a  $1.570,8 \text{ cm}^3$ . Com o intuito padronizar a quantidade de material empregado em cada mistura foi utilizada balança eletrônica de precisão 0,5 g (Figura 15).

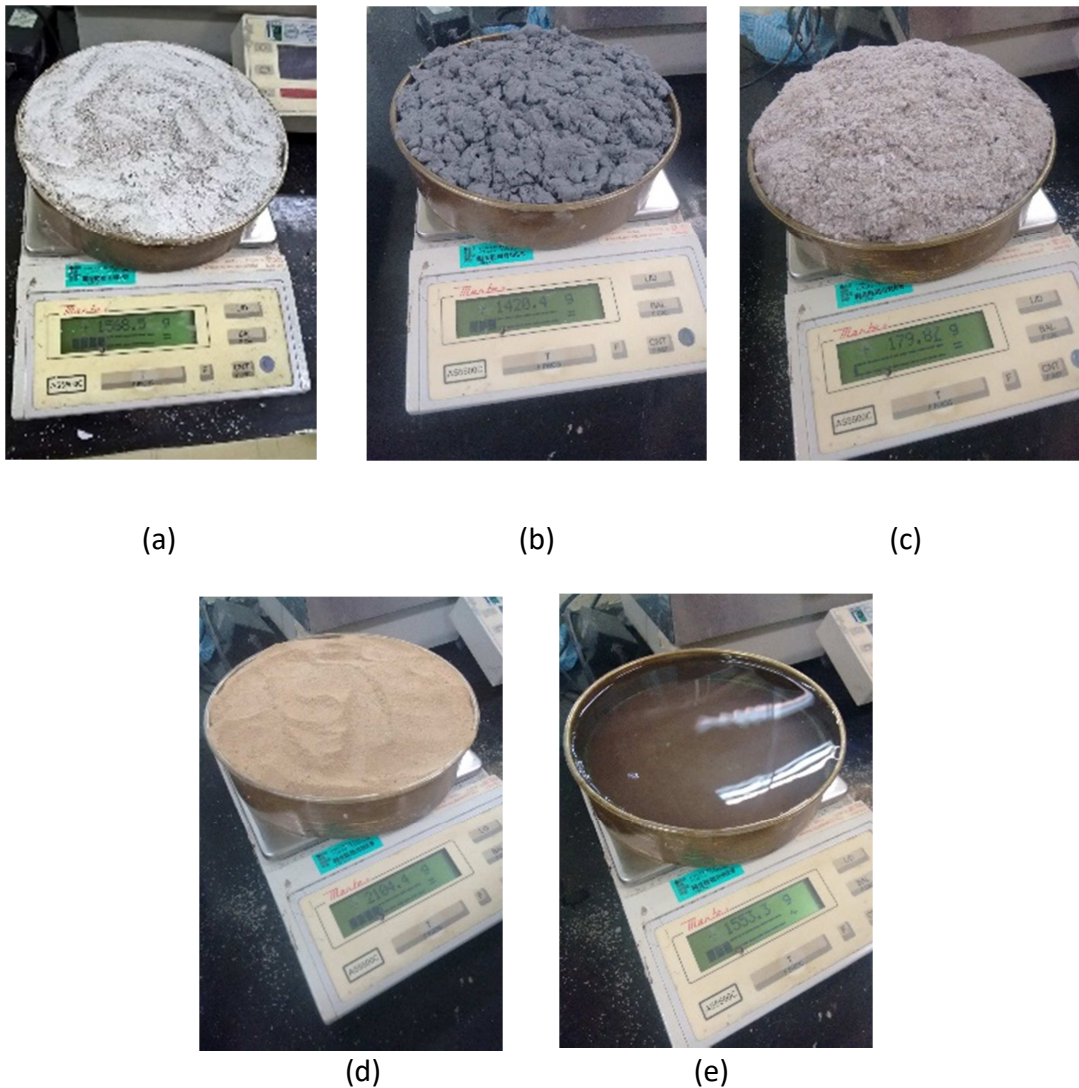


Figura 15: Pesagem dos componentes da mistura: (a) cimento; (b) massa úmida de papel imprensa; (c) massa seca de papel imprensa; (d) argila; (e) água. Fonte: Arquivo pessoal.

Após a pesagem os materiais eram colocados em uma bateadeira industrial planetária de marca Amadio e modelo 20LA com capacidade de 20 litros (Figura 16). A bateadeira misturava o material durante 2 ciclos de 4 minutos e entre os ciclos o material era misturado manualmente durante 1 minuto. Para uma maior homogeneização da mistura foram colocados primeiramente o cimento, a argila, o papel imprensa e depois foi acrescentada a água.

A mistura obtida era imediatamente levada até a prensa manual para a moldagem dos blocos.



(a)



(b)

Figura 16: Mistura dos componentes: (a) bateadeira industrial utilizada; (b) homogeneização. Fonte: Arquivo pessoal.

### 3.3.9 Moldagem dos blocos

Foi utilizada a prensa manual da marca Maqblok e modelo GPT/3, com capacidade de produção de dois tijolos prismáticos simultaneamente (Figura 17) para a confecção dos blocos vazados de dimensões 20x10x5 cm, contendo dois furos de 5 cm de diâmetro e área útil de 80%, seguindo as prescrições da NBR 8491 (ABNT, 2012).



Figura 17: Prensa manual utilizada. Fonte: Arquivo pessoal.

A mistura era colocada diretamente nos moldes da prensa e compactada manualmente. Em seguida era realizada a prensagem, levando-se a alavanca até a posição horizontal, correspondente ao ponto de máxima compactação da mistura, para a obtenção de blocos de altura constante. Por conta da fragilidade dos blocos, a retirada das formas era feita com muita cautela e, imediatamente, eram colocados em recipientes para a realização da cura. Na Figura 18 tem-se o processo de prensagem que inclui a colocação da mistura na forma, a compactação manual, o início e o fim do curso da alavanca, a abertura da forma e o produto obtido.

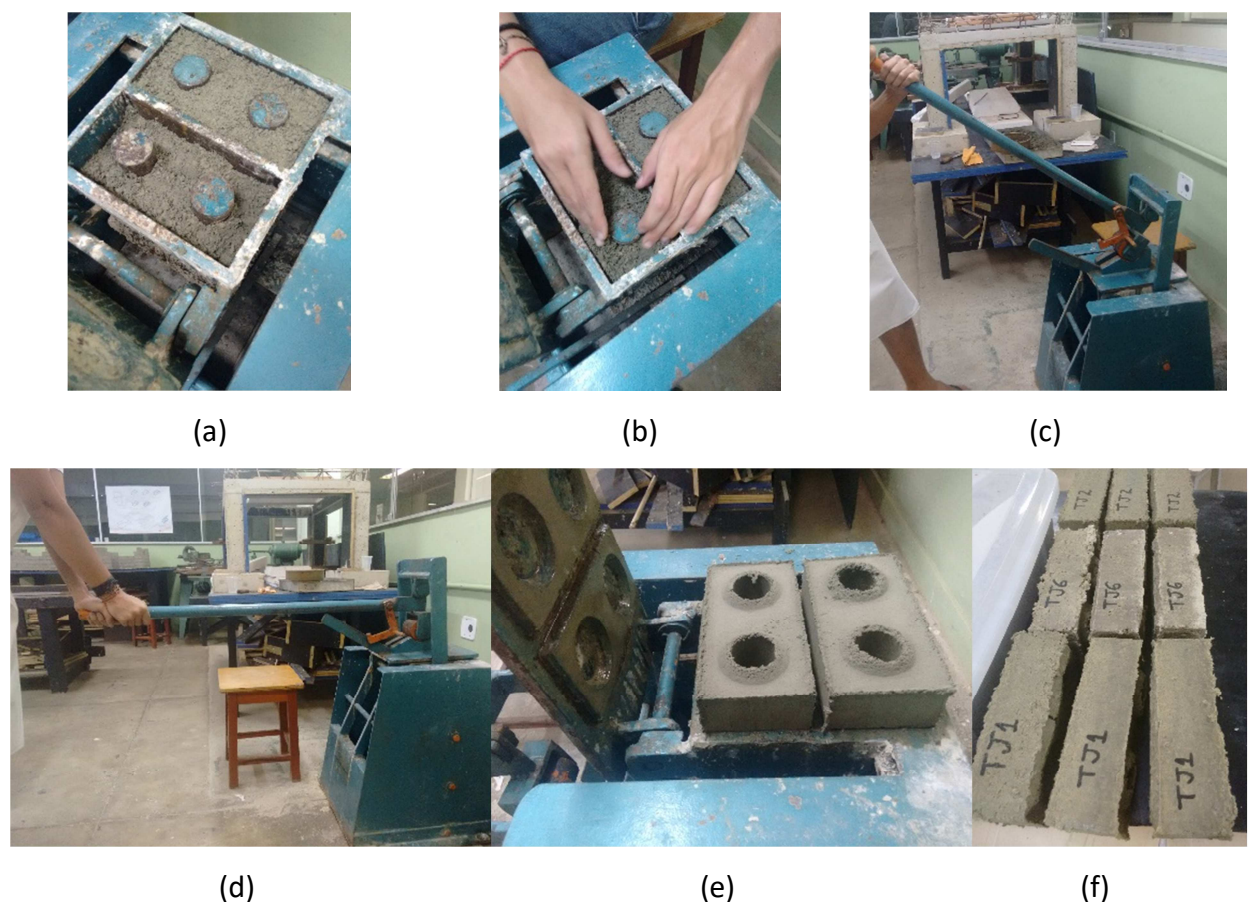


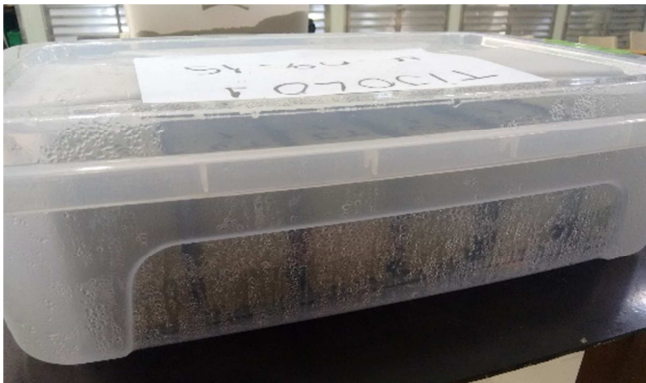
Figura 18: Mistura na prensa: (a) colocação na forma; (b) compactação manual; (c) início do curso da alavanca; (d) fim do curso da alavanca; (e) retorno da alavanca com abertura da forma; (f) tijolos produzidos. Fonte: Arquivo pessoal.

Para minimizar problemas de qualidade de produção, inerente à natureza do processo manual de confecção dos blocos, buscou-se não alterar os operadores envolvidos em cada um dos processos, inclusive no manuseio da prensa. O uso da prensa manual

possibilita o desenvolvimento de materiais e sistemas de construção mais sustentáveis, permitindo que estes sejam preparados no próprio canteiro de obras.

### 3.3.10 Cura dos blocos

Como sugerido por Nolasco (1993), empregou-se a cura seca (secagem sem uso de água), dispensando a cura em câmara úmida, por conta da umidade retida pelas fibras vegetais presentes no papel utilizado na confecção dos blocos. Os blocos eram mantidos em recipientes fechados até a realização dos ensaios, conforme pode ser observado na Figura 19.



(a)



(b)

Figura 179: Cura seca dos blocos: (a) recipiente fechado; (b) blocos no recipiente. Fonte: Arquivo pessoal.

Na Figura 20 são mostrados os quatro tipos de tijolos obtidos após a realização do processo de cura.

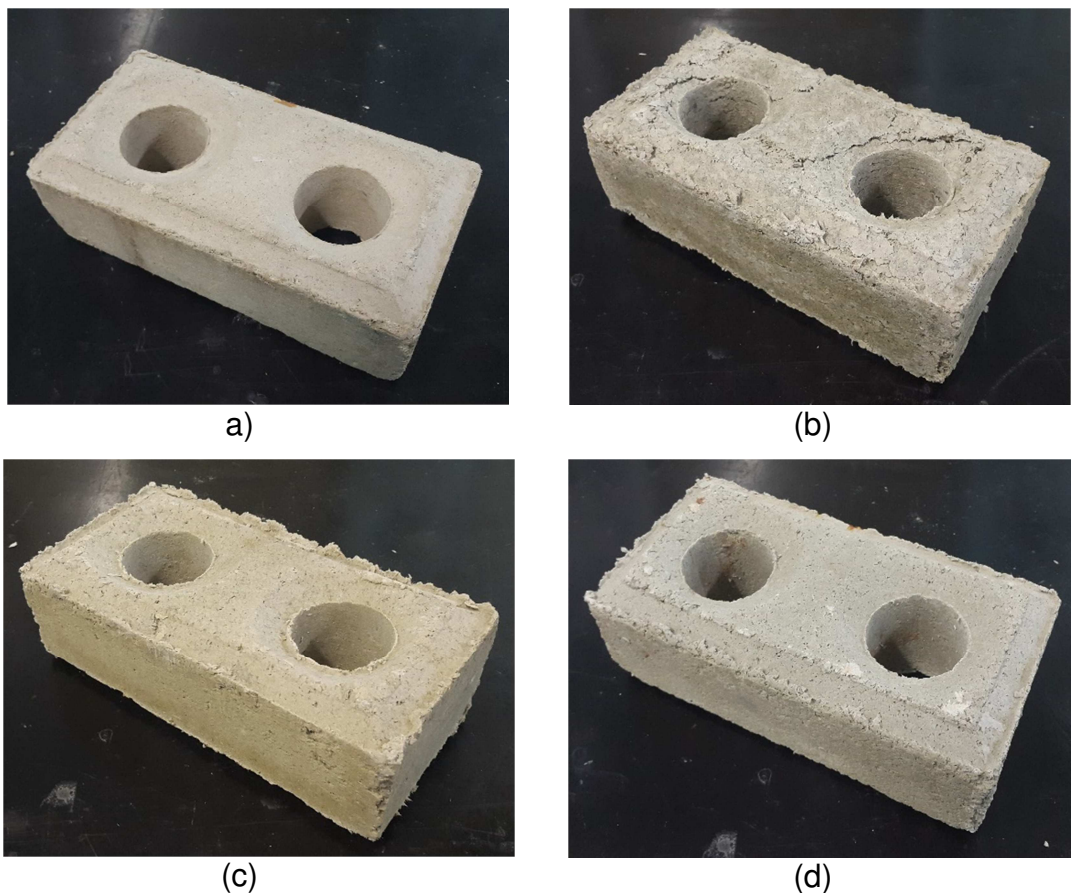


Figura 20: Produto final: (a) T1b; (b) T2b; (c) T3b; (d) T4b. Fonte: Arquivo pessoal.

## 6. CARACTERIZAÇÃO PRÉVIA DO MATERIAL

Os parâmetros de avaliação prévia do material foram, a determinação da massa específica do material particulado e da polpa úmida utilizando picnômetro a gás AccuPyc 1340 (Micrometrics®) e a caracterização morfológica do compósito, através da determinação da energia dispersiva de raios X, equipamento acoplado ao Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV).

### 6.1 Determinação da massa específica do material particulado e da polpa úmida

As massas específicas do material particulado e da polpa úmida de papel imprensa, ambos produtos das etapas de trituração, foram determinadas a partir de ensaios realizados utilizando o picnômetro a gás AccuPyc 1340 (Micrometrics®) do Laboratório de Estruturas e Materiais da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

A partir da variação de pressão do gás em um volume previamente calibrado, encontrou-se o volume da massa (conhecida) da amostra. O procedimento foi repetido cinco vezes, permitindo a obtenção da massa específica média do material.

Para o material particulado foi encontrada massa específica média de  $1,61 \text{ g/cm}^3$  e para a polpa úmida foi encontrado o valor médio de  $1,58 \text{ g/cm}^3$ . Ressalta-se que, apesar do material ser chamado de polpa úmida, a realização do ensaio só foi possível após a secagem em estufa. Observa-se que os valores aqui encontrados são próximos aos encontrados por Siqueira (2014) para fibras de eucalipto e de pinho que ficaram entre  $1,60 \text{ g/cm}^3$  e  $1,68 \text{ g/cm}^3$ .

## **6.2 Caracterização morfológica do compósito**

A composição química dos blocos de tijolos foi determinada por meio da escolha de um ponto definido em cada amostra representativa dos tipos confeccionados, através da determinação da energia dispersiva de raios X, equipamento acoplado ao Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV).

Na Figura 21 têm-se as micrografias dos quatro compósitos avaliados. Observa-se um material mais fibroso entrelaçado nos tipos secos Figuras 21(a) e 21(b) enquanto há um empelotamento do material nos tipos úmidos Figuras 21(c) e 21(d), associado ao modo de incorporação do papel na mistura, sem passar novamente pelo processo de fragmentação. As fibras apresentaram comprimento médio de 0,6 mm.



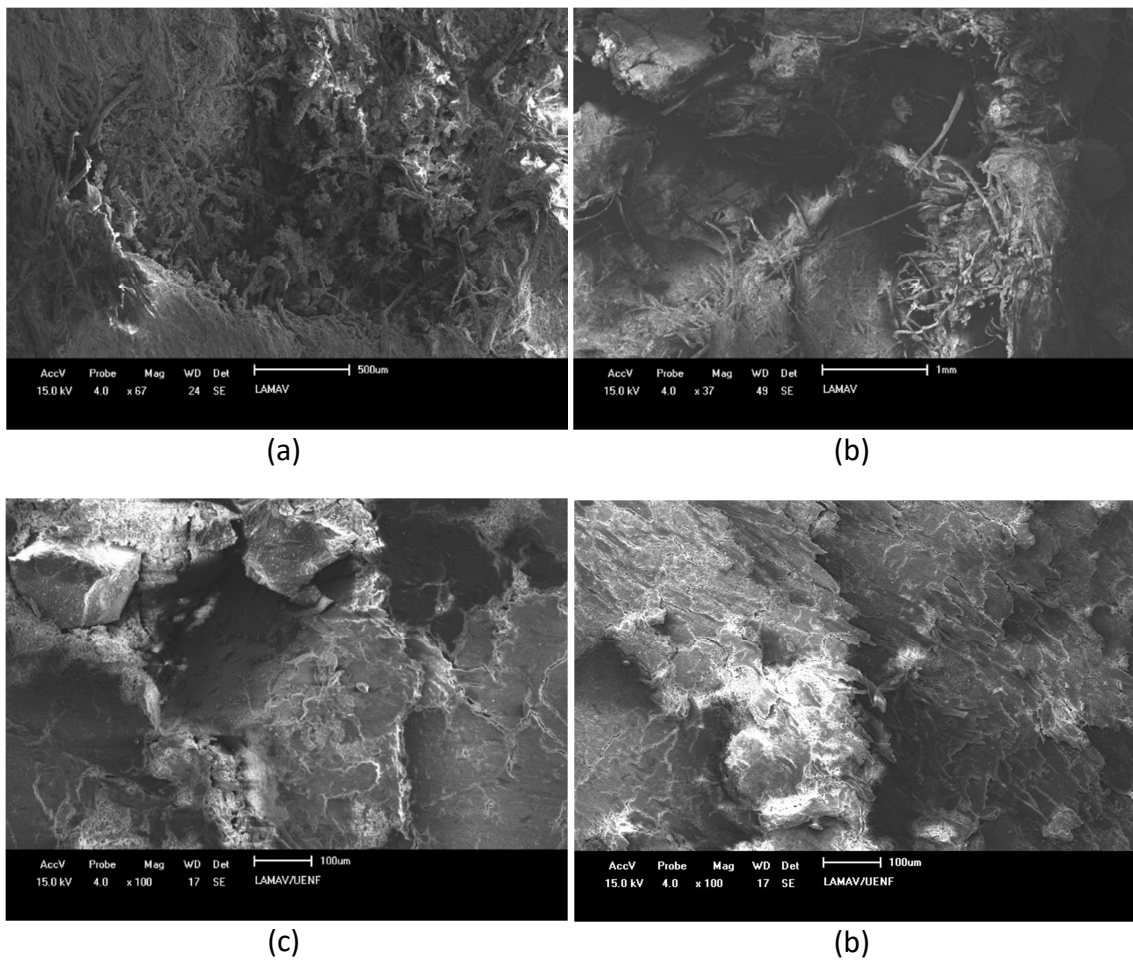


Figura 21: Micrografias dos compósitos: (a) T1b; (b) T2b; (c) T3b; (d) T4b. Fonte: Arquivo pessoal.

Nas Figuras 22, 23, 24 e 25 são apresentados os espectros de energia dispersiva de raio X de cada amostra dos compósitos. A caracterização morfológica apontou a existência de Magnésio (Mg) e Sódio (Na) nos compósitos. A Platina (Pt) encontrada está associada à metalização da amostra como procedimento do ensaio para o MEV.

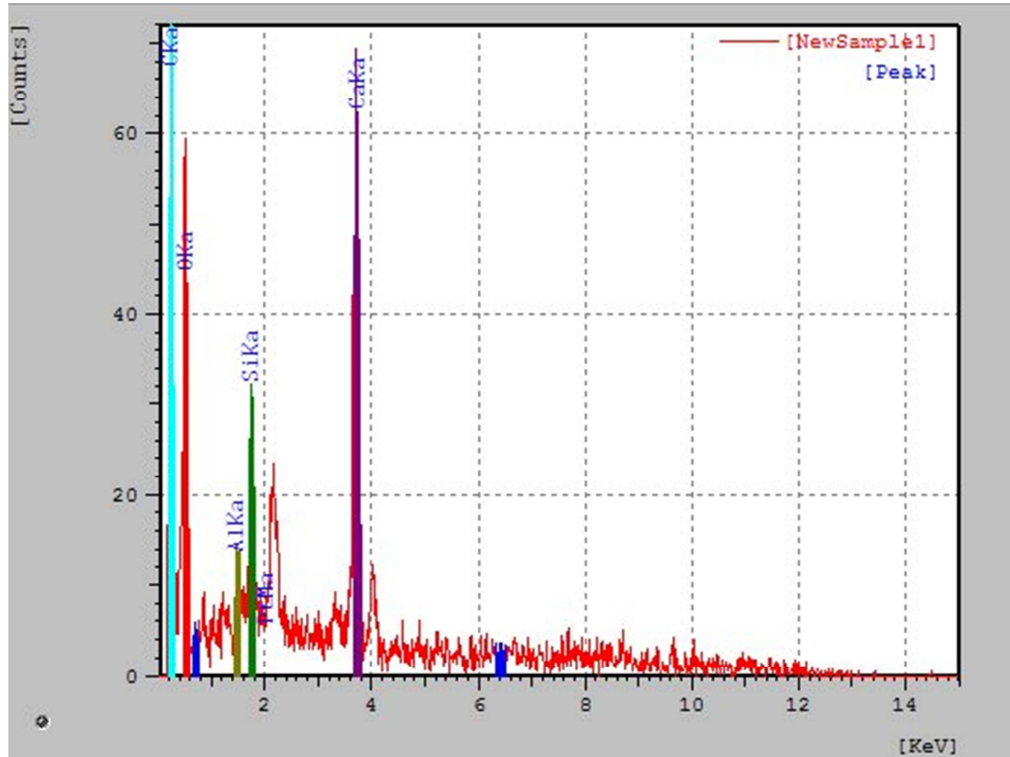


Figura 182: Espectro de energia dispersiva de raio X do compósito T1b. Fonte: Arquivo pessoal.

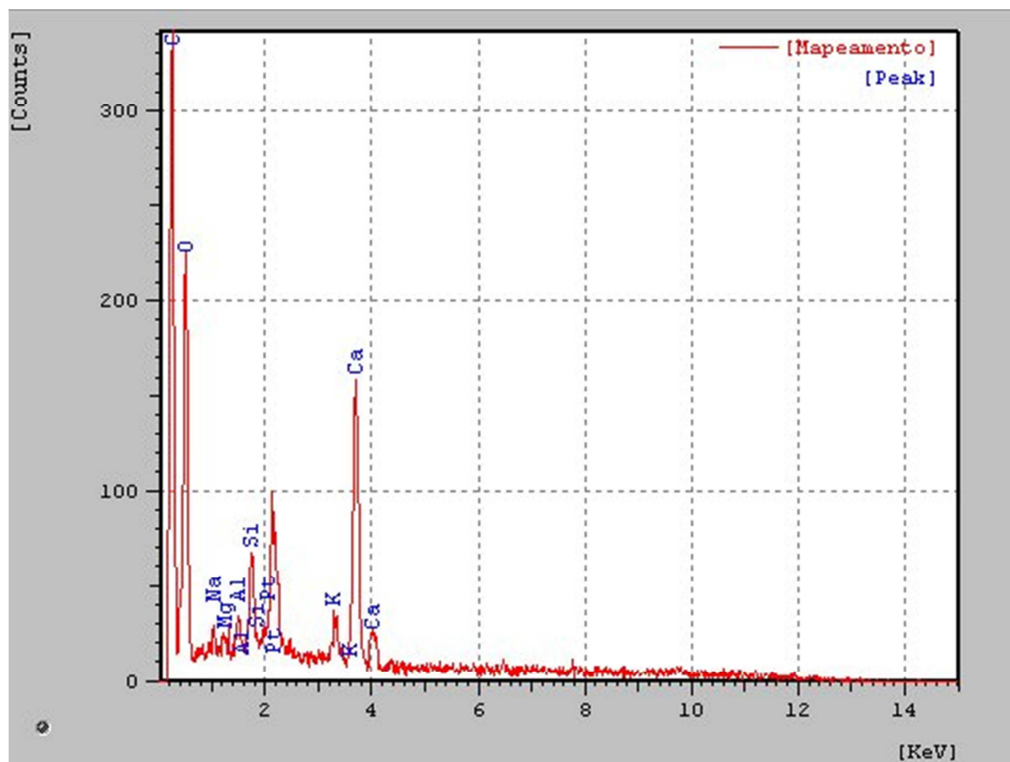


Figura 193: Espectro de energia dispersiva de raio X do compósito T2b. Fonte: Arquivo pessoal.

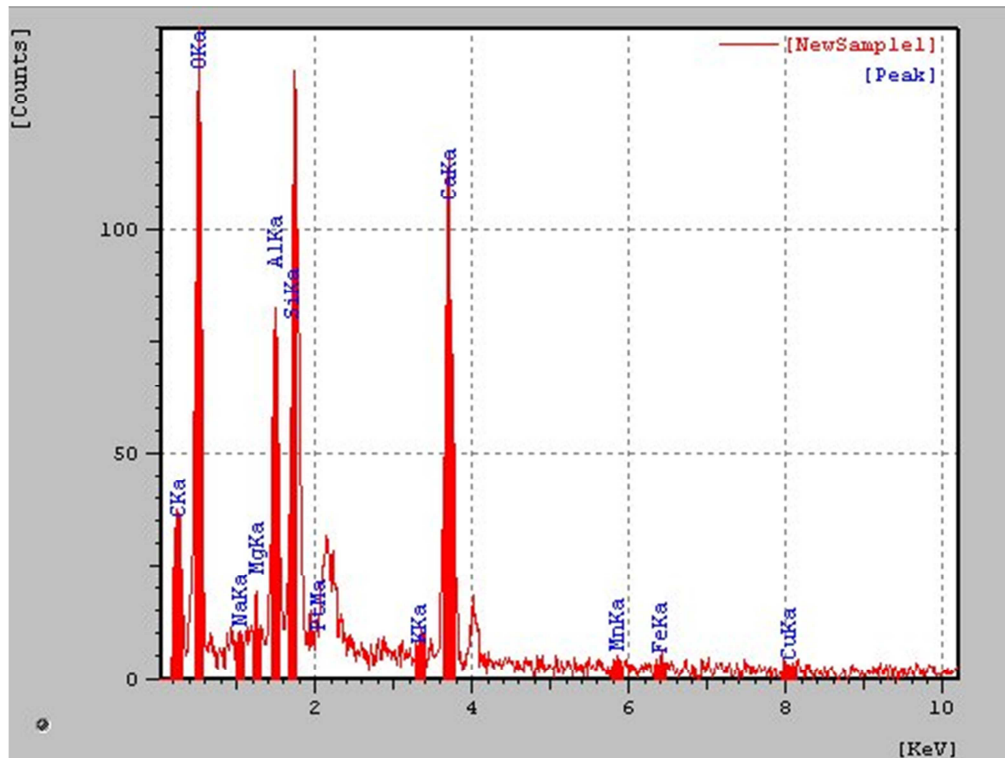


Figura 204: Espectro de energia dispersiva de raio X do compósito T3b. Fonte: Arquivo pessoal.

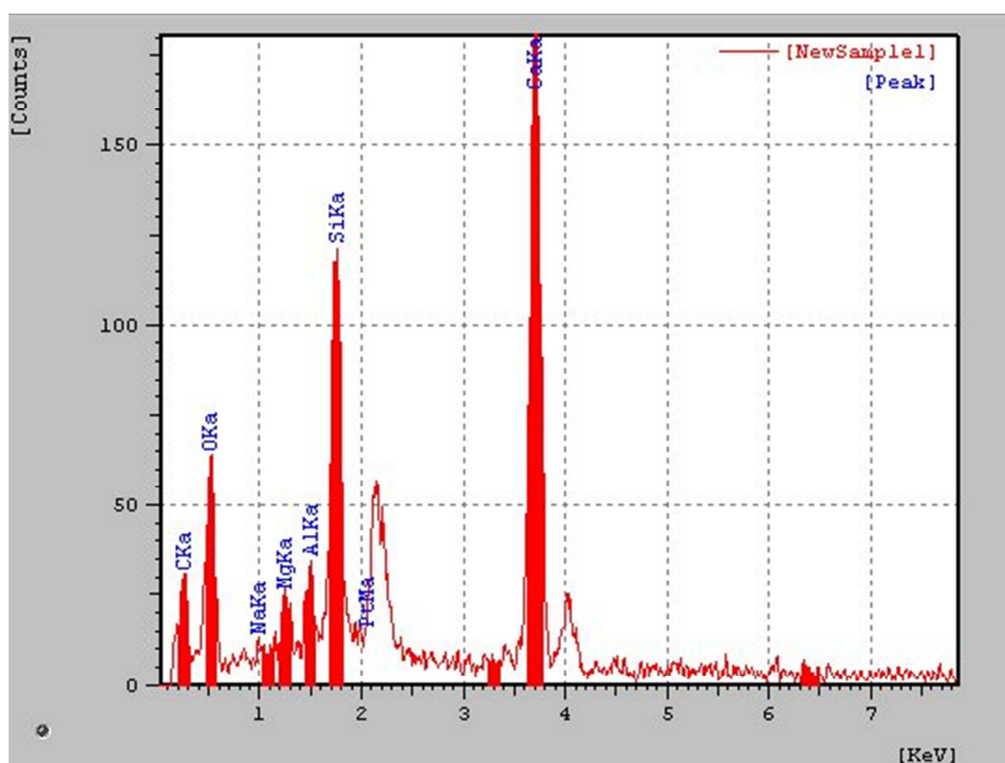


Figura 215: Espectro de energia dispersiva de raio X do compósito T4b. Fonte: Arquivo pessoal.

O ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais Avançados da UENF.

## 7. CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES DOS BLOCOS

Os parâmetros de avaliação dos blocos confeccionados foram, a análise dimensional, a determinação da massa específica, a resistência mecânica individual e de prisma, a capacidade de absorção de água, a durabilidade por molhagem e secagem e o desgaste utilizando *slake durability*.

### 7.1 Programação dos ensaios

Após a apresentação de todos os ensaios realizados para verificação das propriedades do material estudado, mostra-se na Tabela 5 a programação de ensaios para os tijolos feitos com cimento CP III e CPV, contendo a quantidade de blocos ensaiados em cada uma das idades.

Os ensaios com programação de realização única ou início aos 28 dias justifica-se pela idade mínima apropriada para utilização dos blocos em obras.

Tabela 5: Programação dos ensaios para os blocos feitos com CP III e CP V.

Ensaio	Procedimento	Idades (dias)	Nº de blocos por traço
		CP III CP V	
Análise dimensional dos blocos	NBR 8491	-	3
		28	
Resistência à compressão dos blocos	NBR 8492	14 e 28	3
		7, 14 e 28	
Resistência à compressão dos prismas	NBR 8215	-	9
		28	
Absorção de água	NBR 8492	-	2
		28	
Durabilidade por molhagem e secagem	NBR 13554	-	3
		28	
Desgaste utilizando slake durability	ASTM D4644	-	2
		28	

## 7.2 Análise dimensional dos blocos

Devido à inexistência de normas específicas para o material estudado e em virtude da similaridade de tipo e dimensões dos tijolos ecológicos de papel imprensa com os tijolos de solo-cimento, utilizou-se a NBR 8491 (ABNT, 2012) na realização da análise dimensional dos blocos.

Seguindo as recomendações descritas na norma, foram controlados os aspectos visuais dos blocos, os mesmos devem apresentar arestas vivas sem defeitos sistemáticos como fissuras, fraturas ou outras patologias que possam comprometer seu assentamento, sua resistência e sua durabilidade.

As dimensões nominais dos blocos são de 200 mm x 100 mm x 50 mm (comprimento, largura e altura). Segundo a norma NBR 8491 (ABNT, 2012) a amostra ensaiada deve satisfazer as tolerâncias permitidas nas dimensões nominais dos tijolos de  $\pm 1,00$  mm para comprimento, largura e altura.

Como o modelo de tijolo produzido foi do tipo com furos, estes devem ter eixo perpendicular à superfície de assentamento, a espessura mínima das paredes no seu entorno deve ser de 25 mm e a distância mínima entre os dois furos de 50 mm. Conforme croqui apresentado na Figura 26.

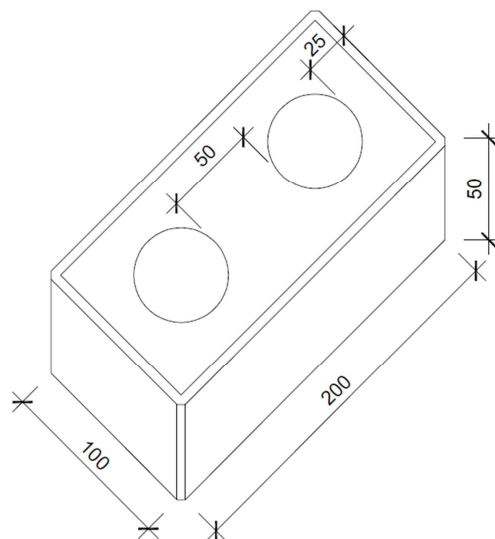


Figura 26: Geometria dos tijolos de papel imprensa. Fonte: Arquivo pessoal.

Para determinação do comprimento, largura, altura e diâmetro dos furos dos blocos foram realizadas três determinações em pontos distintos de cada face. Para isso foi usado paquímetro metálico com graduação de 0,05 mm. A dimensão final foi obtida pela média dessas determinações.

A avaliação dimensional dos blocos foi realizada em 3 tijolos de cada tipo, feitos com cimento CPV, no Laboratório de Resistência dos Materiais do IFF.

### **7.3 Ensaio para determinação da massa específica aparente dos tijolos**

As massas específicas aparentes dos tijolos foram determinadas aos 14 e 28 dias de idade. Para tal, foram obtidas as dimensões dos tijolos a partir da média de 3 leituras feitas em cada direção e da média das dimensões correspondentes dos tijolos pertencentes ao mesmo tipo. Determinaram-se as massas em balança de precisão e obteve-se sua razão com os volumes calculados com as dimensões definidas.

### **7.4 Ensaio de resistência à compressão individual**

Pelos motivos já expostos no item 7.2, os ensaios de resistência a compressão foram regidos pela NBR 8492 (ABNT, 2012) de tijolos de solo-cimento.

A norma sugere a serragem do bloco ao meio de modo perpendicular à sua maior dimensão e a superposição das duas metades, sendo ligadas com uma camada fina de cimento, de 2 mm à 3 mm de espessura. Para regularização das superfícies dos blocos, deve-se usar uma retífica ou realizar o capeamento com pasta de cimento de espessura máxima de 3 mm a fim de evitar a concentração de tensões durante o ensaio, o que pode propiciar a queda da resistência. Após o endurecimento do material do corpo de prova, deve-se prosseguir com imersão em água durante um tempo mínimo de 6 h.

Os valores individuais de resistência à compressão simples são encontrados a partir da equação a seguir:

$$f = \frac{F}{S} \quad (1)$$

sendo:

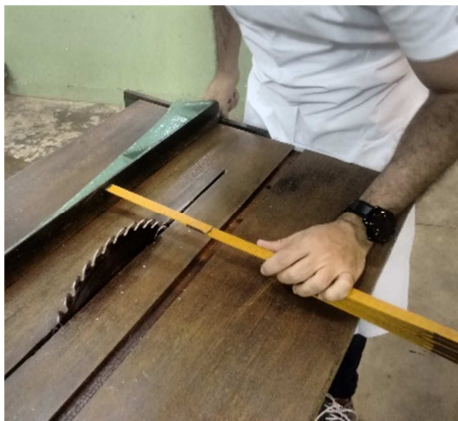
$f$  o valor da resistência à compressão simples, em MPa;

$F$  a carga máxima observada durante o ensaio, em N;

$S$  a área da face de trabalho, em mm<sup>2</sup>.

A NBR 8491 (ABNT, 2012) define como indicativo de controle de qualidade dos blocos de solo-cimento, os limites mínimos de 1,7 MPa e de 2,0 MPa, respectivamente, para os valores individuais e médios de resistência a compressão.

Para o corte dos blocos foi utilizada serra circular com disco diamantado de diâmetro 200 mm para corte a seco (Figura 27). Nesse processo os blocos não apresentaram problemas quanto ao corte na serra.



(a)



(b)

Figura 27: Corte a seco: (a) serra circular empregada; (b) serragem de bloco. Fonte: Arquivo pessoal.

A pasta para ligação das metades dos tijolos e para a realização dos capeamentos foi feita com cimento e água na proporção 2:1. Usou-se uma fita de papel para servir de referência de nivelamento durante o preenchimento com a pasta de cimento. Depois, as superfícies capeadas foram lixadas a fim de planificar e deixar as faces paralelas. Na Figura

28 apresenta-se a preparação para o ensaio de resistência à compressão, apresentando a ligação das metades dos blocos e a realização do capeamento<sup>6</sup>.

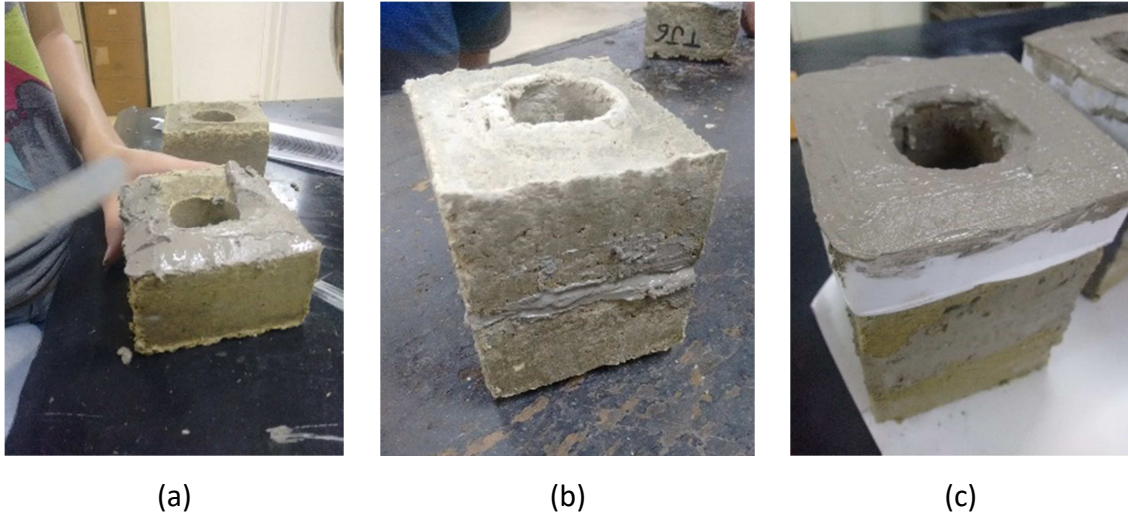


Figura 28: Preparação do corpo de prova para ensaio de compressão: (a) aplicação da pasta; (b) assentamento; (c) capeamento da superfície. Fonte: Arquivo pessoal.

A etapa de imersão em água durante 6h sugerida pela norma não foi levada em consideração por conta do processo de cura a seco que foi adotado.

Os ensaios para avaliação da resistência mecânica foram realizados no Laboratório de Resistência dos Materiais do IFF para os blocos feitos com CP III utilizando uma prensa hidráulica da marca Soiltest modelo Versa tester e no Laboratório de Estruturas da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) para os blocos feitos com CP V foi utilizada uma prensa automática da marca Shimadzu e modelo UH-F500kNI, admitindo velocidade de carregamento de 1 mm/min. Na Figura 29 tem-se as prensas utilizadas para a realização dos ensaios.

---

<sup>6</sup> Capeamento consiste na colocação de uma fina camada de pasta de cimento ou gesso a fim regularizar as faces dos blocos contribuindo para diminuição das concentrações de tensões durante a realização do ensaio.





(a)



(b)

Figura 29: Pressas utilizadas: (a) prensa hidráulica para os blocos feitos com CP III; (b) prensa automática para os blocos feitos com CP V durante ensaio de resistência a compressão de bloco. Fonte: Arquivo pessoal.

Para realização do ensaio foram preparados 3 tijolos de cada proporção, com os cimentos CPIII e CPV para serem ensaiados aos 7, 14 e 28 dias, conforme descrito no item 7.1.

Em todos os casos buscou-se verificar a evolução da resistência ao longo das idades para uma mesma proporção e fazer um comparativo entre as proporções, além de analisar os limites de resistência para utilização dos blocos impostos pela NBR 8491 (ABNT, 2012).

Na figura 30 têm se algumas etapas do ensaio de resistência à compressão individual. Na figura 30(a) tem-se um tijolo durante o ensaio na prensa automática. Em 30(b) visualiza-se o início da propagação de fissura vertical no tijolo. Em 30(c) apresenta-se um tijolo com ruptura por esmagamento, evidenciado no tipo T2b, por conta de seu comportamento dúctil relacionado ao teor mais elevado de papel e menor de água. Na Figura 30(d) tem-se um modelo de ruptura com destacamento de face.

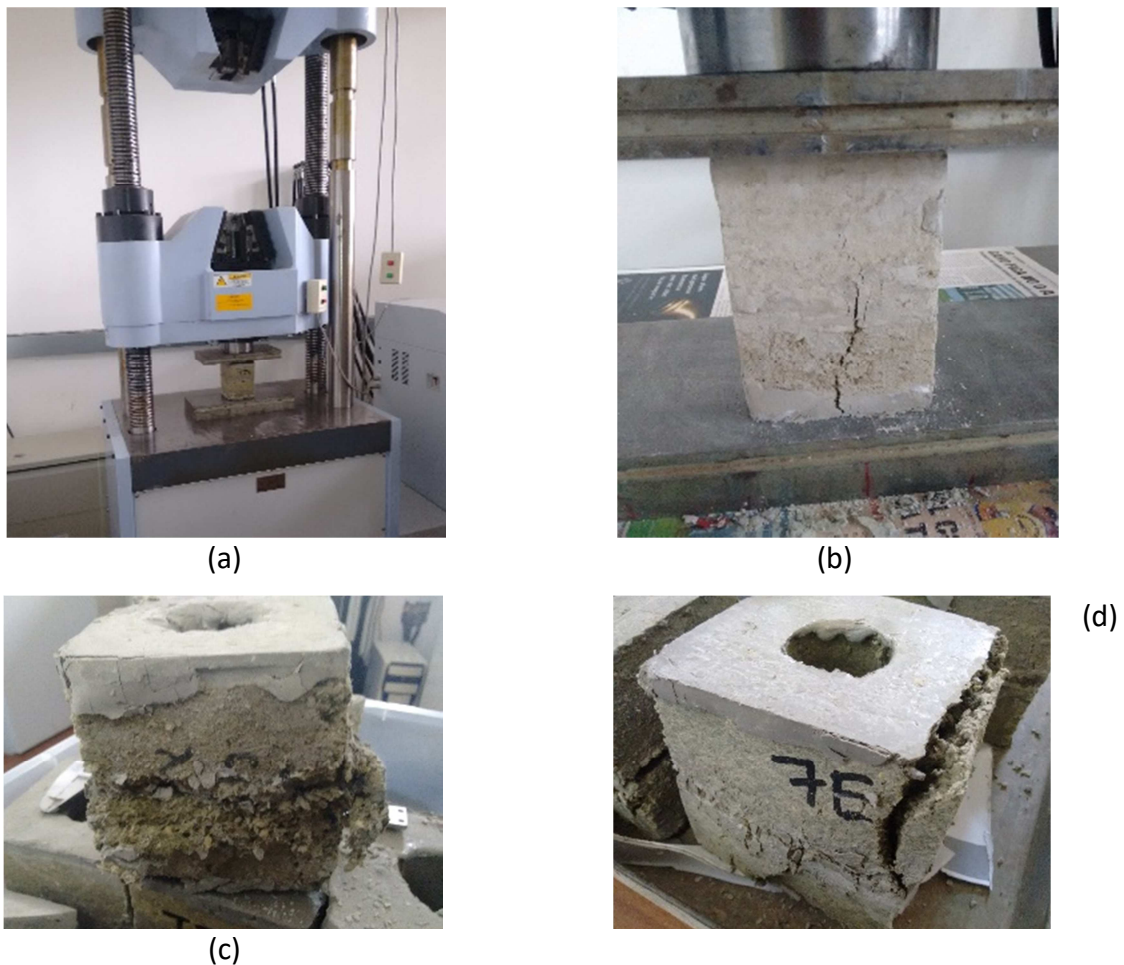


Figura 30: Ensaio de resistência à compressão individual: (a) tijolo na prensa automática; (b) início da formação de fissura vertical; (c) esmagamento (d) destacamento de face. Fonte: Arquivo pessoal.

Apesar do cimento CP V não apresentar característica de desenvolvimento lento de resistência, mas sim estabilização dessa resistência em curto período de tempo, a avaliação do comportamento mecânico dos blocos em várias idades foi realizada para permitir, também, um maior conhecimento do comportamento do material empregado com o passar do tempo.

### 7.5 Ensaio de resistência à compressão dos prismas

O prisma consiste em um corpo de prova composto por três blocos inteiros, assentados e capeados com pasta de cimento.

Para determinação dos valores de resistência à compressão dos prismas foi utilizada a priori a expressão (1), a mesma empregada para o caso dos tijolos individuais.

Este ensaio foi proposto como uma complementação da análise do comportamento dos blocos individualmente, buscando avaliar o comportamento do conjunto, através da medição da eficiência, relacionando a resistência à compressão do prisma com a resistência à compressão do bloco, através da equação (2)

$$\eta = \frac{f_p}{f_b} \quad (2)$$

em que:

$\eta$  é a eficiência;

$f_p$  é a resistência à compressão do prisma, em MPa;

$f_b$  é a resistência à compressão do bloco, em MPa.

Como a norma de blocos de solo-cimento não menciona esse tipo de ensaio utilizou-se a NBR 8215 (ABNT, 1983), que prescreve a realização do ensaio em prismas de blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural.

Os ensaios para avaliação da resistência mecânica dos prismas também foram realizados no Laboratório de Estruturas da UENF utilizando a mesma prensa do ensaio de resistência à compressão dos blocos, com velocidade de carregamento de 1 mm/min.

Na Figura 31 ilustra-se o ensaio de resistência à compressão do prisma.

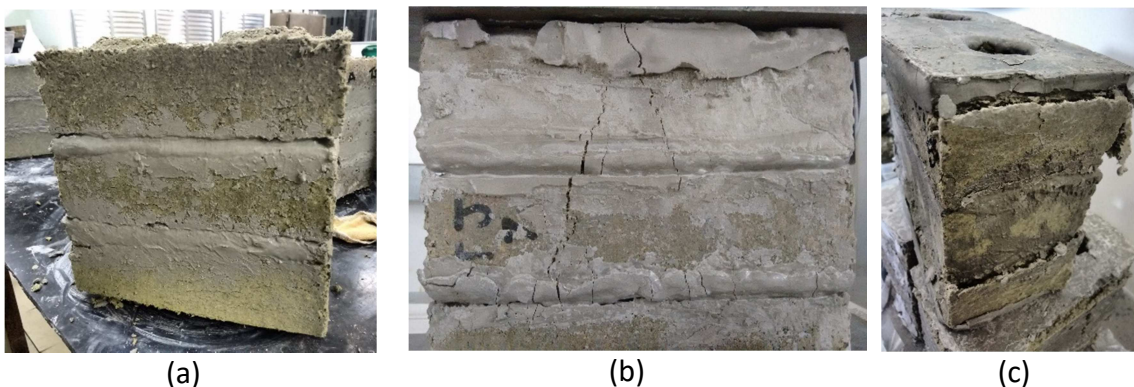


Figura 31: Ensaio de resistência à compressão de prisma: (a) prisma sendo preparado para ensaio; (b) fissura em “V”; (c) destacamento de face. Fonte: Arquivo pessoal.

Foram preparados 3 corpos de prova de cada tipo usando apenas o cimento CPV, ensaiados aos 28 dias e relacionados com a resistência à compressão dos blocos na mesma idade.

### 7.6 Ensaio de absorção de água

Pelos motivos já expostos no item 7.2, os ensaios de absorção de água foram regidos pela NBR 8492 (ABNT, 2012) de tijolos de solo-cimento.

A referida norma sugere a secagem dos corpos de prova em estufa, entre 105 °C a 110 °C, até a constância de massa, obtendo-se a massa do corpo de prova seco. Após os corpos de prova atingirem a temperatura ambiente do laboratório da ordem de (26±2) °C, devem ser imersos em tanque com água durante 24 horas. Depois de retirados da água, são enxugados superficialmente com um pano levemente umedecido e passados um período máximo de 3 minutos, encontrando-se a massa do corpo de prova saturado.

Procede-se, então, ao cálculo dos valores individuais de absorção de água através de:

$$A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (3)$$

sendo:

$A$  o valor individual de absorção de água, expresso em porcentagem (%);

$m_1$  a massa do corpo de prova seco em estufa, em g;

$m_2$  a massa do corpo de prova saturado, em g.

A NBR 8491 (ABNT, 2012) define como indicativo de controle de qualidade dos blocos de solo-cimento, os limites máximos de 22% e de 20% para os valores individuais e médios de absorção de água, respectivamente. Os ensaios para avaliação da capacidade de absorção de água foram realizados no Laboratório de Resistência dos Materiais do IFF. Utilizou-se estufa na temperatura de 110°C e balança eletrônica de precisão 0,5g.

Conforme recomendado pela norma, foram preparados com o cimento CPV 2 tijolos de cada proporção. Os blocos foram ensaiados aos 28 e 91 dias. Os ensaios em idades diferentes foram realizados para avaliar capacidade de absorção de água com o passar do tempo.

Na Figura 32 ilustra-se o processo de realização do ensaio no que diz respeito à secagem em estufa, pesagem do corpo de prova seco, imersão em água e pesagem do corpo de prova saturado.

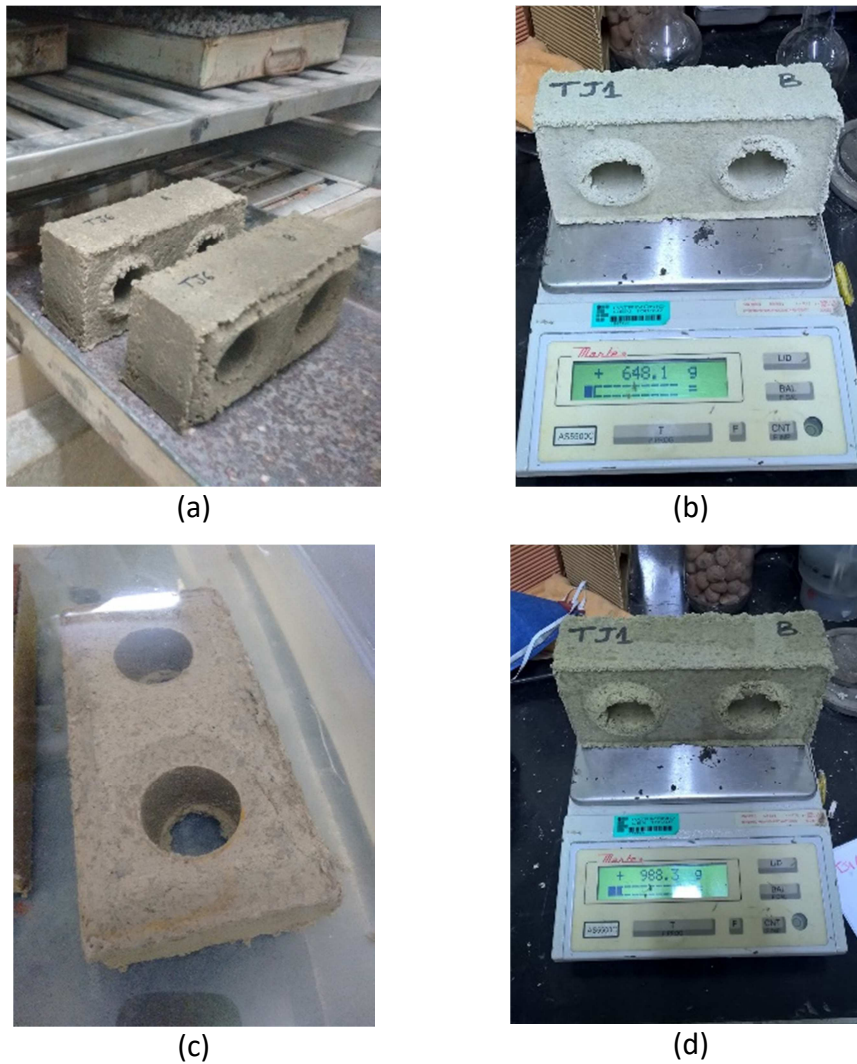


Figura 32: Ensaio de absorção de água: (a) secagem em estufa; (b) pesagem do corpo de prova seco; (c) imersão em água; (d) pesagem do corpo de prova saturado. Fonte: Arquivo pessoal.

### 7.7 Ensaio de durabilidade por molhagem e secagem

Este ensaio está previsto na NBR 13554 (ABNT, 1996) para blocos de solo-cimento. A norma recomenda a preparação de 3 corpos de prova por traço, no qual avalia-se a variação de volume no corpo 1 e a perda de massa nos corpos 2 e 3.

Para a execução do ensaio deve-se determinar o volume inicial do corpo de prova 1, além da massa e do volume do mesmo após todos os corpos de prova passarem por um

processo de cura durante 7 dias em câmara úmida. Recomenda-se, ainda, a colocação dos corpos de prova imersos em água durante 5 horas. Determina-se novamente a massa e o volume do corpo 1 após a retirada do excesso superficial de água. Em seguida os três corpos de prova devem ser colocados na estufa a uma temperatura de  $(71\pm 2)^{\circ}\text{C}$  durante 42 horas e, mais uma vez, obtêm-se a massa e o volume do primeiro corpo de prova.

O procedimento a partir da imersão dos corpos de prova em água durante 5 horas até sua colocação em estufa durante 42 horas, que constitui um ciclo de 48 horas, deve ser repetido mais cinco vezes. Após os seis ciclos realizados, deve-se levar os corpos de prova à temperatura entre  $105^{\circ}\text{C}$  a  $110^{\circ}\text{C}$  até atingir massa constante.

Para o primeiro corpo de prova, após cada obtenção de volume nas etapas anteriores deve-se proceder ao cálculo das correspondentes variações de volume, através da expressão que segue:

$$V_{v,n} = \frac{V_i - V_n}{V_i} \times 100 \quad (4)$$

em que:

$V_{v,n}$  é a variação de volume do corpo de prova 1 em cada etapa, em %;

$V_i$  é o volume inicial do corpo de prova 1 na ocasião da desmoldagem;

$V_n$  é o volume do corpo de prova 1 em cada etapa.

Para a obtenção do valor da perda de massa nos outros dois corpos de prova, parte-se do cálculo da quantidade relativa de água nesses corpos após atingirem massa constante. Admite-se que essa quantidade é igual à de água retida no corpo de prova 1, calculada conforme a equação a seguir:

$$A = \frac{m_{f(1)} - m_{i(1)}}{m_{i(1)}} \quad (3.5)$$

sendo:

$A$  a água retida no corpo de prova 1;

$m_{f(1)}$  a massa seca final do corpo de prova 1 após atingir massa constante, em g;

$m_{i(1)}$  a massa seca inicial do corpo de prova 1, calculada por ocasião da moldagem, em g.

Além disso, deve-se fazer a correção das massas secas dos corpos de prova, descontando a água que foi retida com o cimento e o solo (no caso o papel imprensa) durante o ensaio e que ficou retida no primeiro corpo de prova a 110°C. Usa-se a seguinte equação:

$$m_{fc(2,3)} = \frac{m_{f(2,3)}}{A+1} \quad (3.6)$$

em que:

$m_{fc(2,3)}$  é a massa seca final corrigida dos corpos de prova 2 e 3, em g;

$m_{f(2,3)}$  é a massa seca final dos corpos de prova 2 e 3 após atingirem massa constante, em g;

$A$  a água retida no corpo de prova 1.

Finalmente, calcula-se a perda de massa dos corpos de prova 2 e 3 como porcentagem da massa seca inicial, conforme a equação:

$$P_{m(2,3)} = \frac{m_{i(2,3)} - m_{fc(2,3)}}{m_{i(2,3)}} \times 100 \quad (3.7)$$

sendo:

$m_{i(2,3)}$  a massa seca inicial calculada por ocasião da moldagem dos corpos de prova 2 e 3, em g;

$m_{fc(2,3)}$  a massa seca final corrigida dos corpos de prova 2 e 3, em g;

$P_{m(2,3)}$  a perda de massa dos corpos de prova 2 e 3, em %.

De acordo com a ABCP (1980), a perda de massa de blocos de solo-cimento não deve ser superior a 10% após todos os ciclos de molhagem e secagem.

Para a execução dos ensaios não foi levado em consideração o processo de cura úmida durante 7 dias, uma vez que esse tipo de cura não foi empregado na pesquisa.

Os ensaios para avaliação da durabilidade do material foram realizados no Laboratório de Resistência dos Materiais do IFF. Utilizou-se paquímetro para aferição das dimensões, estufa na temperatura de 110°C e balança eletrônica de precisão 0,5 g.

Foram preparados 3 corpos de prova de cada traço utilizando apenas o cimento CP V. O ensaio foi realizado aos 28 dias.

Na Figura 33 ilustra-se cada um dos tijolos utilizados na realização do ensaio, após a do sexto ciclo.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 33: Aspecto dos tijolos após o sexto ciclo do ensaio de durabilidade: (a) T1; (b) T2; (c) T3; (d) T4. Fonte: Arquivo pessoal.



### 7.8 Ensaio de desgaste utilizando *slake durability*

O uso do aparelho *slake durability* permite a avaliação da durabilidade do material pela perda de massa por conta do desgaste por atrito. Os procedimentos são descritos pela norma americana D4644 (ASTM, 2004).

O ensaio consiste em submeter o corpo de prova que é constituído por 10 partículas com massa individual variando de 40 a 60 g a um processo de baixa energia de desgaste superficial. O corpo de prova é colocado em um cilindro de malha metálica parcialmente submerso que gira em torno de seu eixo, onde é lavado sofrendo desgaste por abrasão entre partículas e com a parede do cilindro. Um ciclo de ensaio é constituído por 200 revoluções do conjunto durante 10 minutos. Na Figura 34 (a) tem-se o conjunto de partículas dentro do cilindro e na Figura 34 (b) o equipamento *slake durability*.



(a)



(b)

Figura 34: Ensaio de desgaste: (a) conjunto de partículas no cilindro; (b) *slake durability*. Fonte: Arquivo pessoal.

Maia (2001) sugere como resultado da prévia de desgaste a avaliação da perda de massa após a realização do 5º ciclo de ensaio.

Para o cálculo da perda de massa usa-se a massa inicial do conjunto antes da realização do 1º ciclo e a massa final após a realização de determinado ciclo. Por ocasião da realização do 5º ciclo, tem-se:

$$P_m = \frac{m_5 - m_0}{m_0} \times 100 \quad (3.8)$$

sendo:

$P_m$  a perda de massa, em %;

$m_5$  a massa final obtida após a realização do 5º ciclo, em g;

$m_0$  a massa inicial do conjunto antes da realização do 1º ciclo, em g.

Na Tabela 6, apresentada por Gamble (1971) e Maia (2001) tem-se uma classificação da durabilidade de materiais rochosos relacionada com a perda de massa após a realização dos ciclos de desgaste.

Tabela 6: Classificação da durabilidade de rochas em função da perda de massa no ensaio.

Classificação da durabilidade	Perda de massa (%)		
	1º ciclo	2º ciclo	5º ciclo
<b>Muito alta</b>	<1	<2	<5
<b>Alta</b>	1-2	2-5	5-15
<b>Medianamente alta</b>	2-5	5-15	15-40
<b>Média</b>	5-15	15-40	40-70
<b>Baixa</b>	15-40	40-70	70-80
<b>Muito baixa</b>	>40	>70	>80

O ensaio de desgaste utilizando o *slake durability* é geralmente utilizado para materiais rochosos de baixa resistência, entretanto, Xavier (2006) aponta que ele pode ser utilizado em materiais cerâmicos.

Os ensaios para avaliação do desgaste do material foram realizados no Laboratório de Degradação da UENF, seguindo os critérios apresentados anteriormente. Foram ensaiados os traços com cimento CP V quando o material alcançou 28 dias.

Na Figura 35 são mostrados todos os corpos de prova após o primeiro e último ciclo do ensaio.



(a)



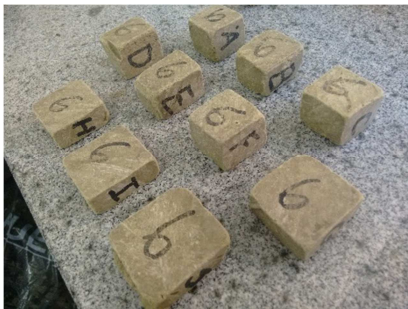
(b)



(c)



(d)



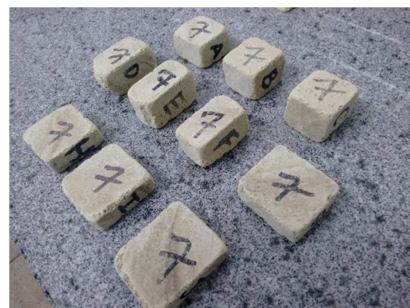
(e)



(f)



(g)



(h)

Figura 35: Aspecto dos tijolos após o primeiro e o sexto ciclo do ensaio de durabilidade: (a) T1b após primeiro ciclo; (b) T1b após último ciclo; (c) T2b após primeiro ciclo; (d) T2b após último ciclo; (e) T3b após primeiro ciclo; (f) T3b após último ciclo; (g) T4b após primeiro ciclo; (h) T4b após último ciclo; . Fonte: Arquivo pessoal.

## 8. RESULTADOS

### 8.1 Análise dimensional dos blocos

Segundo Izquierdo (2011) a dimensão correta dos blocos, seguindo as condições normativas pode contribuir para o correto desempenho da unidade, evitando o surgimento de futuras patologias.

Na tabela 7 são apresentados os resultados médios do comprimento, largura, e altura de cada tipo de bloco de tijolo.

Tabela 7: Comprimento, largura, altura de cada tipo de bloco de tijolo.

Tipo	Comprimento (mm)			Largura (mm)			Altura (mm)		
	Média	Sd	C.V (%)	Média	Sd	C.V (%)	Média	Sd	C.V (%)
<b>T1b</b>	200,00	1,00	0,50	99,67	0,58	0,58	53,67	0,58	1,08
<b>T2b</b>	200,32	0,58	0,29	99,67	0,58	0,33	59,33	1,15	1,95
<b>T3b</b>	200,33	0,58	0,29	100,47	0,57	0,33	56,33	0,58	1,02
<b>T4b</b>	199,67	0,58	0,29	99,33	0,58	0,33	50,67	0,58	1,14

De acordo com a NBR 8491 (ABNT, 2012) descrita no item 7.2, as dimensões nominais de um bloco de solo-cimento deve ser 200 mm x 100 mm x 50 mm (comprimento, largura e altura), podendo haver variação máxima de produção de  $\pm 1$  mm de comprimento, largura e altura.

Conforme os resultados descritos na tabela 7 todos os blocos cumprem as exigências normativas referentes ao comprimento e a largura, porém somente o bloco T4b cumpre a exigência referente à altura.

Os tijolos dos tipos T1b, T2b e T3b possuem um comportamento mais elástico durante o estágio inicial da cura. Isso ocorre devido a menor quantidade de cimento nos tipos T1b e T2b e a adição da argila no tipo T3b, por esse motivo esses apresentaram maior variação na altura se comparados ao T4b.

Os blocos com menores dosagens de água, como os do tipo T2b apresentaram características formais e estéticas defeituosas, como pode ser observado na Figura 36, este fato permite a afirmação de que a quantidade adequada de água é importantíssima para melhor compacidade, desempenho, diminuição de fissuras e vazios.



Figura 36: Tijolo do tipo T2b. Fonte: Arquivo pessoal.

Durante a etapa metodológica de moldagem dos blocos é visualmente perceptível a alteração volumétrica que ocorre nos tipos T2b e T3b quando a força de compactação exercida pela prensa manual é cessada.

## 8.2 Massa específica aparente dos blocos

Na Tabela 8 são apresentados os valores da massa específica aparente dos blocos.

Tabela 8: Massa específica aparente dos blocos de cimento

Tipo		Massa específica aparente (g/cm <sup>3</sup> )	
		14 dias	28 dias
Seco	T1b	1,14	1,01
	T2b	1,17	1,00
Úmido	T3b	1,62	1,45
	T4b	1,47	1,30

Os tipos T1b e T2b apresentaram praticamente o mesmo valor de massa específica aparente, indicando que os teores de água estavam equiparados nas idades avaliadas. Observa-se que quanto maior o teor de cimento em relação ao de papel empregado, maior é a massa específica aparente obtida. O tipo T3b apresenta maior valor desse parâmetro em relação aos outros, evidentemente pela maior quantidade de material num mesmo volume. Os valores encontrados aos 28 dias são mais baixos do que os valores calculados para os 14 dias, em virtude da perda de água dos tijolos ao longo do processo de cura.

### 8.3 Resistência à compressão individual dos blocos

A resistência à compressão de um bloco de tijolo é uma propriedade muito importante, pois está diretamente relacionada com o desempenho das paredes de uma edificação. Segundo Izquierdo (2011) a resistência dos blocos é a que exerce maior influência na resistência a compressão da alvenaria, ou seja, quanto mais resistente o bloco, mais resistente será a alvenaria.

Os ensaios de resistência à compressão simples foram realizados segundo a norma NBR 8492 para tijolos de solo-cimento, conforme descrito no item 7.3.

Os ensaios dos blocos feitos com cimento CPIII foram realizados aos 7, 14 e 28 dias, porém aos 7 dias os tijolos apresentavam-se ainda muito hidratados, com pouca rigidez e grande ductilidade, fazendo com que a prensa utilizada para realização do ensaio os esmagasse, impossibilitando o uso dos resultados obtidos.

A Tabela 9 apresenta os resultados das resistências à compressão individual dos tijolos feitos com cimento CPIII aos 14 e 28 dias, assim como o desvio padrão (Sd) e o coeficiente de variação (C.V.) de cada tipo de tijolo.

Tabela 9: Resistência a compressão simples dos blocos feitos com cimento CPIII aos 14 e 28 dias

Tipo	14 dias			28 dias		
	Média (MPa)	Sd (MPa)	C.V. (%)	Média (MPa)	Sd (MPa)	C.V. (%)
<b>T1a</b>	1,57	0,15	9,55	1,78	0,18	10,11
<b>T2a</b>	2,96	0,28	9,46	3,33	0,38	11,41
<b>T3a</b>	2,52	0,88	34,92	2,63	0,59	22,43
<b>T4a</b>	2,88	0,16	5,56	3,15	0,07	2,22
<b>T5a</b>	1,87	0,13	6,95	2,25	0,18	8,00

Segundo Izquierdo (2011) o coeficiente de variação é aceitável quando for inferior a 15%; portanto, pode-se afirmar que os resultados de resistência a compressão para os tipos de blocos analisados nas idades de 14 e 28 dias apresentaram baixa dispersão dos dados, comprovando a homogeneidade dos valores apresentados em relação à média, com exceção dos tijolos do tipo T3a.

Na Figura 37 observa-se graficamente a evolução da resistência à compressão dos blocos analisados com o tempo.

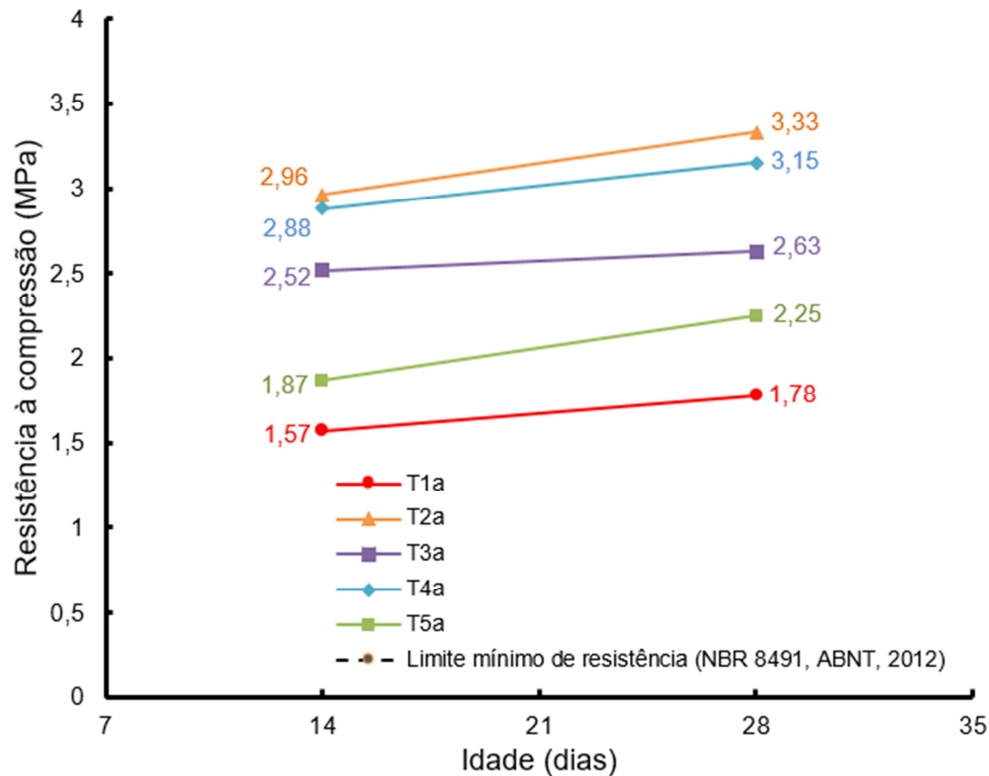


Figura 37: Resultados de resistência a compressão simples dos tijolos com cimento CPIII. Fonte: Arquivo pessoal.

Todos os tijolos ensaiados apresentaram aumento na resistência a compressão, quando comparados aos 14 e 28 dias. Os tijolos T1a, T2a, T3a, T4a e T5a apresentaram aproximadamente aumentos de 12%, 11%, 4%, 9% e 17% respectivamente.

Durante o ensaio os blocos dos tipos T2a e T3a apresentaram grande ductilidade levando-os ao esmagamento, o que implica na conjectura de que os resultados não são confiáveis. Como pode ser observado na Figura 36, os blocos T4a e T5a, com maior quantidade de cimento, apresentaram resistência a compressão média 67% maior do que o tipo T1a com menor quantidade, comprovando a importância do cimento na resistência dos tijolos.

O aumento na resistência de blocos feitos com cimento ocorre principalmente durante as primeiras horas em que o material é hidratado esse período é chamado de tempo de pega, isso acontece devido a um fenômeno físico-químico através do qual o cimento hidratado se solidifica. Mesmo após terminado o período de pega o processo de

endurecimento continua durante um longo tempo, aumentando gradativamente a resistência dos blocos.

Na Tabela 10 encontram-se os resultados das resistências à compressão simples dos tijolos feitos com cimento CPV aos 7, 14 e 28 dias.

Tabela 10: Resistência a compressão simples dos blocos feitos com cimento CPV aos 7, 14 e 28 dias

Tipo	7 dias			14 dias			28 dias		
	Média (MPa)	Sd (MPa)	C.V (%)	Média (MPa)	Sd (MPa)	C.V (%)	Média (MPa)	Sd (MPa)	C.V (%)
<b>T1b</b>	3,13	0,07	2,24	2,67	0,32	11,98	3,07	0,32	10,42
<b>T2b</b>	4,85	0,38	7,84	4,28	0,03	0,70	4,21	0,38	9,03
<b>T3b</b>	4,75	0,63	13,26	3,92	0,49	12,50	3,71	0,43	11,59
<b>T4b</b>	3,57	0,32	8,96	3,10	0,09	2,90	3,52	0,33	9,38

O alto valor de resistência a compressão dos blocos apresentado aos 7 dias deve-se a grande deformação plástica ocorrida durante a realização do ensaio até o momento de seu rompimento, devido a propriedade dúctil do material e principalmente pelo excesso de água presente no mesmo durante esse período. Nota-se que os resultados expostos possuem um coeficiente de variação aceitável, inferior a 15%.

A Figura 38 apresenta graficamente a evolução da resistência à compressão dos blocos analisados com o passar do tempo.



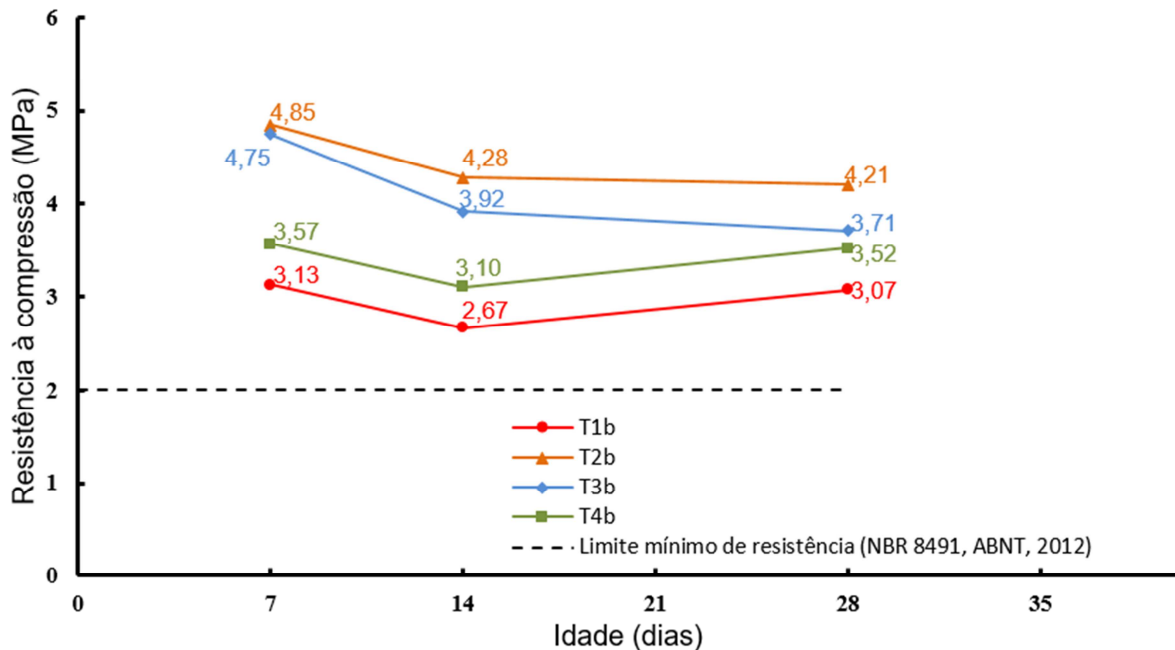


Figura 38: Resultados de resistência a compressão simples dos tijolos com cimento CPV. Fonte: Arquivo pessoal.

Na figura 38 pode-se observar que todos os tijolos apresentaram diminuição da resistência a compressão entre as idades de 7 e 14 dias. Nesse caso os blocos feitos com papel imprensa apresentaram um comportamento incomum, não encontrado na literatura para blocos de cimento e solo-cimento, porém justificável devido à grande deformação plástica ocorrida no material durante a realização do ensaio no sétimo dia.

A NBR 8491 (ABNT, 2012) define como indicativo de controle de qualidade dos blocos de solo-cimento, o limite mínimo de 2,0 MPa, para os valores médios de resistência a compressão, neste sentido todos os tijolos com cimento CPV possuem resultados favoráveis aos parâmetros indicados pela norma.

Os ensaios realizados aos 14 e 28 dias demonstram diminuição na resistência a compressão dos tijolos T2b e T3b, na ordem de 2% e 5% respectivamente e aumento na resistência a compressão dos tijolos T1b e T4b na ordem de 14% e 15% respectivamente. Mais uma vez os resultados dos blocos do tipo T2b devem ser desconsiderados pelos mesmos motivos anteriormente citados.

Os tijolos dos tipos T3b e T4b apresentaram maior resistência a compressão do que os demais blocos analisados. Esse resultado está relacionado com a maior dosagem de cimento desses blocos, que conseqüentemente também apresentaram, maior compacidade

e menor índice de vazios. Isso pode ser comprovado pelo pela maior massa específica apresentada por estes tijolos.

Todos os tipos de tijolos feitos com cimento CPV apresentaram resistência a compressão maiores do que os blocos feitos com cimento CPIII aos 14 e 28 dias, isso acontece por causa da dosagem diferenciada de calcário e argila na produção do clínquer (matéria-prima do cimento), que aparece em maior proporção do que nos outros tipos, e na moagem mais fina do cimento atribuindo ao cimento CPV um ganho de resistência com maior velocidade.

Foi observado durante o ensaio de resistência a compressão que os tijolos do tipo T2b apresentaram esmagamento e os demais ruptura dúctil com fissuras verticais, como se apresenta na Figura 39.

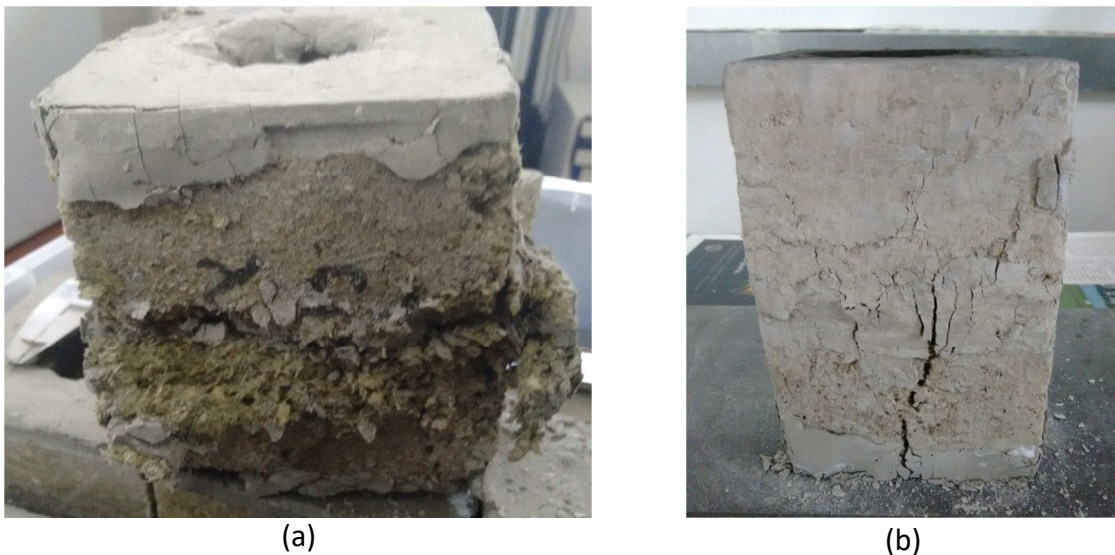


Figura 39: Ruptura dos blocos sob compressão: (a) esmagamento; (b) trincas verticais. Fonte: Arquivo pessoal.

Durante os ensaios, mesmo quando já rompidos, os blocos mantiveram suas partes unidas, não perdendo sua continuidade e tornando a ruptura um processo lento e progressivo. Segundo Izquierdo (2011), as fibras têm a capacidade de unir as faces das fissuras, permitindo ao material aumento no carregamento, mesmo após o fissuramento.

#### 8.4 Absorção de água dos blocos

O ensaio de absorção de água dos blocos foi realizado aos 28 e 91 dias, após o tempo de cura dos tijolos, conforme os procedimentos descritos na NBR 8492 (ABNT, 2012) de tijolos de solo-cimento, através da determinação da massa saturada e a massa seca em estufa, de acordo com as etapas descritas no item 7.6.

A Figura 40 apresenta a absorção média para cada tipo de tijolo utilizado nesta pesquisa.

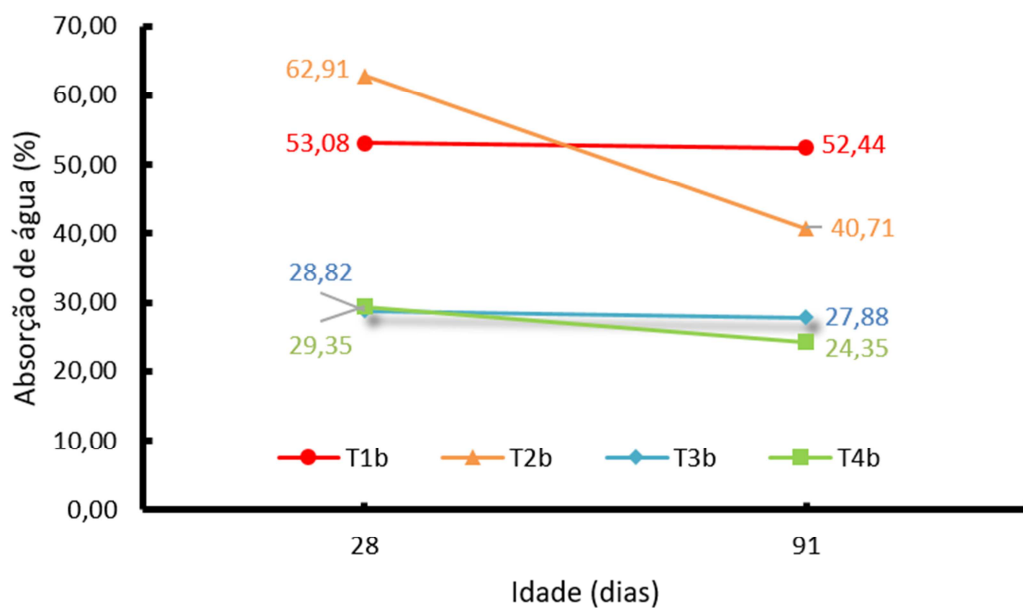


Figura 40: Resultados de absorção de água dos tijolos com cimento CPV. Fonte: Arquivo pessoal.

A NBR 8491 (ABNT, 2012) estabelece que a absorção de água, para blocos de solo cimento, deve ser menor ou igual a 20%. Todos os tijolos excederam o limite máximo sugerido pela norma, entretanto eles podem passar por processos de impermeabilização, o que contribuiria significativamente para a diminuição da absorção de água.

A presença de uma maior quantidade de cimento nos tijolos provocou uma menor absorção das unidades indicando menor incidência de poros permeáveis, como pode ser observado nos resultados dos tijolos dos tipos T3b e T4b.

Os resultados apresentados pelos tijolos do tipo T2b devem ser desconsiderados devido a sua desagregação durante a realização do ensaio, fazendo com que parte do material não pudesse ser analisado.

Todos os tijolos evidenciaram pequena diminuição na absorção de água com o tempo o que pode indicar que a cura dos blocos não havia chegado ao fim aos 28 dias.

Os tijolos de papel imprensa dos tipos T3b e T4b se assemelham aos resultados encontrados por Pedroti (2007) para blocos cerâmicos prensados e queimados e tijolos de solo cimento, sendo respectivamente 31,85% e 24,18%, ambos os resultados acima de sua referida norma que os limitam a 22% para absorção de água individual e 20% para absorção de água do conjunto.

Para realização do ensaio foram analisados 2 blocos de cada tipo e depois calculada a média dos resultados encontrados, conforme procedimento descrito pela norma aqui referida. Devido à quantidade de blocos não foi avaliado o desvio padrão e o coeficiente de variação.

### **8.5 Resistência à compressão dos prismas**

Ramalho e Corrêa (2003) descrevem o prisma como a superposição de dois ou três blocos unidos por argamassa destinados a realização de ensaios de compressão.

O ensaio de resistência a compressão dos prismas foi realizado em 3 prismas de cada tipo de proporção, totalizando 12 prismas, formados cada um por 3 blocos de tijolos, chegando a um total de 36 tijolos envolvidos no processo. Devido à ausência de normas específicas para realização do referido ensaio utilizou-se a NBR 8215 (ABNT, 1983), que prescreve a realização do ensaio em prismas de blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural, conforme o procedimento descrito no item 7.5.

Ramalho e Corrêa (2003) explicam que a resistência dos blocos está intimamente ligada a resistência e eficiência das paredes que deles fazem uso, sendo de extrema importância o estudo da composição e forma de cada peça. Os resultados de resistência à compressão correspondente aos prismas são apresentados da Tabela 11. São mostrados também os fatores de eficiência prisma/bloco.

Tabela 11: Resistência a compressão dos prismas

Tipo	Média - fb (MPa)	Média - fp (MPa)	Sd - fp	C.V - fp (%)	Eficiência fp/fb
<b>T1b</b>	3,07	1,80	0,32	17,78	0,59
<b>T2b</b>	4,21	2,00	0,21	10,50	0,48
<b>T3b</b>	3,71	2,58	0,48	18,60	0,70
<b>T4b</b>	3,52	2,50	0,47	18,80	0,71

De acordo com a Tabela 11, os resultados da resistência à compressão média dos prismas apresentaram um coeficiente de variação aceitável, inferior a 15%, somente para os tijolos do tipo T2b. Observa-se também que os prismas dos tipos T3b e T4b, com maior quantidade de cimento apresentaram uma resistência a compressão maior do que os tipos T1b e T2b.

A Figura 41 mostra um comparativo entre os valores obtidos para resistência a compressão dos blocos, dos prismas e o valor de eficiência obtido para cada tipo de tijolo analisado.

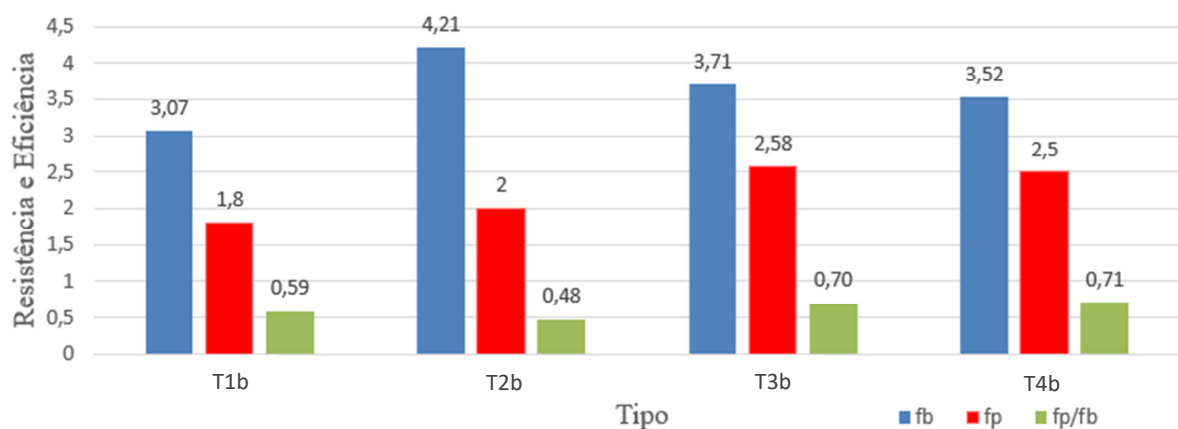


Figura 41: Comparativo entre os resultados de eficiência obtidos entre os tijolos analisados. Fonte: Arquivo pessoal.

Eficiência é o nome dado a relação existente entre a resistência do bloco, ou prisma, e a resistência das paredes e neste sentido a relação prisma/bloco pode ser um modo de se estimar a resistência da parede.

De acordo com Ramalho e Corrêa (2003) os valores de eficiência dos prismas de blocos de concreto no Brasil normalmente variam de 0,5 a 0,9 e para blocos cerâmicos entre 0,3 e 0,6. Pedroti (2007) e Izquierdo (2011) encontram respectivamente os valores médios

de eficiência de 0,71 para blocos de cerâmicos prensados e queimados e 0,54 para blocos de concreto com e sem adição de fibras naturais.

Os resultados de eficiência obtidos para os tijolos de papel imprensa variaram entre 0,48 e 0,71, com valores mais elevados atribuídos aos tijolos dos tipos T3b e T4b. O valor médio geral obtido é de 0,62, compatível com os encontrados pelos autores supracitados para blocos cerâmicos e de concreto.

Na maioria dos casos a ruptura ocorreu através do desenvolvimento de fissuras verticais ao longo das faces laterais dos blocos. Elas se iniciaram próximo às juntas com pasta de cimento e a partir daí se espalharam pela altura do elemento, com ruptura característica a tração na região próxima da junta, conforme pode ser observado na Figura 42.



Figura 42: Ruptura típica dos prismas sob compressão. Fonte: Arquivo pessoal.

Conforme explicado por Grande (2003) as trincas verticais são mais comuns e provenientes da deformação transversal da argamassa de assentamento sob a ação da tensão de compressão, ou flexão localizada do componente de alvenaria.

Nos tijolos do tipo T2b houve comportamento diferente aos demais tipos, caracterizado por um modo de ruptura mais lento, havendo em alguns casos o destacamento de suas faces. A Figura 43 apresenta os registros dos prismas do tipo T2b após o momento de sua ruptura, onde se observa o comportamento descrito anteriormente.



Figura 43: Destacamento de face dos prismas do tipo T2. Fonte: Arquivo pessoal.

Grande (2003) observou o destacamento de face em prismas assentados a seco diferente daqueles com argamassa de assentamento, o que comprova a influência desta na resistência dos prismas e das paredes.

### **8.6 Durabilidade por ciclos de molhagem e secagem**

O referido ensaio de durabilidade tem o objetivo de avaliar a perda de massa do material estudado após ciclos de molhagem e secagem. Os blocos ensaiados encontravam-se aos 28 dias de cura e foram utilizados 3 corpos de prova por tipo de tijolo, de acordo com determinações da NBR 13554 (ABNT, 1996) para blocos de solo-cimento seguindo os procedimentos já descritos no item 7.7.

Segundo Pedroti (2007) o ensaio de durabilidade por ciclos de molhagem e secagem simula adequadamente as condições de retração e expansão provocada pelo meio ambiente, através das condições climáticas de chuva e sol.

Os resultados encontrados para cada tipo de bloco de tijolo são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12: Perda de massa dos blocos de tijolos após ciclos de molhagem e secagem

Tipo		Perda de massa média (%)	Sd	C.V (%)
T1b		8,05	2,35	29,19
T2b		15,62	5,01	32,07
T3b		4,36	0,55	12,61
T4b	7,58	2,21	29,16	

Segundo a Tabela 12, os resultados da perda de massa média dos blocos de tijolos dos tipos T1b, T2b e T4b não apresentaram um coeficiente de variação aceitável, inferior a 15%.

De acordo com Xavier e Lima (2006 apud Pedroti, 2007) a perda de massa média para blocos cerâmicos após passarem pelos procedimentos do ensaio de durabilidade por ciclos de molhagem e secagem ficam abaixo de 0,5% e para blocos de solo cimento prensados manualmente, valores abaixo de 0,8%.

Pedroti (2007) realizou o ensaio de durabilidade em blocos de solo cimento prensados manualmente e mecanicamente obtendo como resultados 0,19% e 0,11% respectivamente, comprovando que o método de compactação do material influencia em sua durabilidade, obtendo melhores resultados quando prensados mecanicamente.

A Figura 44 compara a perda de massa de cada tipo de bloco de tijolo ensaiado.

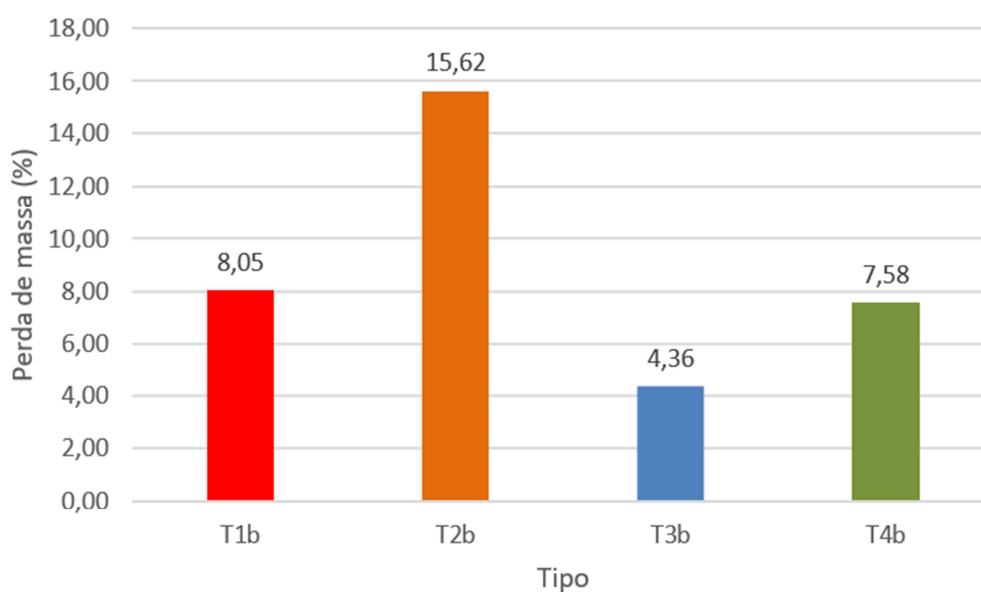


Figura 44: Comparativo entre os resultados de durabilidade. Fonte: Arquivo pessoal.



Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 1980) a perda de massa do tijolo de solo cimento após o ensaio de molhagem e secagem varia de acordo com o tipo de solo empregado na mistura, entretanto o limite máximo recomendado é de 14%.

Pelos resultados apresentados na Figura 44, observa-se que todos os tipos analisados obtiveram perda de massa superior aos valores encontrados por Pedroti (2007), Lima (2006) e Xavier (2006). Entretanto, apenas os tijolos do tipo T2b obtiveram resultado acima do limite recomendado pela ABCP (1980), fato ocorrido devido a desagregação de partes do tijolo durante a realização do ensaio, como mostrado na Figura 45.



Figura 45: Desagregação do tijolo T2b após o ensaio de durabilidade. Fonte: Arquivo pessoal.

### **8.7 Durabilidade por desgaste: Slake Durability**

Para avaliar a durabilidade pela perda de massa devido ao desgaste por atrito 2 tijolos de cada tipo com idades de 28 dias foram divididos em 10 partículas com massa individual variando de 40 a 60 g. O estudo foi realizado com o aparelho Slake Durability, conforme a norma americana D 4644 (ASTM, 2004) como anteriormente descrito no item 7.8.

A Tabela 13 denota a massa média inicial e final de cada corpo de prova e seu percentual de perda de massa após a realização do quinto ciclo de desgaste.

Tabela 13: Perda de massa dos corpos de prova após o quinto ciclo de desgaste

Tipo	Massa média inicial (g)	Massa média final (g)	Perda de massa final (%)	Sd	C.V (%)
T1b	36,83	31,25	15,17	2,12	13,97
T2b	46,98	38,60	17,84	2,46	13,79
T3b	45,78	40,89	10,68	0,74	6,93
T4b	42,95	37,55	12,56	1,37	10,91

Pedroti (2007) encontrou em sua pesquisa após o quinto ciclo a perda de massa de 12,13% e 67% para blocos de solo cimento prensados mecanicamente e manualmente, respectivamente.

Os resultados encontrados por Pedroti (2007) para os blocos prensados mecanicamente comparam-se aos resultados encontrados para os quatro tipos de tijolos de papel imprensa.

Para melhor visualização dos resultados foi elaborada a Figura 46, demonstrando a evolução média da perda de massa apresentada pelos corpos de prova após a execução de cada ciclo do ensaio.

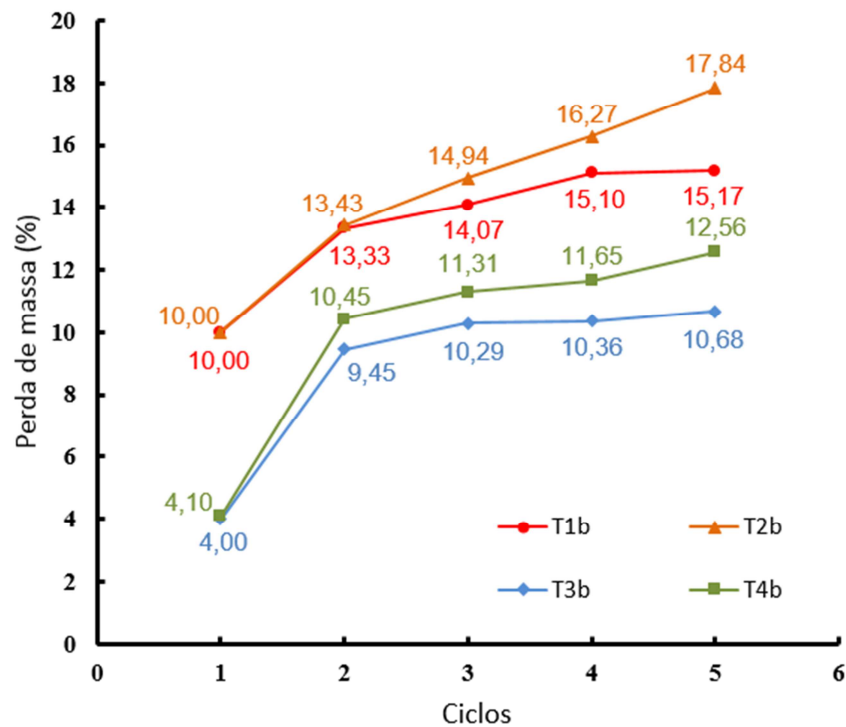


Figura 46: Evolução da perda de massa dos corpos de prova após cada ciclo. Fonte: Arquivo pessoal.

Nota-se que houve evolução na perda de massa dos quatro tipos analisados e no caso do tipo T2b essa característica foi mais acentuada devido a maior deterioração dos corpos de prova, característico da desagregação do material, como pode ser constatado na Figura 47.

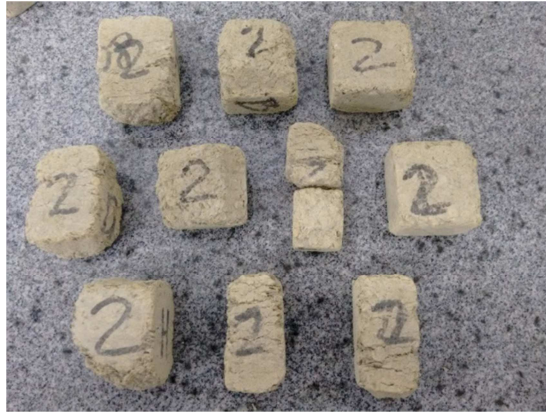


Figura 47: Deterioração dos corpos de prova do tipo T2b após o ensaio o Slake Durability. Fonte: Arquivo pessoal.

Os tipos T3b e T4b por apresentarem rigidez superior aos demais, atribuída a maior quantidade de cimento, apresentaram menor perda de massa do que os tijolos T1b e T2b.

De acordo com a Tabela 5, a durabilidade dos blocos de tijolos de papel imprensa pode ser classificada como alta para os tijolos T3b e T4b e medianamente alta para os tijolos T1b e T2b.

Segundo Pedroti (2007) o ensaio de Slake Durability é utilizado para avaliar desgaste em rochas, portanto, é necessária a realização de ensaios de durabilidade complementares.

### **8.8 Análise de custos entre os tipos de tijolos produzidos**

Levando-se em conta apenas os preços do cimento e da argila e desprezando os custos do processo de fabricação e qualquer despesa associada ao papel reciclável, uma vez que este foi conseguido a partir de doação, uma estimativa do custo dos tijolos de cada tipo de proporção pode ser realizada. Admite-se que um saco de 50 kg de cimento custa em torno de R\$ 18,70 enquanto um saco de 30 kg de argila custa R\$ 5,50.

Nas proporções adotadas, uma parte de cimento é equivalente a 1568,5 g enquanto uma parte de argila corresponde a 2104,5 g. Para a confecção de 1 m<sup>2</sup> de parede são necessários de 90 a 100 tijolos. Dessa forma, têm-se na Tabela 14, o número de tijolos

produzidos empregando as quantidades representadas nas proporções usadas, o consumo de matéria-prima por tijolo e os custos para a confecção dos tijolos e de 1 m<sup>2</sup> de parede.

Tabela 14: Custo de matéria-prima dos tijolos.

Tipo	Proporção (C:J:A:a)	Nº de tijolos	Consumo de cimento por tijolo (g)	Consumo de argila por tijolo (g)	Custo do cimento (R\$/g)	Custo da argila (R\$/g)	Custo unitário (R\$)	Custo de 1m <sup>2</sup> (R\$)
<b>T1b</b>	1:6:0:4	5	313,7		0,000374		0,1173	11,73
<b>T2b</b>	1:6:0:2	5	313,7		0,000374		0,1173	11,73
<b>T3b</b>	3:6:3:0	9	522,8	701,50	0,000374	0,00018	0,3239	32,39
<b>T4b</b>	3:6:0:0	7	672,20		0,000374		0,2514	25,14

Dias Júnior (2011) apresenta custos unitários variando de R\$ 0,28 a R\$ 0,40 na produção de tijolos prensados obtidos a partir de um compósito de cimento, pó de beneficiamento de rochas calcárias, areia e água. O cimento foi empregado com teores em massa de 5% a 15%.

Grande (2003) apresenta uma estimativa de custo da produção do tijolo de solo-cimento de aproximadamente R\$ 0,16 por unidade para um traço em massa 1:7.

### 8.9 Análise geral sobre os blocos ensaiados

Como constatado nos itens anteriores cada tipo de tijolo apresentou resultados distintos. Para melhor compreensão desses resultados foi elaborada a Tabela 15, que resume as determinações das normas utilizadas para os valores obtidos pelos quatro tipos de tijolos feitos com cimento CPV após as avaliações de dimensão, resistência a compressão, absorção de água, durabilidade por molhagem e secagem e durabilidade por desgaste utilizando *slake durability*.

Tabela 15: Resumo dos resultados para cada ensaio

Ensaio	Tipo			
	T1b	T2b	T3b	T4b
<b>Análise dimensional</b>	Reprovado	Reprovado	Reprovado	Aprovado
<b>Resistência a compressão</b>	Aprovado	Aprovado (*)	Aprovado	Aprovado
<b>Absorção de água</b>	Reprovado	Reprovado (*)	Reprovado	Reprovado
<b>Durabilidade por molhagem e secagem</b>	Aprovado	Reprovado (*)	Aprovado	Aprovado
<b>Durabilidade por <i>slake durability</i></b>	Medianamente alta	Medianamente (*) alta	Alta	Alta

(\*) O resultado deve ser desconsiderado

Todos os tijolos são reprovados quanto a absorção de água e aprovados quanto a resistência a compressão e durabilidade por molhagem e secagem, com exceção dos blocos do tipo T2b em que os resultados devem ser desconsiderados. É importante ressaltar que devido a inexistência de normas específicas para o material analisado, foram escolhidas normas específicas para tijolos de solo-cimento e blocos de cimento devido à similaridade com o material estudado.

Levando-se em consideração a dificuldade para escolha de um tipo de tijolo que apresentou melhores características optou-se pela elaboração da Tabela 16 que compara os quatro tipos de tijolos produzidos com cimento CPV apontando suas características.

Tabela 16: Resumo das características de cada tipo de tijolo

Características	Tipo			
	T1b	T2b	T3b	T4b
<b>Melhor resistência a compressão</b>		X (*)		
<b>Ganho de resistência com o tempo</b>	X			X
<b>Menor capacidade de absorção de água</b>			X	X
<b>Menor perda de massa na molhagem e secagem</b>			X	
<b>Menor perda de massa no <i>slake durability</i></b>			X	
<b>Dimensões mais adequadas</b>				X
<b>Melhor aspecto estético</b>	X			X
<b>Menor custo</b>	X	X		
<b>Leveza</b>	X			
<b>Menor tempo de produção</b>				X

(\*) O resultado deve ser desconsiderado

Com base na tabela supracitada é possível traçar perfis de uso para os três tipos que tiveram os resultados apropriados T1b, T3b e T4b.

O tijolo do tipo T1b devido a seu ganho de resistência com o tempo, bom aspecto estético, baixo custo e leveza, todas essas características atribuídas principalmente ao fato desse bloco possuir menor quantidade de cimento e boa hidratação, pode ser indicado para função de vedação, sem a necessidade resistir a muitos esforços.

Com relação à função estrutural os tijolos dos tipos T3b e T4b são os mais indicados, pelos resultados apresentados durante os ensaios de resistência a compressão simples e de prisma. Deve-se ressaltar que para um maior conhecimento do material, é importante a realização de outros ensaios e seu acompanhamento em idades futuras.

## 9. CONCLUSÕES E SUGESTÕES FUTURAS

A presente dissertação teve como principal objetivo a análise dos parâmetros físicos e mecânicos de um tijolo modular produzido através da mistura de cimento, papel imprensa, argila e água e comparar a viabilidade de seu uso como material de vedação e ou estrutural em edificações. Desta forma pode-se apontar o novo material como um possível substituto para tijolos cerâmicos e conseqüentemente um minimizador dos impactos ambientais e sociais causados pela indústria ceramista, como os já citados: processo de extração agressivo da argila, derrubada de árvores para utilização como lenha, a queima da madeira utilizada como combustível nos fornos e o lançamento de gases e material particulado na atmosfera devido à ausência de filtro nas chaminés.

Basicamente o trabalho foi dividido em cinco etapas. A primeira etapa foi a produção dos tijolos de papel imprensa com cimento CPIII no Instituto Federal Fluminense no *campus* Campos-centro. A segunda parte foi a realização do ensaio de compressão, com a finalidade de avaliar os blocos produzidos e selecionar os tipos de blocos que continuariam sendo estudados. Na terceira etapa foram produzidos os tijolos com cimento CPV. A quarta etapa serviu para caracterização física e química de parte dos materiais empregados. A última consistiu na realização de ensaios conforme a programação descrita no item 7.1.

Com relação as propriedades das fibras presentes no papel que foi utilizado para produção dos blocos, observou-se que o comprimento das fibras é em média de 0,6 mm e os tijolos do tipo seco apresentaram fibras mais entrelaçadas do que os do tipo úmido.

A massa específica dos blocos sofre interferência direta da quantidade de cimento empregada na mistura num mesmo volume, apresentando valores mais altos os tijolos dos tipos T3b e T4b.

As propriedades físicas e mecânicas de todos os tipos de blocos avaliados seguiram os códigos normativos prescritos para tijolos de solo-cimento e blocos de concreto, devido à ausência de códigos normativos específicos. Dentre os itens avaliados, alguns podem ser enfatizados como de maior relevância:

- 1- O novo produto atende aos valores de resistência mecânica, conforme as normas da ABNT e, para tanto, foram utilizados os ensaios de compressão individual e de prisma que são requisitos importantíssimos para alvenaria;

- 2- As propriedades físicas de quase todos os quatro tipos de blocos com cimento CPV como: Análise dimensional e absorção de água, não cumpriram com os requisitos estabelecidos pelos códigos normativos. Apenas o tijolo T4b foi aprovado no que diz respeito a análise dimensional. Entretanto, para o requisito de absorção de água pode ser feita uma impermeabilização no material após a cura;
- 3- Observou-se que a proporção de cimento e água empregada na produção dos tijolos teve relação direta em todos os resultados apresentados, devendo este item ser mais bem avaliado;
- 4- De fato, o modo de ruptura dúctil com surgimento de trincas verticais ficou bem caracterizado nos tipos de blocos ensaiados desta pesquisa, com exceção dos tijolos do tipo T2b que apresentou esmagamento ou destacamento de face;
- 5- Os tijolos apresentaram ótimos resultados para os ensaios de durabilidade, apontados como materiais altamente duráveis;
- 6- Todos os resultados apresentados pelo tijolo do tipo T2b devem ser desconsiderados, devido ao seu comportamento durante a realização dos ensaios.

Os blocos de papel imprensa quando comparados aos tijolos cerâmicos não causam impacto ao meio ambiente, contribuem para uma prática mais racional de construção, inerente à natureza do bloco modular, similar ao de solo cimento e podem ser mais uma solução para reciclagem de papel, enfatizando a prática sustentável de reaproveitamento de material.

A metodologia empregada para produção dos tijolos apresentou-se eficiente para ambientes laboratoriais, porém para produção em larga escala o processo deve ser otimizado, com a finalidade de melhorar o controle de qualidade e diminuir o tempo de produção.

Após a avaliação de custo, levando em consideração os materiais empregados e desprezando custo energético e do papel imprensa, observou-se que o material pode ser mais econômico do que os tijolos cerâmicos e de solo cimento.

Como sugestão para trabalhos futuros, podem ser estudados com maiores detalhes os seguintes temas:

- 1- A influência do fator água / cimento sobre as propriedades físicas e mecânicas dos blocos;
- 2- A avaliação do material estudado em idades futuras;



- 3- Reestruturação da metodologia empregada com a finalidade de acelerar a produção e melhorar o controle de qualidade;
- 4- Estudar a durabilidade das fibras de papel na matriz cimentícia;
- 5- É necessário ainda uma pesquisa mais aprofundada sobre o tempo de cura desse material, visto aos sete dias o material encontra-se ainda muito úmido.

## 10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP), **Fabricação de tijolos e blocos de solo-cimento com utilização de prensas manuais**, São Paulo, Boletim Técnico, 1980.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM), **D4644: Slake Durability of Shales and Similar Weak Rocks**, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), **NBR. 10004. Resíduos sólidos – Classificação**, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), **NBR. 8491, Tijolo maciço de solo-cimento**, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), **NBR. 8492, Tijolo de solo-cimento – Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água – Método de ensaio**, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), **NBR. 8215, Prismas de Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria Estrutural – Preparo e Ensaio à Compressão**, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), **NBR. 13554, Solo-Cimento - Ensaio de durabilidade por molhagem e secagem**, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), **NBR. 12253, Tijolo de solo-cimento: Dosagem para emprego como camada de pavimento: Procedimento**, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), **NBR. 12254, Tijolo de solo-cimento: Execução de base de solo-cimento: Procedimento**, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE), **Panorama dos Resíduos Sólidos do Brasil**, São Paulo, 2014.

AGOPYAN, V. Materiais reforçados com fibras para a construção civil nos países em desenvolvimento: o uso de fibras vegetais. **São Paulo, SP. EPUSP**, 1991.

AGOPYAN, V.; DEROLLE, A. Materiais de construção reforçados com fibras: uso do papel-imprensa. **IPT–Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Tecnologia de Edificações. São Paulo, Pini**, p. 35-38, 1988.

ANGULO, S.C. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados**. São Paulo, 2000. 155p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

BESEN, G. R. **Programas municipais de coleta seletiva em parceria com organizações de catadores na Região Metropolitana de São Paulo: desafios e perspectivas**. 2006. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo.

CAZZONATTO, A. C.; NOLASCO, A. M.; ARMELIN, M. C. **Aproveitamento de resíduo da indústria de papel na fabricação de tijolo compactado**. 2004.

CENTRO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO DA BAHIA (CEPED). **Utilização de fibras vegetais no fibro-cimento e no concreto-fibra**. Rio de Janeiro: BNH-DEPEA, 1982, 72p.

CRAIG, R. J. (1978) **Construction with reinforced fibre concrete**. In: **International Conference on Materials of Construction for Developing Countries**. Bangkok, London, p. 2021-2027.

DEGANI, C. M.; CARDOSO, F. F. A sustentabilidade ao longo do ciclo de vida de edifícios: a importância da etapa de projeto arquitetônico. **Núcleo de Pesquisa da Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo**, p. 11, 2002.

DORSTHORST, B.J.H.; HENDRIKS, C. F. Re-use of construction and demolition waste in the EU. **In: CIB Symposium: Construction and Environment – theory into practice.** São Paulo, 2000. Proceedings. São Paulo, EPUSP, 2000.

FERRAZ, A. L. N. **Análise da adição de resíduos de argamassa de cimento em tijolos prensados de solo-cimento.** Ilha Solteira: UNESP, 2004. 107p. Tese (Doutorado); Dissertação (Mestrado).

DANTAS F.; Flavio P. **Contribuição ao estudo para aplicação do pó de serra da madeira em elementos de alvenaria de concreto não estrutural.** 2004.

GAMBLE, J. C. **Durability-plasticity classification of shales and other argillaceous rock. Ph.D. Thesis.** University of Illinois. 1971.

GRANDE, F. M. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa.** 2003. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo.

GRIMBERG, E. **Coleta seletiva com inclusão dos catadores: Fórum Lixo e Cidadania da Cidade de São Paulo: experiência e desafios.** Instituto Pólis, 2007.

GRIMBERG, E.; BLAUTH, P. Coleta seletiva. **Reciclando Materiais, Reciclando,** 1998.

GUIMARÃES, S. da S. Fibra vegetal-cimento – resultados de algumas experiências realizadas no THABA/CEPED. **In: Simpósio internacional sobre produção e transferência de tecnologia em habitações: da pesquisa à prática,** 1987, São Paulo. Anais... São Paulo: IPT, 1987. p.103-109

GURGEL, E. M. **Recuperação de papel e papelão na usina de triagem de lixo de Lençóis Paulista-SP.** 2015.

HAMADA, J. **Resíduos sólidos: conceituação e caracterização**. Bauru: Grupo de estudos de **resíduos sólidos**, Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 2003.

IZQUIERDO, I. S. **Uso de fibra natural de sisal em blocos de concreto para alvenaria estrutural**. 2011. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

JACOBI, P. R.; BESEN, G. R. **Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade**. Estudos Avançados, v. 25, n. 71, p. 135-158, 2011. SNIS, 2012

JOHN, V.M. **Reciclagem de resíduos na construção civil – contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. São Paulo, 2000. 102p. Tese (livre docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

KEMERICH, P. D. C. et al. **Avaliação De Impactos Ambientais Na Implantação e Operação De Olaria**. Engenharia Ambiental-Espírito Santo do Pinhal, v. 8, n. 1, p. 134-150, 2011.

LIMA, T. V. (2006) **Estudo da produção de blocos de solo-cimento com matérias primas do núcleo urbano da cidade de Campos dos Goytacazes – RJ**. Tese (Mestrado) apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF

LOPES, W. G. R. (2002) **Solo-cimento reforçado com bambu: características físico-mecânicas**. Tese (Doutorado). Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, São Paulo – SP, 158 p.

MAIA, P. C. A. **Comportamento Geomecânico e de Alterabilidade de Enrocamentos**. Tese (Doutorado Engenharia Civil) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, 2001.

MENDONÇA, A. V. R. et al. **Atributos edáficos de cavas de extração de argila após cultivos puros e consorciados de *Eucalyptus spp.* e *Mimosa caesalpinifolia* Benth (Sabiá) e quantificação da poda de sabiá.** Floresta, v. 38, n. 3, 2008.

NEVES, C. M. M. **O uso de fibras de celulose provenientes do papel imprensa em compósitos para produção de componentes habitacionais.** 2000.

NOLASCO, A. M. (1993) **Utilização de resíduos da indústria de papel na produção de materiais para a construção civil.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura). Universidade de São Paulo – USP, São Paulo – SP.

Pedroti L. G. (2007) **Estudo de conformidades em relação à ABNT de blocos cerâmicos prensados e queimados – RJ.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF.

Pinto, T. P. **Evolução das pesquisas de laboratório sobre solo-cimento.** São Paulo: ABCP, 1980. 22p.

CORREA, M. R. S.; RAMALHO, M. A. Projeto de edifícios de alvenaria estrutural. São Paulo: **Editora PINI Ltda**, 2003.

Ribeiro S. V. (2013) **Reutilização de resíduo de rocha ornamental na produção de tijolo solo-cimento – RJ.** Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF.

SANTOS, J. C. **Patente nº PI 1003663-6 A2.** Brasil, 2010.

DA SILVA S. A. A.; WADA, P. H. Estudo de dosagem de tijolos de solo-cimento com adição de resíduos de construção e demolição. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 33, n. 2, p. 179-183, 2011.

SEWELL, G. H. (1978) **Administração e Controle da Qualidade Ambiental. Ed. da Universidade de São Paulo**, 295 p.

DA SILVA, S. R. **Tijolos de solo cimento reforçado com serragem de madeira**. 2005.

SIQUEIRA, I. S. **Influência da adição de polpas celulósicas de pinho e eucalipto na hidratação e comportamento mecânico de pastas de cimento**. 190 f. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2014.

SOUZA, M. I. B. et al. Tijolos prensados de solo-cimento confeccionados com resíduos de concreto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, p. 205-212, 2008.

VALENCIANO, M. C. M.; FREIRE, W. J. **Características físicas e mecânicas de misturas de solo, cimento e cinzas de bagaço de cana-de-açúcar**. Engenharia Agrícola, v. 24, n. 3, p. 484-492, 2004.

XAVIER, G. C. **Resistência, Alterabilidade e Durabilidade de Peças Cerâmicas Vermelhas Incorporadas com Resíduo de Granito**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes, RJ, 2006.