



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
CAMPUS UFRJ-MACAÉ  
Professor Aloísio Teixeira



ANÁLISE DO EFEITO DA ADIÇÃO DE MÁSCARAS DESCARTÁVEIS DE  
POLIPROPILENO (COVID-19) NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE  
TIJOLOS SOLO-CIMENTO

**KRISTIANO CAVALCANTE VASCONCELLOS DE MENDONÇA**

Macaé  
2022

**KRISTIANO CAVALCANTE VASCONCELLOS DE MENDONÇA**

**ANÁLISE DO EFEITO DA ADIÇÃO DE MÁSCARAS DESCARTÁVEIS DE  
POLIPROPILENO (COVID-19) NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE  
TIJOLOS SOLO-CIMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio de Janeiro – Instituto Politécnico UFRJ/Macaé, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil.

Orientadores:

Prof. Gustavo Vaz de Mello Guimarães

Prof. Lucas Marques Pires da Silva

Macaé  
2022

## CIP - Catalogação na Publicação

M539

Mendonça, Kristiano Cavalcante Vasconcellos de

Análise do efeito da adição de máscaras descartáveis de polipropileno (Covid-19) na resistência à compressão de tijolos solo-cimento / Kristiano Cavalcante Vasconcellos de Mendonça - Macaé, 2022.

138 f.

Orientador(a): Gustavo Vaz de Mello Guimarães.

Coorientador(a): Lucas Marques Pires da Silva.

Trabalho de conclusão de curso (graduação) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto Politécnico, Bacharel em Engenharia Civil, 2022.

1. Tijolos – Construção civil. 2. Solo-cimento. 3. Polipropileno.  
4. Sustentabilidade. I. Guimarães, Gustavo Vaz de Mello, orient.  
II. Silva, Lucas Marques Pires da, coorient. III. Título.

CDD 624

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca com os dados  
fornecidos pelo(a) autor(a)

Biblioteca Central do Centro Multidisciplinar UFRJ-Macaé  
Bibliotecário: Anderson dos Santos Guarino CRB7 – 5280

# KRISTIANO CAVALCANTE VASCONCELLOS DE MENDONÇA

## ANÁLISE DO EFEITO DA ADIÇÃO DE MÁSCARAS DESCARTÁVEIS DE POLIPROPILENO (COVID-19) NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE TIJOLOS SOLO-CIMENTO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio de Janeiro – Instituto Politécnico UFRJ/Macaé, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em Macaé, 15 de junho de 2022.

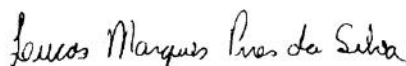
BANCA EXAMINADORA:



---

Prof. Gustavo Vaz de Mello Guimarães, D.Sc. (Instituto Politécnico UFRJ/Macaé)

<http://lattes.cnpq.br/3614907040658759>



---

Prof. Lucas Marques Pires da Silva, Mestrando (Instituto Politécnico UFRJ/Macaé)

<http://lattes.cnpq.br/5569347731590077>



---

Prof. Leandro Torres Di Gregorio, D.Sc. (Escola Politécnica/UFRJ)

<http://lattes.cnpq.br/1234253492596748>

*Dedico este trabalho aos meus pais, João Carlos e Wilma. Meus exemplos de integridade. O meu norte.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente, à energia que rege todo o universo, conhecido como Deus. Aos meus pais, João Carlos e Wilma, e à minha irmã gêmea, Kristina, sem os quais eu nada seria.

Aos meus orientadores, os Profs. Gustavo Guimarães e Lucas Marques, pelo olhar aguçado e detalhista sobre os menores aspectos do presente trabalho.

Ao engenheiro Newton, do Laboratório da Engenharia Mecânica, pela ajuda e disponibilidade em concertar algum equipamento, ou ajudar-me a utilizá-los.

Ao engenheiro Macambira, do Laboratório da Engenharia Civil, pela ajuda em algumas tarefas práticas e pelas conversas descontraídas, em momentos oportunos.

Aos meus amigos Wesley, Wallace e Victor, por me acolherem quando eu precisava, e pelos momentos de conversa, alegria e descontração.

E, por fim, a todos os amigos guerreiros e professores que, de alguma forma, contribuíram e fizeram parte dessa jornada na UFRJ-Macaé.

*“A verdadeira viagem de descobrimento  
não consiste em procurar novas  
paisagens, mas em ter novos olhos.”*

*Marcel Proust*

## RESUMO

MENDONÇA, Kristiano Cavalcante Vasconcellos de. **Análise do efeito da adição de máscaras descartáveis de polipropileno (COVID-19) na resistência à compressão de tijolos solo-cimento.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Macaé, 2022.

Em março de 2020, um surto de uma nova cepa de coronavírus, a saber, a SARS-CoV-2, responsável por causar a doença COVID-19 veio a ser classificado, pela OMS, como uma pandemia. No Brasil foram contabilizadas mais de 660 mil mortes. A fim de interromper a propagação do vírus, foram declaradas sucessivas quarentenas e recomendado o uso de máscaras de proteção facial que, em muitos locais, tornou-se obrigatório. Diante deste cenário, essa pesquisa, por meio de uma metodologia experimental, buscou encontrar uma maneira viável de processamento das máscaras para sua efetiva reutilização. Máscaras descartáveis foram adicionadas a fabricação de tijolos solo-cimento em prensa manual. Para verificar a eficácia desta aplicação inédita diversos ensaios de laboratório foram executados. Destaca-se que devido ao caráter inovador da pesquisa diversas adaptações às normas brasileiras foram necessárias. Os ensaios foram executados no Laboratório de Mecânica dos Solos da Engenharia Civil da UFRJ/Macaé. Os resultados se mostraram satisfatórios e muito animadores, principalmente quando se comparou a resistência à compressão dos tijolos solo-cimento com e sem máscaras. Por fim, cabe ressaltar que essa proposta de pesquisa visa ajudar a questão associada ao descarte, ambientalmente correto, dessas máscaras.

Palavras-chave: Tijolo Modular; Solo-cimento; Máscaras Descartáveis; Polipropileno; COVID-19; Sustentabilidade; Projeto SHS.



## ABSTRACT

MENDONÇA, Kristiano Cavalcante Vasconcellos de. **Effect analysis of the addition of disposable polypropylene masks (COVID-19) on the compression strength of soil-cement bricks**. Completion of Course Work (Graduation in Civil Engineering). Federal University of Rio de Janeiro, Macaé, 2022.

In March 2020, an outbreak of a new strain of coronavirus, that is, SARS-CoV-2, responsible for causing Covid-19 disease, was classified by the OMS as a pandemic. In Brazil, more than 660.000 deaths were recorded. In order to stop the spread of the virus, successive quarantines were declared and the use of facial protection masks was recommended, which in many places became mandatory. In view of this scenario, this research, through an experimental methodology, sought to find a viable way of processing the masks for their effective reuse. Disposable masks were added to the manufacture of soil-cement bricks in a manual press. To verify the effectiveness of this unprecedented application several laboratory tests have been performed. It is noteworthy that due to the innovative nature of the research several adaptations to Brazilian standards were necessary. The tests were carried out at the Soil Mechanics Laboratory of Civil Engineering of UFRJ/Macaé. The results were satisfactory and very encouraging, especially when comparing the compressive strength of soil-cement bricks with and without masks. Finally, it should be noted that this research proposal aims to help the issue associated with the environmentally correct disposal of these masks.

Keywords: Modular Brick; Soil-cement; Disposable Masks; Polypropylene; COVID-19; Sustainability; SHS Project.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2-1 – Números da criação de empregos na construção civil: 2021 x 2020 ....	22
Figura 2-2 – Descarte de entulho de obras .....	23
Figura 2-3 – Região com larga ocorrência de solos tropicais no planeta e detalhe do Brasil .....	23
Figura 2-4 – Exemplos de edificações feitas com alvenaria armada com blocos de solo-cimento.....	24
Figura 2-5 – Exemplos de adições orgânicas e inorgânicas ao tijolo de solo-cimento e solo-cal.....	25
Figura 2-6 – Exemplo de contaminação com plásticos em praia paradisíaca .....	26
Figura 2-7 – Aviões com uso obrigatório de máscaras (centenas de máscaras por voo) .....	27
Figura 2-8 – Aeroporto de Madrid, na Espanha, com uso obrigatório de máscaras..	28
Figura 2-9 – Aeroporto de Guarulhos, no Brasil – Informativos sobre as regras internas .....	28
Figura 2-10 – Exemplo de poluição por máscaras descartáveis .....	29
Figura 3-1 – Estrutura trifásica do Solo .....	30
Figura 3-2 – Perfil do Solo.....	32
Figura 3-3 – Exemplos de produtos feitos de polipropileno.....	39
Figura 3-4 – Símbolo de reciclagem do polipropileno .....	39
Figura 3-5 – Corpos de prova sendo rompidos .....	42
Figura 3-6 – Diferentes tipos de prensas de tijolos solo-cimento .....	50
Figura 3-7 – Diferentes modelos de tijolos solo-cimento.....	52
Figura 3-8 – Principais opções da página do Projeto SHS na internet.....	56
Figura 3-9 – Tríplice ramificação do projeto SHS.....	57
Figura 3-10 – <i>Slide</i> de apresentação dos Módulos do Projeto SHS.....	58
Figura 3-11 – Imagens da atuação da ONG Village Marie .....	59
Figura 4-1 – Localização das jazidas de solo.....	61
Figura 4-2 – Sequência de limpeza e estocagem dos solos .....	61
Figura 4-3 – Amostras das jazidas de solo - Solo 1 e Solo 2 .....	62
Figura 4-4 – Cimento utilizado (CP III-32 RS) .....	63
Figura 4-5 – Máscaras descartáveis utilizadas.....	64

Figura 4-6 – Tripla camada das máscaras cirúrgicas.....	65
Figura 4-7 – Processamento das máscaras por reações químicas.....	66
Figura 4-8 – Processo experimental de corte das máscaras em uma fragmentadora de papel.....	67
Figura 4-9 – Verificação da homogeneidade da mistura do solo com os fragmentos de máscara.....	68
Figura 4-10 – Processo de fragmentação térmica e mecânica das máscaras.....	69
Figura 4-11 – Fotografias das partículas de polipropileno obtidas por microscópio digital.....	70
Figura 4-12 – Equipamentos utilizados no ensaio de peneiramento.....	72
Figura 4-13 – Amostra do solo, na peneira, após a lavagem.....	73
Figura 4-14 – Processo de preparação do solo para realização dos ensaios de LL e LP.....	75
Figura 4-15 – Execução detalhada para determinação do LL.....	77
Figura 4-16 – Detalhes importantes na execução do ensaio.....	78
Figura 4-17 – Etapas de execução do ensaio de LP.....	80
Figura 4-18 – Detalhes importantes na execução do ensaio de LP.....	81
Figura 4-19 – Secagem do solo ao ar livre.....	82
Figura 4-20 – Mistura de solo e para o ensaio de compactação.....	83
Figura 4-21 – Diferentes teores de umidade para o ensaio de compactação.....	83
Figura 4-22 – Mistura de solo, cimento e fragmentos de máscaras descartáveis para o ensaio de compactação.....	84
Figura 4-23 – Execução do ensaio de Proctor Normal.....	86
Figura 4-24 – Prensa manual e triturados de solo.....	87
Figura 4-25 – Nivelamento da balança.....	89
Figura 4-26 – Pesagem e separação dos materiais para a mistura.....	89
Figura 4-27 – Galpão anexo ao Laboratório da Engenharia Civil.....	90
Figura 4-28 – Execução da mistura de solo-cimento.....	91
Figura 4-29 – Execução da mistura de solo, cimento e máscara descartável.....	92
Figura 4-30 – Teste rápido e prático para reconhecimento da umidade da mistura..	93
Figura 4-31 – Processo de prensagem dos tijolos.....	94
Figura 4-32 – Erros que podem ser evitados na desmoldagem dos tijolos.....	95
Figura 4-33 – Etapas do processo de cura dos tijolos solo-cimento.....	96

Figura 4-34 – Preparação dos tijolos (corpos de prova).....	98
Figura 4-35 – Colagem e planificação dos tijolos (corpos de prova) .....	99
Figura 4-36 – Rompimento dos tijolos na prensa hidráulica.....	100
Figura 5-1 – Curva granulométrica do solo .....	103
Figura 5-2 – Curva de fluidez do solo.....	104
Figura 5-3 – Curva de compactação da mistura de solo-cimento .....	106
Figura 5-4 – Curva de compactação da mistura de solo-cimento e máscaras descartáveis .....	107
Figura 5-5 – Comparação entre as curvas de compactação de ambas as misturas .....	107
Figura 5-6 – Densidade de probabilidade da resistência à compressão dos tijolos sem máscaras.....	109
Figura 5-7 – Densidade de probabilidade da resistência à compressão dos tijolos com máscaras.....	111
Figura 5-8 – Superposição dos gráficos de resistência à compressão dos tijolos com e sem máscaras .....	112
Figura 5-9 – <i>Box Plot</i> das resistências à compressão simples dos tijolos com e sem máscaras.....	113
Figura 5-10 – <i>Violin Plot</i> das resistências à compressão dos tijolos com e sem máscaras.....	114
Figura 5-11 – Microscopia digital do tijolo solo-cimento com e sem máscaras .....	115
Figura 0-1 – Determinação do teor de umidade .....	130

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3-1 – Limite das frações de solo pelo tamanho dos grãos .....	34
Tabela 3-2 – Aspectos da água presente nos solos.....	35
Tabela 3-3 – Classificação dos Tipos de Cimento Portland Segundo a ABNT .....	37
Tabela 3-4 – Produtividade das prensas para solo estabilizado .....	50
Tabela 3-5 – Limites definidos para o controle qualitativo dos tijolos solo-cimento...51	
Tabela 3-6 – Tipos e dimensões de tijolos de solo-cimento fabricados no Brasil.....51	
Tabela 3-7 – Tipos e dimensões de tijolos de solo-cimento fabricados no Brasil.....58	
Tabela 4-1 – Critérios para a seleção de solos .....	62
Tabela 4-2 – Capacidade/Dimensão dos equipamentos utilizados no ensaio de peneiramento .....	71
Tabela 4-3 – Capacidade/Dimensão dos equipamentos utilizados na preparação das amostras de solo para realização dos ensaios dos limites de Atterberg .....	74
Tabela 4-4 – Capacidade/Dimensão dos equipamentos utilizados para determinação do LL. ....	75
Tabela 4-5 – Capacidade/Dimensão dos equipamentos utilizados no ensaio LP .....	79
Tabela 4-6 – Capacidade/Dimensão dos equipamentos utilizados na preparação das amostras de solo para realização dos ensaios de compactação .....	82
Tabela 4-7 – Capacidade/Dimensão dos equipamentos utilizados execução dos ensaios de compactação.....	84
Tabela 4-8 – Especificações técnicas da prensa modular de tijolos .....	88
Tabela 4-9 – Capacidade/Dimensão dos equipamentos utilizados na preparação dos tijolos .....	97
Tabela 5-1 – Resultados do ensaio de limite de liquidez .....	104
Tabela 5-2 – Resultados do ensaio de limite de plasticidade.....	105
Tabela 5-3 – Medidas descritivas dos tijolos sem máscaras.....	109
Tabela 5-4 – Medidas descritivas dos tijolos com máscaras descartáveis.....	110
Tabela 0-1 – Capacidade/Dimensão dos equipamentos utilizados na obtenção do teor de umidade .....	129

## LISTA DE SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
CEPED	Centro de Pesquisas e Desenvolvimento do Estado da Bahia
COVID-19	Doença do Coronavírus SARS-CoV-2
CP	Cimento Portland
IP	Índice de Placticidade
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LL	Limite de Liquidez
LP	Limite de Plasticidade
NBR	Norma Brasileira Registrada
NM	Norma MERCOSUL (Mercado Comum do Sul)
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONG	Organização Não Governamental
ONU	Organização das Nações Unidas
PCA	<i>Portland Cement Association</i>
PIB	Produto Interno Bruto
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PP	Polipropileno
RCC	Resíduo da Construção Civil
SHS	Solução Habitacional Simples
TNT	Tecido Não Tecido
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UNCTAD	Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação (1).....	87
Equação (2).....	102
Equação (3).....	102
Equação (4).....	105
Equação (5).....	105
Equação (6).....	130

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	18
1.1	OBJETIVOS	19
1.1.1	<b>Objetivo geral</b>	19
1.1.2	<b>Objetivos específicos</b>	19
1.2	JUSTIFICATIVA	19
1.3	METODOLOGIA	20
1.4	ESTRUTURA DA PESQUISA	21
<b>2.</b>	<b>A CONSTRUÇÃO CIVIL NO BRASIL E A BUSCA POR SOLUÇÕES ALTERNATIVAS EM ÉPOCAS DE CRISE</b>	22
2.1	GENERALIDADES	22
2.2	DESAFIOS SUSTENTÁVEIS ASSOCIADOS À PANDEMIA DE COVID-19	26
<b>3.</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	30
3.1	SOLO	30
3.1.1	<b>Origem dos solos</b>	31
3.1.2	<b>Composição química e mineralógica</b>	33
3.1.3	<b>Estrutura do solo</b>	34
3.1.4	<b>Compactação do solo</b>	35
3.2	CIMENTO PORTLAND	36
3.3	POLIPROPILENO	38
3.3.1	<b>Aspectos gerais</b>	38
3.3.2	<b>Reforço do solo com polipropileno</b>	40
3.4	ESTABILIZAÇÃO DOS SOLOS	42
3.4.1	<b>Solo-cimento</b>	43
3.4.2	<b>Fatores condicionantes da qualidade do solo-cimento</b>	45
3.4.3	<b>Métodos de dosagem da mistura de solo-cimento</b>	46
3.5	SOLO COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO	47
3.5.1	<b>Métodos construtivos</b>	47
3.5.2	<b>Histórico</b>	48
3.6	TIJOLO SOLO-CIMENTO	49
3.6.1	<b>Curiosidades</b>	49
3.6.2	<b>Propriedades mecânicas</b>	50
3.6.3	<b>Características</b>	51
3.6.4	<b>Vantagens</b>	52
3.6.5	<b>Ensaio de preliminares</b>	53
3.6.6	<b>Recomendações práticas de execução</b>	53
3.6.7	<b>Patologias</b>	55
3.6.8	<b>O projeto Solução Habitacional Simples (SHS)</b>	55
3.6.8.1	Público-alvo do projeto	57
3.6.8.2	Histórico atualizado	58



3.6.8.3	O programa de ações .....	58
3.6.8.4	Benefícios da técnica.....	58
<b>4.</b>	<b>A PESQUISA EXPERIMENTAL.....</b>	<b>60</b>
4.1	GENERALIDADES .....	60
4.2	MATERIAIS UTILIZADOS .....	60
4.2.1	<b>Solo.....</b>	<b>60</b>
4.2.2	<b>Cimento Portland.....</b>	<b>63</b>
4.2.3	<b>Água .....</b>	<b>63</b>
4.2.4	<b>Máscaras descartáveis de polipropileno.....</b>	<b>63</b>
4.3	COMPOSIÇÃO DAS MISTURAS .....	65
4.4	PROCESSOS PARA REUTILIZAÇÃO DAS MÁSCARAS.....	66
4.4.1	<b>Utilizando reações químicas .....</b>	<b>66</b>
4.4.2	<b>Utilizando fragmentador de papel e cartão .....</b>	<b>67</b>
4.4.3	<b>Utilizando calor.....</b>	<b>68</b>
4.5	ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO EM LABORATÓRIO.....	70
4.5.1	<b>Determinação do diâmetro das partículas de solo .....</b>	<b>71</b>
4.5.1.1	Granulometria por peneiramento .....	71
4.5.1.2	Material passante pela peneira #200 com lavagem.....	73
4.5.2	<b>Limites de Atterberg.....</b>	<b>73</b>
4.5.2.1	<b>Preparação das amostras .....</b>	<b>74</b>
4.5.2.2	Limite de liquidez .....	75
4.5.2.3	Limite de plasticidade .....	78
4.5.3	<b>Ensaio de Proctor com energia normal .....</b>	<b>81</b>
4.5.3.1	Preparação das amostras.....	81
4.5.3.2	Execução do ensaio .....	84
4.6	FABRICAÇÃO DOS TIJOLOS.....	87
4.6.1	<b>Preparação dos materiais para mistura.....</b>	<b>88</b>
4.6.2	<b>Execução das misturas.....</b>	<b>90</b>
4.6.2.1	Mistura de solo e cimento.....	90
4.6.2.2	Mistura de solo, cimento e máscaras descartáveis .....	91
4.6.3	<b>Teor de umidade das misturas .....</b>	<b>92</b>
4.6.4	<b>Prensagem dos tijolos .....</b>	<b>93</b>
4.7	PROCESSO DE CURA DOS TIJOLOS.....	95
4.8	ENSAIOS DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO .....	97
4.8.1	<b>Preparação dos tijolos .....</b>	<b>97</b>
4.8.2	<b>Execução dos ensaios de compressão.....</b>	<b>99</b>
4.8.3	<b>Análises estatísticas .....</b>	<b>101</b>
<b>5.</b>	<b>APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>102</b>
5.1	GRANULOMETRIA POR PENEIRAMENTO .....	102
5.2	MATERIAL PASSANTE PELA PENEIRA #200 COM LAVAGEM .....	103
5.3	LIMITES DE ATTERBERG.....	104
5.3.1	<b>Limite de Liquidez .....</b>	<b>104</b>

5.3.2	<b>Limite de Plasticidade</b> .....	105
5.3.3	<b>Índice de Plasticidade</b> .....	105
5.4	<b>PROCTOR NORMAL</b> .....	106
5.4.1	<b>Mistura de solo e cimento</b> .....	106
5.4.2	<b>Solo misturado com cimento e fragmentos processados de máscaras descartáveis de polipropileno</b> .....	106
5.5	<b>COMPRESSÃO SIMPLES</b> .....	108
5.5.1	<b>Resistência à compressão dos tijolos sem máscaras descartáveis</b> ...	109
5.5.2	<b>Resistência à compressão dos tijolos com máscaras descartáveis</b> ...	110
5.5.3	<b>Análise comparativa das resistências à compressão dos tijolos com e sem máscaras descartáveis</b> .....	111
5.6	<b>MICROSCOPIA DIGITAL DOS TIJOLOS SOLO-CIMENTO</b> .....	115
<b>6.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES</b> .....	<b>117</b>
6.1	<b>GENERALIDADES</b> .....	117
6.2	<b>CONCLUSÕES GERAIS</b> .....	118
6.3	<b>CONCLUSÕES ESPECÍFICAS</b> .....	119
6.3.1	<b>Análise da viabilidade de utilização de máscaras na fabricação de tijolos solo-cimento</b> .....	120
6.3.2	<b>Efeito da adição de máscaras na resistência à compressão de tijolos solo-cimento</b> .....	120
6.4	<b>SUGESTÕES PARA O PROSSEGUIMENTO DA PESQUISA</b> .....	121
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>123</b>
	<b>ANEXO 1</b> .....	<b>129</b>
	<b>ANEXO 2</b> .....	<b>131</b>
	<b>ANEXO 3</b> .....	<b>132</b>
	<b>ANEXO 4</b> .....	<b>134</b>
	<b>ANEXO 5</b> .....	<b>135</b>
	<b>ANEXO 6</b> .....	<b>136</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A pandemia do novo coronavírus foi decretada em março de 2020, pela Organização Mundial da Saúde (OMS). Desde então vem causando a morte de milhões de pessoas ao redor do mundo. Ademais, essa crise sanitária intensificou, também, os desafios econômicos, sociais e ambientais a serem enfrentados por toda a humanidade.

A principal forma de transmissão da doença, que ficou conhecida como COVID-19 é pelas vias aéreas. Esse fato fez com que o uso de máscaras cirúrgicas descartáveis, feitas de polipropileno, se intensificasse em larga escala, mundialmente. Cabe ressaltar que, por serem confeccionados a partir de polímeros derivados do petróleo, o descarte inapropriado desses produtos resulta em um agravamento da poluição por plásticos. Isso porque ainda não há um protocolo de reciclagem dessas máscaras.

Contudo, a maior parte dos setores produtivos, atualmente, demonstra preocupação com o desenvolvimento sustentável, ou seja, com a qualidade de vida das gerações atuais e futuras. Desse modo, grandes discussões e debates têm posto em voga diversas questões, tais como: a inapropriada utilização dos recursos naturais; o desperdício de matérias-primas disponíveis; a ociosidade e desvalorização da mão de obra; e os elevados custos de produção.

A indústria da construção civil, por seu turno, também tem um grande potencial de geração de renda, a capacidade de combater o déficit habitacional e de reciclagem de resíduos oriundos dos mais distintos segmentos da economia. Exemplo disso é o fato de que, nos principais centros de pesquisa em Engenharia Civil do país, diversos estudos têm colocado a sustentabilidade na construção como tema central.

Nesse sentido, propõe-se aqui aliar o resgate a um método construtivo que, no Brasil, a despeito de pouco utilizado na construção habitacional, mostra-se promissor, a saber, a alvenaria de solo-cimento, com o reaproveitamento das máscaras de polipropileno descartadas. Isso devido à abundância das matérias-primas, ao baixo custo, à geração de renda, à capacidade de combater o déficit habitacional e ao respeito ao meio ambiente.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

- Analisar a viabilidade de reutilização de máscaras descartáveis de polipropileno como material aditivo na fabricação de tijolos solo-cimento.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Ajudar a desenvolver um destino sustentável às máscaras descartáveis de polipropileno.
- Desenvolver um método para fragmentar as máscaras descartáveis de polipropileno em partículas com dimensões viáveis para a adição na mistura de solo-cimento;
- Fabricar tijolos solo-cimento com a umidade ótima, a partir do Ensaio de Compactação Proctor;
- Fabricar tijolos solo-cimento com adição de partículas reutilizadas de máscaras descartáveis de polipropileno e com a umidade ótima;
- Avaliar a influência da incorporação de partículas reutilizadas de máscaras descartáveis de polipropileno na resistência à compressão simples de tijolos solo-cimento, produzidos em prensa manual;
- Observar, por meio de fotografias feitas com microscópio, a influência da inserção das partículas reutilizadas de máscaras descartáveis de polipropileno na fabricação de tijolos de solo-cimento.
- Obter uma nova jazida de solo para fabricar tijolos solo-cimento;
- Contribuir para a continuidade do estudo sobre tijolos solo-cimento no Campus UFRJ-Macaé e no Projeto SHS;

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Pode-se dizer que a sustentabilidade é um dos requisitos mais almejados, atualmente, em diversas áreas da Ciência, inclusive da Engenharia Civil. E, para que um projeto seja considerado sustentável, ele deve respeitar três aspectos basilares: os ambientais, os sociais e econômicos. Nesse sentido, a adição de partículas

reutilizadas de máscaras descartáveis de polipropileno na produção de tijolos de solo-cimento justifica-se pelos seguintes ações:

- Ambientais: promover o descarte adequado das máscaras de polipropileno. Cabe destacar que existe grande disponibilidade destes acessórios devido à pandemia de COVID-19;
- Sociais: qualificar grande quantidade de mão de obra para execução dos processos necessários. Destaca-se que a maioria das etapas não exige tecnologia avançada e podem ser empregadas, facilmente, em situações corriqueiras, no Brasil e no mundo, a exemplo de projetos de habitações populares e em regiões atingidas por catástrofes naturais ou por guerras.
- Econômicos: redução no valor final da alvenaria, visto que não é necessário mão de obra especializada e dispêndios com calcinação. Além disso, em geral, utilizam-se equipamentos simples e compactos – que dispensam grandes espaços físicos.

### 1.3 METODOLOGIA

A pesquisa foi desenvolvida com base em uma revisão bibliográfica e na análise experimental. Em um primeiro momento, buscou-se, na literatura específica, o embasamento teórico necessário para o desenvolvimento da pesquisa. Além, naturalmente, dos principais conceitos relacionados ao tijolo modular de solo-cimento, no contexto da construção civil.

Então, a partir de uma série de ensaios de laboratório para caracterização do tipo de solo a ser utilizado, iniciou-se o processo de fabricação de tijolos solo-cimento. Concomitantemente, buscou-se uma maneira para fragmentar as máscaras descartáveis de polipropileno a serem adicionadas aos tijolos.

Para tanto, foram necessárias algumas adaptações às normas técnicas brasileiras vigentes para diversos processos realizados. E, através de ensaios de resistência a compressão simples comparou-se o desempenho dos tijolos de solo-cimento com e sem a adição dessas máscaras. E, por meio de ferramentas estatísticas, se analisou os resultados quantitativa e, por conseguinte, qualitativamente.

## 1.4 ESTRUTURA DA PESQUISA

O presente trabalho encontra-se dividido em seis capítulos, sendo eles: Introdução, A Construção Civil no Brasil e a Busca por Soluções Alternativas em Épocas de Crise, Revisão Bibliográfica, Materiais e Métodos, Apresentação e Análise dos resultados e Conclusão.

O presente capítulo apresenta o tema escolhido, além dos objetivos, da justificativa e da metodologia utilizada. O segundo capítulo contextualiza a pandemia de COVID-19, no cenário nacional brasileiro. O terceiro expõe uma revisão bibliográfica dos principais conceitos adotados no que tange ao tijolo solo-cimento e aos materiais que o compõe.

Já o quarto capítulo discorre sobre as matérias-primas utilizadas, a saber, o solo, o cimento e a máscara de polipropileno, além das principais características destes. São detalhados todos os ensaios realizados durante a pesquisa. Com efeito, por se tratar de um tema inovador, apresenta-se, sempre que possível, detalhes referentes aos processos que não são normatizados. Ademais, em caráter informativo/ilustrativo, diversas maneiras de como não se conduzir determinados ensaios foi explanada. Em outras palavras, objetivou-se mostrar não só os acertos da pesquisa, mas, também, as principais dificuldades encontradas.

O quinto capítulo realiza a apresentação e a análise dos resultados dos ensaios, ou seja, a interpretação quantitativa e qualitativa dos mesmos. O sexto e último capítulo traz a conclusão do trabalho e, também, apresenta-se sugestões para possíveis pesquisas futuras. Por fim, apresentam-se as Referências Bibliográficas e os Anexos com os dados brutos associados à pesquisa realizada.

## 2. A CONSTRUÇÃO CIVIL NO BRASIL E A BUSCA POR SOLUÇÕES ALTERNATIVAS EM ÉPOCAS DE CRISE

### 2.1 GENERALIDADES

O setor da construção civil é um dos mais importantes para a economia brasileira. Ele movimenta uma vasta cadeia produtiva, empregando milhões de pessoas direta e indiretamente, tanto no canteiro de obras quanto na fabricação de insumos. Estima-se que 10% de todas as vagas de empregos, no Brasil, foram preenchidas por esse setor, que foi responsável, também, por 7% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro, em 2020 (ABRAIN, 2021). A Figura 2-1 apresenta a criação de empregos na construção civil no biênio 2020-2021.



Figura 2-1 – Números da criação de empregos na construção civil: 2021 x 2020  
Fonte: ABRAIN (2021).

Esses dados mostram a importância desse setor para a economia nacional e para o desenvolvimento social. De acordo com a Fundação João Pinheiro, tomando por base o ano de 2019, o déficit habitacional, em todo o Estado brasileiro, atingiu a marca de 5,8 milhões de moradias (FJP, 2021). Isso mostra o potencial que a construção civil detém, tanto que, mesmo diante de uma crise política, econômica e sanitária, esse ramo da economia teve um crescimento de 7,6%, em 2021, e tem uma previsão de crescimento de 2%, para o ano de 2022 (CNN, 2021).

A despeito da relevância do setor, são notórios os atrasos na principal tecnologia construtiva empregada, no Brasil, a saber, a alvenaria convencional ou de vedação. Um exemplo disso é o desperdício que, no canteiro de obras, leva a geração de consideráveis volumes de entulho. Esse fato acaba por causar outro problema: o descarte adequado desses resíduos. Dessa forma, faz-se

imprescindível o desenvolvimento de novas técnicas mais sustentáveis. Conforme ilustrado na Figura 2-2.

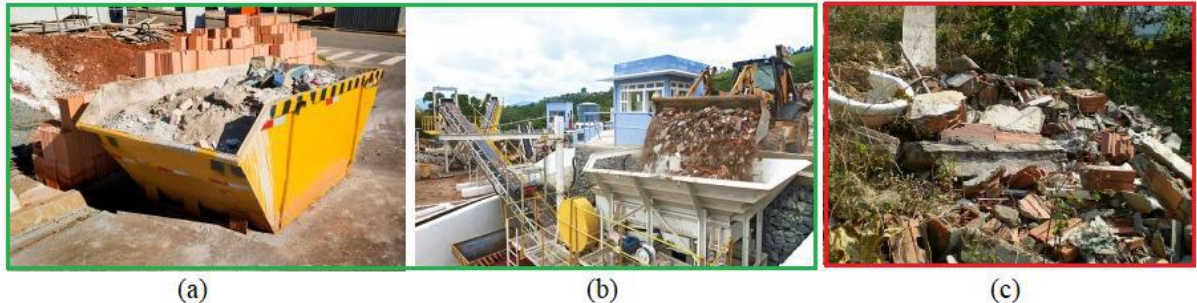


Figura 2-2 – Descarte de entulho de obras  
(a) e (b) Locais em que o entulho é descartado de maneira correta; (c) maneira incorreta de descarte do entulho. Fonte: Adaptado de ROYALMAQUINAS (2022).

A fim de suprir essas necessidades, a busca por novos métodos que aliem o baixo custo e o respeito ao meio ambiente é constantemente almejada. Ademais, com a recente alta no preço do aço<sup>1</sup>, no mercado brasileiro, a utilização da alvenaria de solo-cimento, também conhecido como tijolo ecológico, constitui-se em uma solução viável e promissora, especialmente, no Brasil, onde existem grandes extensões de solo tropical (Figura 2-3) que, geralmente, apresentam comportamento satisfatório, quando compactados (DOMINGOS, 2017). Naturalmente, o solo, maior fração da mistura, deve ser escolhido de modo que viabilize o menor consumo possível de cimento.

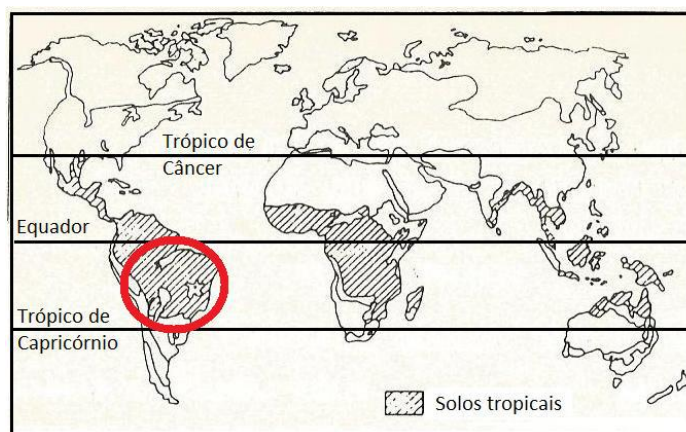


Figura 2-3 – Região com larga ocorrência de solos tropicais no planeta e detalhe do Brasil  
Fonte: Adaptado de Guimarães et. al (2018).

<sup>1</sup> CNN, 2021. **Com alta no preço, aço nacional já está mais caro que importado.** Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/business/com-alta-no-preco-aco-nacional-ja-esta-mais-carro-que-importa-do/>. Acessado em: 13 de abril de 2022.



Trata-se de um sistema construtivo de alvenaria de vedação, alternativo ao convencional de blocos cerâmicos e de concreto, que também pode ser estrutural, quando associado a uma estrutura de concreto (FIQUEROLA, 2004). Por ser mais econômico, pode constituir-se como uma solução para as necessidades habitacionais, por meio da construção de moradias populares – ou de construções convencionais –, que harmonizem o método à disponibilidade de materiais locais e ao projeto arquitetônico.

A Figura 2-4(a) apresenta um modelo de casa popular e a Figura 2-4(b) um padrão intermediário, ambos idealizados no Projeto SHS (2017, 2018). Já a Figura 2-4(c) é uma residência construída de padrão elevado.

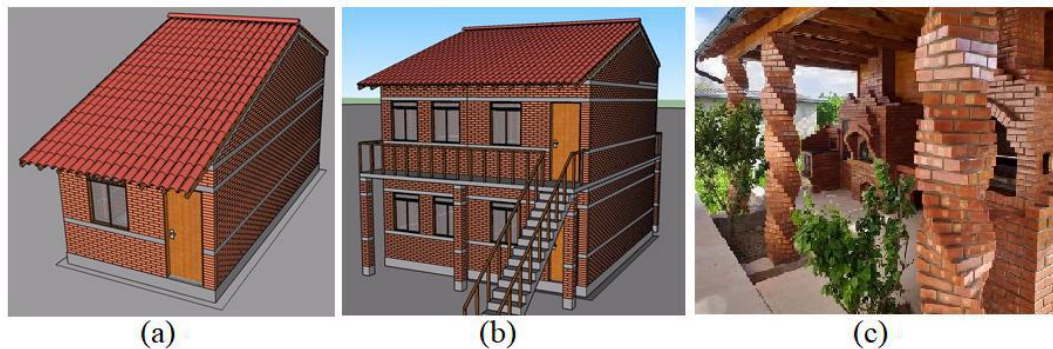


Figura 2-4 – Exemplos de edificações feitas com alvenaria armada com blocos de solo-cimento  
 (a) Casa padrão popular; (b) Casa padrão intermediário; (c) Casa padrão elevado.  
 Fonte: (a) e (b) SHS (2017, 2018); (c) VIMAQPRENSAS (2022).

Na utilização da alvenaria modular, reduz-se o consumo de cimento, já que os tijolos podem ser encaixados. Em alguns casos, pode-se reduzir, também, o consumo de aço, devido à inexigibilidade de execução de pilares de canto, salvo em casos de alvenaria de vedação. Ademais, evita-se o retrabalho e a geração de entulho devido à quebra e aos cortes da alvenaria para a passagem de tubulações, pois os furos, presentes na própria estrutura dos tijolos, permitirem a passagem das instalações elétricas e hidráulicas, enquanto alvenaria de vedação; e apenas hidráulicas, enquanto alvenaria estrutural (FIQUEROLA, 2004).

Essa técnica, considerada ambientalmente amigável, permite uma maior racionalização do *modus operandi* do canteiro de obras. Isso porque o emprego de novas ferramentas e metodologias permite a redução de desperdícios e de custos – sem prejuízo da qualidade –; uma menor geração de resíduos; a utilização adicional

de materiais alternativos, além da reciclagem e do reuso de materiais. Tudo isso tendo como principais matérias-primas básicas o solo e o cimento.

A possibilidade de utilização de diversos tipos de resíduos na confecção desses tijolos resulta em benefícios ambientais. Esses insumos adicionais são rejeitos de diferentes atividades antrópicas, tanto de origem sintética quanto orgânica. Dentre estes, destacam-se o pó de brita, os resíduos de rochas ornamentais, resíduos de construção civil (RCC), além dos resíduos da produção de alimentos, como a casca de arroz e o bagaço de cana-de-açúcar, conforme ilustrado na Figura 2-5.



Figura 2-5 – Exemplos de adições orgânicas e inorgânicas ao tijolo de solo-cimento e solo-cal (a) Pó de brita; (b) resíduos de rochas ornamentais *in natura*; (c) resíduos de rochas ornamentais seco em estufa e sendo misturado com solo tropical; (d) cinzas de casca de arroz; (e) blocos de solo-cal com cinzas de casca de arroz; (f) queima do bagaço da cana-de-açúcar; (g) e (h) cinzas do bagaço da cana-e-açúcar; (i) mistura de solo-cimento e as cinzas do bagaço da cana-e-açúcar.

Fonte: (a), (b) e (c) Souza (2018); (d) e (e) G1 (2013); (f) à (i) ALCANTARA et al. (2011).

A ideia central é dar um destino mais nobre a materiais que, a princípio, seriam descartados. Estes descartes causam graves problemas ambientais, a exemplo dos plásticos. Segundo o relatório “Da Poluição à Solução: Uma Análise Global sobre Lixo Marinho e Poluição Plástica”, do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), a poluição plástica constitui-se em uma crescente ameaça em todos os ecossistemas, de onde se origina até o mar (PNUMA, 2021).

Esse relatório ressalta que 85% dos rejeitos que chegam aos oceanos são feitos de plástico. Adverte ainda que, até 2040, esse número deve triplicar, chegando a uma marca anual entre 23 e 37 milhões de toneladas. Isto representa, aproximadamente, 50 kg de plástico por metro de costa em todo o planeta. Como

consequência, todas as espécies marinhas encaram riscos de envenenamento, distúrbios comportamentais, fome e asfixia. Os seres humanos também são suscetíveis à contaminação por esses resíduos (PNUMA, 2021). A Figura 2-6 ilustra alguns dos objetos plásticos comumente encontrados nos corpos d'água.



Figura 2-6 – Exemplo de contaminação com plásticos em praia paradisíaca  
Fonte: PNUMA (2022).

A contaminação hídrica, por resíduos plásticos, pode ser responsável por alterações hormonais, distúrbios de desenvolvimento, problemas reprodutivos e câncer. No processo de decomposição, que leva centenas de anos para chegar a termo, formam-se microplásticos que são ingeridos por meio do consumo de frutos do mar, de bebidas, até mesmo de sal comum e, quando suspensos no ar, podem penetrar na pele e serem inalados. Esse problema se tornou ainda mais grave com o aumento da produção de lixo hospitalar (ROSSINI, 2021).

## 2.2 DESAFIOS SUSTENTÁVEIS ASSOCIADOS À PANDEMIA DE COVID-19

No dia 31 de dezembro de 2019, a Organização Mundial da Saúde (OMS) recebeu um alerta acerca de vários casos de pneumonia, na cidade de Wuhan, província de Hubei, na República Popular da China. A causa desse problema revelou-se ser uma nova cepa de coronavírus, a saber, a SARS-CoV-2, responsável por causar a doença COVID-19. Já em 11 de março de 2020, o surto dessa enfermidade veio a ser classificado, pela OMS, como uma pandemia (OPAS, 2020).

De acordo com o *Our World in Data*, foram registrados mais de 505 milhões de casos da doença, que levou cerca de 6,2 milhões de mortes, ao redor do mundo. Desse total, mais de 30,3 milhões dos casos e, aproximadamente, 662 mil mortes

foram no Brasil<sup>2</sup>. A fim de interromper a propagação do vírus, foram declaradas sucessivas quarentenas e recomendado o uso de máscaras de proteção facial que, em muitos locais, tornou-se obrigatório, mesmo após o surgimento de vacinas de combate à doença, desenvolvidas por diferentes laboratórios farmacêuticos.

Um bom exemplo disso são os transportes públicos onde, ao redor do mundo, é obrigatório o uso das máscaras. Nos aviões, por exemplo, é notório o respeito entre as pessoas sobre a utilização das máscaras descartáveis. Inclusive, é possível ver pessoas utilizando duas máscaras sobrepostas. A Figura 2-7 mostra o interior de um avião, de cerca de 240 lugares, com os passageiros, de maneira geral, respeitando a lei de utilização das máscaras de proteção.



Figura 2-7 – Aviões com uso obrigatório de máscaras (centenas de máscaras por voo)  
 (a) Suprimento do avião; (b) e (c) Passageiros respeitando o uso de máscaras em locais fechados – interior do avião.

Nos aeroportos, além da obrigação pela utilização das máscaras descartáveis, recomenda-se o afastamento mínimo entre pessoas de 1,5 m e higienização constante das mãos. A Figura 2-8 mostra um cartaz com um resumo das obrigações dentro do aeroporto de Madrid, na Espanha. Já a Figura 2-9 mostra um cartaz no aeroporto de Guarulhos, no Brasil. Além disso, um panorama geral mostrando a circulação de pessoas dentro do mesmo aeroporto com fotos retiradas recentemente são apresentadas.

<sup>2</sup> Dados atualizados diariamente. Disponível em: <https://ourworldindata.org/explorers/coronavirus-data-explorer>. Acessado em 18 de abril de 2022.



Figura 2-8 – Aeroporto de Madrid, na Espanha, com uso obrigatório de máscaras  
 (a) Informativo sobre o regulamento interno de uso de máscaras; (b), (c) e (d) Intenso fluxo diário de passageiros.



Figura 2-9 – Aeroporto de Guarulhos, no Brasil – Informativos sobre as regras internas

Houve, portanto, um aumento expressivo na produção desses equipamentos de proteção. Os dados da Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento (UNCTAD) indicam que, mundialmente, os valores do comércio de máscaras dobraram, em 2020, atingindo a marca de US\$ 166 bilhões, em comparação ao ano anterior (ONU, 2021). Estima-se que mais de 120 bilhões de máscaras sejam descartadas, mensalmente, no mundo (CNN, 2020).

Cientistas da Universidade do Sul da Dinamarca e da Universidade de Princeton apontam que a fabricação de máscaras está em escala similar à de garrafas plásticas. Cabe ressaltar, no entanto, que existe uma considerável diferença entre o lixo das máscaras e das garrafas. No caso das garrafas plásticas, cerca de 25% são recicladas. Já as máscaras, como ainda não há um protocolo oficial sobre a reciclagem, este procedimento ainda não é realizado em larga escala (adaptado de ÉPOCA, 2021). Dessa forma, não é incomum, hoje em dia, encontrar máscaras em vias públicas, conforme Figura 2-10, uma vez que não há um descarte controlado.

Esses utensílios de proteção, devido à reduzida massa específica, são facilmente transportados pela ação dos ventos. Dessa forma, eles acabam por se difundir por diversas e distantes áreas, ao redor do planeta, tornando-se, por conseguinte, em um grave problema sanitário e ambiental. Muitas vezes, esses objetos têm como destino final os corpos d'água, a exemplo da Figura 2-10 (d).

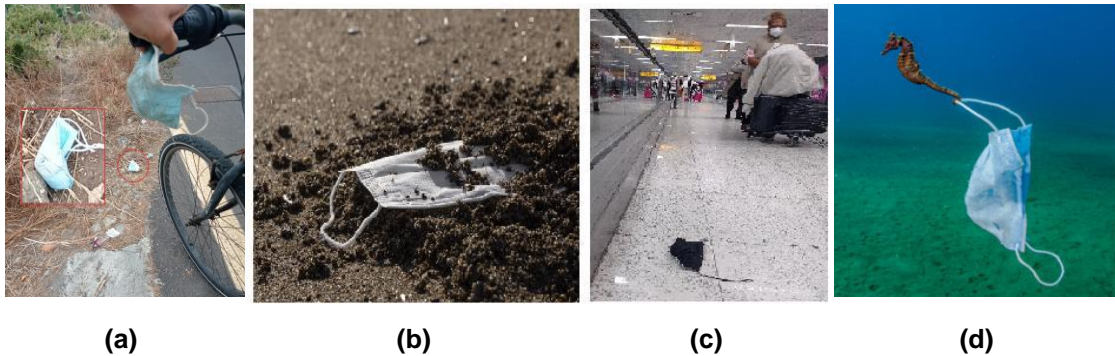


Figura 2-10 – Exemplo de poluição por máscaras descartáveis  
(a),(b) e (c) Máscaras descartadas, inapropriadamente, em vias públicas; (d) Poluição hídrica e ameaça à vida marinha. Fonte: (d) Ocean Photography Awards/Nicholas Samaras (G1, 2021).

Esses equipamentos de proteção individual (EPI) são de uso único e, normalmente, feitos de polipropileno, um polímero derivado do petróleo. Jogados no meio ambiente, eles se somam a cerca de 10 milhões de toneladas de plásticos que, anualmente, chegam ao mar (ROSSINI, 2021). Diante desse cenário, torna-se imprescindível e iminente a necessidade de se buscar soluções viáveis para esse desafio ambiental. E, assim como as demais áreas do conhecimento, a Engenharia Civil também pode desempenhar importante papel nessa indispensável tarefa.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 SOLO

O solo é um dos materiais mais antigos utilizados mundialmente na Engenharia. Trata-se de um insumo aplicado por, aproximadamente, 30% da população mundial na construção de habitações. Apesar de tradicional, ainda é considerado um dos materiais de construção do futuro, já que se mostra competitivo frente aos demais, pois possibilita uma diminuição de custos com transporte, energia e mão de obra (SANTIAGO, 2001).

Mesmo sendo considerado o material mais antigo e utilizado na construção, é também, segundo Senço (2007), o mais complexo e desconhecido deles. Ele é constituído por partículas minerais não cimentadas ou parcialmente cimentadas, advindas do intemperismo de rochas, com espaços intermediários ocupados por água e/ou ar (CRAIG, 1983). Trata-se, portanto, de uma estrutura porosa formada por partículas naturais nos estados sólido, líquido e gasoso, como pode ser visto na Figura 3-1. Elas são tridimensionais e são compostas por minerais e materiais orgânicos, que podem ser alterados por atividades antrópicas.

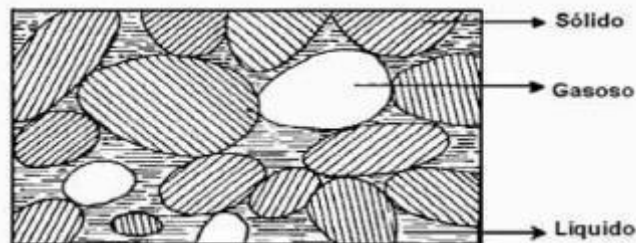


Figura 3-1 – Estrutura trifásica do Solo  
Fonte: SENÇO (2007).

Por encontrarem-se livres para deslocar entre si, o comportamento do solo depende do movimento dessas partículas. Ademais, esse material é oriundo dos mais diversos e heterogêneos depósitos, chamados de jazidas, o que acarreta em dificuldades para aplicar leis teóricas que possam prever o comportamento deste. Tudo isso os torna bem diferentes de outros materiais tradicionais, e homogêneos, da construção civil, como o aço e o concreto (PINTO, 2000).

Essa porosidade e, também, liberdade de descolamento entre as partículas sólidas tornam possível a alteração das porcentagens, em volume, das três fases constituinte (sólido, líquido e gasoso). Esse fato acaba por afastar o comportamento

do solo do mecanismo dos sólidos idealizado na Mecânica dos Sólidos Deformáveis, que é a base da Mecânica das Estruturas considerada na Engenharia Civil. Por conseguinte, a ciência que estuda os solos, a saber, a Mecânica dos Solos, pode ser adequadamente inserida na Mecânica dos Sistemas Particulados (LAMBE E WHITMAN, 1969, apud PINTO, 2000).

### 3.1.1 Origem dos solos

Como dito, anteriormente, os solos são constituídos pela desagregação das rochas da crosta terrestre. As rochas, por seu turno, são materiais sólidos, consolidados e formados por um ou mais minerais que estão conectados por intensas e permanentes forças coesivas. No que tange à formação das rochas, elas podem ser classificadas em: ígneas, sedimentares e metamórficas (TERZAGHI & PECK, 1961).

De acordo com GRANDE (2003), os minerais são elementos químicos que:

- constituem a crosta terrestre;
- possuem processo de formação natural e inorgânico;
- têm composição química e propriedades físicas bem definidas ou dentro de determinados limites;
- têm estrutura atômica/molecular organizada;
- possuem formação externa poliédrica, em condições especiais de formação.

A transformação da rocha em solo é complexa e se dá, majoritariamente, pelo processo de desagregação conhecido por intemperismo, que pode ser físico ou químico. No primeiro caso ocorre a fragmentação da rocha mãe por conta de forças físicas, a exemplo da ação do vento, água, variações de temperatura e da alternância entre gelo e degelo nas fissuras das rochas, sem que se altere a constituição química dos minerais constituintes (SCOTT, 1984).

Já no intemperismo químico, há a alteração química devido à presença de substâncias orgânicas e inorgânicas, provenientes da fauna e da flora. Essas substâncias, uma vez dissolvidas na água, oriunda de precipitações e infiltrações, atacam os minerais por meio de hidratação, hidrólise, oxidação, carbonatação dentre outros. A alternância desses processos gera partículas distintas, com tamanhos e composições químicas diferentes, a depender da rocha originária (SCOTT, 1984).



Como consequência dessas intempéries, os solos formados podem ser classificados em residuais ou transportados. Quando os produtos da desagregação permanecem no mesmo local da rocha mãe, o solo é chamado de residual. Caso contrário, tem-se o solo transportado, independente do agente que realizou o carreamento (TERZAGHI & PECK, 1961).

Cabe ressaltar que em regiões de clima tropical, como é o caso do Brasil, há a predominância da decomposição química causada pelas constantes precipitações. Desse modo, em solos residuais tropicais o intemperismo ocorre mais intensamente, se dando em camadas, também chamadas de horizontes, que juntas formam um perfil, como pode ser observado na Figura 3-2. O conhecimento desse perfil possibilita a realização de importantes observações para a aplicação no solo-cimento (GRANDE, 2003).

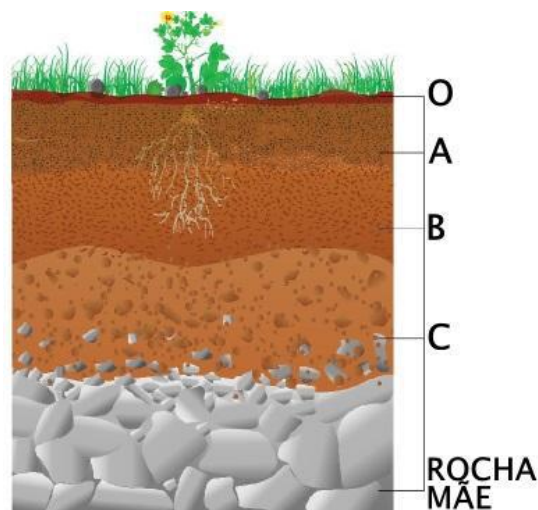


Figura 3-2 – Perfil do Solo.  
Fonte: Pena (2017).

O Horizonte O é a camada superficial, com grande presença de matéria orgânica. O Horizonte A é caracterizado pelo acúmulo de materiais dissolvidos e suspensos e, em geral, espessura de cerca de 30 centímetros. Nele pode haver a presença de celulose, que é inerte, e húmus, um ácido orgânico com intensa afinidade com a cal livre (CaO) liberada na hidratação do cimento. A presença desta substância, ainda que em pequenas quantidades, pode afetar a resistência final do solo-cimento. Assim, recomenda-se a adição de cal, nesses solos, antes do cimento.

O Horizonte B é mais argiloso, com predomínio da caulinita, podendo conter materiais orgânicos e óxidos ferrosos. Formado em ambiente de boa drenagem,

apresenta maior dificuldade para ser destorroado, pulverizado, o que pode ocasionar problemas na homogeneização da mistura solo-cimento. O Horizonte C é constituído pelo material residual originário, mais arenoso, por isso, mais facilmente destorroado, facilitando a homogeneização da mistura. Pode haver, porém, uma maior presença de partículas friáveis, levando à necessidade de um estudo de dosagem antes da aplicação. E, por fim, a Rocha-mãe, da qual se origina o solo.

### 3.1.2 Composição química e mineralógica

O comportamento mecânico dos solos varia, geralmente, de acordo com a granulometria deles. Em outras palavras, com a distribuição e a configuração dos distintos tamanhos das partículas constituintes do solo. As dimensões das partículas também dizem muito acerca da composição química e mineralógica destes. De acordo com SENÇO (2007), as partículas maiores do solo, como os pedregulhos e areias, constituem-se de fragmentos de rocha que podem ser compostas por um ou mais minerais. PINTO (2000), porém, destaca ser mais comum apenas um mineral.

Os grãos de areia, por seu turno, são formados por minerais resistentes ao intemperismo, principalmente quartzo ( $\text{SiO}_2$  cristalina). Já as partículas de argila são constituídas por um único mineral chamado argilominerais que são, majoritariamente, silicatos hidratados de alumínio. Dentre estes, os mais comuns são a caulinita, illita e a montmorilonita, que apresentam comportamentos bem distintos na presença de água. A caulinita por exemplo, é menos suscetível a variações de volume por absorção de água que as illitas (GRANDE, 2003). Já a montmorilonita tende a expandir-se na presença de água.

Essas variações de volume estão diretamente relacionadas aos Limites de Atterberg, que descrevem os estados físicos do solo, a saber:

- **Limite de Liquidez (LL):** é a quantidade de água que, adicionada ao solo, faz com que ele passe do estado plástico para o estado líquido, perdendo resistência;
- **Limite de Plasticidade (LP):** é a retirada de umidade do solo até que ele passe do estado semissólido para o estado plástico.

Em outras palavras, pode-se entender os Limites de Atterberg como fronteiras entre diferentes estados físicos do solo. E, por meio deles, torna-se possível a obtenção de um índice muito utilizado na prática da mecânica dos solos: o **Índice de**

**Plasticidade (IP)** que por definição é o intervalo de umidade entre o LL e o LP ( $IP = LL - LP$ ).

### 3.1.3 Estrutura do solo

A estrutura do solo é o termo empregado para descrever o arranjo das partículas sólidas, líquidas e gasosas, além da química existente entre essas três fases, especialmente no que tange às forças entre as partículas (SANTIAGO, 2001). É uma das características que o diferencia, ela pode causar mudança nas propriedades do mesmo. Quanto ao tamanho dos grãos sólidos, alguns possuem dimensões perceptíveis a olho nu, outros não; alguns só são percebidos, de forma individual, quando molhados (SENÇO, 2007).

Nota-se, por conseguinte, que há uma imensa variedade de tamanhos. E, com o intuito de facilitar a classificação dimensional das partículas sólidas que compõem o solo, a NBR 6502/1995 “Rochas e Solos” define as frações, segundo as diversas faixas de tamanhos, conforme pode ser observado na Tabela 3-1, abaixo.

Tabela 3-1 – Limite das frações de solo pelo tamanho dos grãos

Fração	Limites dimensionais
<b>Matacão</b>	25 cm a 1 m
<b>Pedra</b>	7,6 cm a 25 cm
<b>Pedregulho</b>	4,8 mm a 7,6 cm
<b>Areia grossa</b>	2 mm a 4,8 mm
<b>Areia média</b>	0,42 mm a 2 mm
<b>Areia fina</b>	0,05 mm a 0,42 mm
<b>Silte</b>	0,005 mm a 0,05 mm
<b>Argila</b>	inferior a 0,005 mm

Fonte: Adaptado de NBR 6502:1995.

Outro fator importante nos solos é o formato desses grãos. Os minerais mais facilmente alteráveis são, em geral, os que, ao se decompor, originam cristais lameliformes.

As porções mais finas do solo, o silte e a argila, são constituídas por partículas, respectivamente, angulares e escamosas. Já as areias podem ser angulares ou arredondadas, além de conter partículas lamelares.

Os pedregulhos são formados por grãos diversos, que podem ser angulares, arredondados ou menos achatados (SENÇO, 2007).

A fase líquida, por seu turno, não deve ser analisada de forma apartada, pois a água se apresenta no solo sob diversos aspectos, conforme mostra a Tabela 3-2, e é de extrema relevância no comportamento mecânico deste. Já a fase gasosa consiste nos vazios deixados pelas fases sólida e líquida, e é preenchida por ar, vapor d'água e carbono combinado (GRANDE, 2003).

Tabela 3-2 – Aspectos da água presente nos solos

<b>Tipo</b>	<b>Definição</b>
<b>Água de constituição</b>	é um dos componentes da argila, sua eliminação ou variação acarreta alteração nas propriedades da mesma.
<b>Água adsorvida</b>	constitui-se na película fixada na superfície dos grãos.
<b>Água higroscópica</b>	se encontra no solo, ao ar livre, ou seja, em equilíbrio com o vapor de água da atmosfera úmida, e é cedida em uma atmosfera seca.
<b>Água capilar</b>	nos solos de grãos finos, sobe pelos interstícios capilares deixados pelas partículas sólidas, além do plano determinado pela água livre.
<b>Água livre</b>	possui características físicas da água comum, regendo-se seu comportamento pelas leis da Hidráulica. Quanto maior a porosidade do solo, maior a quantidade de água que poderá conter em seus vazios.

Fonte: Adaptado de SENÇO (2007) apud LOBO (2019).

### 3.1.4 Compactação do solo

O processo de compactação do solo, geralmente mecânica, visa maximizar o contato entre os grãos e, por conseguinte, minimizar o número de vazios, de modo que a rigidez e a resistência do solo aumentem. É, portanto, o processo onde a quantidade de grãos e de água é constante, ocorrendo uma redução de volume graças ao agrupamento mais estreito das partículas e, assim, um aumento da massa específica do solo. É um dos métodos mais econômicos e difundidos para aumento da resistência do solo (BLÜCHER, 1951 apud GRANDE, 2003).

Em 1933, na Califórnia, Ralph R. Proctor, ao observar a relação entre o peso específico atingido pelo solo e a umidade no processo de compactação, enunciou um dos mais importantes princípios da Mecânica dos Solos. Ele estabelece a densidade de um solo compactado como uma função do teor de umidade ao ser compactado. Para uma energia constante de compactação, o aumento do teor de

umidade leva a um acréscimo da densidade do solo até um dado limite, conhecido como umidade ótima (PINTO, 2000).

Esse limite é o ponto em que se obtém a máxima massa específica aparente seca, para uma dada energia constante de compactação. Ao se ultrapassar esse teor de umidade, a densidade começa a diminuir, já que o filme d'água em torno dos grãos cresce para além do necessário. O teor ótimo promove a lubrificação necessária entre as partículas, facilitando, o preenchimento do maior número de vazios possível. Para quantidades de água maiores, o solo ruma à saturação, não oferecendo resistência à compactação (GRANDE, 2003).

O conhecimento do comportamento do solo no processo de compactação e já compactado é de fundamental importância, por razões de segurança, em projetos que envolvem a utilização de solos. Isso porque o aumento da massa específica, além de ampliar a resistência a rupturas, é capaz de reduzir possíveis variações volumétricas e, portanto, auxiliar, também, na impermeabilização do solo (SENÇO, 2007).

### 3.2 CIMENTO PORTLAND

O contrutor inglês Joseph Aspdin, em 1824, obteve um pó fino ao queimar conjuntamente pedras calcárias e argila, que recebeu o nome de cimento Portland em homenagem à semelhança com as rochas da ilha britânica de Portland. Com o decorrer do tempo, o cimento foi sendo aprimorado graças aos avanços tecnológicos (BATTAGIN, 2009). O cimento Portland é um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob a ação da água e que, depois de endurecido, não se decompõe mais em presença de água (ABCP, 2002).

Em termos técnicos, trata-se de um aglomerante hidráulico, obtido pela moagem do clínquer, com adição de gesso e outras substâncias minerais. As propriedades e características finais do cimento Portland estão diretamente relacionadas às matérias primas e ao processo de produção. E, em geral, são as adições minerais que definem os diferentes tipos e aplicações desse material (GRANDE, 2003).

O clínquer é uma mistura de calcário, argilas e minério de ferro, submetida ao processo de clínquerização. Neste processo, a rocha calcária é britada, moída e depois misturada com a argila moída. Essa mistura passa por um forno giratório que

atinge até 1450 °C. Então, o calor transforma a mistura no material chamado clínquer, que passa por uma moagem fina, de modo a ser transformado em pó (BATTAGIN, 2009).

O gesso tem a função de controlar o tempo de pega, ou seja, do início das reações químicas de cristalização do cimento que resultam no endurecimento e solidificação da mistura. Sem ele o cimento endureceria de maneira quase instantânea, sendo assim, o gesso está presente em todos os tipos de cimento Portland. A proporção utilizada, normalmente, é de 3% de gesso para 97% de clínquer, em massa.

Após a adição de água, o processo de hidratação do cimento inicia de forma imediata. Esse processo é complexo e consiste em diversas reações químicas simultâneas que interagem entre si. Diferentes aspectos da hidratação, tais como a velocidade de reação, a distribuição e a formação dos produtos hidratados dependem diretamente da superfície específica dos grãos de cimento, da temperatura, do volume de água disponível e dos procedimentos de mistura (GRANDE, 2003 apud SOUSA, 2018).

Na moagem final do clínquer, outros materiais como escórias de alto-forno e a pozolana (cinza vulcânica), são misturados com a finalidade de servir como adições ou “*fillers*”, isto é, materiais de custo mais baixo e menor consumo energético na fabricação, e que também funcionam como ligantes hidráulicos. Esses materiais também auxiliam no ganho de outras propriedades, a exemplo das escórias de alto-forno que aumentam a durabilidade e resistência final do cimento. A Tabela 3-3, abaixo, mostra dos principais tipos de cimento produzidos atualmente (ABCP, 2002).

Tabela 3-3 – Classificação dos Tipos de Cimento Portland Segundo a ABNT

Tipo de cimento Portland	Sigla	Composição (% em massa)				Norma Brasileira
		Clínquer + Gesso	Escória de alto-forno (E)	Material pozolânico (Z)	Material carbonático (F)	
Comum	CP I	100	-	-	-	NBR 5732
	CP I-S	99-95	-	1-5	-	
Composto	CP II-E	94-56	6-34	-	0-10	NBR 11578
	CP II-Z	94-76	-	6-14	0-10	
	CP II-F	94-90	-	-	6-10	
Alto-forno	CP III	65-25	35-70	-	0-5	NBR 5735

<b>Pozolânico</b>	CP IV	85-45	-	15-50	0-5	NBR 5736
<b>Alta Resistência Inicial</b>	CP V-ARI	100-95	-	-	0-5	NBR 5733
<b>Branco estrutural</b>	CPB-25		-	-	0-25	
	CPB-32	100-75	-	-	0-25	NBR 12989
	CPB-40		-	-	0-25	
<b>Branco não estrutural</b>	CPB	74-50	-	-	26-50	NBR 12989

Fonte: Adaptado de ABCP (2002).

### 3.3 POLIPROPILENO

#### 3.3.1 Aspectos gerais

Polipropileno (PP), também conhecido como polipropeno, é um polímero termoplástico, ou seja, que se torna remoldável sob elevadas temperaturas e se solidifica ao resfriar-se. É obtido a partir da polimerização do monômero propileno, logo, do inúmero encadeamento desse monômero tendo, assim, como fórmula molecular  $(C_3H_6)_n$ . Assim como os demais termoplásticos, trata-se de uma substância viscoelástica, conseqüentemente, com propriedades mecânicas dependentes do tempo, da temperatura e da tensão (TRIPATHI, 2002).

As propriedades de cada polímero dependem, sobretudo, da taticidade, ou seja, de como estão dispostos os monômeros na cadeia polimérica. Desse modo, para o PP, tem-se uma massa específica típica de  $0.9 \text{ g/cm}^3$ , que é a mais leve entre os termoplásticos mais usados. Por conta disso, oferece a vantagem de ser capaz de fabricar mais itens, devido ao peso reduzido do polímero. Tem elevada inércia química, pois reage com poucas substâncias, sendo insolúvel em quase todos os solventes orgânicos, a exceção de alguns solventes apolares, como o xileno, a tetralina, e a decalina (TRIPATHI, 2002).

Segundo Tripathi (2002), em geral, o polipropeno possui elevadas resistências à tração e à fadiga, rigidez e dureza. Quanto às propriedades térmicas, tem-se, para o ponto de fusão, temperaturas variando entre  $160$  e  $170^\circ\text{C}$ , com recristalização entre  $115$  e  $135^\circ\text{C}$ . Já para a transição vítrea, que corresponde à passagem entre os estados rígido e flexível, valores entre  $-10$  e  $-20^\circ\text{C}$ . Abaixo disso, o material se torna frágil e quebradiço e, acima, resistente e dúctil.

Por ser um material versátil, o PP é o segundo produto plástico mais produzido, mundialmente, perdendo apenas para o polietileno. Compõe mais de

25% da demanda global por polímeros liderada, principalmente, pelos países emergentes, especialmente a China. Estima-se que essa demanda dobre, em comparação ao ano de 2015, chegando à marca de 120 milhões de toneladas, em 2030 (SAMRUK-KAZYNA, 2017). A Figura 3-3 traz alguns exemplos de produtos, comumente, fabricados à base polipropileno.



Figura 3-3 – Exemplos de produtos feitos de polipropileno  
Fonte: NEUPLAST (2022).

Segundo o Conselho Regional de Química da IV Região, esse material é frequentemente utilizado na embalagem e rótulos de diversos produtos, dentre eles alimentos, cosméticos, medicamentos, garrafões de água, tubos para água quente, potes para freezer, fraldas e absorventes higiênicos, produtos hospitalares descartáveis e até mesmo baterias de automóveis, dentre outros. Identifica-se a presença deste termoplástico por meio do símbolo triangular de reciclável, com o número 5 no interior, e as letras PP na parte inferior, de acordo com a Figura 3-4.



(a)



(b)

Figura 3-4 – Símbolo de reciclagem do polipropileno  
(a) Símbolo de reciclagem do PP; (b) Exemplos de embalagens feitas de PP.  
Fonte: (a) CRQ4 (2011).

A despeito de todas as vantagens supracitadas, quando exposto a temperaturas acima de 100°C, o PP fica sujeito à degradação por reação com o



oxigênio. Ademais, a intensa exposição à radiação solar causa rachaduras e fissuras. Mesmo assim, ele pode ser protegido através da aplicação de aditivos absorventes e agentes antioxidantes que o previnam o desgaste polimérico (TRIPATHI, 2002). Cabe ressaltar que estudos apontam que, comunidades de micróbios isoladas de amostras de solo, quando misturadas com amido, tornam-se capazes de degradar o polipropileno (CACCIARI et al., 1993)

### **3.3.2 Reforço do solo com polipropileno**

Na Engenharia Geotécnica, o polipropileno é usado como um novo material de reforço dado às vantagens que proporciona. Além de ser usado na própria fabricação de geotêxteis e geogrelhas, a adição de PP em forma de fibras, no solo, podem ajudar a prevenir a ocorrência de potenciais planos de fraqueza devido à direção de disposição desses tecidos e à abertura das grelhas. Sem contar que, assim como a cal e o cimento, são facilmente dispersos no solo (JIANG et al., 2010).

No que se refere à origem do polipropileno empregado, ele pode ser obtido de fábrica ou por processos de reciclagem de outros produtos constituídos por esse material. Quantos às aplicações, já foram pesquisadas a mistura de fibras de polipropileno para reforço junto ao solo e para melhorar as características mecânicas da mistura solo-cimento.

Com relação a mistura das fibras de PP para reforço do solo, nos ensaios realizados por JIANG et al. (2010), o autor concluiu que a presença dessas fibras contribui para o aumento da resistência à compressão simples, a coesão e o ângulo de atrito interno do solo. A resistência à compressão aumenta, sutilmente, na medida em que cresce o percentual de fibras e o comprimento delas, no solo, encontrando um valor máximo em 0,3% (do total em massa seca) e 15 mm, respectivamente, e depois disso, decai. O mesmo ocorre com a coesão e com o ângulo de atrito, entretanto, a influência dessas variáveis sobre este último é menos significativa.

O contato entre as superfícies das fibras com os grãos do solo contribui para dificultar o deslocamento dessas partículas. Além disso, quando há o surgimento de fissuras, as fibras assumem parte das tensões no solo, por meio da fricção, impedindo o crescimento destas. O excesso de fibras, contudo, faz com que haja uma aderência entre elas e, conseqüente, a formação de nódulos. Assim, a

distribuição destas fibras não é mais homogênea o que acaba por prejudicar o reforço do solo (JIANG et al., 2010).

Ainda sobre o reforço nos solos, ESTABRAGH et al. (2017) encontraram resultados parecidos para argilas. Ao aumentar o percentual de fibras e o comprimento destas, as resistências à tração, à compressão e à flexão, e a ductilidade do solo, dentre outras características, são aprimoradas. Nesse caso, as fibras com comprimento em torno dos 10 mm, e em quantidades entre 0,5 e 1% do peso total, foram as que apresentaram os melhores resultados. Valores para além destes não apresentam melhorias significativas e, em um dado ponto, contribuem para o decaimento das propriedades mecânicas.

Para o caso das misturas de fibras de polipropileno ao solo e cimento, segundo ESTABRAGH et al. (2017), o comportamento é bem parecido. Estes autores concluíram que o aumento do comprimento das fibras acima de 10 mm não apresentou acréscimos significativos na resistência da mistura. Esta melhoria está mais relacionada à devida concentração das fibras e do cimento, além do tempo de cura. Isso graças à maior ligação e atrito entre as superfícies das fibras e do material cimentício (ESTABRAGH et al., 2017).

Na mesma pesquisa, ESTABRAGH et al. (2017) ressaltam a necessidade de estudos adicionais para definir a eficiência do reforço, em solo-cimento, com à aplicação de fibras menores que 10 mm. Concluem, também, que o comprimento das fibras para reforço em solos coesivos, que são mais finos e com menos vazios, não é tão relevante quanto em solos não coesivos, que têm grãos mais grossos e mais espaços vazios entre eles.

Recentemente, SABERIAN et al (2021), fizeram uma pesquisa sobre o reaproveitamento de máscaras descartáveis de polipropileno da COVID-19 para base/sub-base de pavimentos. O artigo publicado na revista internacional *Science of the Total Environment*, buscou aliar os ganhos do reforço em agregados reciclados de concreto com os sanitários e ambientais. Nesse estudo, os fragmentos, que são considerados como fibras curtas e discretas, são testados nos valores de 1, 2 e 3% da massa seca total.

A porcentagem considerada ideal, com maior aumento na resistência a compressão, flexibilidade, ductilidade e na prevenção da formação de fissuras, foi de 1%. Os pesquisadores justificam os resultados graças ao maior contato entre os

agregados, o cimento e as fibras. Valores maiores que 2% mostram uma perda nas propriedades mecânicas, já que, como visto anteriormente, o excesso de fibras pode causar um aumento no número de vazios devido à formação de nódulos.

Eles salientam, ainda que o reforço em base e sub-base de rodovias é capaz de reaproveitar aproximadamente 93,2 toneladas de máscaras por quilômetro de estrada<sup>3</sup>. Sendo assim, cada quilômetro de base e sub-base seria capaz de prevenir que cerca de 3 milhões de máscaras usadas terminem na natureza (SABERIAN et al., 2021). A Figura 3-5, abaixo, mostra corpos de provas do supracitado estudo.

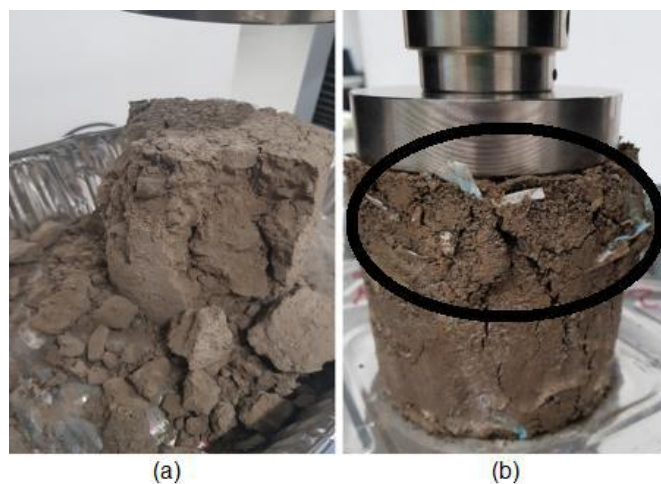


Figura 3-5 – Corpos de prova sendo rompidos  
(a) sem adição das fibras de polipropileno; (b) com adição de fibras de PP.  
Fonte: Adaptado de SABERIAN et al (2021).

### 3.4 ESTABILIZAÇÃO DOS SOLOS

Por ser um material complexo e heterogêneo, o uso do solo como material de construção requer cuidados. Visando melhorar as características do solo natural, tais como a estabilidade granulométrica, o aumento da resistência mecânica, a durabilidade, a redução da permeabilidade, dentre outros, o solo passa por um processo conhecido como estabilização (SENÇO, 2007). Ele pode ser classificado em três tipos principais, de acordo com o método, sendo eles: mecânico, físico e químico (Casanova, 2004).

Na estabilização mecânica realiza-se a compactação do solo por meio da aplicação de uma carga. Com isso, aumenta-se a compressibilidade e resistência mecânica, e diminui-se a permeabilidade, a porosidade e a densidade do solo. Na

<sup>3</sup> Estradas consideradas com duas pistas, sendo a largura total de 7 m e espessura de 0,5 m.

estabilização física, também conhecida como estabilização granulométrica, são misturadas frações de diferentes granulometrias de solo visando à otimização da proporção de areia, silte e argila, tornando o entrosamento dos grãos melhor.

Esse entrosamento nada mais é que a adequação da distribuição das diversas porções de grãos com diâmetros diferentes. Isso porque os vazios entre os grãos maiores são preenchidos pelas partículas médias e, os vazios destas, ocupados pelos grãos menores. Ocorre, por isso, um aumento da massa específica aparente, responsável pelo aumento da resistência e redução da permeabilidade. Ademais, a adequação granulométrica do solo é fator determinante na estabilização do solo com cimento, já que reduz o consumo desse aglutinante e melhora a viabilidade econômica (ABCP, 1960).

A estabilização química, por seu turno, acontece quando se adiciona outros materiais ao solo alterando, conseqüentemente, suas propriedades ou por reação físico-química entre os grãos e o aditivo ou, ainda, criando uma matriz que aglutina e reveste os grãos (SILVA, 2001 apud GRANDE, 2003). Os principais materiais utilizados são: cimento Portland, cal hidratada, betume, diversas fibras orgânicas, entre outros.

Na construção civil são utilizados os mais diferentes tipos de estabilização, em algumas vezes, simultaneamente. Segundo GUIMARÃES (1998 apud GRANDE, 2003) a escolha do tipo de estabilização depende de uma série de fatores como:

- viabilidade econômica;
- finalidade da obra;
- características dos materiais;
- propriedades que se deseja corrigir.

#### **3.4.1 Solo-cimento**

O solo-cimento é o produto obtido pela mistura de solo (agregados), cimento Portland e água. Trata-se do material resultante da correta mistura dessas substâncias, que sofre uma compactação e subsequente hidratação do ligante hidráulico e, com o decorrer do tempo de cura, adquire expressiva rigidez (BALBO, 2015). Segundo Marcondes (1992), o intuito é de formar um material com propriedades específicas para aplicação na Engenharia.

O cimento, ao contrário dos agregados que são inertes, ao ser hidratado, forma cristais que podem ser maiores que os grãos do solo. Os produtos dessa hidratação criam uma barreira contra água e, assim, evitam que haja a expansão de solos sensíveis à umidade. Cabe ressaltar, no entanto, que, segundo Casanova (1986), o processo de interação do solo com o cimento é tão complexo, que não se obteve uma correlação linear significativa entre o percentual de cimento e as demais variáveis envolvidas, a exemplo do pH do solo, dos percentuais de argila e de matéria orgânica, do Índice de Plasticidade (IP), do Limite de Liquidez (LL), etc.

Segundo Abiko (1983 apud GRANDE, 2003) a primeira vez que houve o emprego do solo-cimento foi em 1915, pelo engenheiro Bert Reno, para pavimentar uma rua. A mistura era composta por areia de praia, cimento Portland e conchas. No entanto, apenas 20 anos depois desse fato que a *Portland Cement Association* (PCA) iniciou as pesquisas sobre o assunto. A despeito de continuar sendo, majoritariamente, utilizado na pavimentação, o solo-cimento encontra, também, aplicações na construção de moradias, na forma de alvenarias de tijolos, de blocos prensados e painéis de paredes monolíticas (ROCHA, 1996 apud GRANDE, 2003).

No Brasil, desde a década de 1970, o solo-cimento passou a ser objeto de pesquisas em diversas instituições, principalmente da ABCP, do Centro de Pesquisas e Desenvolvimento do Estado da Bahia (CEPED) e do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT (1990, apud GRANDE 2003). Mesmo, segundo Souza et al. (2008), sendo o solo o material de maior proporção na mistura, esses estudos apontam para a seleção do solo que possibilite a máxima redução no consumo de cimento.

Para tanto, o solo ideal deve conter dadas proporções de diferentes dimensões a fim de garantir o maior entrosamento dos grãos e, por conseguinte, o menor consumo de cimento. Segundo Pinto (1980), solos arenosos bem graduados e com certa quantidade de silte mais argila são os mais indicados, exatamente por proporcionarem essa redução de consumo. Já para a PCA (1969 apud GRANDE, 2003), excelentes são os solos arenosos e pedregulhosos, contendo 65% a 90% de areia, e uma fração de silte mais argila variando de 10% a 35%.

A natureza do cimento, no solo-cimento, assim como em concretos e argamassas, é de importante relevância no desenvolvimento de produtos mais

eficientes. Isso dada às vantagens que o uso desse aglomerante hidráulico, segundo GRANDE (2003), proporciona, tais como:

- a não deterioração do material quando submerso em água;
- o aumento da resistência à compressão;
- a variação de umidade não causa variações volumétricas consideráveis;
- menor permeabilidade;
- maior durabilidade.

### **3.4.2 Fatores condicionantes da qualidade do solo-cimento**

Diversos fatores podem interferir na qualidade final do solo-cimento. Lima (2006 apud PINTO, 2015) destaca como sendo as mais importantes: o tipo de solo; o teor de cimento; o teor de umidade de compactação; o grau de homogeneidade; o processo de cura. Sendo que, dentre eles, o tipo de solo é o fator de maior importância, já que, se for inadequado, dificilmente obtêm-se um produto de qualidade. Ademais, Mercado (1990, apud GRANDE, 2003) acrescenta que este é um fator determinante para viabilidade econômica da estabilização do solo com cimento.

Nesse sentido, Casanova (2004 apud LIMA, 2018) recomenda que solos com colorações escuras como cinza, preto, castanho claro e escuro ou acinzentada, esverdeada e azulada devem ser evitados. Isso devido ao provável elevado acúmulo de matéria orgânica. Quanto ao teor de cimento, diversos autores como Moura (1987), Parente (1982), Rocha (1996), depois de realizarem diversos ensaios, concordam que esta é uma variável diretamente proporcional à resistência do solo, independentemente do tipo em questão (Adaptado de GRANDE, 2003).

Deve-se destacar, contudo, que tanto o elevado teor de cimento quanto as condições inadequadas de cura podem causar fissuras devido à retração por secagem (GRANDE, 2003). Outro fator importante é o procedimento de mistura de solo-cimento, que deve seguir, respectivamente, a seguinte ordem: (i) preparação do solo (destorroamento, pulverização e peneiramento); (ii) preparação da mistura (homogeneização seca e homogeneização da umidade); (iii) moldagem (uso efetivo).

O grau de compactação da mistura, independentemente da quantidade de cimento, reflete de maneira diretamente proporcional na resistência a compressão

do solo-cimento. E, para que haja uma compactação satisfatória, faz-se mister o conhecimento acerca da quantidade de água necessária, a saber, a umidade ideal para a mistura (SILVA, 2001). Em outras palavras, essa quantidade ideal interfere diretamente no grau de compactação, ou seja, na massa específica seca.

De acordo com Silveira (1966 apud GRANDE, 2003), para uma quantidade constante de cimento, uma redução de 5% na massa específica seca do material compactado pode causar diminuições da ordem de 15% na resistência mecânica final do solo-cimento. Ocorre uma exceção em solos mais arenosos, que atingem resistências maiores abaixo da umidade ótima, mas comprometendo a durabilidade.

O percentual de água necessário para hidratar o cimento, pode ser devidamente suprido pela umidade ótima de compactação. Para tanto, torna-se imprescindível a correta homogeneização da mistura, para que o máximo de cimento entre em contato com umidade.

Outro fator relevante é o processo de cura, uma vez que é de fundamental importância para a qualidade do produto final. Recomenda-se que a cura do solo-cimento seja feita em ambiente protegido da incidência direta da luz solar e, se possível, com umidade controlada (GRANDE, 2003).

### **3.4.3 Métodos de dosagem da mistura de solo-cimento**

De acordo com a ABCP (1980) a dosagem do solo-cimento constitui-se em diversos ensaios, seguida de uma interpretação através de critérios estabelecidos empiricamente. Existem diversos métodos, dentre eles: o método simplificado, o método geral e o método físico-químico.

O simplificado é recomendado para solos arenosos, em que são utilizados tabelas e ábacos resultantes da experiência adquirida, o que permite a eliminação de alguns ensaios e, conseqüentemente, a redução de tempo e trabalho de pesquisa.

O método geral pode ser empregado em qualquer tipo de solo, à exceção dos orgânicos, e é baseado na perda de massa de corpos de prova que passam por 12 ciclos de ensaio de durabilidade por molhagem e secagem.

Já o método físico-químico baseia-se na afinidade elétrica entre as partículas de cimento e de argila contidas no solo, que causam variações volumétricas na mistura, no qual esse método se baseia.

O método mais utilizado na prática de estabilização de solo com cimento é o método simplificado. Ele lastreia-se na resistência a compressão simples do solo-cimento hidratado, depois da ocorrência de sete dias de cura. E, para que seja empregado, o solo deve satisfazer aos seguintes pré-requisitos estabelecidos pela NBR 10833:2012:

- 100% do material passante na peneira ABNT 4,8 mm;
- de 10 a 50% passante na peneira ABNT 0,075 mm;
- limite de liquidez  $\leq 45\%$ ;
- índice de plasticidade  $\leq 18\%$ ;
- não ter porcentagens significativas de impurezas e matéria orgânica.

A escolha adequada do solo serve para determinar os teores ideais de cimento e de água para composição da mistura a ser prensada. Grosso modo, pode-se dizer que os solos que atendam a esses fatores podem adquirir resistência elevada, com baixos teores de cimento. Ademais, a dosagem e a execução também podem ser realizadas com razoável eficiência (ABCP, 1980).

Segundo SENÇO (2007), o principal requisito para se obter uma mistura adequada de solo-cimento é a adoção de um conveniente percentual de cimento Portland. Ele deve ser misturado de maneira homogênea junto ao solo, previamente destorroado e peneirado, e ao teor ótimo de umidade. Essa mistura deve ser feita de modo que possa ser devidamente compactada, alcançando a maior massa específica possível, antes mesmo de haver a hidratação do cimento.

Faz-se necessário dizer que, por mais metódico que seja o método de dosagem utilizado, não há garantias de obtenção de uma mistura de boa qualidade. Nas misturas de solo-cimento destinadas a moldagem de blocos vazados, o traço escolhido, além de apresentar o menor consumo possível de cimento, está condicionado a obedecer aos requisitos da norma técnica NBR 8491:2012 em relação à resistência à compressão e absorção de água.

### 3.5 SOLO COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO

#### 3.5.1 Métodos construtivos

Diversos são os métodos construtivos com solo. Contudo, cabe ressaltar que eles pertencem a três grandes grupos de soluções construtivas, a saber: as



construções *em terra*<sup>4</sup> (com terra escavada e terra cortada); as construções *com terra* (de cobertura ou de enchimento); e construções *de terra* (terra compactada, adobe, terra modelada, terra empilhada, terra derramada e terra palha). Nas construções de terra compactada encontram-se, além da taipa de pilão, das paredes inteiriças em solo-cimento e do piso em terra batida, os tijolos prensados (SANTIAGO, 2001).

De acordo com CUNHA (1978 apud GRANDE, 2003), os principais métodos construtivos com solo são:

- **Adobes:** mistura de barro úmido, colocada em formas e seca ao sol;
- **Taipa de pilão:** esse método consiste em moldar a parede “in situ”, comprimindo o solo dentro de fôrmas móveis em sucessivas camadas. CYTRYN (1957 apud GRANDE, 2003), descreve detalhadamente esse sistema construtivo;
- **Taipa de mão:** consiste em preencher com barro úmido uma trama de madeira que estrutura o painel da parede;
- **Bolas:** consiste em empilhar bolas de barro, formando a parede;
- **Leivas:** corta-se o solo superficial em blocos e depois um é empilhado sobre o outro formando a parede.
- **Blocos de terra compactada:** esses tijolos são prensados utilizando um dispositivo mecânico para submeter o material a pressões elevadas.

### 3.5.2 Histórico

A terra crua, aquela não submetida à transformação por fogo, corresponde ao material empregado na construção da habitação de cerca de um terço da população mundial (SANTIAGO, 2001). Além disso, segundo CYTRYN (1957 apud GRANDE, 2003), acredita-se que, em locais de difícil acesso à madeira e pedras, a construção de terra foi a primeira solução encontrada pelo homem para proteger-se das intempéries e construir abrigos. O uso desse material já foi e ainda é bastante difundido ao redor do mundo, em todos os continentes.

Por ser um material versátil e abundante, usado nas mais diversas obras, há registros da aplicação do solo em culturas antigas e diversas. Comunidades

---

<sup>4</sup> O termo terra é muito utilizado no meio de arquitetura e urbanismo. Já na engenharia civil, na mecânica dos solos, é mais comum se falar em solo.

neolíticas, cerca de 5000 a.C., no Egito, já empregavam a terra crua na construção em forma de adobe, tijolos de terra crua. Nesse mesmo período, na China, registra-se construções feitas em buracos, em planta circular ou oval, na terra. No Oriente Médio, escavações arqueológicas apontam que, possivelmente, na região do atual Iraque, foi onde surgiram os primeiros tijolos paralelepípedicos, cerca de 10 000 a.C. (SANTIAGO, 2001).

Na África, na década de 1980 na África foi executado o maior programa de construção econômica em terra crua do mundo. Foram construídas cerca de 5000 casas utilizando somente produtos locais, além da construção de escolas experimentais. Na Alemanha, após a Segunda Guerra Mundial, a escassez de recursos e materiais, levou ao uso de terra crua na construção de habitações com o objetivo de realocar os desabrigados. Na França, no século XIX, o uso da taipa foi bastante difundido e, ainda nos dias atuais, aproximadamente 15% das edificações do país baseiam-se no solo como material de construção (SANTIAGO, 2001).

No Brasil, em cidades como Ouro Preto, Diamantina e Paraty, usa-se taipa há cerca de 400 anos nas construções. No entanto, desde a década de 1940, após a publicação do método de dosagem para utilização em obras de pavimentação, pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), começou-se a difundir a estabilização do solo com cimento, no país. E, desde a década de 1970, que diversos pesquisadores defendem o maior uso do solo, na construção civil, por causar menores impactos ambientais (SANTIAGO, 2001).

## 3.6 TIJOLO SOLO-CIMENTO

### 3.6.1 Curiosidades

Nacionalmente, o uso dessa alvenaria, na construção de habitações, foi sendo descontinuado na medida em que outros materiais mais industrializados foram surgindo. A utilização da mistura de solo-cimento, no entanto, continuou preponderante em obras de pavimentação, já que compõem cerca de 90% das bases das rodovias nacionais, além de reforços e estabilizações do solo, barragens e contenções (GRANDE, 2003). Cabe, então, um resgate ao uso desse material em obras habitacionais.

A popularização do tijolo de solo-cimento, que é produzido por prensas mecânicas ou hidráulicas, ainda enfrenta diversos desafios. Muitos destes são

devidos às múltiplas variáveis envolvidas na utilização do solo. Assim, para que estas barreiras sejam vencidas, faz-se necessária a realização de diversos estudos e ensaios, instrumentalizados por ferramentas estatísticas, para que se possa tornar corrente o dimensionamento e a fabricação desse tipo de alvenaria.

### 3.6.2 Propriedades mecânicas

As propriedades dos tijolos de solo-cimento são estabelecidas pelo entrosamento dos grãos do solo compactado. Este, por seu turno, liga-se diretamente à energia de compactação, logo, ao equipamento utilizado na moldagem. Ademais, a prensa também contribui para a uniformidade do tijolo solo-cimento, tornando possível a redução no uso de argamassa de revestimento.

Existem diversos tipos de prensas disponíveis no mercado, dentre elas as principais são a manual e a motorizadas, ambas nas modalidades mecânica e hidráulica. A produtividade delas encontra-se disposta a seguir, na Tabela 3-4.

Tabela 3-4 – Produtividade das prensas para solo estabilizado

Tipo de prensa		Energia de compactação (MPa)	Taxa de compactação do solo	Produção (tijolos/dia)
<b>Manual</b>	Mecânica	1,5 – 2,0	1,38	300 a 1200
	Hidráulica	2,0 – 10,0	1,65	2000 a 2800
<b>Motorizada</b>	Mecânica	4,0 – 24,0	>1,65	1600 a 12000
	Hidráulica	>20,0	>2,00	-

Fonte: Adaptado de Grande (2003).



Figura 3-6 – Diferentes tipos de prensas de tijolos solo-cimento  
 (a) Prensa manual mecânica; (b) Prensa manual hidráulica; (c) Prensa motorizada hidráulica.  
 Fonte: (a) e (b) VIMAQPRENSAS (2022); (c) ALROMA (2022).

Cabe ressaltar que, caso a produção diária supere 10.000 tijolos, a ABCP (1988) recomenda a dosagem da mistura com proporções de, em volume, 1:10, 1:12 e 1:14 (cimento: solo). Deve-se ponderar entre o menor consumo de cimento e o atendimento aos requisitos definidos na NBR 8491/2012: “Tijolo de solo-cimento – Requisitos”, apresentados na Tabela 3-5.

Tabela 3-5 – Limites definidos para o controle qualitativo dos tijolos solo-cimento

Característica	Nº de amostras	Limites definidos	
<b>Variação dimensional</b>	-	± 3 mm	
<b>Resistência à compressão</b>	7	Valor médio	≥ 2,0 MPa
		Valor individual	≥ 1,7 MPa
<b>Absorção de água</b>	3	Valor médio	≤ 20%
		Valor individual	≤ 22%

Fonte: Adaptado de NBR 8491:2012.

### 3.6.3 Características

Além do tipo de prensa, os tijolos podem ser moldados de diversas formas e dimensões diferentes para atender distintas finalidades. Eles podem ser maciços, com um ou dois furos, com ou sem encaixes, inteiros ou metades e em forma de canaletas, como pode ser visto na

Tabela 3-6 e na Figura 3-7 (PISANI, 2005). Os tijolos confeccionados no presente estudo são os com dois furos e encaixes, com dimensões de 6,25 x 12,5 x 25,0 cm.

Tabela 3-6 – Tipos e dimensões de tijolos de solo-cimento fabricados no Brasil

Tipo	Dimensões	Características
<b>Maciço comum</b>	5 x 10 x 20 cm 5 x 10 x 21 cm	Assentamento com argamassa similar aos tijolos maciços comuns.
<b>Maciço com encaixes</b>	5 x 10 x 21 cm 5 x 11 x 23 cm	Assentamento com encaixes e baixo consumo de argamassa.
<b>½ tijolo com encaixes</b>	5 x 10 x 10,5 cm 5 x 11 x 11,5 cm	Elemento confeccionado para que não haja quebras na construção dos aparelhos com juntas desencontradas.
<b>Com dois furos e encaixes</b>	5 x 10 x 20 cm 6,25 x 12,5 x 25 cm 7,5 x 15 x 30 cm	Assentamento a seco, com cola branca ou argamassa bem plástica. Tubulações passam pelos furos verticais.

<b>½ tijolo com furo e encaixes</b>	5 x 10 x 10 cm	Elemento confeccionado para acertar os aparelhos, sem a necessidade de quebras.
	6,25 x 12,5 x 12,5 cm	
	7,5 x 15 x 15 cm	
<b>Canaletas</b>	5 x 10 x 20 cm	Elemento utilizado para execução de vergas, reforços estruturais, cintas de amarração e passagens de tubulações horizontais.
	6,25 x 12,5 x 25 cm	
	7,5 x 15 x 30 cm	

Fonte: Adaptado de Pisani (2005).



Figura 3-7 – Diferentes modelos de tijolos solo-cimento  
Fonte: VIMAQPRENSAS (2022).

Cabe ressaltar que, no caso específico das canaletas, todos os formatos precisam ser ensaiados, separadamente, pois apresentam distintas resistências. Ademais, os furos presentes nos tijolos, além de possibilitarem a passagem de tubulações de instalações prediais – elétricas, hidrossanitário e de dados –, segundo Pisani (2005) objetivam também:

- facilitar o assentamento pelo encaixe dos tijolos, o que também reduz o tempo de execução e o uso de argamassa ou cola;
- redução do peso das estruturas de alvenarias, refletindo diretamente na economia com o dimensionamento de fundações;
- auxilia no aumento do isolamento termo-acústico, já que funcionam como câmaras de ar no interior das alvenarias.

### 3.6.4 Vantagens

No que tange às vantagens de utilização do tijolo de solo-cimento, pode-se elencar várias, dentre elas a ABCP (1988) destaca as seguintes:

- Redução nos danos ambientais devido à ausência de queima no processo;
- Redução de custos, já que, geralmente, dispensa-se os gastos com transporte, pois o ideal é que seja utilizada uma jazida próxima ao local da obra;
- Simplicidade dos equipamentos, que também são de baixo custo;
- Ausência de consumo de combustível na moldagem;
- Redução no consumo de argamassas de assentamento e de revestimento por conta da regularidade geométrica dos tijolos;
- Possibilidade de dispensa de aplicação de revestimento, desde que resguardado da ação direta da água;
- Dispensa o emprego de mão de obra especializada;
- Semelhança na resistência à compressão simples com o tijolo cerâmico;

### **3.6.5 Ensaio de preliminares**

É recomendado por diversos autores – e.g.: Casanova (2004) – que os solos passem por ensaios em laboratório para que sejam empregados na fabricação de tijolos de solo-cimento. Assim, os seguintes procedimentos preliminares em laboratório devem ser realizados:

- Preparação de Amostra de Solo para Ensaio de Compactação e Ensaio de Caracterização (NBR 6457:2016);
- Determinação da Massa Específica dos Grãos de Solos (NBR 6508:1984);
- Determinação do Limite de Liquidez (NBR 6459:2016);
- Determinação do Limite de Plasticidade (NBR 7180:2016);
- Análise Granulométrica (NBR 7181:2016).

### **3.6.6 Recomendações práticas de execução**

De acordo com a ABCP (1988), e algumas complementações do próprio autor desta pesquisa, devem-se seguir as seguintes recomendações e respectivas etapas de fabricação do tijolo de solo-cimento:

1. Triagem adequada do solo, por meio de análise laboratorial, de modo que os critérios mínimos de seleção sejam atendidos (percentual de finos, LL e LP).

2. Após a escolha, o solo deve ser destorroado, peneirado (abertura da malha de 4,75 mm) misturado e, respectivamente, armazenado em local abrigado do sol. Destaca-se para, caso seja possível, realizar a medida da umidade da amostra.
3. Adição do cimento ao solo realizando uma mistura homogênea dos materiais secos. Em seguida, acrescenta-se água e mistura-se novamente o material para uniformização da umidade. A água deve ser introduzida com muito cuidado e de forma bem distribuída. Um ponto importante está associado ao volume da mistura a ser preparado. Em hipótese alguma deve-se demorar mais de 1 hora na prensagem de um traço, pois com o passar do tempo existe a possibilidade do cimento reagir com a água antes da colocação na prensa, comprometendo assim, o desempenho do tijolo. Outro fator que merece destaque nessa etapa é a possível perda de umidade para o ambiente. Deve-se atentar para que não haja luz direta do sol incidindo na mistura após adicionar a água.
4. Moldagem dos tijolos na prensa.
5. Retirada cuidadosa dos tijolos da prensa. Na prática de fabricação dos tijolos solo-cimento costuma-se corriqueiramente, realizar o “teste do dedão” – vide Souza (2018).
6. Transporte para locais protegido das intempéries e sem contato direto com o solo (chão). Este passo visa um pequeno ganho de resistência inicial do tijolo solo-cimento. Assim, recomenda-se colocar os tijolos, em cima de estruturas de madeira (tipo “*pallets*”), todos envoltos em lona plástica, sem empilhamento, por cerca de 12 horas. Depois, eles podem ser empilhados e mantidos, por mais 3 dias, nesse mesmo ambiente.
7. Por fim, a cura e armazenamento dos tijolos. A cura pode ser realizada de diversas formas: câmara úmida, caixas d’água, containers ou até empilhadas com a proteção de lona plástica. Recomenda-se, após passadas 6 horas da moldagem dos tijolos, iniciar o processo de molhagem dos tijolos. Este processo visa manter a umidade de fabricação em um nível próximo ao inicial. Com efeito, deve-se manter a molhagem dos tijolos por, no mínimo, 7 dias que se sucedem a fabricação. Recomenda-se realizar este procedimento com um simples regador de jardim. O intervalo

entre as molhagens deve seguir a particularidade de cada lugar (vento, temperatura, etc.). O empilhamento máximo, durante o processo de cura, deve ser de 10 tijolos, nos 7 primeiros dias.

### 3.6.7 Patologias

O solo, por ser um material complexo, requer conhecimento e controle tecnológico para ser devidamente aplicado como material de construção. Desse fato, advém a necessidade de realizar a estabilização físico-química desse insumo e se compreender as complexas variáveis envolvidas nesse processo.

Pode-se afirmar, assim, que a qualidade do produto final depende, principalmente, do solo utilizado, já que, mesmo após a estabilização, pode haver patologias. Segundo Faria (1990 apud GRANDE, 2003), as mais comuns são:

- variações volumétricas advindas da reação da água com aditivos;
- deterioração do material por causa da presença de sais solúveis em água, de matéria orgânica, de materiais expansivos ou de partículas friáveis;
- desuniformidade nas propriedades da série produzida em razão da descontinuidade das características do insumo.

### 3.6.8 O projeto Solução Habitacional Simples (SHS)

Coordenado pelo Professor Leandro Torres Di Gregorio, da Escola Politécnica da UFRJ, o Projeto SHS (Solução Habitacional Simples) possui uma estrutura consolidada e uma página na *internet* (<https://shs.poli.ufrj.br/>) com todas as informações necessárias para se inteirar sobre o tema. A Figura 3-8 apresenta um “*print*” dessa página, com as diversas opções relacionadas a essas temáticas.



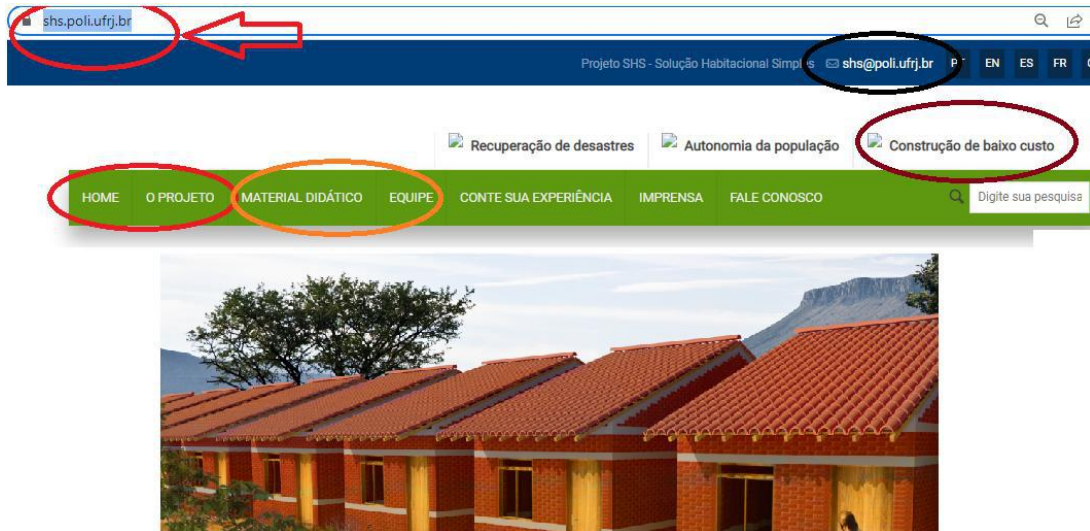


Figura 3-8 – Principais opções da página do Projeto SHS na internet  
 Fonte: Adaptado de SHS (2022).

De acordo com Di Gregorio e Guimarães (2021), a proposta desse projeto é criar uma alternativa para situações críticas onde seja necessário construir casas populares e pequenas edificações para uso coletivo (escolas e postos de saúde), com o uso de recursos escassos. Para tanto, o projeto SHS se estrutura em propostas que se reúnem em três grandes ramificações, a saber: (i) projeto profissional simples; trabalho em mutirão; construção de baixo custo.

Esta tríplice ação, ilustrada na Figura 3-9, abaixo, acaba gerando a possibilidade de apresentar um suporte, por meio de materiais didáticos, para reconstrução de áreas afetadas por desastres e conflitos. Isso porque, de acordo com Lima (2018), o projeto, em constante desenvolvimento e adaptação, dispõe de estudos sobre construções em regime de mutirão, além de diferentes pesquisas sendo realizadas e materiais didáticos em formato de texto e de vídeo, já que dispõe, também, de um canal no Youtube<sup>5</sup>.

<sup>5</sup> Vide: <https://www.youtube.com/channel/UCDcLkUswPwmAeQHlrFoAq2Q/featured>.



Figura 3-9 – Tríplice ramificação do projeto SHS  
 Fonte: Adaptado de Di Gregorio & Guimarães (2021).

Faz-se importante ressaltar que o SHS está em constante interação com os seus usuários. Como o conteúdo do projeto não é conclusivo, mas sim propositivo e está em permanente evolução, a equipe idealizadora solicita, aos possíveis usuários do projeto, que relatem no menu “Conte sua Experiência” as vivências sobre sua utilização, de modo que seja possível o aprimoramento contínuo do material.

Informações mais detalhadas, assim como a obtenção dos materiais, encontram-se disponíveis em: <https://shs.poli.ufrj.br/>.

#### 3.6.8.1 Público-alvo do projeto

O Projeto SHS destina-se ao público em geral, sem restrições, que tenha interesse acerca da temática da solução habitacional com a utilização de tijolos de solo-cimento. No entanto, chama a atenção para alguns atores-chaves na sociedade, a saber:

- Técnicos do Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil;
- Técnicos do poder público federal, estadual ou municipal;
- Organizações sem fins lucrativos, nacionais ou internacionais;
- Os próprios atingidos, com apoio de assistentes técnicos habilitados (Engenheiros e/ou Arquitetos);
- As Forças Armadas, em âmbito nacional ou internacional, a título de ajuda humanitária;
- A ONU – Organização das Nações Unidas;
- Universidades, Institutos de Pesquisa, estudantes e pesquisadores;
- Equipes de assistência técnica e empreendedores sociais.

### 3.6.8.2 Histórico atualizado

A Tabela 3-7 apresenta o histórico atualizado, e simplificado, do Projeto SHS até os dias atuais, apresentado em Di Gregorio e Guimarães (2021).

Tabela 3-7 – Tipos e dimensões de tijolos de solo-cimento fabricados no Brasil

Fase	Período	Principais características
1	2009 a 2012	Projeto de Inovação Tecnológica - FAPERJ. 4 equipes, 15 profissionais.
2	2017 a 2018	Projeto + <u>Curso</u> + Evento de Extensão UFRJ. 14 equipes, mais de 100 voluntários.
3	2019 a 2022	Projeto e validação para modelo residência multirrisco (sismos e furacões).

Fonte: Adaptado de Di Gregorio e Guimarães (2021).

### 3.6.8.3 O programa de ações

Di Gregorio e Guimarães (2021) apresentam um resumo do programa de ações associadas ao Projeto SHS, de uma forma geral. A Figura 3-10 ilustra um dos slides da apresentação de Di Gregorio e Guimarães (2021) na Semana da Engenharia Civil da UFRJ/Macaé, no dia 09 de dezembro de 2021.

MÓDULO 1: PROJETOS	MÓDULO 2: MUTIRÃO	MÓDULO 3: MATERIAIS
Arquitetura	Administração de mutirões	Estudos preliminares
Urbanização	Cadastro de famílias	Ensaio pré-fabricação
Canteiro de Obras	Administração da obra	Fabricação
Fundações	Controle de horas	Ensaio pós-fabricação
Estruturas	Controle de estoque	Planilhas de apoio
Instalações elétricas	Controle de custos	
Instalações hidrossanitárias		
Técnicas da construção		

**SLIDES, VIDEOAULAS PLANILHAS ELETRÔNICAS, MEMORIAIS E DESENHOS DISPONIBILIZADOS GRATUITAMENTE NO SITE [www.shs.poli.ufrj.br](http://www.shs.poli.ufrj.br)**

Esse documento é parte integrante do material didático do Projeto SHS. Sua utilização está condicionada ao aceite do Termo de Uso e Responsabilidade disponível no site do Projeto ([www.shs.poli.ufrj.br](http://www.shs.poli.ufrj.br))

Figura 3-10 – Slide de apresentação dos Módulos do Projeto SHS  
Fonte: Adaptado de Di Gregorio e Guimarães, 2021.

### 3.6.8.4 Benefícios da técnica

Essa técnica trás, também, benefícios sociais, já que proporciona a capacitação profissional, a redução com os gastos com mão de obra e o aumento da

qualidade de vida. Isso porque são formados mutirões de fabricação e construção de casas populares por meio de projetos sociais de instituições filantrópicas como, por exemplo, a Ação Moradia<sup>6</sup>, existente na cidade de Uberlândia, em Minas Gerais.

Outro exemplo é a ONG Village Marie<sup>7</sup>, no Haiti, que nasceu após o aluno Haitiano, Jac-Ssone Alerte, cursar o “Trabalho de Conclusão de Curso” dele com o Professor Leandro Torres Di Gregorio, em 2018. Jac-Ssone já estava envolvido no Projeto SHS desde 2017. Hoje em dia existe uma cooperação entre o SHS e a Village Marie – Haiti. A ONG haitiana possui interesse no modelo SHS Multirrisco.



Figura 3-11 – Imagens da atuação da ONG Village Marie  
Fonte: Adaptado de VILLAGE MARIE (2022).

<sup>6</sup> Para mais informações sobre o projeto, acesse: <https://beta.acaomoradia.org.br/>.

<sup>7</sup> Atuando sob o regime de mutirão, o projeto veio a se tornar uma Organização não Governamental (ONG) que busca solucionar os graves problemas habitacionais haitianos. Para mais informações sobre o projeto, acesse: <https://villagemarie.com/>.

## **4. A PESQUISA EXPERIMENTAL**

### **4.1 GENERALIDADES**

No presente capítulo, apresentam-se os materiais utilizados na pesquisa e a descrição dos processos realizados. Todos os procedimentos foram realizados no laboratório de Engenharia Civil da UFRJ/Macaé.

Destaca-se que o objetivo desta pesquisa foi fabricar e testar a resistência à compressão simples de tijolos solo-cimento com e sem a utilização de máscaras descartáveis de polipropileno.

Cabe ressaltar, também, que, nas vezes em que se mediu a umidade de uma dada amostra, seguiu-se o procedimento detalhado no Anexo 1.

### **4.2 MATERIAIS UTILIZADOS**

Na fabricação dos tijolos, utiliza-se o solo de duas jazidas situadas na área do Campus UFRJ-Macaé, localizada na cidade homônima, no norte estado do Rio de Janeiro. O cimento utilizado foi o Portland CPIII-RS 32 da marca Votorantim e a água é a distribuída pela CEDAE (Companhia Estadual de Água e Esgoto).

#### **4.2.1 Solo**

O solo empregado na fabricação dos tijolos foi retirado de duas jazidas, ambas localizadas nas proximidades do laboratório de Engenharia Civil, situado na Av. Aloísio da Silva Gomes, número 50, no bairro Novo Cavaleiros, no município de Macaé, interior do estado do Rio de Janeiro. A Figura 4-1 apresenta uma imagem aérea do campus da UFRJ/Macaé, onde é possível identificar os blocos de salas de aula e os laboratórios, inclusive o da engenharia civil.

Cabe ressaltar que, na Figura 4-1(a) o retângulo em vermelho representa a posição das jazidas. Já a Figura 4-1(b) mostra a vista frontal, a partir da porta do laboratório, das duas jazidas e um córrego situado ao lado. Da primeira jazida, mais distante do laboratório de Engenharia civil, removeu-se o aqui chamado de Solo 1 e, da mais distante, de Solo 2. Ambas encontram-se representadas na Figura 4-1(b).

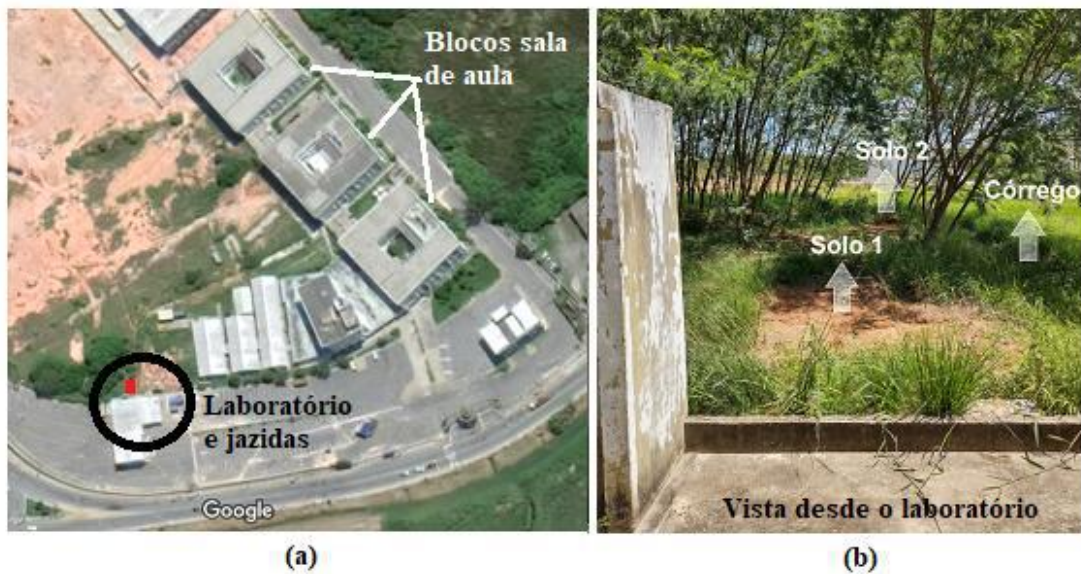


Figura 4-1 – Localização das jazidas de solo  
 (a) Vista de satélite das jazidas; (b) Vista frontal das jazidas a partido Laboratório.  
 Fonte: (a) Adaptado de Google Maps.

Para a realização da coleta do solo, lançou-se mão de instrumentos básicos, a saber, picareta, enxada, pá de bico, balde e carrinho de mão. Visando a remoção da capa superficial do solo, com a presença de raízes e outras partes indesejáveis, cerca de 5 cm de solo foram descartados, utilizando a picareta e a enxada. Em seguida, remove-se o material exposto com os mesmos instrumentos, colocando-o no carrinho de mão e transportando-o até o anexo do laboratório.

Nesse local, usa-se uma peneira de abertura de cerca de 5 mm para retirar a porção retida, que não pode ser utilizada na fabricação dos tijolos solo-cimento. Assim, o material passante na peneira é armazenado, ao abrigo do sol e da chuva. Para tanto, eles são estocados em caixas d'água com tampas, dentro do galpão. A Figura 4-2, a seguir, apresenta a sequência de execução deste procedimento.



Figura 4-2 – Sequência de limpeza e estocagem dos solos  
 (a) Limpeza do terreno; (b) Remoção da capa superficial; (c) Transporte das amostras deformadas de solo; (d) Peneiramento; (e) Estocagem em caixas d'água.

Ambos os solos, sendo tropicais, a despeito de retirados de jazidas geograficamente próximas, apresentam diferenças que podem ser percebidas pela análise táctil-visual. Em uma primeira análise, o solo da jazida mais próxima ao laboratório possui uma coloração mais avermelhada, enquanto o mais distante, uma coloração mais esbranquiçada. O solo avermelhado, denominado, solo 1 e o mais esbranquiçado, denominado solo 2, estão apresentados na Figura 4-3.



Figura 4-3 – Amostras das jazidas de solo - Solo 1 e Solo 2

A NBR 10833:2012: “Fabricação de Tijolo e Bloco de Solo-Cimento com Utilização de Prensa Manual ou Hidráulica” apresenta requisitos associados a determinados critérios para auxiliar na seleção de solos para serem utilizados na fabricação de tijolos solo-cimento. Esses requisitos encontram-se elencados a seguir, na Tabela 4-1.

Tabela 4-1 – Critérios para a seleção de solos

<b>Características</b>	<b>Valores</b>
<b>Porcentagem passante na peneira ABNT 4,8 mm (n°4)</b>	100%
<b>Porcentagem passante na peneira ABNT 0,075 mm (n°200)</b>	10% - 50%
<b>Limite de liquidez</b>	≤45%
<b>Índice de plasticidade</b>	≤18%

Fonte: Adaptado de NBR 10833:2012.

O conhecimento dessas características é imprescindível para saber se elas atendem aos critérios necessários da norma. No entanto, faz-se necessária uma análise mais detalhada desses solos. Assim, são realizados ensaios para determinação da granulometria do material e os limites de Atterberg. Ademais, para o melhor rendimento no processo de compactação é muito importante o

conhecimento da umidade ótima, que foi obtida, nestes casos, através do ensaio de compactação tipo Proctor.

#### 4.2.2 Cimento Portland

Utilizou-se, nesta pesquisa, parte de um saco de 50 kg da marca Votoran, da Votorantim, ilustrado na Figura 4-4. O Cimento Portland CP III-32 RS, normatizado pela NBR 16697:2018 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) foi escolhido, pois possui características físicas, químicas e mecânicas que atendem aos requisitos da NBR 10833:2012.



Figura 4-4 – Cimento utilizado (CP III-32 RS)  
Fonte: VOTORANTIM (2022).

Este tipo de cimento possui: maior durabilidade; maior poder de impermeabilização; menor probabilidade de surgimento de trincas e fissuras de origem térmica; baixo calor de hidratação; mitigação da reação álcali-agregado; alta eficiência em ambientes agressivos por sulfatos; ecologicamente correto por utilizar rejeitos da indústria siderúrgica.

#### 4.2.3 Água

Ao longo da confecção dos tijolos, empregou-se a água distribuída pela Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro (CEDAE). Ela é classificada como potável e atende aos parâmetros estabelecidos pela norma NBR 10833:2012.

#### 4.2.4 Máscaras descartáveis de polipropileno

As máscaras cirúrgicas são desenvolvidas para proteger os profissionais da área da saúde contra as mais diversas patologias transmissíveis por via aérea, seja



por meio da projeção de fluidos corpóreos ou pela suspensão de gotículas. Elas visam impedir que esses fluidos e gotículas atinjam as vias respiratórias minimizando, destarte, a contaminação de profissionais e pacientes, já que funciona como uma barreira física entre o ar e essas vias. A partir de 2020, durante o período da pandemia, tornaram-se de uso geral indispensável, por boa parte da população, para o controle da transmissão do novo coronavírus.

E, exatamente com o intuito de não haver riscos de contaminação pelo SARS-CoV-2, optou-se em utilizar máscaras novas, no decorrer de toda a presente pesquisa. A marca utilizada foi a Labor Import, de origem chinesa e devidamente registrada na Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), como se pode observar na Figura 4-5. Cada máscara possuía as seguintes dimensões: 18cm de largura, 10cm de comprimento, alça com perímetro de 18cm (BUNZLSAUDE, 2022). Cada caixa armazenava 50 unidades.



Figura 4-5 – Máscaras descartáveis utilizadas  
Fonte: BUNZLSAUDE (2022).

Confeccionadas em tecido não tecido, mais conhecido como TNT (Tecido Não Tecido) constituído integralmente de polipropileno, essas máscaras possuem três camadas distintas seguindo as recomendações da ANVISA. As duas camadas externas são fabricadas pela técnica *spunbonded* e a interna, pela *meltblown*, que funciona como elemento filtrante. Elas são soldadas eletronicamente por ultrassom, como pode ser visto na Figura 4-6.

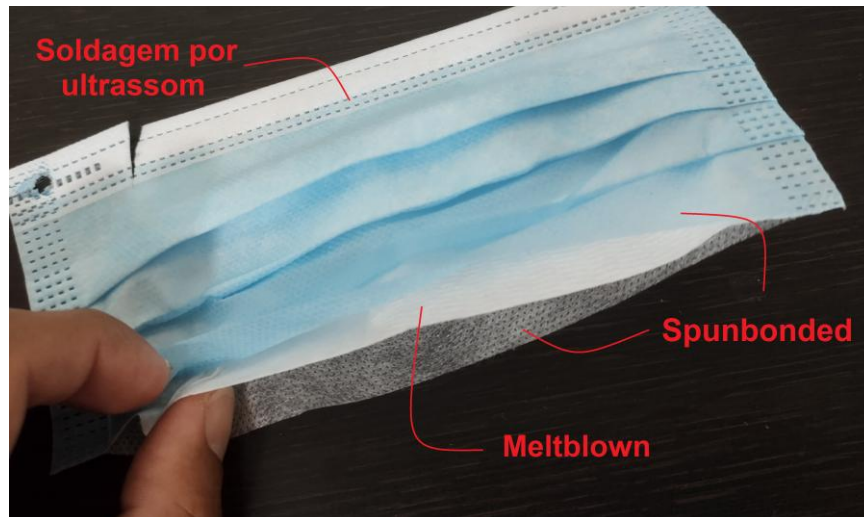


Figura 4-6 – Tripla camada das máscaras cirúrgicas

Disponibilizadas em tamanho único, dotadas de um clipe nasal, uma tira de alumínio maleável, revestida em plástico, que se ajusta ao nariz, e de três pregas horizontais que se amoldam ao rosto, essas máscaras são de uso único e não estéril. São comercializadas nas mais diferentes cores, principalmente na branca e na azul, e nos modelos com elástico ou com tiras. No presente estudo, as máscaras com elástico foram as escolhidas e utilizadas.

#### 4.3 COMPOSIÇÃO DAS MISTURAS

Foram fabricados dois tipos de tijolos solo-cimento: com e sem máscaras descartáveis de polipropileno. Em ambos os casos, a proporção de solo e cimento para os tijolos foi de 1:6, ou seja, 1 parte de cimento e 6 de solo, em massa. Cabe ressaltar que, aqui, cada parte de solo é constituída pela mistura, igualmente proporcional, do Solo 1 com o Solo 2. Além disso, foi utilizada, também, cal hidratada na proporção de 2% do valor do cimento, em massa, e adicionada água de acordo com a umidade ideal de compactação (cerca de 20,50% do total da massa seca).

Os tijolos solo-cimento fabricados com polipropileno foram executados com a adição de fragmentos das máscaras no valor de 0,25%, em massa, do total.

#### 4.4 PROCESSOS PARA REUTILIZAÇÃO DAS MÁSCARAS

A priori, com o objetivo de reutilizar as máscaras descartáveis de polipropileno, como material aditivo no tijolo de solo-cimento, teve-se que solucionar um problema: o processamento das máscaras. Em um primeiro momento, foram utilizadas reações químicas para que as máscaras se desfizessem em partes menores ou que, até mesmo, se dissolvessem. Em um segundo momento, foi adquirida uma máquina fragmentadora de papéis e cartões visando picotar, ou triturar, as máscaras. E, por fim, foi empregada energia térmica para esse fim.

##### 4.4.1 Utilizando reações químicas

Inicialmente, antes de se optar pelo uso de máscaras novas, foram coletadas cerca de dez máscaras usadas e, indevidamente, descartadas em vias públicas para realização dessa etapa. Com as mãos protegidas por luvas, esse material foi lavado com escova e sabão, de acordo com a Figura 4-7(a) e (b). Na sequência, com o auxílio de uma tesoura, foram removidos os elásticos e as hastes metálicas de cada máscara, conforme Figura 4-7(c). Em recipientes de 2 litros foram colocadas cinco máscaras com uma solução, de igual proporção, de água e água sanitária, conforme Figura 4-7(d).

Esses recipientes foram devidamente tampados e deixados, em local arejado, e ao abrigo do sol, por cerca de 5 dias, conforme Figura 4-7(e). No entanto, após o decorrer desse intervalo de tempo, ao se abrir os potes, notou-se que não havia acontecido alteração do conteúdo. Dessa forma, esse processo foi descartado.

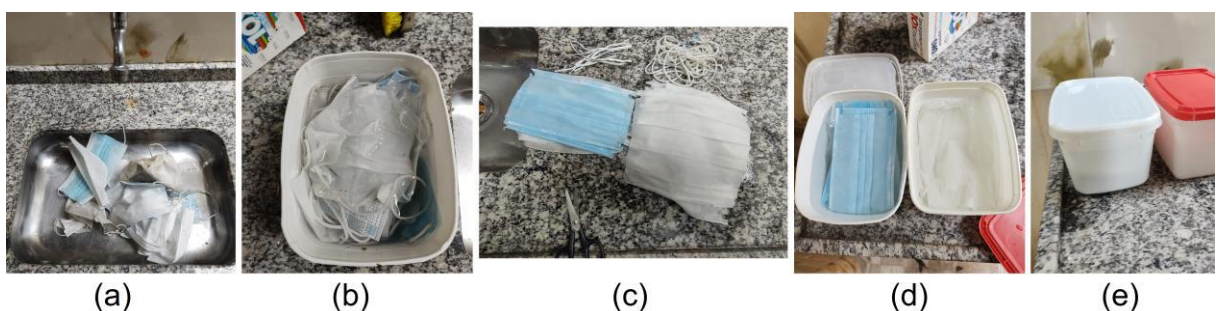


Figura 4-7 – Processamento das máscaras por reações químicas  
 (a) e (b) Lavagem das máscaras; (c) Remoção dos elásticos e hastes metálicas. (d) Armazenamento das máscaras nos potes com solução química; (e) Potes tampados com máscaras em seu interior.

#### 4.4.2 Utilizando fragmentador de papel e cartão

A segunda tentativa para o processamento e, conseqüente, reutilização das máscaras, foi a de picotá-las, ou triturá-las, em uma máquina fragmentadora de papéis e cartões. O modelo utilizado foi o *Papper Shredder C-560D*, com capacidade de processar, no máximo, seis folhas de papéis, por vez, e um cesto de 15 litros, onde os fragmentos ficam depositados. Cabe ressaltar que, a partir desse momento, no presente estudo, optou-se em usar apenas máscaras novas, para não haver riscos de contaminação.

Dessa forma, em posse de uma caixa fechada, com um total de 50 máscaras, iniciou-se novamente, com o auxílio de uma tesoura, a remoção dos elásticos e as hastes metálicas. Posteriormente, elas começaram a serem inseridas na máquina, em grupos de 5 unidades, uma por vez. Esse agrupamento se deu com o intuito de testar as diferentes posições de corte do material, em relação à maior dimensão da máscara, sendo eles: longitudinal – Figura 4-8(a) –, transversal – Figura 4-8(b) – e diagonal – Figura 4-8(c). Além disso, experimentou-se o corte com o rompimento das dobras longitudinais – Figura 4-8(d) – e com a remoção da soldada lateral por ultrassom – Figura 4-8(e).

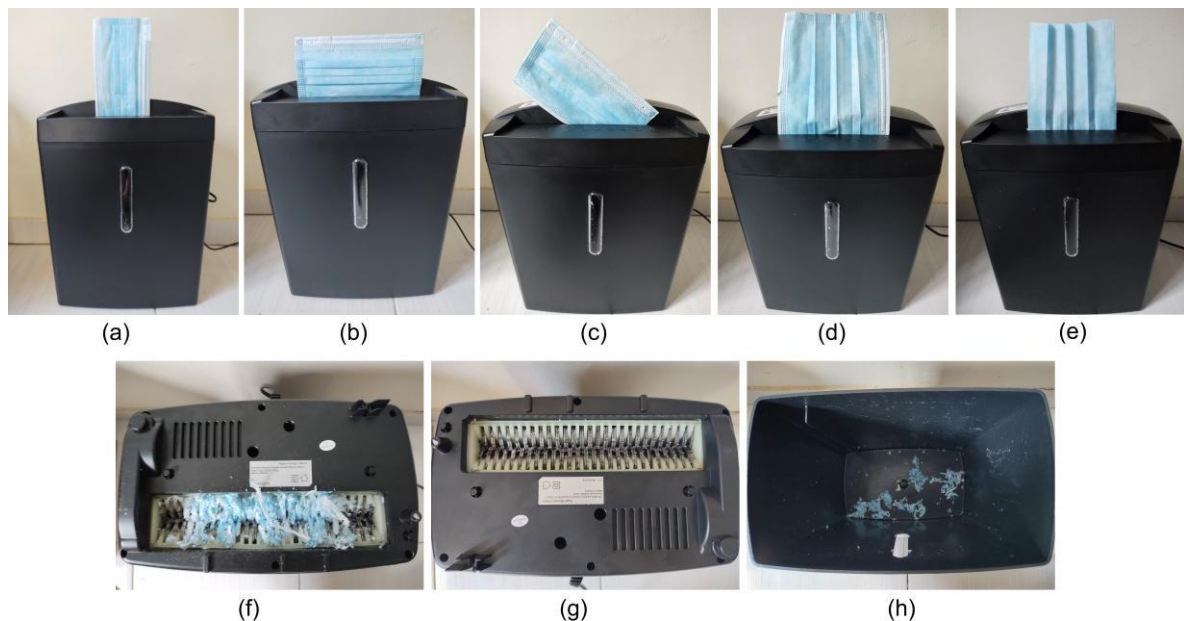


Figura 4-8 – Processo experimental de corte das máscaras em uma fragmentadora de papel (a) Corte longitudinal; (b) Corte transversal; (c) Corte diagonal; (d) Corte com as dobras longitudinais desfeitas; (e) Corte sem as soldas por ultrassom; (f) Acúmulo de resíduos nas engrenagens de um grupo de 5 máscaras; (g) Limpeza das engrenagens; (h) Acúmulo de fragmentos, de um grupo de 5 máscaras, no fundo do cesto.

Após o corte de cada grupo, notou-se um acúmulo de material nas engrenagens dentadas da máquina que, portanto, passaram a ser limpas para que não houvesse interferência no resultado do grupo seguinte – Figura 4-8(f, g, h).

Ao final, percebeu-se que, o corte diagonal com as dobras e soldas laterais foi mais eficiente, pois uma menor quantidade de fragmentos ficou presa nas engrenagens e, conseqüentemente, havendo um maior acúmulo deles no fundo do cesto. Na contramão, o grupo de corte longitudinal com as dobras longitudinais rompidas e soldas laterais removidas teve o pior resultado.

O material resultante, ao fim dos cortes, foi adicionado a uma certa quantidade do solo, em uma bandeja, para se descobrir a viabilidade de se obter uma mistura minimamente homogênea. Encontrou-se, destarte, um resultado positivo, como pode ser visto na Figura 4-9.

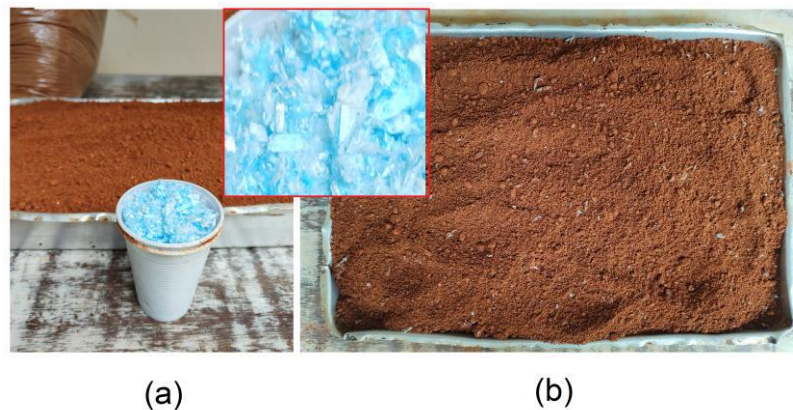


Figura 4-9 – Verificação da homogeneidade da mistura do solo com os fragmentos de máscara  
 (a) Tabuleiro com vinte copos de solo e um copo com fragmentos de máscaras; (b) Mistura homogeneizada do solo com os fragmentos.

No entanto, descobriu-se a inviabilidade desse processo, como um todo, ao se perceber que, depois do corte da segunda caixa de máscaras, o equipamento havia parado de funcionar. Ao se totalizar pouco mais de 100 unidades fragmentadas, houve um entupimento das engrenagens dentadas de corte da máquina. Assim, essa solução também foi descartada, pois não se apresentou viável para grandes volumes de máscaras a serem fragmentadas.

#### 4.4.3 Utilizando calor

Após o insucesso das tentativas anteriores, para fragmentar as máscaras descartáveis, resolveu-se alterar totalmente o procedimento. Ao se empregar calor,

ou seja, ao expor as máscaras a temperaturas mais elevadas, elas, que são constituídas de polipropileno, um material termoplástico, derreteram e, rapidamente, ao resfriarem-se, adquiriram solidez sob a forma do recipiente que as continha.

Ao longo desse procedimento, foram utilizadas fôrmas descartáveis de alumínio (tipo “quentinha”), nas dimensões de 22 cm x 18 cm x 4 cm, além de um fogareiro elétrico.

Inicialmente, as máscaras foram dispostas em uma das fôrmas de alumínio, que foi levada ao fogareiro – Figura 4-10(a). Ao atingir o ponto de fusão, à cerca de 160°C, as máscaras se liquefizeram – Figura 4-10(b). Nesse momento, desligou-se o fogareiro e deixa-se o polipropileno resfriar até se solidificar novamente – Figura 4-10(c). Após alguns minutos, forma-se uma placa rígida que, ao ser embalada em um plástico protetor, passa a levar golpes de marreta – Figura 4-10(d) – até que se desfaça em pedaços menores.

Colocam-se esses pedaços no almofariz de porcelana e, então, passa-se a triturá-los, manualmente, em partículas ainda menores, com o auxílio do pistilo – Figura 4-10(e). Por fim, essas partículas são reservadas em sacos do tipo *zip lock*, pesados em balança – Figura 4-10(f) – e reservados após a identificação da quantidade de massa, de cada saco – Figura 4-10(g).

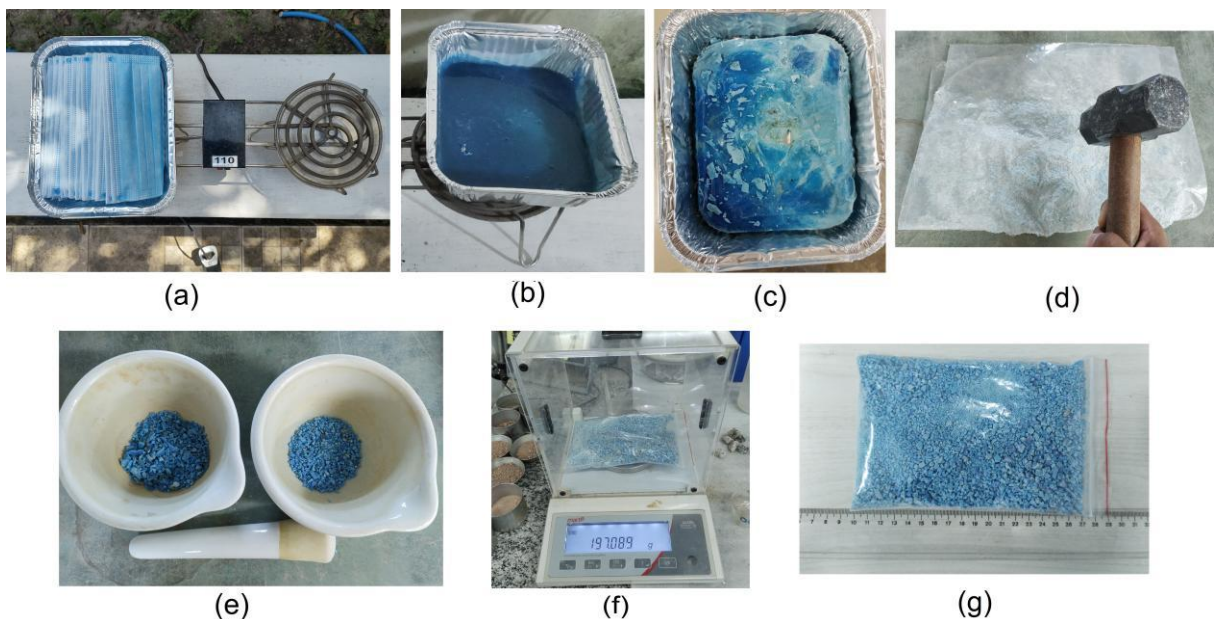


Figura 4-10 – Processo de fragmentação térmica e mecânica das máscaras  
 (a) Disposição da fôrma com máscaras sobre o fogareiro elétrico; (b) Máscaras derretidas;  
 (c) Placa solidificada de polipropileno; (d) Processo de quebra, com golpes de marreta, da placa de polipropileno, envolta em plástico; (e) Fragmentação mais fina das partículas com almofariz e pistilo

(à direita, um material mais fino e, à esquerda, mais grosso); (f) Pesagem dos sacos *zip lock* com as partículas; (g) Fragmentos prontos para serem adicionados à mistura de solo-cimento.

Em um primeiro momento, houve uma necessidade de se aplicar mais energia aos golpes, já que foram derretidas 50 máscaras de uma só vez e, por conseguinte, tendo sido formada uma placa mais espessa. Desse momento, em diante, passou-se a derreter 25 máscaras em cada fôrma evitando, desse modo, maiores dificuldades na execução dos golpes.

Ademais, apenas para se ter uma noção, grosso modo, da variedade dos diâmetros das partículas obtidas, utilizou-se um microscópio digital USB (Zoom 1000x). As imagens, a partir de uma pequena amostra, obtida de maneira aleatória, são apresentadas na Figura 4-11, onde cada espaçamento da régua de referência é de 0,5 mm de comprimento.

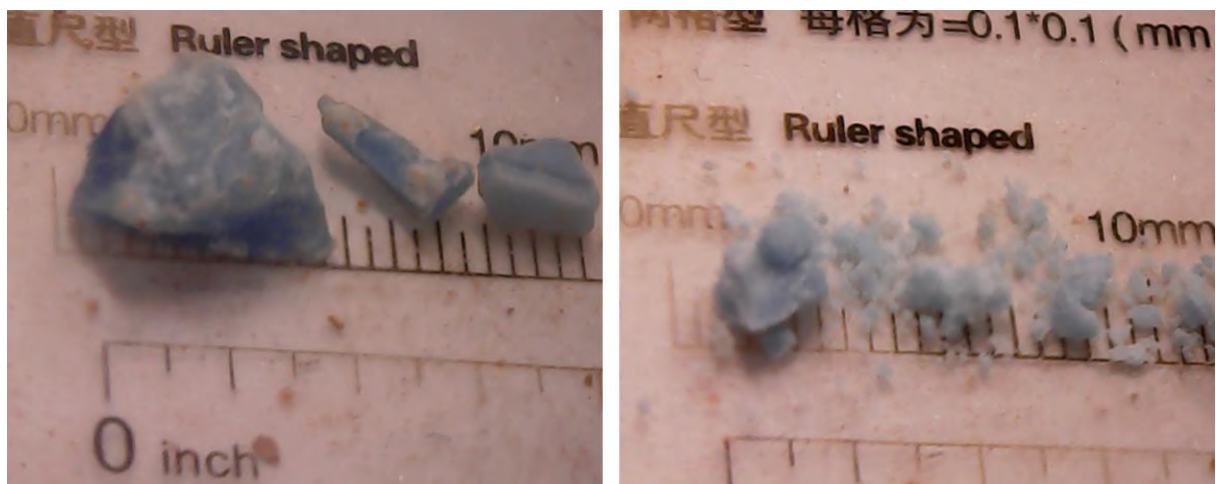


Figura 4-11 – Fotografias das partículas de polipropileno obtidas por microscópio digital

Um fato interessante a ser observado, após as fotografias das amostras de máscaras processadas, foi o formato final de algumas “partículas”, além da grande variedade de tamanhos. Percebe-se um formato pontiagudo e com muitas arestas. Os tamanhos variaram desde menos de 0,5 mm até cerca de 5 mm de lado.

#### 4.5 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO EM LABORATÓRIO

Todos os ensaios aqui retratados foram realizados com a mistura, em partes iguais, dos solos tipo 1 e tipo 2, relatados anteriormente. Além da maneira correta de execução dos ensaios, buscou-se apresentar os principais erros comumente

realizados em procedimentos específicos. Dessa forma, destaca-se que, durante a apresentação das figuras, quando existir um retângulo vermelho é porque aquela forma deve ser evitada. Por outro lado, quando o retângulo tiver na cor verde indica-se que a maneira está correta.

#### 4.5.1 Determinação do diâmetro das partículas de solo

O diâmetro das partículas que compõem a fase sólida do solo pode ser obtido a partir do ensaio de análise granulométrica, normatizado pela NBR 7181:2016. Esse ensaio determina a percentagem, em massa, de cada faixa específica de tamanho das partículas, em relação à massa total ensaiada. Para a separação dimensional das frações de solo podem ser realizados dois processos: peneiramento e sedimentação. Os resultados obtidos nesses ensaios possibilitam a construção da curva de distribuição granulométrica do solo ensaiado.

No laboratório de engenharia civil da UFRJ/Macaé o equipamento que auxilia as determinações do ensaio de sedimentação (densímetro) não está calibrado corretamente. Assim, optou-se por realizar apenas o procedimento de peneiramento. E, para complementar as informações, também foi realizada a lavagem do material na peneira de abertura 0,075 mm (#200). Assim, obteve-se uma maior noção da porcentagem de argila mais silte do solo.

##### 4.5.1.1 Granulometria por peneiramento

Para a realização do processo de peneiramento mecânico do solo, utiliza-se peneiras da série normal e intermediária, de malhas quadradas em tecido metálico e aberturas nominais de acordo com a NM ISO 565, a tampa e o fundo do conjunto de peneiras. Ademais, emprega-se a seguinte aparelhagem, listada na Tabela 4-2.

Tabela 4-2 – Capacidade/Dimensão dos equipamentos utilizados no ensaio de peneiramento

Equipamento	Capacidade/Dimensão
<b>Bandejas</b>	70 cm x 50 cm x 5 cm e 26 cm x 13 cm x 4 cm
<b>Peneiras</b>	com abertura nominal de 4,75 mm (#4); 2,00 mm (#10); 1,18 mm (#16); 0,600 mm (#30); 0,425mm (#40); 0,300 mm (#50); 0,150 mm (#100); 0,075 mm (#200)
<b>Agitador mecânico</b>	com dispositivos para fixação
<b>Estufa</b>	com temperatura entre 105°C e 110°C



<b>Balança digital</b>	200g (sensível a 0,01g)
<b>Almofariz em porcelana</b>	15,1 cm de diâmetro
<b>Pistilo em madeira nº 2</b>	18 cm de comprimento com a cabeça revestida por cápsula de borracha

Fonte: Adaptado de NBR 7181:2016.

Primeiramente, recolheu-se 1000 g de solo, que foi colocado para secar, por 24h, na estufa, a cerca de 100°C a 105°C. Em seguida, esse material foi retirado da estufa para que resfrie até a temperatura ambiente para, então, ser destorroado no almofariz de porcelana com o auxílio do pistilo. Uma vez destorroado, separou-se 200 g e reservou-se os 800 g, em caso de algum imprevisto.

As oito peneiras foram pesadas e colocadas na ordem necessária no agitador mecânico de peneiras, além de um fundo e uma tampa. Assim, no alto da torre, formada pela sobreposição das peneiras, retira-se a tampa e despeja-se os 200 g de solo. Pelo painel do agitador mecânico, marcado com o número (6), na Figura 4-12, aciona-se a base, de número (7). Este aparelho fica ligado por, pelo menos, 15 minutos e é, então, desligado. Cada peneira, com seu material retido é pesada novamente, além, naturalmente, do fundo.



Figura 4-12 – Equipamentos utilizados no ensaio de peneiramento  
 (1) Estufa; (2) Bandeja com a amostra de 200g; (3) Balança sensível a 0,01g. (4) Almofariz em porcelana; (5) Pistilo nº 2; (6) Painel de controle do agitador mecânico; (7) Base do agitador mecânico; (8) Jogo de peneiras com tampa e fundo.

Toma-se a diferença dos valores anteriores e posteriores obtendo-se, dessa maneira, a massa retida em cada peneira. Uma tabela, com esses dados, é feita no

programa computacional *Microsoft Excel* e, em seguida, o gráfico com a curva granulométrica do solo. Todos esses dados podem ser encontrados no

#### 4.5.1.2 Material passante pela peneira #200 com lavagem

Utilizaram-se 200 g de amostra de solo, uma peneira de abertura de 0,075 mm (#200), balança de precisão, estufa e água corrente para essa etapa. Assim, em primeiro lugar, pesou-se a peneira a ser utilizada. Posteriormente, depositou-se a amostra de solo na peneira de abertura de 0,075 mm (#200). Assim o conjunto foi lavado em um tanque, sob água corrente, até que a água passante pela peneira estivesse transparente, ou seja, livre de impurezas.

Feito isso, o conjunto – Figura 4-13 – foi colocado na estufa para a perda de umidade. Após 24 horas, retirou-se o conjunto da estufa, esperou-se até que fique na temperatura ambiente para que, finalmente, fosse pesado, a fim de se descobrir o percentual de solo retido na peneira e o percentual de solo passante.



Figura 4-13 – Amostra do solo, na peneira, após a lavagem

#### 4.5.2 Limites de Atterberg

Os Limites de Atterberg possibilitam determinar os limites de consistência do solo, isto é, limite de liquidez e limite de plasticidade. As normas brasileiras que são utilizadas para a realização dos ensaios associados à determinação desses limites, a saber, os limites de liquidez e de plasticidade do solo, são:

- NBR 6457/2016: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização;
- NBR 6459/2016: Solo – Determinação do limite de liquidez;
- NBR 7180/2016: Solo – Determinação do limite de plasticidade.

#### 4.5.2.1 Preparação das amostras

A preparação das amostras, para a realização dos ensaios que determinam os limites de liquidez e de plasticidade do solo, foi realizada com procedimentos semelhantes. Além disso, os mesmos materiais e equipamentos foram empregados. A Tabela 4-3 apresenta os equipamentos utilizados na preparação do solo, e suas principais características.

Tabela 4-3 – Capacidade/Dimensão dos equipamentos utilizados na preparação das amostras de solo para realização dos ensaios dos limites de Atterberg

<b>Equipamento</b>	<b>Capacidade/Dimensão</b>
<b>Bandeja</b>	70 cm x 50 cm x 5 cm
<b>Peneira abertura 0,425mm (#40)</b>	diâmetro 8x2"
<b>Estufa</b>	com temperatura entre 105°C e 110°C
<b>Balança digital</b>	200g (sensível a 0,01g)
<b>Almofariz porcelana</b>	12 cm de diâmetro
<b>Borrifador de água</b>	1 litro
<b>Saco plástico tipo "Zip Lock"</b>	36 cm x 24 cm
<b>Espátula de aço com cabo de madeira</b>	2 cm de largura e 8 cm de comprimento

Fonte: Adaptado de NBR 6457:2016.

Inicia-se a preparação das amostras com o processo de quarteamento do solo. Foram utilizados cerca 1000 g de solo. Deposita-se massa de solo em uma bandeja formando pequeno monte de solo – Figura 4-14 (a) - e, posteriormente, marca-se um "X" – Figura 4-14 (b) –, de modo a dividir a massa em 4 partes, visualmente iguais. Dois quartos do material, cerca de 300 g de solo, foram separados para utilização – Figura 4-14 (c). Os outros dois quartos do solo foram armazenados para serem utilizados caso acontecesse algum imprevisto.

Passou-se as 300 g de solo pela peneira de abertura de 0,425 mm e obteve-se 172,2 g, ou seja, cerca de 57% – Figura 4-14 (d, e). O solo passante pela peneira foi dividido em duas porções de 86,3 g – Figura 4-14 (f) –, sendo uma utilizada para realizar o procedimento do limite de liquidez e outra para a determinação do limite de plasticidade. Em cada uma das metades de solo foi acrescentada uma certa quantidade de água, com o auxílio do borrifador – Figura 4-14 (g).

Assim, a mistura foi deixada "descansar" para uma melhor homogeneização da água e no solo. Ressalta-se que, para isso, usou-se um plástico protetor para que

não se perdesse umidade para o ar – Figura 4-14 (h). Esse procedimento durou cerca de 2 horas. Por último, com o auxílio de uma espátula de aço com cabo de madeira, o solo e água foram homogeneizados por um tempo compreendido entre 15 e 30 minutos – Figura 4-14 (i).

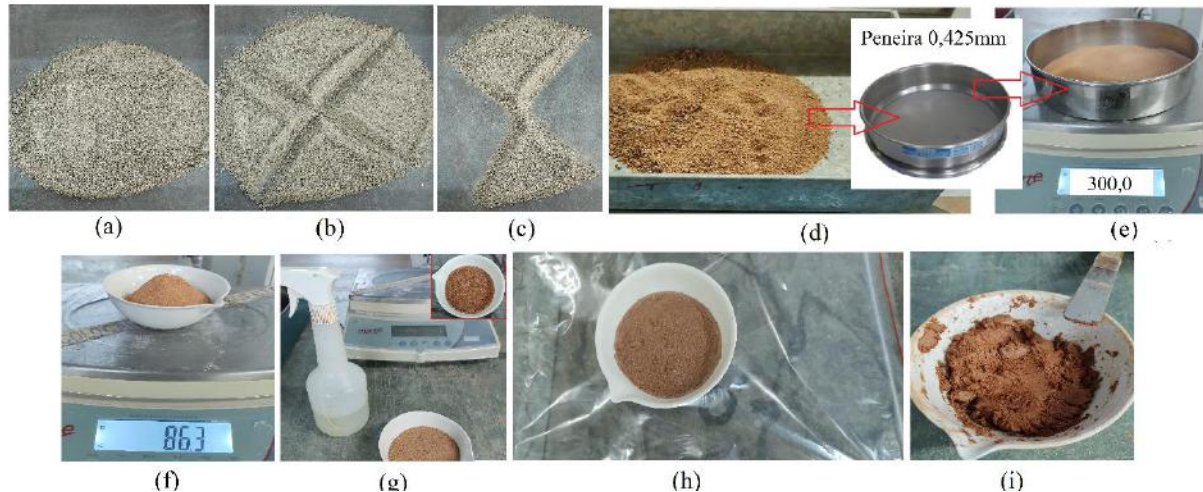


Figura 4-14 – Processo de preparação do solo para realização dos ensaios de LL e LP  
 (a) Monte de solo na bandeja; (b) Marcação para quarteamento; (c) Dois quartos do solo que foram armazenados; (d) Dois quartos do solo restantes; (e) Material passante na peneira #40; (f) Divisão e aferição da metade do material passante na peneira #40; (g) Adição de água na amostra de solo; (h) “Descanso” para homogeneização da umidade no solo; (i) Mistura e homogeneização do material com a espátula.

#### 4.5.2.2 Limite de liquidez

A determinação do limite de liquidez do solo é feita através do ensaio com o aparelho de Casagrande. Os equipamentos, e suas principais características, utilizados para a realização desse ensaio são apresentados na Tabela 4-4. Após a preparação da amostra, descrita anteriormente, pega-se uma das metades de 86,3g do solo e dá-se início ao processo.

Tabela 4-4 – Capacidade/Dimensão dos equipamentos utilizados para determinação do LL.

Equipamento	Capacidade/Dimensão
Balança digital	200g (sensível a 0,01g)
Estufa	com temperatura entre 105°C e 110°C
Almofariz de porcelana	12 cm de diâmetro
Borrifador de água	1 litro
Espátula de aço com cabo de madeira	2 cm de largura e 8 cm de comprimento
Aparelho de Casagrande	velocidade de queda de 2 golpes/segundo
Cinzel próprio	gabarito de 1 cm

<b>Régua</b>	graduação em milímetros
<b>Cápsulas metálicas</b>	diâmetro de 5 cm

Fonte: Adaptado de NBR 6459:2016.

Com a amostra já preparada e homogeneizada – Figura 4-15 (a) – introduz-se o material na concha do aparelho de Casagrande, aplainando-a com a espátula – Figura 4-15 (b) e (c). Com o cinzel, próprio deste ensaio, faz-se uma ranhura longitudinal na maior dimensão do equipamento, de modo que seja possível ver o brilho do metal da concha na parte inferior da ranhura. Cabe ressaltar que a quantidade de solo a ser colocada na concha deve possuir cerca de 1 cm de espessura, em seu ponto mais central, sendo o cinzel o gabarito para, imprescindivelmente, verificar esse detalhe – Figura 4-15 (d).

Então, aciona-se esse equipamento, de funcionamento automático, que suspende e, depois, libera a queda da concha com o solo. Assim, conta-se o número de golpes para fazer com que a ranhura se feche na parte inferior (ou seja, sem que possa ver o brilho do metal ao fundo) em um comprimento entre 1,0 e 1,3 cm – Figura 4-15 (e) e (f). Por último, retira-se, com a espátula de aço, três amostras de solo, que são dispostas em cápsulas metálicas e levadas para a estufa, com o intuito de determinar a umidade dessa amostra de solo ensaiada – Figura 4-15 (g) e (h).



Figura 4-15 – Execução detalhada para determinação do LL.

- (a) Amostra de solo devidamente homogênea; (b) Disposição do solo na concha do aparelho de Casagrande; (c) Amostra devidamente aplainada; (d) Aferição e realização da ranhura com o cinzel; (e) Fechamento da ranhura após o acionamento do aparelho de Casagrande; (f) Aferição do comprimento fechado da ranhura; (g) Coleta da amostra onde as duas partes de solo se tocam; (h) Disposição das amostras nas cápsulas que devem ser levadas à estufa.

Esse procedimento foi necessário para obter um dos pontos para determinar o valor de umidade que caracteriza o limite de liquidez do solo. Com efeito, executaram-se os mesmos procedimentos por mais quatro vezes, com diferentes umidades adicionadas a amostra de solo.

Faz-se mister mencionar que, para fins práticos, inicia-se com a adição de uma quantidade reduzida de água à amostra. Desta forma, na medida em que se prossegue na execução deste ensaio, adiciona-se água à mistura de solo, gradativamente, em cada ponto subsequente.

No total, realizou-se esse procedimento por cinco vezes, contabilizando os golpes e colhendo amostras para aferição da umidade. É perceptível que, ao passo que a umidade elevava-se, o número de golpes, necessários para fechar da ranhura, reduzia-se.

Em posse desses 5 valores, que relacionam os números de golpes e as respectivas umidades correspondentes, constrói-se o gráfico com a curva, em escala logarítmica, por meio de interpolação, no qual obtém-se o valor para o limite de

liquidez. Esse número equivale à umidade necessária para que a ranhura, anteriormente descrita, se feche com 25 golpes, à altura normatizada de 1 cm, da concha com o solo, utilizando o aparelho de Casagrande. Por fim, destaca-se alguns detalhes que o operador deve se atentar para a correta execução do ensaio.

Antes de colocar a amostra de solo, previamente preparada, na concha do aparelho de Casagrande, deve-se aferir, com a extremidade da haste do cinzel, que possui um diâmetro padronizado de 1 cm, se a altura de queda da concha está em acordo com a norma, como ilustrado na Figura 4-16 (a). Antes de se acionar o automático do aparelho, deve-se verificar se as duas partes de solo formam uma ranhura de, também, 1 cm de profundidade, de acordo com o gabarito mostrado na Figura 4-16 (b). E, também, se após o desligamento do automático, o fechamento da ranhura não excede o limite normatizado de 13 mm, conforme Figura 4-16 (c) e (d).

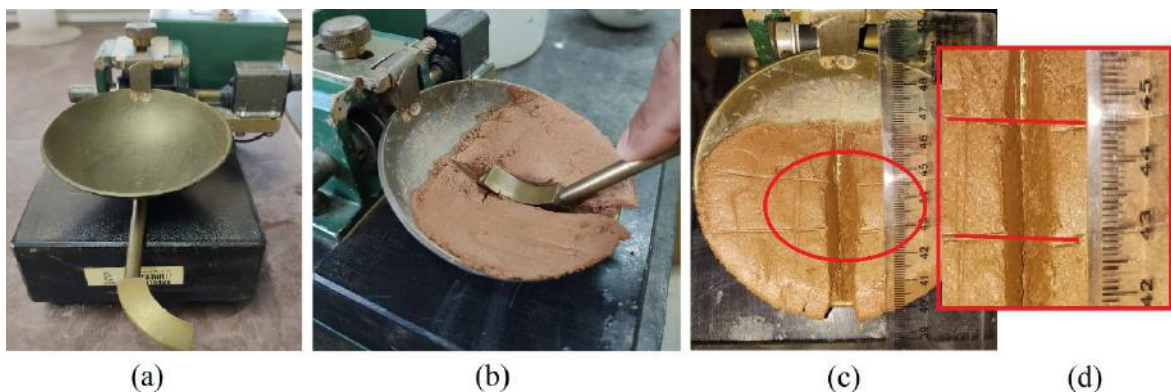


Figura 4-16 – Detalhes importantes na execução do ensaio

a) Aferição da altura de queda da concha do aparelho de Casagrande; (b) Aferição da profundidade adequada da ranhura; (c) e (d) Mensuração do comprimento longitudinal do fechamento da ranhura aos o desligamento do aparelho de Casagrande.

#### 4.5.2.3 Limite de plasticidade

O ensaio para a determinação do limite de plasticidade encontra-se normatizado na NBR 7180:2016. Trata-se do menor teor de umidade com o qual se consegue moldar um cilindro com 3 mm de diâmetro, rolando-se uma parte da amostra de solo, previamente preparada e homogênea, com a palma da mão. A descrição dos equipamentos necessários para a realização deste ensaio, de acordo com a respectiva norma supracitada, encontra-se abaixo, na Tabela 4-5.

Tabela 4-5 – Capacidade/Dimensão dos equipamentos utilizados no ensaio LP

<b>Equipamento</b>	<b>Capacidade/Dimensão</b>
<b>Balança digital</b>	200g (sensível a 0,01g)
<b>Estufa</b>	com temperatura entre 105°C e 110°C
<b>Almofariz de porcelana</b>	12 cm de diâmetro
<b>Borrifador de água</b>	1 litro
<b>Espátula de aço com cabo de madeira</b>	2 cm de largura e 8 cm de comprimento
<b>Placa de vidro esmerilhado</b>	quadrada com 30 cm de lado
<b>Gabarito cilíndrico para comparação)</b>	3 mm de diâmetro e 100 mm de comprimento
<b>Cápsulas metálicas</b>	diâmetro de 5 cm

Fonte: Adaptado de NBR 7180:2016.

Inicialmente, trabalhou-se com a outra metade da amostra de solo, de 86,3 g, retida na peneira 40 (0,425 mm), e previamente preparada. Com a amostra já homogeneizada, no almofariz de porcelana, retirou-se parte da dessa massa obtida para formar uma pequena bola com a mão – Figura 4-17 (a). Desse momento em diante, o almofariz que contém o restante do material foi colocado em saco do tipo “zip lock”, com o intuito de preservar a umidade até a realização completa do ensaio – Figura 4-17 (b).

Em seguida, essa bola foi rolada, com a palma da mão, sobre a placa de vidro esmerilhado – Figura 4-17 (c). Aos poucos, esse material foi assumindo uma forma cilíndrica, mas ainda incompatível com o gabarito metálico – Figura 4-17 (d)). Prosseguiu-se rolando esse cilindro na placa de forma que ele vai se afinando e alongando-se até que se formem fissuras e, nesse momento, usa-se a espátula para realizar um corte em cima dessas fissuras para a remoção do material, então, descaracterizado – Figura 4-17 (e). Continua-se, assim, na execução desse procedimento.

Assim, o cilindro vai alongando-se e adquirindo dimensões mais semelhantes ao gabarito – Figura 4-17 (f) – e, então, segue-se removendo as partes fissuradas, ao longo do procedimento – Figura 4-17 (g) –, até que se obtenha uma forma com dimensões compatíveis com o padrão de 3 mm de diâmetro por 10 cm de comprimento e, na sequência, rola-se mais um pouco até que haja outra fissuração ou rompimento do cilindro. Nesse momento, colhe-se parte do material presente nas extremidades rompidas – Figura 4-17 (h) – para que sejam levadas à estufa para a determinação da umidade – Figura 4-17 (i).



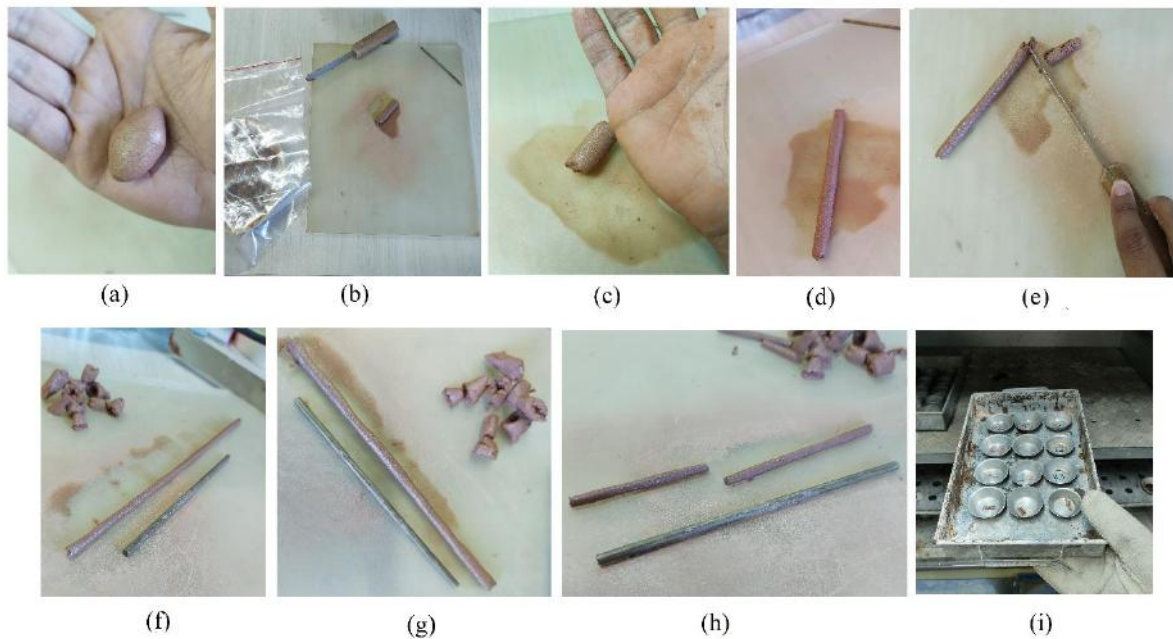


Figura 4-17 – Etapas de execução do ensaio de LP

(a) Modelagem da pequena bola de solo com a mão; (b) Separação da amostra no saco tipo “zip lock” e disposição da bola de solo na placa de vidro esmerilhado; (c) Rolagem da bola com a palma da mão; (d) Fase inicial de formação do cilindro; (e) Remoção da parte danificada do cilindro, a partir da fissura formada; (f) Comparação do cilindro com o gabarito metálico; (g) Aproximação das dimensões padronizadas do gabarito; (h) Fissuração do cilindro que já tinha as dimensões padronizadas; (i) Disposição do material coletado, na estufa.

Repete-se o procedimento por mais três vezes. Ressalta-se que nas vezes em que o cilindro fissa, antes de atingir as dimensões requeridas, mistura-se novamente a amostra adicionando água, em pequena quantidade, e repete-se o procedimento. Ao final foi tomada a média dos quatro resultados que, individualmente, não podem diferir da respectiva média em mais de 5%. Caso contrário, segundo a norma, o resultado é considerado insatisfatório e, por conseguinte, deve ser desconsiderado.

Por fim, destaca-se aqui, também, alguns detalhes que o operador deve se atentar para a melhor e correta execução do ensaio. Não se deve executar a etapa final do ensaio com um cilindro de solo menor – Figura 4-18 (a) – ou maior que o gabarito metálico – Figura 4-18 (b). Tampouco se deve realizar a modelagem da massa de solo, sobre a placa de vidro esmerilhado, com as pontas dos dedos – Figura 4-18 (c). Nesse caso, o correto é rolar a massa, estritamente, com a palma da mão – Figura 4-18 (d), como estabelecido pela norma – Figura 4-18 (e).

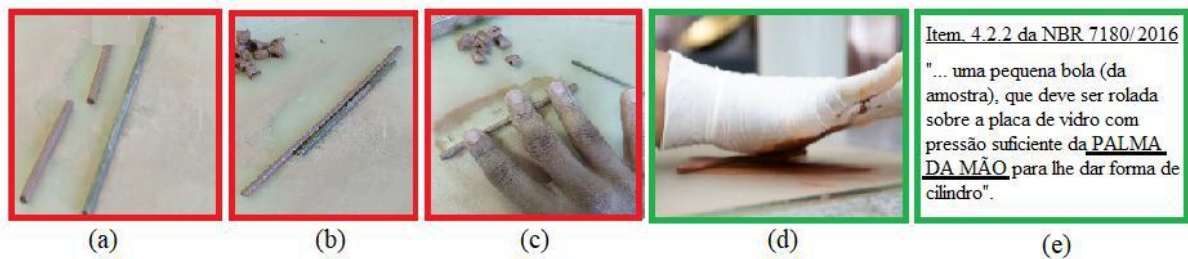


Figura 4-18 – Detalhes importantes na execução do ensaio de LP

Realização da fase final do ensaio com um cilindro de solo com dimensões menores que o gabarito metálico; (b) Realização da fase final do ensaio com um cilindro de solo com dimensões maiores que o gabarito metálico; (c) Incorreta modelagem do cilindro com as pontas dos dedos; (d) Correta modelagem com a palma da mão e (e) destaque da norma para esse importante detalhe.

### 4.5.3 Ensaio de Proctor com energia normal

O ensaio de compactação serve para determinar a relação entre o teor de umidade e a massa específica aparente seca dos solos. Realiza-se, aqui, o ensaio de Proctor com energia normal, e as normas brasileiras que tratam das etapas para a realização desse ensaio de compactação dos solos são:

- NBR 6457/2016: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização;
- NBR 12023:2012 - “Solo-cimento - ensaio de Compactação”

Cabe destacar que, para uma maior aproximação da realidade da fabricação dos tijolos, nesta pesquisa, os ensaios de compactação tipo Proctor foram realizados de duas formas: (i) solo misturado com cimento e (ii) solo misturado com cimento e fragmentos processados de máscaras descartáveis de polipropileno. Em ambos os casos, as proporções utilizadas foram de 1:6 em massa, para o cimento e solo, respectivamente. No caso particular da mistura feita com as máscaras descartáveis, trabalhou-se com 0,25% do total, em massa.

#### 4.5.3.1 Preparação das amostras

As preparações das amostras, para a realização dos ensaios de compactação do tipo Proctor, são realizadas com procedimentos semelhantes. Além disso, os mesmos materiais e equipamentos são empregados, tanto para a mistura de solo-cimento, quanto para a mistura de solo-cimento e fragmentos processados reutilizados de máscaras descartáveis de polipropileno.

A Tabela 4-6 apresenta os equipamentos, e suas principais características, utilizados nessa preparação.

Tabela 4-6 – Capacidade/Dimensão dos equipamentos utilizados na preparação das amostras de solo para realização dos ensaios de compactação

<b>Equipamento</b>	<b>Capacidade/Dimensão</b>
<b>Bandejas</b>	70 cm x 50 cm x 5 cm e 26 cm x 13 cm x 4 cm
<b>Peneira abertura 0,425mm (#40)</b>	diâmetro 8x2"
<b>Balanças digitais</b>	para 10 kg e para 200g, sensíveis a 1g a 0,01g, respectivamente
<b>Pisseta plástica graduada</b>	500 ml
<b>Concha para concreto e corpo de prova</b>	15 cm x 30 cm
<b>Béquer de vidro graduado</b>	300 ml

Fonte: Adaptado de NBR 6457:2016.

Para que o procedimento se aproximasse da realidade de um canteiro de obras, as duas bandejas maiores foram cheias com solo, respectivamente, os solos 1 e 2, cada uma. Estas bandejas foram postas ao ar livre, sob a incidência direta de luz solar por, pelo menos, duas horas, de acordo com a Figura 4-19.



Figura 4-19 – Secagem do solo ao ar livre

Depois, elas foram levadas para o interior do laboratório para que o solo pudesse ser totalmente passado na peneira, com malha de abertura de 4,75 mm, como mostra a Figura 4-20 (a). Posteriormente, o solo é colocado em outra bandeja para ser pesado.

Estabeleceu-se, para cada ponto do ensaio, uma quantidade de 900 g de cada solo – Figura 4-20 (b) – e de 300 g de cimento – Figura 4-20 (c) –, respeitando, assim, a dosagem adotada de 1:6. Esses mesmos valores são usados para ambas as misturas testadas. Assim, despejaram-se todos os materiais na bandeja menor, realizando a homogeneização da mistura com as mãos, de acordo com a Figura

4-20 (d). Ao todo, foram tomados nove pontos para a realização do ensaio de cada mistura.

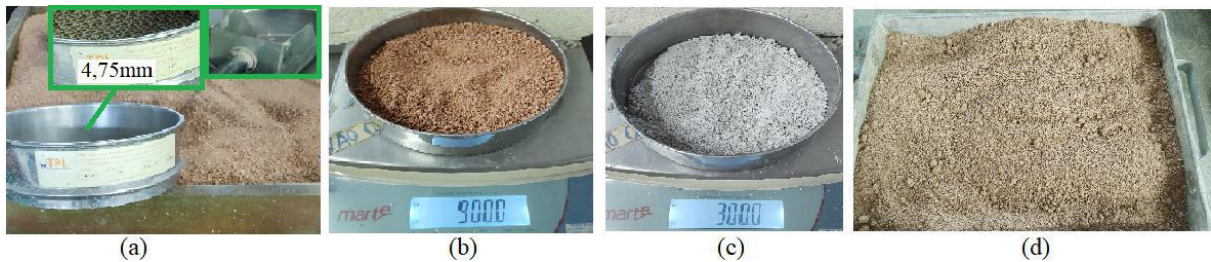


Figura 4-20 – Mistura de solo e para o ensaio de compactação

(a) Passagem do solo na peneira de 4,75 mm; (b) Pesagem de 900 g do solo de cada jazida; (c) Pesagem dos 300 g de cimento; (d) Resultado da mistura desses materiais com as mãos.

Desse modo, em cada ponto, adotou-se um teor de umidade diferente. O primeiro foi feito sem a adição de água e, do segundo em diante, foram adicionados 75 ml, cumulativamente, a cada ponto. Em outras palavras, os valores de massa dos solos e de cimento são constantes em todo o ensaio. A variável é a adição de água, já que, com a pisseta – Figura 4-21 (a) – foram acrescentados 75 ml, 150 ml, 225ml, 300 ml, 375 ml, 450 ml, 525 ml e 600 ml, respectivamente, do segundo ao nono ponto. Exemplifica-se também, nas Figura 4-21 (b), (c) e (d), diferentes teores de umidade em distintos pontos ensaiados.

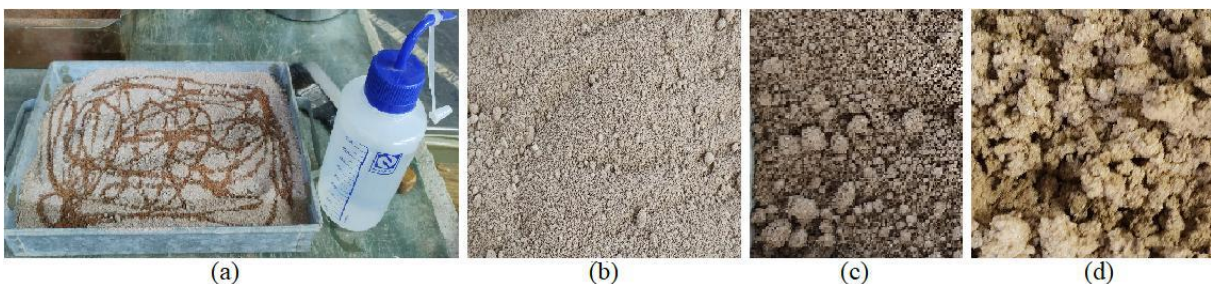


Figura 4-21 – Diferentes teores de umidade para o ensaio de compactação

(a) Adição de água com a pisseta; (b) Mistura de solo-cimento com 300 ml de água; (c) Mistura de solo-cimento com 450 ml de água; (d) Mistura de solo-cimento com 600 ml de água.

No caso da mistura de solo, cimento e máscaras a presença dos fragmentos de máscaras foi uma diferença crucial na execução do procedimento de compactação. Cabe destacar que, nesse momento da pesquisa, ainda se trabalhava com as máscaras trituradas pela fragmentadora de papéis e cartões. Ademais, que o valor, em massa, empregado em cada ponto é constante e correspondente à 0,25% do total da mistura.

Analogamente ao processo de preparação da mistura anterior, realizou-se as mesmas etapas até a homogeneização do solo com o cimento, como mostrado na Figura 4-22 (a). Nesse momento, antes da paulatina adição de água, realizou-se a pesagem dos fragmentos de máscara descartáveis – 5,25 g –, referente a um ponto individual – Figura 4-22 (b), que são levados ao tabuleiro com o solo-cimento – Figura 4-22 (c) – para que sejam, finalmente, homogeneizados – Figura 4-22 (d). Depois disso, realiza-se o mesmo processo de umidificação da mistura, sendo o primeiro ponto sem adição de água, até o nono ponto, com 600 ml.

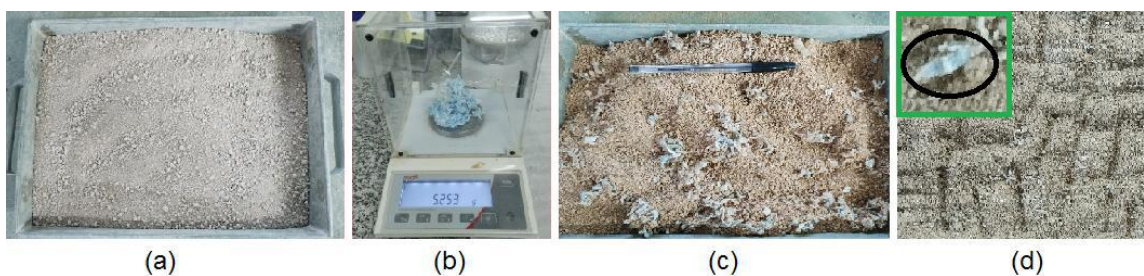


Figura 4-22 – Mistura de solo, cimento e fragmentos de máscaras descartáveis para o ensaio de compactação

(a) Mistura homogeneizada de solo-cimento; (b) Pesagem dos 5,25 g de fragmentos de máscara para cada ponto do Proctor normal; (c) Adição dos fragmentos junto ao solo-cimento; (d) Homogeneização da mistura de solo, cimento e fragmentos de máscaras descartáveis antes da adição de água.

#### 4.5.3.2 Execução do ensaio

A execução do ensaio de compactação é feita de acordo com a NBR 12023:2012 - “Solo-cimento - ensaio de Compactação”. O objetivo é encontrar a relação entre o teor de umidade e a massa específica aparente seca das misturas para, então, estabelecer o valor da umidade ótima. Cabe ressaltar que os procedimentos executórios são os mesmos tanto para a mistura de solo-cimento, quanto para a de solo-cimento e máscaras descartáveis. A Tabela 4-7 lista os equipamentos utilizados e as principais características deles.

Tabela 4-7 – Capacidade/Dimensão dos equipamentos utilizados execução dos ensaios de compactação

Equipamento	Capacidade/Dimensão
Bandejas	70 cm x 50 cm x 5 cm e 26 cm x 13 cm x 4 cm
Estufa	com temperatura entre 105°C e 110°C
Balanças digitais	para 10 kg e para 200g, sensíveis a 1g a 0,01g, respectivamente
Cápsulas metálicas	5 cm de diâmetro
Espátula de aço com cabo de madeira	2 cm de largura e 8 cm de comprimento

<b>Régua de aço biselada</b>	30 cm de comprimento
<b>Papel filtro</b>	10 cm de diâmetro
<b>Cilindro metálico pequeno (Proctor)</b>	1000 cm <sup>3</sup> de volume útil
<b>Soquete pequeno</b>	Massa e altura de queda, aproximadas, respectivamente, de 2500g e 305 mm

Fonte: Adaptado de NBR 12023:2012.

Depois da preparação da amostra, realiza-se as dosagens para a execução do ensaio. Para os dois tipos de mistura, cada um dos nove pontos foi ensaiado separadamente. Esse cuidado faz-se necessário, pois, no caso do ensaio de compactação com a mistura de solo-cimento, a NBR 12023/2012: “Solo-cimento: Ensaio de compactação” recomenda que a dosagem de cada ponto seja feita de forma separada, para que não se perca parte da mistura, durante a execução do ensaio, devido às reações de hidratação do cimento.

Cabe ressaltar que, para cada mistura, foram utilizados cerca de 20 kg de material, totalizando 40 kg, aproximadamente, para a confecção das duas curvas de compactação. Ademais, o processo de compactação, aqui executado, adaptado da NBR 12023:2012 consiste em:

- Separar amostra de solo em 9 frações, sendo a primeira seca ao ar, sem a adição de água. Realiza-se a preparação da mistura, já descrita anteriormente. Ressalta-se que a umidade natural do solo era semelhante ao valor inicial solicitado por norma;
- Coloca-se uma folha de papel filtro ao fundo do molde, sobre a base, para evitar aderência do solo ao metal. Em seguida, fixa-se o molde cilíndrico à base e, depois, acopla-se o colarinho complementar a este último. Por fim, apoia-se todo o conjunto sobre uma base rígida;
- Pesa-se todo o conjunto o molde, ainda vazio e sem o colarinho, e anota-se o valor;
- Retorna-se com o molde para uma base rígida e dá-se início ao preenchimento deste com a mistura. Ocupa-se pouco mais de 1/3 do molde com a mistura e utiliza-se o soquete para compactá-la, sendo aplicados 26 golpes, devidamente distribuídos, por camada. Esse procedimento é realizado por mais duas vezes, totalizando 3 camadas. Recomenda-se que os golpes sejam feitos de forma circular e, a cada duas voltas completas, sejam dados 2 golpes no meio, com o intuito de garantir a uniformidade na

compactação. Ademais, escarifica-se o solo entre as camadas para auxiliar na aderência entre as mesmas;

- Depois da compactação da última camada, escarifica-se a parede do colarinho de modo a facilitar a remoção deste;
- Removido o colarinho, o solo em excesso, acima do molde, é arrasado com o auxílio da régua biselada;
- Limpa-se o exterior do molde, removendo os excessos, para, então, pesar-se o conjunto e subtrair-se da massa do molde. Obtém-se, assim, apenas a massa da mistura presente no interior do cilindro;
- Devido à ausência do extrator, aos poucos a mistura é retirada de dentro do cilindro, com o auxílio da espátula. Quando se alcança a parte central do corpo de prova, retira-se 3 amostras da mistura, colocando-as em cápsulas para determinação da umidade na estufa;
- Repete-se o procedimento para os 9 pontos, com umidades distintas.

A Figura 4-23 apresenta a sequência de execução de um dos pontos do ensaio tipo Proctor para a construção da curva de compactação da mistura.

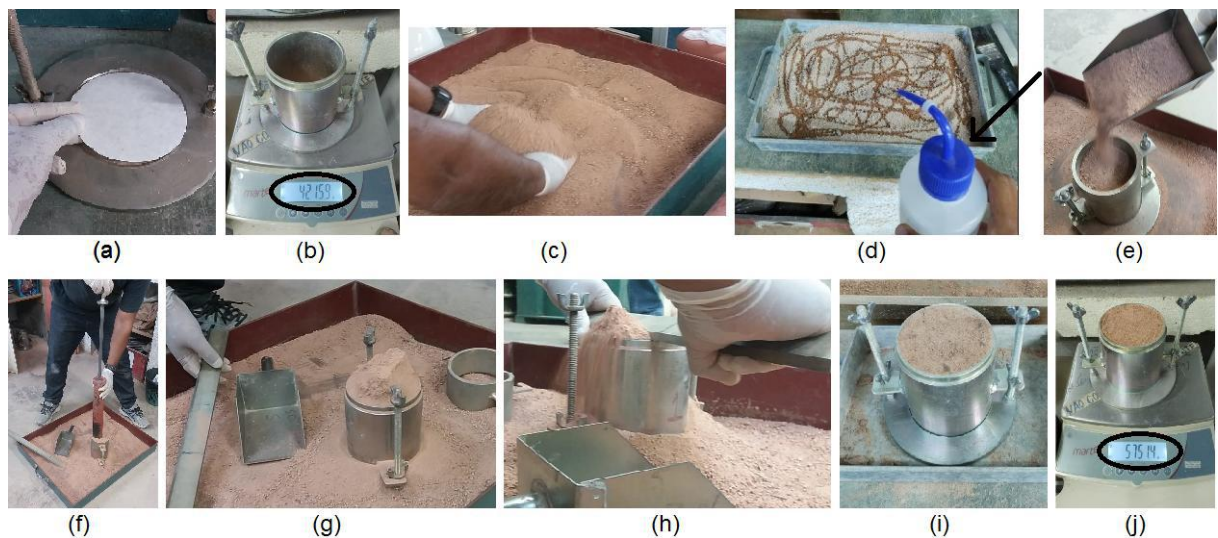


Figura 4-23 – Execução do ensaio de Proctor Normal

- (a) Disposição do papel filtro ao fundo do molde; (b) Pesagem do molde sem o colarinho; (c) Realização da mistura com as mãos; (d) Adição e posterior homogeneização de água à mistura; (e) Disposição da mistura no molde; (f) Distribuição uniforme dos golpes; (g) Remoção do colarinho; (h) Arrasamento do corpo de prova com a régua biselada; (i) Limpeza externa do molde; (j) Pesagem do molde preenchido com a mistura.

Após a coleta de todas as amostras das misturas, e de colocá-las na estufa, espera-se por pelo menos 24 horas, ou até que se atinja a constância de massa.

Depois disso, retira-se as amostras da estufa para conhecer a umidade do solo. Ademais, obtém-se, também, a massa específica aparente seca que pode ser determinada pela Equação (1):

$$\rho_d = \frac{100 M_u}{V(100 + w)}, \quad (1)$$

onde:  $\rho_d$  é a massa específica aparente seca ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );  $M_u$  é a massa úmida da mistura compactada (g);  $V$  é o volume útil do molde cilíndrico ( $\text{cm}^3$ ); e  $w$  é o teor de umidade do solo compactado (%).

#### 4.6 FABRICAÇÃO DOS TIJOLOS

A produção dos tijolos foi realizada por meio da utilização de uma prensa manual, com moldes de dimensões, respectivamente, para largura, comprimento e espessura, de 12,5 cm x 25 cm x 6,5 cm. Além de encaixes que permitem a fixação direta entre os componentes na execução da alvenaria. Além da prensa, o Laboratório de Engenharia Civil, do Campus Macaé/RJ, conta com um triturador de solos, que podem ser vistos na Figura 4-24.



Figura 4-24 – Prensa manual e triturados de solo  
Fonte: VIMAQ apud Souza (2018).

No entanto, devido a problemas técnicos com o triturador, que exigiam concerto prévio, não foi possível utilizá-lo na execução do presente estudo. Por conta disso, o processo de estocagem do solo se tornou mais moroso, haja vista que o destorroamento foi feito manualmente, exigindo, portanto, maior esforço físico.



Cerca de metade do material carregado no carrinho de mão, para ser peneirado e guardado, não pôde ser aproveitada, devido a esse problema técnico e, por conta disso, teve que ser descartado.

A prensa usada é capaz de produzir tijolos vazados do tipo modular, de encaixes universais, com dois furos internos de 6,8 cm de diâmetro cada. E o destorroador proporciona a desagregação das partículas do solo e uma melhor homogeneização da umidade.

A Tabela 4-8, traz as especificações técnicas da prensa modular, segundo a fabricante VIMAQ Prensas.

Tabela 4-8 – Especificações técnicas da prensa modular de tijolos

<b>Características</b>	<b>Especificações</b>
<b>Dimensões dos moldes</b>	altura: 6,5 cm; largura: 12,5 cm; comprimento: 25cm; diâmetro de cada um dos dois furos interno: 6,8 cm.
<b>Massa total</b>	aproximadamente 80 kg;
<b>Capacidade de produção</b>	250 a 300 tijolos por hora;
<b>Peças por m<sup>2</sup> de parede</b>	70 tijolos somente encaixados
<b>Acessórios</b>	dispositivo para a produção de ½ tijolo, indicado para acabamentos de portas e janelas; canaleta, para a execução de vergas e cintas de amarração;
<b>Tensão de compactação</b>	2,0 MPa a 3,0 MPa.

Fonte: Adaptado de VIMAQ apud Souza (2018).

#### 4.6.1 Preparação dos materiais para mistura

Antes da execução das misturas de solo-cimento, e solo-cimento aditivado com fragmentos reutilizados de máscaras descartáveis de polipropileno, realiza-se a separação das quantidades necessárias de cada insumo. Assim, para realizar a pesagem, leva-se a balança para o galpão, onde ela é nivelada, como pode ser visto na Figura 4-25. Em seguida, os baldes usados são colocados sobre ela para serem tarados e, por conseguinte, pesar-se cada material, separadamente.



Figura 4-25 – Nivelamento da balança

Para a mistura de solo-cimento, de cada um dos materiais, separou-se cerca de: 12 kg do solo 1; 12 kg do solo 2; 4 kg de cimento; 80 g de cal hidratada; 5,1 kg de água. No caso da mistura de solo-cimento com os fragmentos reutilizados de máscaras descartáveis de polipropileno, foram também necessários 83 g do resíduo por traço. Isso tudo foi feito para que houvesse uma maior padronização e homogeneização do processo, como pode ser visto na Figura 4-26. Ademias, destaca-se que esse mesmo processo era realizado, todas as vezes, para preparar a mistura na masseira e iniciar uma nova leva de fabricação de tijolos.

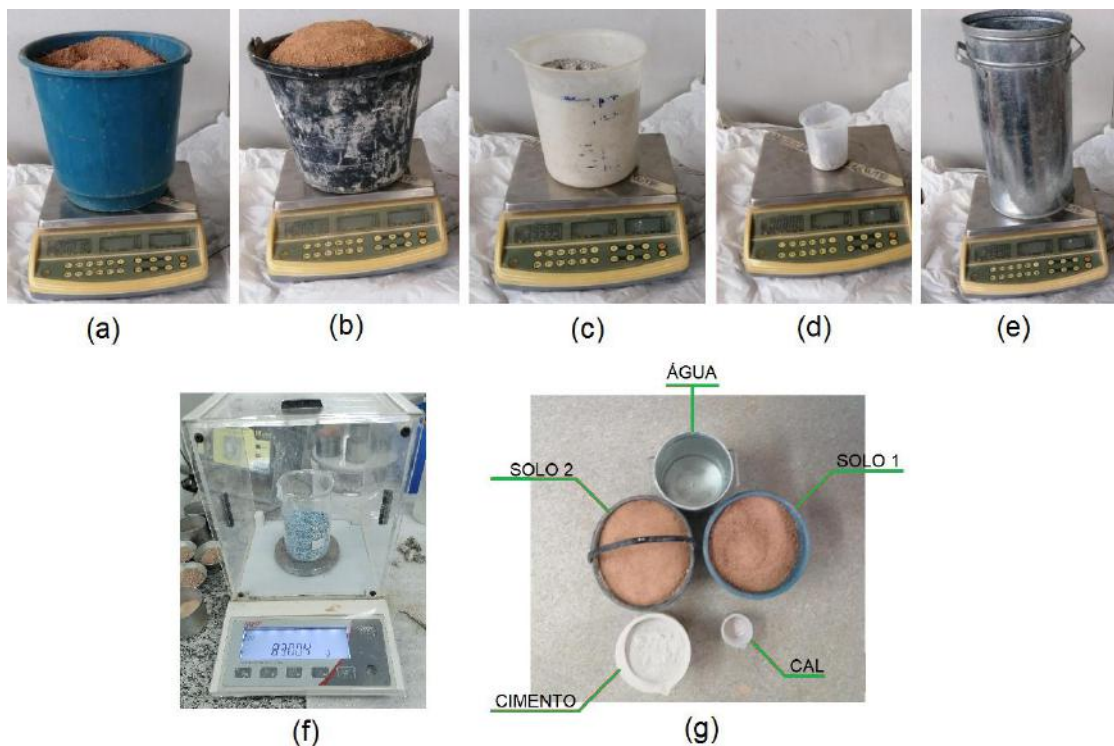


Figura 4-26 – Pesagem e separação dos materiais para a mistura  
 (a) Pesagem do solo 1; (b) Pesagem do solo 2; (c) Pesagem do cimento; (d) Pesagem da cal hidratada; (e) Pesagem da água; (f) Pesagem dos fragmentos de máscaras descartáveis de polipropileno; (g) Separação dos materiais para execução do traço.

#### 4.6.2 Execução das misturas

A execução de ambas as misturas, de solo-cimento e solo-cimento-máscara, é feita a partir da já conhecida dosagem elegida para o presente estudo, que considera uma relação 1:6 (cimento:solo). Por isso que, para cada traço, são usados 24 kg de solo, metade de cada jazida, e de 4 kg de cimento. A quantidade de cal hidratada corresponde à 2%, em massa, do cimento. Já a quantidade de água utilizada é de 5,1 kg, ou seja, 20,50%. Destaca-se que esse valor foi obtido através do teste empírico com a moldagem manual da “bolinha”. O que difere um tipo de mistura da outra é a aplicação de 83 g de fragmentos de máscaras descartáveis reutilizadas, correspondente a 0,25% do total, em massa.

Faz-se imprescindível ressaltar que todas as etapas da execução dessas misturas devem ser feitas em local arejado e coberto, ou seja, ao abrigo da incidência direta da luz solar e de chuva. Isso é feito para que não haja variações significativas na dosagem estabelecida, já que o processo de mistura é bastante susceptível às variações climáticas.

A Figura 4-27 mostra o galpão onde foram realizadas partes dos procedimentos e fabricados todos os tijolos utilizados na pesquisa.



Figura 4-27 – Galpão anexo ao Laboratório da Engenharia Civil

##### 4.6.2.1 Mistura de solo e cimento

Primeiramente, reúnem-se os materiais previamente pesados e separados próximo à masseira. Em seguida, para a devida homogeneização da mistura, que

garanta a uniformidade do material, inicia-se o procedimento adicionando os 12 kg de solo 2 aos 12 kg de solo 1. Com o auxílio da enxada, revolve-se o solo para, então, adicionar-se os 4 kg cimento e os 80 g de cal hidratada. Novamente com a enxada, mistura-se todo esse material, como pode ser visto na Figura 4-28 (a).

Por último é, então, adicionada a água. A água foi colocada aos poucos, com bastante cuidado para garantir uma melhor dispersão da umidade na mistura – Figura 4-28 (b).

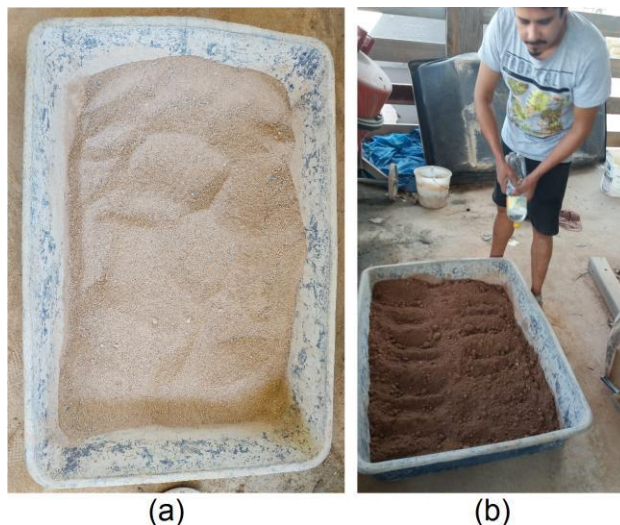


Figura 4-28 – Execução da mistura de solo-cimento

(a) Mistura seca e homogeneizada de solo, cimento e cal hidratada; (b) Adição gradativa da água à mistura.

Como não se pôde contar com o triturador de solo para realizar a homogeneização da umidade, esse processo também foi feito de maneira manual. Primeiro espalhou-se a metade da água e misturou-se com a enxada para, então, despejar a outra metade. Finalizado o processo, retirou-se as três amostras para a aferição da umidade e fez-se o teste moldando uma bolinha com as mãos.

#### 4.6.2.2 Mistura de solo, cimento e máscaras descartáveis

A execução da mistura de solo, do cimento e dos fragmentos processados, obtidos a partir da reutilização de máscaras descartáveis de polipropileno, é realizada de maneira análoga à anterior, de solo e cimento. Todas as etapas que precedem a adição de água são repetidas. A diferença está no acréscimo dos 83 gramas de polipropileno, referentes aos 0,25% estabelecidos na dosagem, como mostrado na Figura 4-29 (a), para, então, adicionar-se a água e realizar a

homogeneização da mistura – Figura 4-29 (b) –, revolvendo-se a massa com a enxada.



Figura 4-29 – Execução da mistura de solo, cimento e máscara descartável  
 (a) Mistura seca e homogeneizada de solo, cimento, cal hidratada e fragmentos reutilizados de máscaras descartáveis de polipropileno; (b) Mistura úmida e homogeneizada.

#### 4.6.3 Teor de umidade das misturas

A umidade com que a mistura se encontra na hora da compactação é muito importante. Assim, antes de realizar-se a moldagem dos tijolos, na prensa manual, recolhe-se três amostras da mistura em pontos distintos da masseira, que são colocadas em cápsulas metálicas, para que se medir a umidade inicial de cada traço. Essa aferição do teor de umidade segue o procedimento da NBR 6457 - “Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização”.

Além da maneira teórica apresentada anteriormente, uma forma mais prática de se perceber se a mistura estava com a umidade ideal para compactação foi realizada a cada traço. Para isso, pegou-se um punhado de massa da mistura compactando-o com a própria mão. Posteriormente apertou-o com a mão contra os dedos, sendo observado o comportamento:

- Caso a massa “sue” (expulse água), então há água em excesso;
- Caso a massa “desmanche”, há menos umidade que o necessário;
- Se a massa não expulsa água, nem se desfaz, além disso pode-se quebrar a bolinha formada, com as mãos, e estando as arestas vivas é sinal que a umidade é apropriada como ilustrado nas Figura 4-30 (a) e (b).

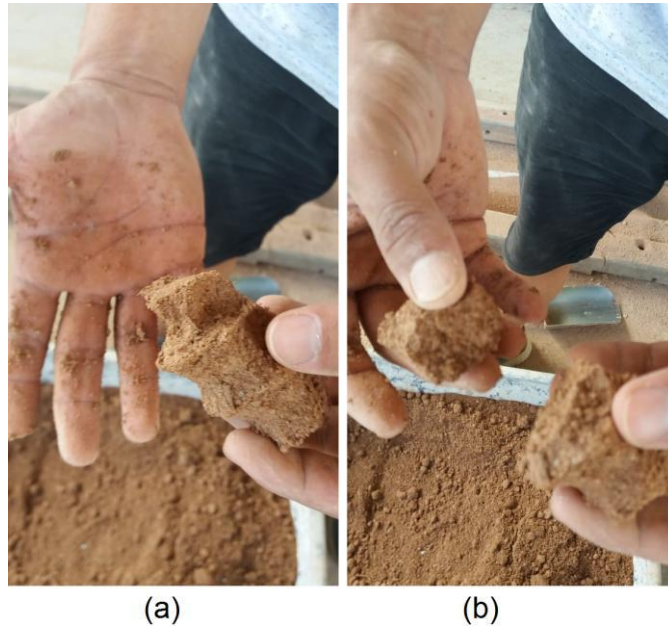


Figura 4-30 – Teste rápido e prático para reconhecimento da umidade da mistura  
(a) Modelagem da bolinha com a mão; (b) Rompimento da bolinha com as pontas dos dedos.

#### 4.6.4 Prensagem dos tijolos

A moldagem dos tijolos é feita, manualmente, com a prensa descrita anteriormente, e cada tijolo utilizou cerca de 2,5 litros da mistura. Para os dois tipos de mistura feitos, de solo-cimento e solo-cimento e máscaras descartáveis, os procedimentos de moldagem são os mesmos.

Instalou-se uma peneira na entrada do silo da prensa e, com o auxílio da pá, levou-se uma determinada quantidade da mistura, passando pela peneira (#5 mm), Figura 4-31 (a). Cabe ressaltar que devido à imperfeita homogeneização da umidade na mistura com a enxada, algumas pelotas da mistura com água ficaram retidas na peneira. Assim, houve a necessidade de destorroar manualmente esse material, como pode ser visto na Figura 4-31 (b).

Com as mãos, o material é peneirado Figura 4-31 (b), aos poucos, até que todo o material passe pela malha da peneira. Há, conseqüentemente, o desmanche das pelotas. Após encher o silo até à metade Figura 4-31 (c), aproximadamente, revolve-se o solo com a mão para, então, puxar a gaveta, que se encontra embaixo do silo, até a cavidade do molde do tijolo Figura 4-31 (d). Depois de o solo cair nessa cavidade, preenchendo-a por completo, retorna-se com a gaveta até a saída do silo e inicia-se a prensagem propriamente dita.

Fecha-se a cavidade com a tampa, acoplada ao braço de alavanca. Segura-se, com as duas mãos, a ponta dessa alavanca, puxando-a para baixo até que não de consiga mais deslocá-la Figura 4-31 (e). Nesse momento, retorna-se com a alavanca para a posição inicial, abre-se a cavidade e, com as palmas das duas mãos abertas, segura-se, com cuidado, o tijolo pelas laterais de maior dimensão, como mostrado na Figura 4-31 (f). Por fim, o tijolo é levado até o *pallet*, onde fica, por uma semana, depois de coberto com a lona, na fase inicial do processo de cura Figura 4-31 (g).

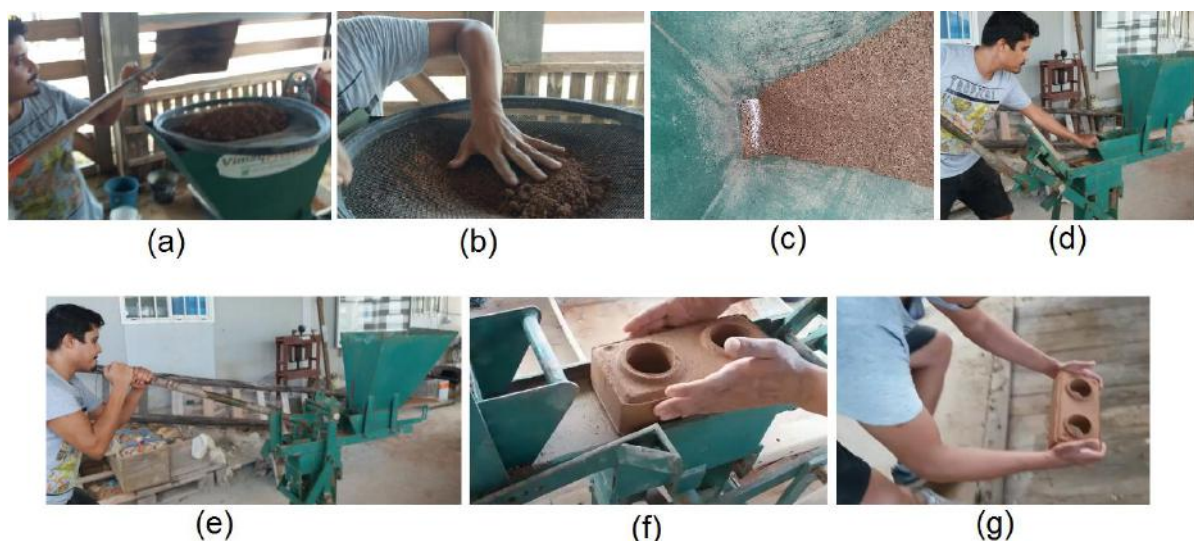


Figura 4-31 – Processo de prensagem dos tijolos

(a) Disposição da mistura sobre a peneira; (b) Destorroamento manual; (c) Silo com a mistura homogeneizada; (d) Preenchimento da cavidade do molde do tijolo com a mistura; (e) Prensagem propriamente dita; (f) Remoção cuidadosa do tijolo da prensa; (g) Transporte de disposição do tijolo fresco no *pallet*.

Destaca-se, aqui, também, mais dois detalhes concernentes ao processo de prensagem. O primeiro diz respeito à energia empregada na compactação, ao se puxar o braço de alavanca. Percebe-se, na execução, que quando a mistura tem o teor de umidade abaixo do necessário, emprega-se uma maior força, já que ainda não se obteve a lubrificação, pela água, necessária para a compactação. O contrário, quando o teor de umidade está acima do necessário, faz com que a força empregada seja menor.

Esses teores de umidade, que diferem do ideal, também atrapalham no processo de remoção dos tijolos da prensa. E esse é o segundo aspecto aqui ressaltado: deve-se ter bastante cuidado ao retirar o tijolo da prensa para que ele não fissure ou, até mesmo, se rompa, como pode ser visto na Figura 4-32 (a). O

mesmo pode vir a acontecer quando eles forem dispostos e arrumados nos *pallets*, como ilustra a Figura 4-32 (b).

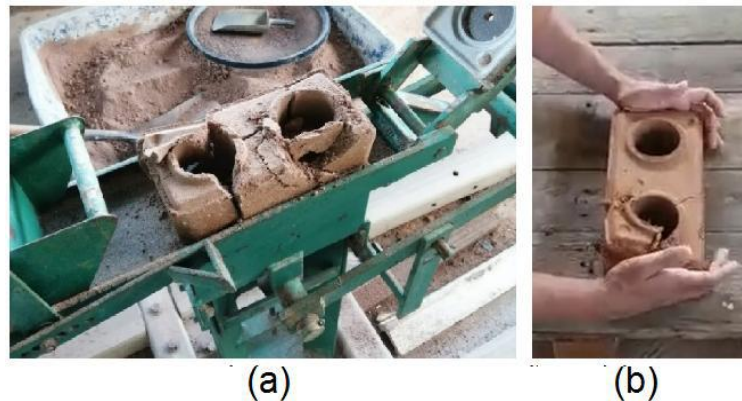


Figura 4-32 – Erros que podem ser evitados na desmoldagem dos tijolos  
 (a) Quebra do tijolo pela falta de cuidado ao retirá-lo da prensa; (b) Quebra do tijolo pela falta de cuidado ao dispô-lo no *pallet*.

#### 4.7 PROCESSO DE CURA DOS TIJOLOS

O processo de cura dos tijolos é essencial para obter a resistência à compressão desejada. No entanto, esse processo demanda estrutura, pois, o ideal a utilização de uma câmara úmida com controle de temperatura e umidade. Devido à ausência da câmara úmida no campus da UFRJ-Macaé, realizou-se uma adaptação. Utilizou-se duas caixas d'água, uma de 1000 litros e a outra de 250 litros, para poder manter o ambiente minimamente controlado da incidência de luz e a grandes variações de umidade. Cabe ressaltar que bastaria cobrir os tijolos à sombra.

A NBR 10833:2012 – “Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica – Procedimento”, estabelece que depois de moldados, durante os sete primeiros dias, os tijolos devem ser mantidos úmidos. No entanto, segundo os manuais do Projeto SHS, antes das primeiras 24 horas, os tijolos não devem ser empilhados, sob o risco de danificá-los. Portanto, eles devem ser, imediatamente após a moldagem, dispostos separadamente.

E, como não foi possível dispor todas as unidades moldadas, em cada traço, lado a lado, dentro das caixas d'água, optou-se por deixá-los sobre *pallets* com béqueres de plástico cheios de água – Figura 4-33 (a). Isso para que, depois de cobertos por uma lona de plástico, como ilustrado na Figura 4-33 (b), durante os sete primeiros dias, pudesse se manter a umidade necessária.



Para tanto, todos foram devidamente identificados por meio de etiquetas com a numeração que segue a ordem sequencial de moldagem e, também, a data de fabricação, para posterior controle do tempo de cura.

Após o decorrer desse tempo, os tijolos eram dispostos, dentro das caixas d'água onde, também, foram postos béqueres com água, com a mesma finalidade de manter uma atmosfera com a umidade necessária para a cura – Figura 4-33 (c). Eles eram, então, empilhados em colunas de, no máximo, 5 tijolos, formando uma altura total menor que o limite de 1,5 metros, estipulado pela norma, como pode ser visto na Figura 4-33 (d).

Nessas caixas d'água, uma vez fechadas, e abrigadas da incidência de luz solar sobre elas, os tijolos de solo-cimento permaneceram até que se completasse o tempo total de 32 dias de cura (atendendo ao mínimo de 28 dias).



Figura 4-33 – Etapas do processo de cura dos tijolos solo-cimento  
 (a) Disposição dos tijolos recém-moldados, já devidamente etiquetados, sobre o *pallet*; (b) Cobertura do *pallet* com a lona plástica; (c) Disposição dos tijolos dentro da caixa d'água, juntos aos béqueres com água; (d) Empilhamento dos tijolos nas caixas d'água.

## 4.8 ENSAIOS DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO

O ensaio de compressão simples foi realizado com adaptações à NBR 8492/2012: “Tijolo maciço de solo-cimento – Determinação da resistência à compressão e da absorção de água”.

Ademais, os tijolos foram separados em dois grupos com características distintas de execução, a saber:

- (i) tijolos solo-cimento com a umidade controlada;
- (ii) tijolos solo-cimento, com polipropileno reutilizado de máscaras descartáveis, com a umidade controlada.

### 4.8.1 Preparação dos tijolos

Antes da execução do ensaio, deve-se realizar a preparação dos tijolos. Os itens necessários, para isso, encontram-se listados na Tabela 4-9, abaixo. Assim, deve-se atentar para alguns detalhes importantes, sendo eles: a devida identificação dos tijolos; a marcação da linha de corte que divide o tijolo ao meio, perpendicularmente à maior dimensão deste; a execução do corte dos tijolos, com a serra policorte; a umidificação superficial dos tijolos para a aplicação da pasta de cimento; a aplicação dessa pasta e colagem das metades de cada tijolo; e, por fim, a planificação da superfície dos corpos de prova.

Tabela 4-9 – Capacidade/Dimensão dos equipamentos utilizados na preparação dos tijolos

<b>Equipamento</b>	<b>Capacidade/Dimensão</b>
<b>Lápis</b>	preto nº 2 (2B)
<b>Caneta</b>	para marcação em quadro branco
<b>Régua</b>	com graduação em milímetros
<b>Estilete</b>	com lâmina de aço 18 mm
<b>Serra policorte</b>	com disco, de 1”x 1/8” e furo de 1”, para cerâmicos
<b>Caixa masseira para mistura</b>	de 150 litros
<b>Colher de pedreiro</b>	de 6”
<b>Balde</b>	de 10 litros
<b>Nível</b>	com 3 bolhas e 30 cm de comprimento

Primeiramente, retira-se a fita copia-se os dados, previamente anotados nela, no próprio tijolo, com o auxílio da caneta – Figura 4-34 (a). Em seguida, faz-se a

marcação da linha, como o auxílio do lápis e da régua, no meio de cada tijolo – Figura 4-34 (b). Então, com a serra, executa-se o corte de todos os tijolos em duas partes iguais – Figura 4-34 (c). Depois, prepara-se uma pasta, com uma relação cimento e água de 1:1/3, respectivamente, que é deixada em repouso por cerca de 30 minutos – Figura 4-34 (d).

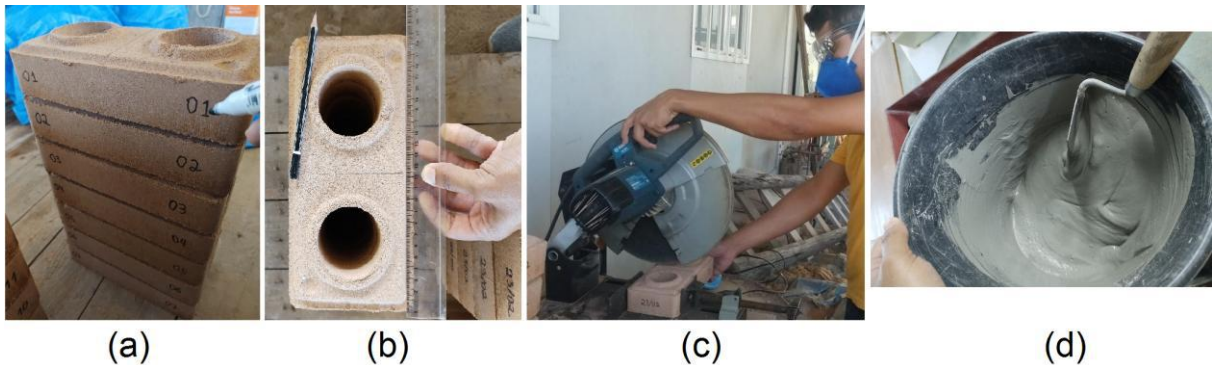


Figura 4-34 – Preparação dos tijolos (corpos de prova)  
 (a) Identificação numérica dos tijolos; (b) Marcação da linha divisora ao meio; (c) Corte do tijolo na serra policorte; (d) Preparação da pasta de cimento.

Então, para que não haja perda de umidade, para o cimento presente na pasta, realiza-se a umidificação superficial dos tijolos mergulhando-os, rapidamente na masseira cheia d'água – Figura 4-35 (a). Em seguida, aplica-se, com a colher de pedreiro, uma camada de argamassa com 2 a 3 mm de espessura – Figura 4-35 (b) e (c).

Com o término dessa etapa, espera-se 24 horas, para o ganho de resistência da pasta – Figura 4-35 (d) –, para, finalmente, com o estilete, a saliência do furo interno seja removida – Figura 4-35 (e). A Figura 4-35 (f) mostra a verificação do nível do corpo de prova que será ensaiado a compressão na prensa.

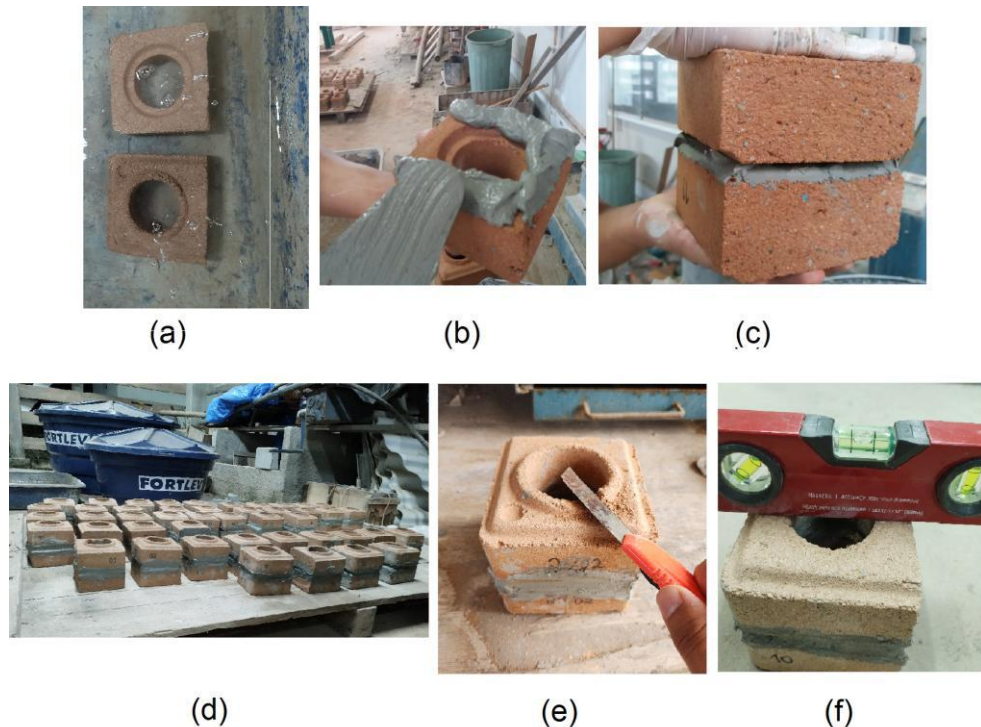


Figura 4-35 – Colagem e planificação dos tijolos (corpos de prova)  
 (a) Umidificação superficial dos tijolos; (b) Disposição da pasta sobre o tijolo; (c) Colagem das duas metades do tijolo; (d) Ganho de resistência por 24h; (e) Remoção da saliência com estilete; (f) Aferição do nível dos tijolos.

#### 4.8.2 Execução dos ensaios de compressão

O ensaio de compressão simples é realizado seguindo as recomendações estabelecidas pela NBR 8492/2012: “Tijolo de solo-cimento – Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água – Método de ensaio”.

Cabe ressaltar, no entanto, que são feitas duas adaptações à norma:

- a primeira concerne à velocidade de aplicação da carga pela prensa hidráulica;
- e a segunda, à não imersão em água prévia dos corpos de prova, por no mínimo 6 horas, antes do rompimento na prensa.

Os equipamentos utilizados foram a prensa hidráulica, modelo I-3025-B, da Contenco, com capacidade de aplicação de 200 toneladas, disponível no Laboratório de Engenharia Civil, do Campus UFRJ-Macaé; e duas placas de aço que acompanham o conjunto de moldes da prensa mecânica de moldagem dos tijolos.

O corpo de prova deve ser colocado, de maneira centralizada, diretamente sobre os pratos inferior e superior da prensa, caso ele tenha dimensões suficientes

para cobrir todas as duas superfícies de contato. No entanto, como isso não foi possível, colocou-se as duas placas de aço<sup>8</sup> entre as essas superfícies e os pratos da prensa, como pode ser visto na Figura 4-36 (a).

A máquina é, então, ligada e, de acordo com a norma, dever-se-ia programar a velocidade de aplicação da carga, uniformemente, para 500 N/s, equivalente a 50 kgf/s. O equipamento utilizado, no presente ensaio, porém, não dispõe de controle automático de velocidade, portanto, assim com Souza (2018) e Lobo (2019), definiu-se um valor fixo de 30 u.v. para a velocidade de avanço da máquina Figura 4-36 (b).

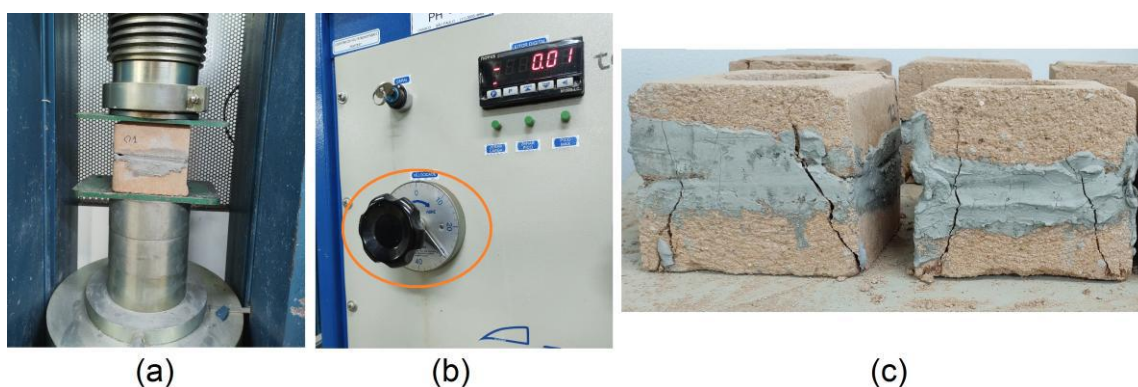


Figura 4-36 – Rompimento dos tijolos na prensa hidráulica  
 (a) Disposição centralizada do corpo de prova e das placas de aço entre os pratos da prensa;  
 (b) Ajuste da válvula de velocidade de aplicação da carga para 30 u.v.; (c) Padrão de rompimento dos corpos de prova.

O painel da máquina possui duas válvulas. Uma libera o fluido para o manuseio da manivela que prende e libera o corpo de prova junto aos pratos do aparato. A outra, que pode ser vista em destaque na Figura 4-36 (b), define a velocidade de aplicação da carga. De fato, a válvula só menciona a palavra “velocidade”.

Outro detalhe importante é que, segundo a norma, antes de serem levados à prensa, os corpos de prova devem ser totalmente submersos, em água, por pelo menos 6 horas. E, aqui, é feita outra adaptação, pois se optou, assim como Lobo (2019), em realizar o ensaio sem fazer essa pré-imersão.

Desse modo, após o devido encaixe do corpo de prova e das placas, junto aos pratos da prensa, dá-se a partida na máquina para a efetuação do ensaio. No

<sup>8</sup> Segundo a NBR 8492:2016, no caso de as superfícies dos pratos da máquina não serem suficientes para apoiar todo o corpo de prova, podem ser utilizadas placas de aço monolíticas, entre esses pratos o corpo de prova, desde que as superfícies sejam planas e rígidas, não apresentando desníveis superiores a 0,08 mm para cada 400 mm, e possua espessura de 35 mm para cargas de até 1 000 kN.

*display* do painel do equipamento, é possível notar os sucessivos acréscimos de carga, em toneladas, até que se atinja o rompimento do corpo de prova – Figura 4-36 (c). Ou seja, ocorre uma fissuração do tijolo e, concomitantemente, sucessivos decréscimos de carga.

Nesse momento, desativa-se a máquina e anota-se manualmente o resultado da força máxima. Limpa-se a superfície da placa inferior, respectivamente, posiciona-se outra amostra e se inicia, novamente, o ensaio. Esse procedimento é realizado até que todos sejam rompidos e os dados referentes ao valor de ruptura, anotados manualmente.

#### **4.8.3 Análises estatísticas**

As análises estatísticas dos ensaios de resistência à compressão simples foram realizadas com base em medidas descritivas. São elas: a média aritmética, a mediana, a moda, o desvio padrão amostral, o valor mínimo e o valor máximo.

Desse modo, antes da execução dos ensaios, todos os tijolos fabricados foram divididos, convenientemente, em dois grupos, a saber: o primeiro sem a adição dos fragmentos de máscaras descartáveis de polipropileno; e o segundo com essa adição. Objetivando-se, desse modo, avaliar a influência dessa adição na resistência à compressão final dos tijolos modulares de solo-cimento.

Para tanto, em termos gerais, utilizou-se uma análise univariada, para analisar as médias das resistências encontradas. Assim, foram utilizados gráficos de distribuição de frequências (mais precisamente, histogramas) e de densidade de probabilidade, além do *Box Plot*, ou diagrama de caixa, e do *Violin Plot*, ou trama de violino.

Essas análises foram realizadas, automaticamente, utilizando a linguagem de programação *Python*, importando-se as bibliotecas *Pandas* e *Seaborn*.

## 5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

No presente capítulo, se apresenta os resultados dos ensaios realizados nesta pesquisa. Sendo eles os de: Granulometria, Limites de Atterberg – Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade –, Proctor Normal e Compressão Simples. Todos os procedimentos foram realizados no laboratório de Engenharia Civil da UFRJ/Macaé.

### 5.1 GRANULOMETRIA POR PENEIRAMENTO

Após a realização do peneiramento, calcula-se o percentual retido em cada peneira de acordo com a Equação (2) e o percentual passante a partir da subtração do percentual retido da amostra total, conforme a Equação (3).

$$PR = \frac{MR}{MTS} \cdot 100 \quad (2)$$

$$PP = 100 - PR \quad (3)$$

Onde:

- PR = Percentual retido acumulado de solo em cada peneira;
- PP = Percentual passante de solo em cada peneira;
- MR = Massa retida acumulada de solo em cada peneira;
- MTS = Massa total de solo.

A partir desses dados, plota-se o gráfico, por meio do *software Microsoft Excel*, exibido na Figura 5-1, que apresenta a curva de composição granulométrica da mistura de igual proporção dos solos 1 e 2.

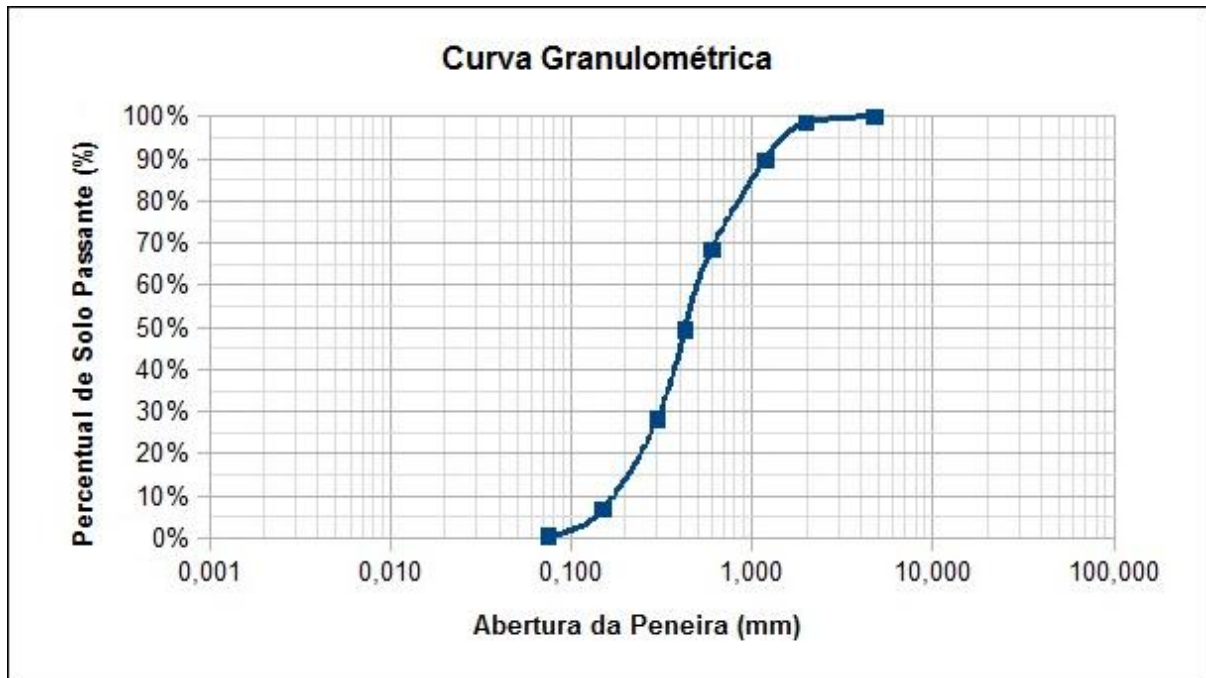


Figura 5-1 – Curva granulométrica do solo

Ao analisar o gráfico é possível notar que 100% do material passa na peneira #4 (4,8 mm), conforme as recomendações da NBR 10833:2012, para produção de tijolos solo-cimento, e, somente, que aproximadamente 0,5% do solo passa pela peneira #200 (0,075 mm), abaixo da faixa de 10%-50%, recomendado pela mesma norma.

Vale destacar que o peneiramento foi realizado em uma amostra seca de solos, sem o processo de lavagem. Isso ajuda a explicar o baixíssimo percentual de partículas finas presente nesse material.

## 5.2 MATERIAL PASSANTE PELA PENEIRA #200 COM LAVAGEM

Utilizando o simples procedimento de lavagem da amostra de solo calculou-se a fração passante, de argila mais silte da amostra passante pela peneira de abertura de 0,075mm (#200). Obteve-se cerca de 43% do solo passante pela peneira #200, atendendo, portanto ao requisito da norma NBR 10833:2012 ( $10\% < \text{Solo}_{\#200} < 50\%$ ).

Cabe destacar que esse simples procedimento de lavagem da amostra auxiliou bastante na compreensão, de forma mais prática, qual era o verdadeiro percentual de partículas finas de solo. Com efeito, neste tipo de solo, a passagem da amostra por água corrente, faz com que alguns torrões que não foram desfeitos durante o destorroamento, se desfaçam. Assim, ao calcular-se o percentual de finos



da amostra, o percentual foi bem elevado. Entende-se que este valor seja mais confiável que o valor encontrado somente com o peneiramento – sem lavagem – para este tipo de solo.

As tabelas com os valores da granulometria das amostras podem ser encontradas no Anexo 2.

### 5.3 LIMITES DE ATTERBERG

#### 5.3.1 Limite de Liquidez

Os resultados obtidos a partir dos ensaios para determinação do limite de liquidez para a mistura, em igual proporção, do solo 1 com o 2, estão mostrados na Tabela 5-1. Para valores mais detalhados vide Anexo 3.

Tabela 5-1 – Resultados do ensaio de limite de liquidez

Nº de golpes	Umidade (%)
15	39,053
24	37,438
31	36,300
43	35,058
57	33,142

Esses valores foram dispostos no gráfico abaixo, feito no *software Microsoft Excel*, representado pela Figura 5-2. Nele, o eixo vertical dispõe os valores de umidade, em porcentagem, e no eixo horizontal o número de golpes, em escala logarítmica.

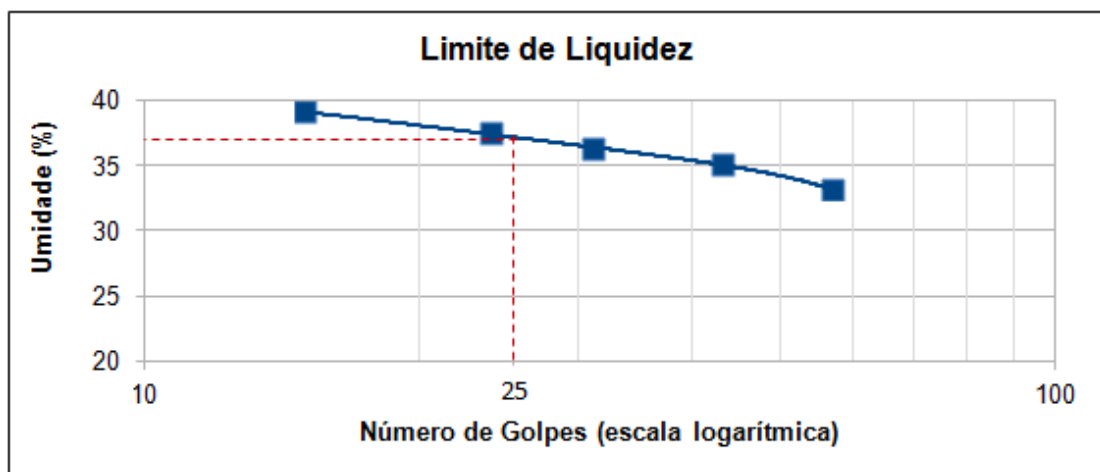


Figura 5-2 – Curva de fluidez do solo

Através da linha de tendência polinomial, de ordem 3, associada aos pontos do ensaio é possível obter a Equação (4):

$$f(x) = -6,485 \cdot 10^{-5} x^3 + 7,708 \cdot 10^{-3} x^2 - 4,153 \cdot 10^{-1} x + 43,785 \quad (4)$$

onde  $x$  é o número de golpes e  $f(x)$  o limite de liquidez.

Assim, de acordo com a definição do limite de liquidez ( $x=25$ ), o valor da umidade é de 37,2%. É possível concluir, portanto, que o solo apresenta um limite de liquidez dentro do limite estabelecido na NBR 10833:2012, ou seja, menor do que 45%. Ademais, cabe ressaltar que na análise realizada com a linha de tendência do *software Microsoft Excel*, encontrou-se um valor de  $R^2 = 0,9993$ .

### 5.3.2 Limite de Plasticidade

Os resultados obtidos a partir dos ensaios para determinação do limite de plasticidade para a mistura, em igual proporção, do solo 1 com o 2, estão mostrados, na Tabela 5-2.

Tabela 5-2 – Resultados do ensaio de limite de plasticidade

Pontos	Umidade (%)
1	22,33
2	22,39
3	23,15
4	23,38

A média final entre as quatro amostras ensaiadas, e que representa o valor do limite de plasticidade, encontrada é de 22,81%.

As tabelas com os valores dos ensaios para determinação do LP podem ser encontradas no Anexo 4.

### 5.3.3 Índice de Plasticidade

Depois de encontrar, experimentalmente, os valores do Limite de Liquidez (LL) e do Limite de Plasticidade (LP), para se obter o valor do Índice de Plasticidade (IP) basta substituí-los na Equação (5).

$$IP = LL - LP \quad (5)$$

Encontra-se, desse modo, para esse caso, o valor de  $IP = 14,39\%$ , que está dentro do limite estabelecido na NBR 10833:2012, ou seja, menor ou igual a 18%.

## 5.4 PROCTOR NORMAL

### 5.4.1 Mistura de solo e cimento

A Figura 5-3 apresenta a curva de compactação com energia normal tipo Proctor para a amostra de solo com cimento. O gráfico apresenta os valores de umidade na abscissa e da massa específica seca, na ordenada.

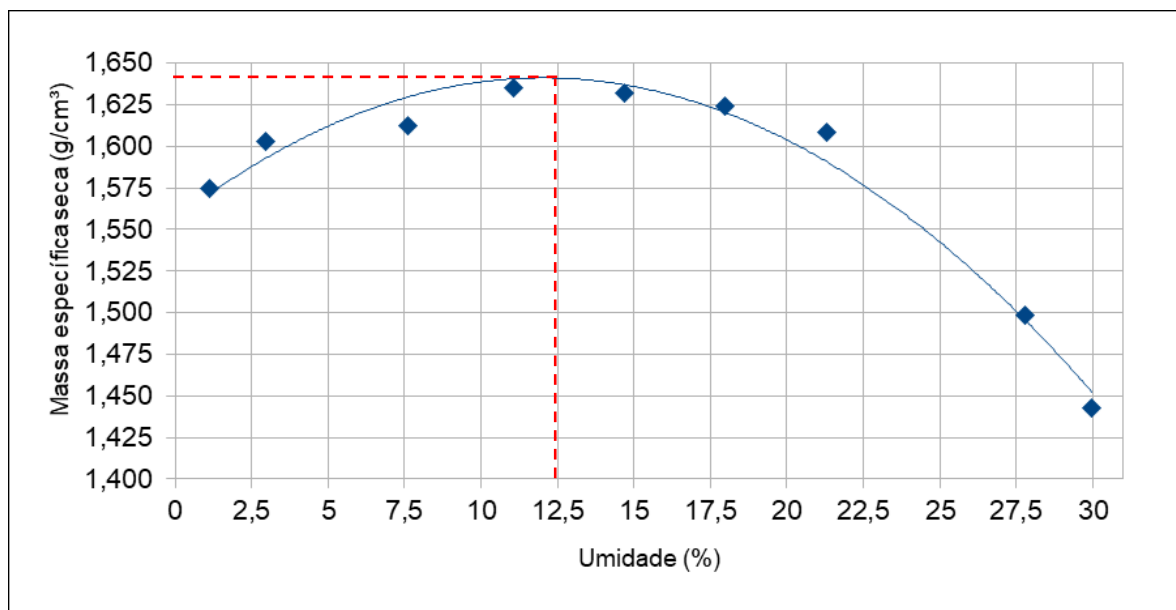


Figura 5-3 – Curva de compactação da mistura de solo-cimento

Por meio de um ajuste desta curva, pode ser obtido, pelo valor máximo, o ponto com a massa específica seca máxima que está associado à umidade ótima. Assim, neste caso, a massa específica seca máxima foi de  $1,64 \text{ g/cm}^3$ , enquanto a umidade ótima foi de 12,5%.

### 5.4.2 Solo misturado com cimento e fragmentos processados de máscaras descartáveis de polipropileno

A Figura 5-4 apresenta a curva de compactação com energia de compactação normal tipo Proctor para a amostra de solo com cimento e resíduos de máscaras.

Cabe lembrar que as partículas de máscaras utilizadas para esse procedimento foram fragmentadas com o processo de reutilização das máscaras pela fragmentadora de papéis e cartões.

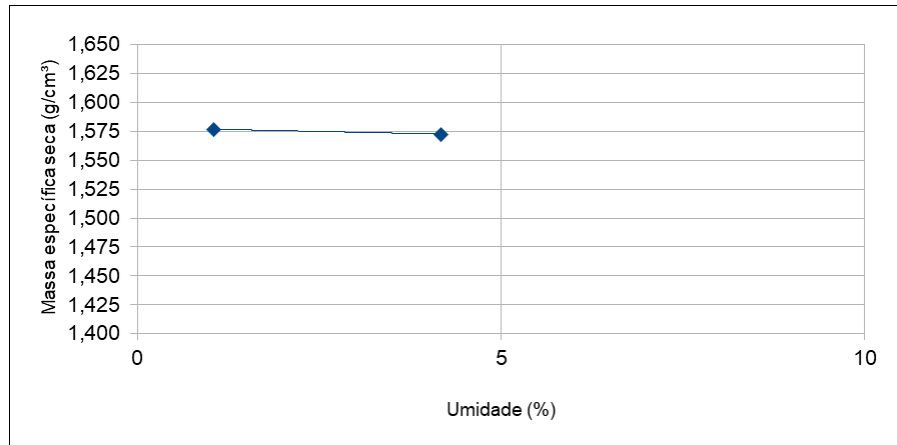


Figura 5-4 – Curva de compactação da mistura de solo-cimento e máscaras descartáveis

Não foi possível completar a curva do ensaio de compactação tipo Proctor com a mistura de solo-cimento e fragmentos de máscaras descartáveis. Durante a realização dos dois primeiros pontos a equipe desconfiou de certos procedimentos que estavam sendo adotados e resolveram abortar a continuação do ensaio.

A seguir, para título de comparação e evolução do ensaio, na Figura 5-5, estão apresentados os resultados dos dois ensaios realizados simultaneamente, ou seja, somente com solo e cimento; e com solo, cimento e resíduo de máscaras.

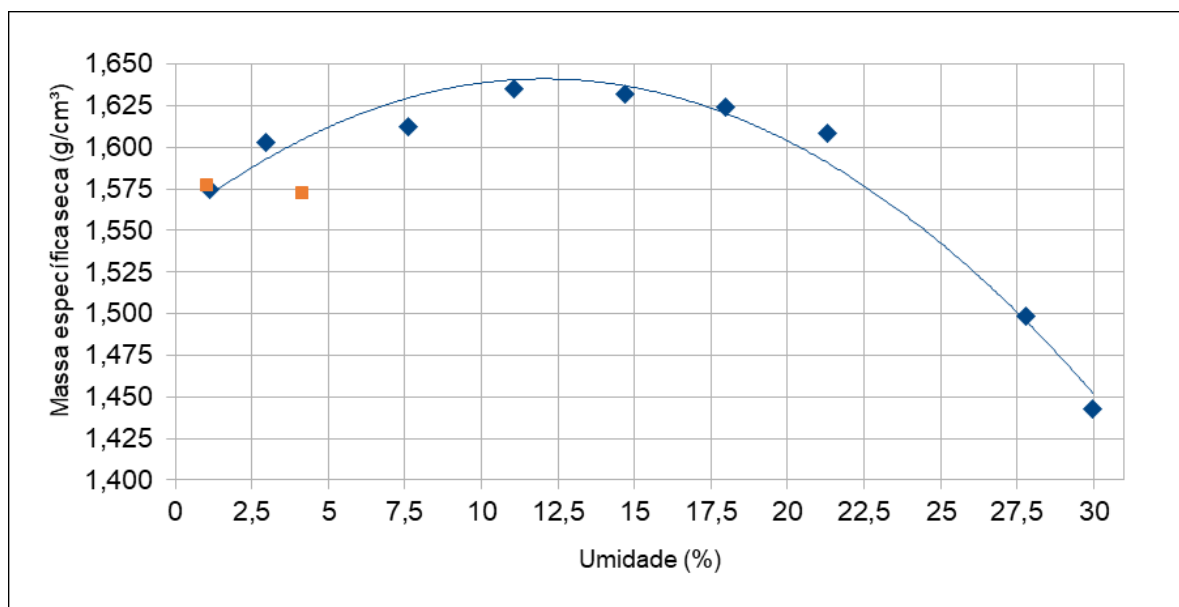


Figura 5-5 – Comparação entre as curvas de compactação de ambas as misturas

Cabe destacar que devido à inconsistência dos dados, principalmente no tocante ao valor da umidade ótima encontrado, na fabricação dos tijolos, o controle da umidade não seguiu fielmente as análises dos resultados dos ensaios de compactação tipo Proctor. Dessa forma optou-se por realizar o teste rápido formando uma pelota da mistura com as mãos até se obter as características desejadas.

Assim, por meio de inspeção visual e manual definia-se a quantidade de água a ser adicionada nas misturas que foram utilizadas para fabricar os tijolos. Sempre que se realizava os traços com os devidos componentes, naturalmente, levava-se parte da mistura para a estufa para determinar a umidade. Na maioria dos casos o valor encontrado de umidade utilizado para a fabricação dos tijolos foi de 20,50%.

As tabelas com os valores dos ensaios para determinação da umidade ótima podem ser encontradas no Anexo 5.

## 5.5 COMPRESSÃO SIMPLES

A análise de dados obtidos, a partir da execução do ensaio de compressão simples, foi feita por intermédio de diferentes ferramentas estatísticas. O objetivo é entender, por meio de uma análise comparativa, a diferença e viabilidade de aplicação de resíduos de polipropileno, obtidos a partir da reutilização de máscaras descartáveis da COVID-19, na fabricação de tijolos solo-cimento.

Os dados de resistência à compressão dos dois grupos, a saber, com e sem adição de máscaras descartáveis, encontram-se disponíveis no Anexo 6. Por meio deles, realizou-se o tratamento estatístico com o intuito de obter as informações necessárias para se avaliar a influência da adição na viabilidade do processo e do tijolo em si. Cabe ressaltar e o tratamento estatístico, bem como a geração dos gráficos foram realizados, automaticamente, utilizando a linguagem de programação *Python*, importando-se as bibliotecas *Pandas* e *Seaborn*.

Por motivos de ajuste de calendário de atividades no laboratório da engenharia civil, os tijolos foram rompidos após o ciclo de 32 dias de cura.

### 5.5.1 Resistência à compressão dos tijolos sem máscaras descartáveis

Primeiramente, apresentam-se as medidas estatísticas descritivas dos tijolos modulares de solo-cimento sem a adição de máscaras descartáveis de polipropileno. Sendo elas: os valores máximo e mínimo, a média, a mediana, o desvio padrão e o tamanho do espaço amostral ( $n$ ). Todos esses valores encontram-se na Tabela 5-3.

Tabela 5-3 – Medidas descritivas dos tijolos sem máscaras

Medidas	Valores
Valor Mínimo	0,91 MPa
Valor Máximo	1,48 MPa
Média	1,16 MPa
Mediana	1,15 MPa
Moda	1,29 MPa
Desv. Padrão	0,16 MPa
Tamanho ( $n$ )	31 tijolos

O gráfico mostrado abaixo, conforme a Figura 5-6, foi gerado automaticamente em *Python*. Ele trás a distribuição de frequência, juntamente com a densidade de probabilidade, das resistências à compressão obtidas para os tijolos sem máscaras descartáveis de polipropileno.

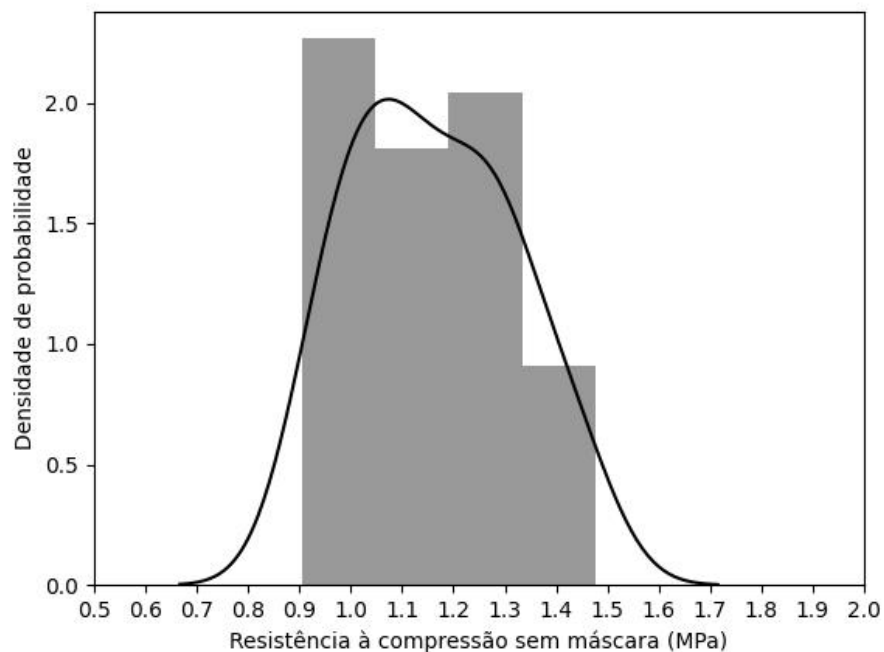


Figura 5-6 – Densidade de probabilidade da resistência à compressão dos tijolos sem máscaras

Percebe-se que a curva sino de distribuição das resistências não é simétrica. Ocorre, nesse caso, uma distribuição de dados assimétrica à direita do gráfico. Os valores das resistências encontram-se dispostos, naturalmente, entre os valores mínimo e máximo, sendo eles 0,91 MPa e 1,48 MPa, respectivamente. Ou seja, tem-se uma amplitude total da distribuição de 0,57 MPa.

Nota-se, também, que a média, o maior valor da curva, que nesse caso é de 1,16 MPa, encontra-se localizada à esquerda do gráfico. Isso mostra que há uma maior frequência de valores nessa região, como pode ser visto pelo histograma, representado pelo gráfico de barras verticais em cinza escuro, na Figura 5-6.

### 5.5.2 Resistência à compressão dos tijolos com máscaras descartáveis

Analogamente, apresentam-se agora as medidas estatísticas descritivas dos tijolos modulares de solo-cimento com a adição de máscaras descartáveis de polipropileno. Sendo elas: os valores máximo e mínimo, a média, o desvio padrão e o tamanho do espaço amostral ( $n$ ). Todas elas encontram-se na Tabela 5-4.

Tabela 5-4 – Medidas descritivas dos tijolos com máscaras descartáveis

Medidas	Valores
Valor Mínimo	0,96 MPa
Valor Máximo	1,69 MPa
Média	1,20 MPa
Mediana	1,16 MPa
Moda	1,30 MPa
Desv. Padrão	0,18 MPa
Tamanho ( $n$ )	30 tijolos

O gráfico mostrado abaixo, conforme a Figura 5-7, foi gerado automaticamente em *Python*. Ele trás a distribuição de frequência, juntamente com a densidade de probabilidade, das resistências à compressão obtidas para os tijolos com máscaras descartáveis de polipropileno.

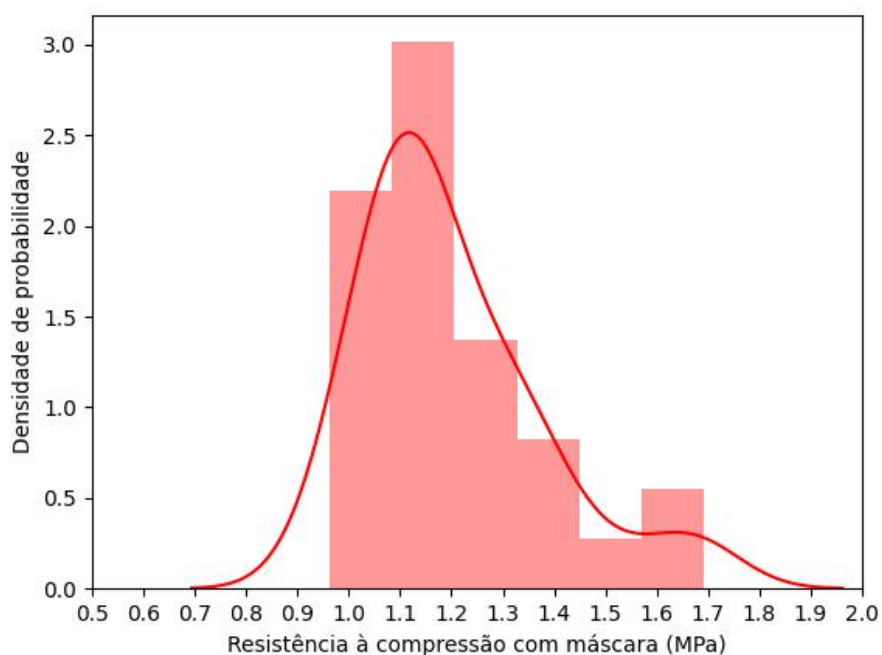


Figura 5-7 – Densidade de probabilidade da resistência à compressão dos tijolos com máscaras

Percebe-se aqui, também, que a curva sino de distribuição das resistências não é simétrica. Ocorre, nesse caso, também, uma distribuição de dados assimétrica à direita do gráfico. Os valores das resistências encontram-se dispostos, naturalmente, entre os valores mínimo e máximo, sendo eles 0,96 MPa e 1,69 MPa, respectivamente. Ou seja, tem-se uma amplitude total da distribuição de 0,73 MPa.

Nota-se, também, que a média, o maior valor da curva, que nesse caso é de 1,20 MPa, encontra-se localizada à esquerda do gráfico. Isso mostra que há uma maior frequência de valores nessa região, como pode ser visto pelo histograma, representado pelo gráfico de barras verticais em vermelho claro, na Figura 5-7.

### 5.5.3 Análise comparativa das resistências à compressão dos tijolos com e sem máscaras descartáveis

Para a melhor comparação entre as resistências à compressão, gerou-se, também, um gráfico de superposição dos histogramas e das densidades de probabilidade, conforme a Figura 5-8.



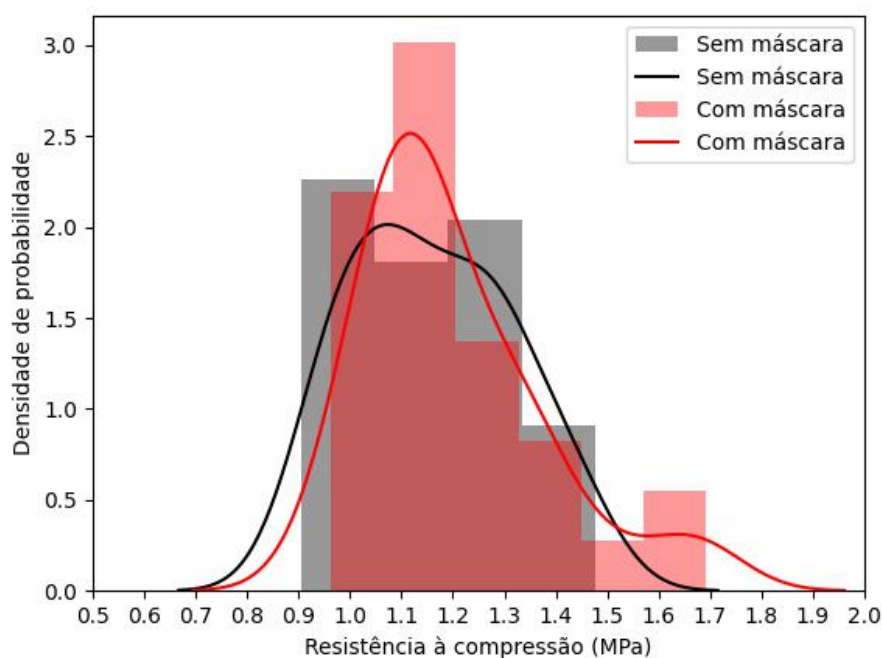


Figura 5-8 – Superposição dos gráficos de resistência à compressão dos tijolos com e sem máscaras

As principais diferenças percebidas, por meio da análise gráfica, são:

- A média de resistência à compressão simples dos tijolos com máscaras descartáveis de polipropileno é 0,04 MPa maior do que os tijolos sem máscaras. Isso equivale a um ganho percentual de, aproximadamente, 3,45%.
- O desvio padrão das resistências à compressão dos tijolos com máscaras descartáveis de polipropileno é 0,02 MPa maior do que os tijolos sem máscaras. O que pode ser explicado pela amplitude total das distribuições.
- A amplitude total da distribuição das resistências à compressão simples dos tijolos com máscaras descartáveis de polipropileno é 0,16 MPa maior do que os tijolos sem máscaras. Ocorre, portanto uma maior variação.
- No entanto, a curva sino de distribuição das resistências à compressão dos tijolos com máscara é mais achatada que a outra, o que demonstra uma menor variância, ou seja, uma menor dispersão de dados em relação à média. Esse fato pode ser explicado devido à presença de dois *outliers*, em outras palavras, de dois pontos fora da curva, que podem ser observados, também, pelo *Box Plot* e pelo *Violin Plot*.

Por meio da análise do diagrama de caixa, ou *box plot*, torna-se possível uma melhor percepção acerca das assimetrias, examinando as dispersões, e da

identificação dos *outliers*. Estes últimos, por seu turno, são capazes de afetar os resultados das análises. A Figura 5-9 mostra o diagrama de caixa que compara os dados dos tijolos com e sem máscaras.

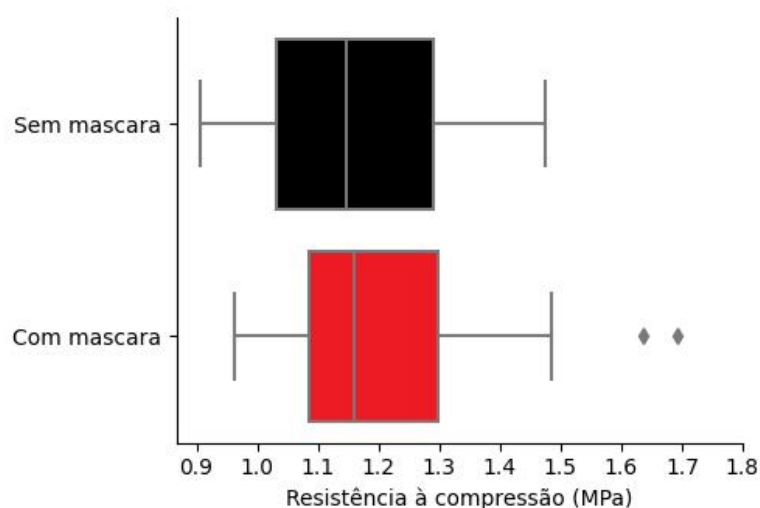


Figura 5-9 – Box Plot das resistências à compressão simples dos tijolos com e sem máscaras

Percebe-se que a dispersão das resistências com máscara é menor do que as sem máscara, já que o intervalo interquartil é menor, ou seja, o tamanho da caixa é menor. Ademais, nota-se, também, a presença de dois valores discrepantes (*outliers*), acima do limite superior dos tijolos com máscara.

E, como a amplitude sofre a influência destas duas ocorrências, compromete-se a análise da mediana. Esta é a medida de tendência central representada, nesse caso, pela linha vertical interna à caixa. Apesar de próximas, verifica-se que a mediana das resistências à compressão dos tijolos com máscara é maior do que as sem máscara.

Além disso, cabe ressaltar que quando a mediana está no centro do retângulo, a distribuição é simétrica, ou seja, a mediana coincide com a média dos dados. E que quanto mais deslocada para a esquerda, maior é a assimetria à direita, pois concentra um maior número de dados entre o primeiro e o segundo quartis. O contrário acontece quando ela está mais deslocada à direita, representando, pelo mesmo motivo, maior assimetria à esquerda do gráfico de densidade de probabilidade.

Já o *violin plot* é um método que serve para visualizar a distribuição numérica de dados de diferentes variáveis. Pode ser visto como uma unificação da

visualização do histograma com o *box plot*. Nele, a estimativa de densidade é espelhada, no eixo y, e invertida formando, com o preenchimento da forma resultante, uma imagem que lembra um violino. A densidade é maior nos locais onde a área do gráfico é maior havendo, portanto, uma maior concentração de dados.

A linha vertical central representa o *box plot*, com os limites inferior e superior sendo as respectivas extremidades dessa linha, na parte mais fina. Enquanto que, analogamente, nas pontas da parte mais espessa, tem-se, de baixo para cima, a representação do primeiro e terceiro quartis e, pelo ponto branco central, a posição do limite do segundo quartil, ou mediana.

Destarte, por meio da análise gráfica da Figura 5-10, pode-se visualizar, de maneira mais assertiva, a concentração de dados em relação à mediana. Nota-se, conseqüentemente, que para ambos os casos, a saber, das resistências à compressão dos tijolos com e sem máscaras descartáveis de polipropileno, há realmente uma concentração maior desses valores na área próxima e inferior à mediana e, portanto, uma maior assimetria na área superior à mediana, se comparada à parte inferior.

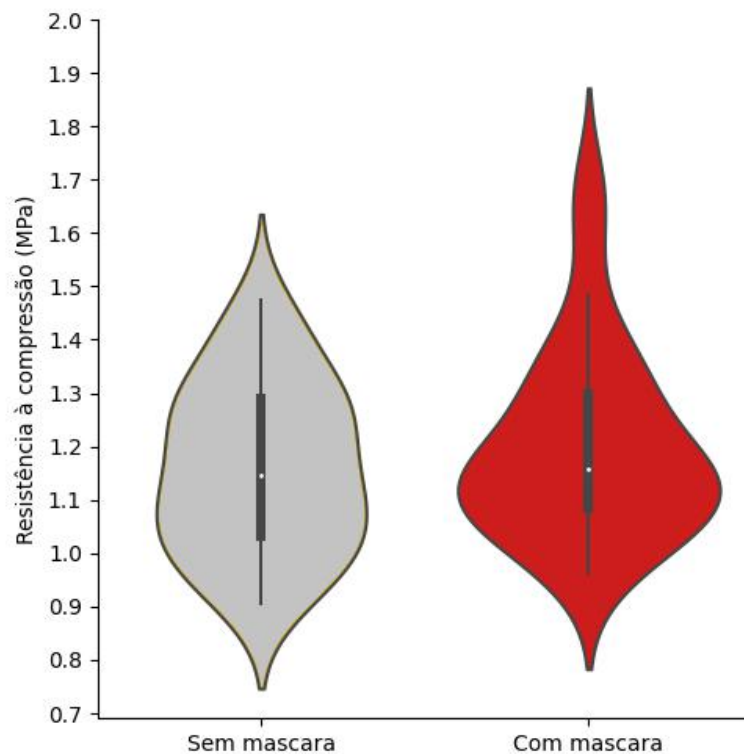


Figura 5-10 – Violin Plot das resistências à compressão dos tijolos com e sem máscaras

## 5.6 MICROSCOPIA DIGITAL DOS TIJOLOS SOLO-CIMENTO

Foram realizadas imagens microscópicas com o microscópio digital USB (Zoom 1000x) dos tijolos solo-cimento com e sem a adição dessas partículas. Fez-se possível, desse modo, analisar, de forma visual, e comparar a presença dos fragmentos de polipropileno no interior dos tijolos. A Figura 5-11 apresenta os detalhes visuais obtidos com as fotos obtidas através de microscopia digital.

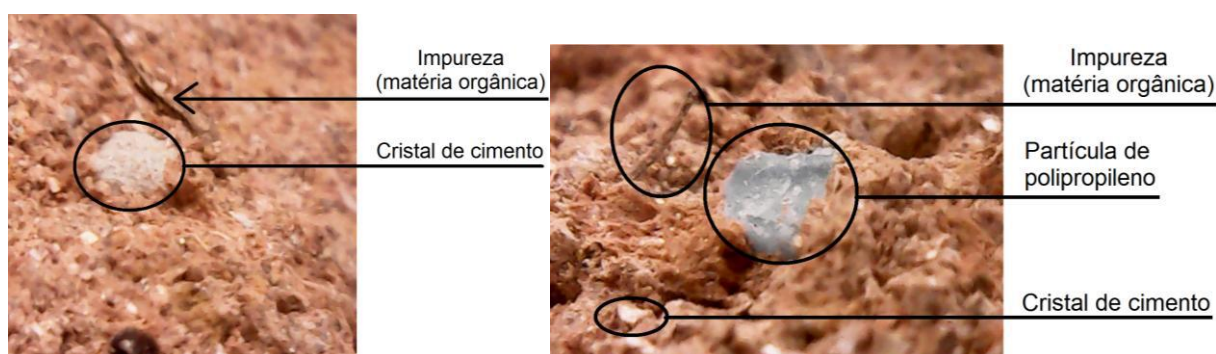


Figura 5-11 – Microscopia digital do tijolo solo-cimento com e sem máscaras

Destaca-se que a obtenção dessas imagens foi realizada após o rompimento dos corpos de prova, por meio da inspeção da superfície interna exposta após a fissuração. E, por elas, foi possível perceber, portanto, de maneira mais nítida, a presença dos diferentes materiais que compõe os tijolos.

Dessa forma, percebeu-se que os fragmentos de máscaras desempenham funções de agregados junto ao solo-cimento. Isso porque, por definição, os agregados para a Construção Civil são materiais granulares, geralmente obtidos de minerais, com diversos tamanhos e formatos, portanto sem volumes bem definidos, além de elevada inércia química e propriedades mecânicas adequadas para utilização na Engenharia Civil (SERNA & RESENDE, 2013).

Podem ser de dois tipos: (i) naturais, quando fragmentados naturalmente; ou (ii) artificiais, quando fragmentados por processos industriais. Cabe ressaltar, no entanto, que existem diversos outros produtos que podem ser utilizados como substitutos aos minerais. Sendo os principais exemplos: os agregados reciclados de entulho de demolição; as argilas expandidas; os rejeitos de produtos siderúrgicos; os resíduos da indústria de plásticos; dentre outros (SERNA & RESENDE, 2013).

Ademais, no que se refere à função dos agregados e nesse caso, também, às partículas de polipropileno, eles servem, principalmente, para:

- Transmitir, por meio do contato entre os grãos, as tensões aplicadas ao solo-cimento.
- Aumentar o teor de agregados frente à pasta de cimento e, assim, diminuir os efeitos da retração, que causam variações volumétricas e, por conseguinte, as fissurações.

Portanto, nesse contexto, as partículas de polipropileno poderiam ser consideradas como agregados não convencionais ou alternativos. Dessa forma, contribuem para a redução de impactos ambientais oriundos a extração dos agregados convencionais da natureza, dos custos com o transporte deles, além de contribuir para a redução da poluição por plásticos, já que dão um destino ambientalmente mais correto às máscaras descartáveis de polipropileno.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES

### 6.1 GENERALIDADES

A pandemia de COVID-19 intensificou os desafios econômicos, sociais e ambientais, no Brasil e no mundo, ou seja, o tripé da sustentabilidade ficou ainda mais comprometido. Diante desse cenário, diversas são as pesquisas realizadas voltadas para se garantir um desenvolvimento cada vez mais sustentável. Desse modo, assim como as demais áreas do conhecimento, cabe, também, à Engenharia Civil, buscar por soluções inovadoras visando sanar diversos problemas, a exemplo da poluição e o descarte irregular de resíduos.

Durante essa crise sanitária mundial, a utilização de máscaras descartáveis cresceu expressivamente. Cabe ressaltar, no entanto, que devido à ausência de um protocolo oficial de reciclagem desse material, e ao descarte irregular, essas máscaras vieram a contribuir para o aumento da poluição por plásticos, mundialmente. Logo, o presente estudo teve como objetivo estudar a viabilidade de se dar um destino, ambiental e socialmente mais correto, a esses equipamentos de proteção individual.

Realizou-se, destarte, uma análise acerca do efeito da adição dessas máscaras descartáveis, de polipropileno, na resistência à compressão de tijolos modulares de solo-cimento. Para tanto, foram realizados diversos ensaios adaptados para a caracterização dos materiais utilizados. Além disso, foram executadas diferentes tentativas de processamento dessas máscaras até que se obtivessem partículas com dimensões apropriadas para serem adicionadas à mistura de solo-cimento.

No que tange aos materiais empregados, além das máscaras processadas, naturalmente, foram utilizados: o solo, o cimento, a cal hidratada e a água. O solo foi obtido a partir da mistura, em igual proporção, do material coletado de duas jazidas localizadas em frente ao Laboratório de Engenharia Civil, do Campus UFRJ/Macaé. O cimento usado foi o CP III – 32 RS. A cal hidratada, já disponível no laboratório. Já a água, a fornecida pela rede coletiva de abastecimento. Além de máscaras.

## 6.2 CONCLUSÕES GERAIS

Para que fossem empregados na fabricação dos tijolos, precisaram-se conhecer, a priori, as principais características físicas dos materiais utilizados. O cimento e a cal, por serem materiais industrializados, por conseguinte, com características conhecidas e padronizadas, dispensaram a realização de ensaios em laboratório. O solo, entretanto, por ter sido extraído, manualmente, de duas jazidas distintas, demandou a realização de ensaios de caracterização. E para as máscaras foi utilizado um processamento para obter um material com dimensões viáveis para a aplicação na mistura de solo-cimento.

Em termos gerais, os ensaios realizados, tornaram possível o conhecimento das principais características do solo utilizado. Os resultados mostraram que a mistura do solo utilizado é adequada às características requisitadas pela norma 10833:2012.

Cabe destacar, todavia, que apenas a realização do ensaio de granulometria por peneiramento não foi suficiente para se determinar o verdadeiro percentual de finos da amostra de solo. Desse modo, o procedimento de lavagem do solo na peneira #200 foi essencial para conhecer os valores das frações mais finas da amostra e, assim, para a construção da curva granulométrica do solo.

Além disso, a despeito do atendimento desses índices físicos, cabe ressaltar que os perfis de solo utilizados são os situados entre os horizontes O e A. Destarte, mesmo com a remoção da vegetação e do devido peneiramento e destorroamento do solo, a presença de matéria orgânica pode ter tido influência direta na resistência à compressão dos tijolos modulares de solo-cimento.

Ademais, para a utilização das máscaras, foram realizadas diferentes tentativas de processamento delas, a saber:

- (i) por reações químicas, em solução de igual proporção de água e água sanitária;
- (ii) pelo picotamento em uma máquina fragmentadora de papéis e cartões;
- (iii) pelo emprego de energia térmica.

Devido ao fato de o polipropileno ser um material de elevada inércia química, a imersão das máscaras, em solução de água sanitária, não causaram nelas alteração estrutural significativa. E, por conta de o polipropileno estar em forma de

TNT, que possui grande maleabilidade, ao se picotar as máscaras, na fragmentadora de papéis e cartões, acarretou-se no acúmulo de material, entre as engrenagens do aparelho, vindo a causar-lhe danos e, subsequente, inutilização. Chegando-se, portanto, à conclusão de que, por ser um termoplástico, a utilização do calor e de energia mecânica, na fragmentação manual das placas de polipropileno obtidas, foi eficaz.

Assim, esse processamento fez com que os fragmentos de máscaras utilizados tivessem diversos tamanhos e formatos, na grande maioria, granulares. Esse fato faz com que não haja a possibilidade de criação de nódulos, como acontece no caso das fibras. Isso faz com que não se crie planos de fragilidade, causados pela presença desses nódulos, nos tijolos modulares de solo-cimento.

Para a fabricação do tijolo solo-cimento, a quantidade de água a ser adicionada na mistura foi determinada de duas formas. A primeira forma envolve achar a umidade ótima através do ensaio de compactação de Proctor Normal. A umidade ótima encontrada foi de 12,5% para a mistura de solo-cimento. A segunda forma envolve o teste empírico da “bolinha”, que gerou uma umidade de 20,50%. Para a fabricação do tijolo foi utilizada a segunda forma, teste da “bolinha”.

Logo, após a fabricação dos tijolos, e através do apropriado tratamento estatístico, concluiu-se que os valores das resistências à compressão dos tijolos confeccionados não atenderam aos limites estabelecidos pela NBR 8491:2012. Porém, nota-se que a utilização do resíduo de máscaras não reduz a resistência do tijolo, na realidade, tende a aumentá-la.

### 6.3 CONCLUSÕES ESPECÍFICAS

Pode-se dizer que a utilização dos códigos, em *Python*, foi útil no tratamento estatístico dos dados. Eles tornaram possível a conversão dos dados brutos em informações necessárias para se avaliar, por meio da interpretação e da análise crítica, a influência dessa adição.

Esse tratamento estatístico mostra que nem sempre a média é a melhor forma de interpretar os resultados experimentais. Nesse caso, a moda é uma quantidade relevante, na medida em que, a maior parte dos tijolos, apresenta a moda como valor de resistência à compressão. Ou seja, ao fabricar um tijolo



aleatório, a resistência à compressão desse tijolo tende a ser esse valor (moda da resistência à compressão).

E, no que tange à resistência à compressão, por meio dessa análise, pode-se constatar que os valores obtidos ficaram aquém dos mínimos estabelecidos pela normal, tanto para a média quanto para os valores individuais. Esse fato pode ser atribuído, também, ao percentual de finos do solo e ao teor de umidade empregado.

Mesmo o solo tendo atendido aos limites normatizados, o elevado percentual de frações finas pode ter influência direta no resultado final da resistência. Ainda mais se, juntamente a isso, for atrelada a utilização de um teor de umidade diferente do ótimo, uma vez que foi encontrado por um teste empírico menos preciso do que o obtido pelo ensaio de compactação Proctor.

### **6.3.1 Análise da viabilidade de utilização de máscaras na fabricação de tijolos solo-cimento**

Com a solução do problema de processamento das máscaras, tornou-se possível a fabricação dos tijolos com fragmentos de máscaras descartáveis. Assim, por meio das análises estatísticas, após os ensaios de compressão, percebeu-se que, realmente, é viável o emprego desses fragmentos na fabricação de tijolos modulares de solo-cimento. E, devido à ausência de um protocolo oficial de reciclagem dessas máscaras, a reutilização delas na fabricação desses tijolos representa uma solução inovadora e sustentável.

### **6.3.2 Efeito da adição de máscaras na resistência à compressão de tijolos solo-cimento**

A análise estatística, dos dados obtidos de maneira experimental, em laboratório, possibilita afirmar que há um efeito positivo, da adição de máscaras descartáveis, na resistência à compressão dos tijolos modulares de solo-cimento. Isso porque realiza-se uma avaliação comparativa entre as misturas empregadas, a saber, com e sem máscaras.

Devido ao formato granular das partículas de polipropileno utilizadas, além da inércia química e das propriedades mecânicas desse material, pode-se dizer que essas partículas desempenham o papel de agregado junto ao tijolo. O resultado

disso é o aumento de 3,45% na resistência à compressão simples desses tijolos em comparação com os sem essa adição.

Conclui-se, portanto, que, por não se ter obtido uma variação significativa na média, não se pode afirmar se há realmente um aumento na resistência à compressão nos tijolos com a adição. Nota-se, entretanto, uma menor dispersão dos valores obtidos. Em outras palavras, há uma maior concentração dos resultados em torno do valor central encontrado, sobretudo se os dois *outliers* fossem desconsiderados.

Uma possível justificativa para a presença desses pontos fora da curva é a diferença de energia de compactação empregada. Como se utilizou uma prensa manual, que não permite a aferição da energia mecânica aplicada pelo operador, as alterações dessa variável podem interferir diretamente nos resultados obtidos.

Dessa forma, se esses dois pontos fossem desconsiderados, haveria a possibilidade de se obter uma distribuição de dados ainda mais concentrada e menos assimétrica para as resistências dos tijolos com máscara. No entanto, mesmo sem esse descarte, pode-se afirmar que a análise de dados é consistente e capaz de provar os ganhos obtidos pela reutilização dessas máscaras como aditivo no solo-cimento.

#### 6.4 SUGESTÕES PARA O PROSSEGUIMENTO DA PESQUISA

- Encontrar novas dosagens para que a resistência a compressão do tijolo seja superior à estabelecida pela norma;
- Realizar a análise granulométrica dos fragmentos processados de máscaras descartáveis de polipropileno reutilizadas da COVID-19;
- Estudar a resistência à compressão de tijolos modulares de solo-cimento com adição, em diferentes concentrações, de máscaras descartáveis de polipropileno;
- Utilizar a cal hidratada na proporção de 2% do valor da massa total da mistura seca, e não apenas em relação ao cimento, de acordo com o padrão adotado pelo Projeto SHS;
- Encontrar maneiras cada vez mais eficientes de processamento e reciclagem das máscaras descartáveis de polipropileno;

- Realizar cálculo do valor-p, também conhecido como probabilidade de significância, para poder-se afirmar se há, de fato, um aumento significativo na resistência à compressão dos tijolos solo-cimento com adição de fragmentos de máscaras descartáveis de polipropileno;
- Encontrar maneiras economicamente viáveis de desinfecção de máscaras usadas de polipropileno, em larga escala;
- Avaliar como o controle de umidade poderia ser incorporado no processo rotineiro de fabricação de tijolos modulares de solo-cimento, de forma factível e prática;
- Realizar o ensaio de compactação para a mistura de solo-cimento com a adição de fragmentos de máscaras descartáveis de polipropileno;
- Encontrar novas jazidas de solos para a fabricação de tijolos modulares de solo-cimento;
- Analisar como se obter uma proporção ideal de cimento para a mistura utilizada na fabricação de tijolos modulares de solo-cimento, com e/ou sem adição de máscaras descartáveis de polipropileno;
- Construir um mecanismo de prensagem dos tijolos que possibilite a aplicação de força constante e sua medição;
- Construir uma câmara úmida permanente, como sistemas de medição e controle internos de umidade e temperatura;
- Estudar as propriedades mecânicas de tijolos modulares de solo-cimento, com e/ou sem adição de máscaras descartáveis de polipropileno, em condições de cura e armazenamento distintos;
- Analisar a influência de diferentes tipos de cimento Portland na resistência à compressão simples dos tijolos modulares de solo-cimento, com e/ou sem adição de máscaras descartáveis de polipropileno;
- Avaliar a resistência dos tijolos modulares de solo-cimento, com e/ou sem adição de máscaras descartáveis de polipropileno, ao longo do tempo.
- Comparar resultados do ensaio de Abrasão Los Angeles nos fragmentos das máscaras e pedriscos (brita #0).
- Realizar ensaios de absorção com e sem aplicação de resinas hidrofugantes nos tijolos.
- Realizar outros ensaios mecânicos, como durabilidade, nos tijolos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAINC, 2021. **ABRAINC Explica: A importância da Construção Civil para impulsionar a economia brasileira.** Disponível em: <https://www.abrainc.org.br/abrainc-explica/2021/06/28/abrainc-explica-a-importancia-da-construcao-civil-para-impulsionar-a-economia-brasileira/>. Acessado em: 15 de janeiro de 2022.

ALCANTARA, M. A. M.; SANTOS, L. P.; LIMA, D. C.; SEGANTINI, A. A. S.; AKASAKI, J. L.. **O uso de cinzas de casca de arroz como aditivo auxiliar na produção de tijolos de solo-cal.** REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil, nº 3, Vol. 1, 2011, p. 1-11.

ALROMA. **Máquinas Alroma.** Disponível em: <https://alroma.com.br/maquina-para-tijolos-ecologicos>. Acessado em: 20 de abril de 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Dosagem das misturas de solo-cimento:** normas de dosagem e métodos de ensaio. São Paulo, ABCP, 1980.

\_\_\_\_\_. **Evolução das pesquisas de laboratório sobre solo-cimento.** São Paulo, ABCP, 1960.

\_\_\_\_\_. **Fabricação de tijolos de solo-cimento com a utilização de prensas manuais:** prática recomendada. São Paulo, ABCP, 1988.

\_\_\_\_\_. **Guia básico de utilização do cimento Portland.** Boletim Técnico – BT 106. São Paulo, ABCP, 2002, 27p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10833:** Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica – Procedimento (versão corrigida 04.04.2013). Rio de Janeiro, 2012. 3 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 11578:** Cimento Portland Composto. Rio de Janeiro, 1991. 5 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 12023:** Solo-cimento - ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 2012. 6p.

\_\_\_\_\_. **NBR 12118:** Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Métodos de ensaio - revisado em 2014. Rio de Janeiro, 2013. 14 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 16697:** Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2018. 12 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 5732:** Cimento Portland Comum. Rio de Janeiro, 1991. 5 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 5733:** Cimento Portland com alta resistência inicial. Rio de Janeiro, 1991. 5 p.

- \_\_\_\_. **NBR 5735**: Cimento Portland de alto forno. Rio de Janeiro, 1991. 5 p.
- \_\_\_\_. **NBR 5736**: Cimento Portland Pozolânico. Rio de Janeiro, 1980. 6 p.
- \_\_\_\_. **NBR 5737**: Cimentos Portland resistentes a sulfatos. Rio de Janeiro, 1992. 4p.
- \_\_\_\_. **NBR 6457**: Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2016. 9 p.
- \_\_\_\_. **NBR 6459**: Solo – Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro, 2016. 5 p.
- \_\_\_\_. **NBR 6502**: Rochas e Solos. Rio de Janeiro, 1995. 18 p.
- \_\_\_\_. **NBR 7180**: Solo: Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro, 2016. 3 p.
- \_\_\_\_. **NBR 7181**: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2016. 12 p.
- \_\_\_\_. **NBR 8491**: Tijolo de solo-cimento – Requisitos. Rio de Janeiro, 2012. 9 p.
- \_\_\_\_. **NBR 8492**: Tijolo de solo-cimento – Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012. 8 p.
- \_\_\_\_. **NM ISO 565**: Peneiras de ensaio – Tela de tecido metálico, chapa metálica perfurada e lâmina eletroformada – Tamanhos nominais de abertura. Rio de Janeiro, 1997. 7 p.
- BALBO, J. T. **Pavimentação asfáltica**: materiais, projeto, e restauração. Oficina de Textos, 2015.
- BATTAGIN, Arnaldo Forti. **Uma breve história do cimento Portland**. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 2009.
- BUNZLSAUDE. **Ficha técnica**. Disponível em: <https://arquivos.bunzlsaude.com.br/fichastecnicas/mascara-com-elastico.pdf>. Acessado em: 15 de janeiro de 2022.
- CACCIARI, I ;Quatrini, P; Zirletta, G; Mincione, E; Vinciguerra, V; Lupattelli, P; Giovannozzi Sermanni, G. **Isotactic polypropylene biodegradation by a microbial community**: physicochemical characterization of metabolites produced. Applied and Environmental Microbiology, Nov. 1993, Vol. 59, n. 11, p. 3695-3700.
- CASANOVA, F. J. Apresentação no 5º EENG 2004. Palestra: “**O Solo como Material de Construção**”. 5º Encontro de Engenharias da Universidade Estadual Norte Fluminense, 2004.

CASANOVA, F. J. & CERATTI, J. A. **The assessment of requirement of oxisols by a physico-chemical method**. In: International Soil Classification Workshop, 8, Proceedings... s.1, EMBRAPA, p. 243-256.

CNN. **Com alta no preço, aço nacional já está mais caro que importado**. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/business/com-alta-no-preco-aco-nacional-ja-esta-mais-carro-que-importado/>. Acessado em: 13 de abril de 2022.

\_\_\_\_\_. **Entidade vê alta de 2% para construção em 2022 após avanço de 7,6% em 2021**. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/business/entidade-ve-alta-de-2-para-construcao-em-2022-apos-avanco-de-76-em-2021/>. Acessado em: 03 de janeiro de 2022.

\_\_\_\_\_. **Mais de 120 bilhões de máscaras são descartadas por mês nos oceanos**. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/tecnologia/mas-de-120-bilhoes-de-mascaras-sao-descartadas-por-mes-nos-oceanos/>. Acessado em: 03 de janeiro de 2022.

\_\_\_\_\_. **Pandemia: mais de 12 bilhões de máscaras já foram descartadas no Brasil**. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/saude/pandemia-mas-de-12-bilhoes-de-mascaras-ja-foram-descartadas-no-brasil/>. Acessado em: 05 de abril de 2022.

CRAIG, Robert F. **Soil mechanics**. Springer, 1983.

CRQ4. **Química viva: plásticos**. 4 de julho de 2011. Disponível em: [https://www.crq4.org.br/quimicaviva\\_plasticos](https://www.crq4.org.br/quimicaviva_plasticos). Acessado em: 02 de abril de 2022.

DI GREGORIO, Leandro Torres. **Manual de Fabricação de Tijolos de Solo-cimento**. Rio de Janeiro/Cachoeira Paulista: [s.n.], 2012. 67 p.

DOMINGOS, Nadion Florindo; JUNIOR, Valtair Fernandes. **O Déficit habitacional no Brasil Frente às políticas públicas de habitação**. Anais do Seminário Científico da FACIG, n. 2, 2017.

ÉPOCA, 2021. **Máscaras faciais descartáveis representam enorme risco ambiental alertam pesquisadores**. Disponível em: <https://epocanegocios.globo.com/Sustentabilidade/noticia/2021/03/mascaras-faciais-descartaveis-representam-enorme-risco-ambiental-alertam-pesquisadores.html>. Acessado em: 04 março de 2022.

ESTABRAG, A.R; RANJBARI, S.; JAVADI, A.A. **Properties of a Clay Soil and Soil-Cement Reinforced with Polypropylene Fibers**. Materials Journal, Mar. 2017, Vol. 114, n. 2, p. 195-200.

FIQUEROLA, V. **Alvenaria de solo-cimento**. Revista Técnica. Edição 85. Abril/2004. Disponível em: <http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/85/artigo286284-1.aspx>. Acessado em: 05 de março de 2022.

FJP. **Déficit habitacional no Brasil 2016 - 2019**. Disponível em: [http://fjp.mg.gov.br/wp-content/uploads/2021/04/21.05\\_Relatorio-Deficit-Habitacional-no-Brasil-2016-2019-v2.0.pdf](http://fjp.mg.gov.br/wp-content/uploads/2021/04/21.05_Relatorio-Deficit-Habitacional-no-Brasil-2016-2019-v2.0.pdf). Acessado em: 02 de fevereiro de 2022.

G1. **Máscaras e cigarro ao mar**: prêmio de fotografia mostra impacto da poluição na vida marinha. Disponível em: <https://g1.globo.com/meio-ambiente/noticia/2021/09/28/mascaras-e-cigarro-ao-mar-premio-de-fotografia-mostra-impacto-da-poluicao-na-vida-marinha.ghtml>. Acessado em: 10 de março de 2022.

\_\_\_\_\_. **Jovens alagoanas criam tijolo com cinzas do bagaço da cana-de-açúcar**. Disponível em: <https://g1.globo.com/al/alagoas/noticia/2013/12/jovens-alagoanas-criam-tijolo-com-cinzas-do-bagaco-da-cana-de-acucar.html>. Acessado em: 10 de abril de 2022.

GOOGLE MAPS. Disponível em: [www.googlemaps.com.br](http://www.googlemaps.com.br). Acessado em: 12 de março de 2022.

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

GUIMARAES et al. **Ensayo Proctor**: Comparación de Diferentes Procedimientos de Realización para un Suelo Residual Tropical. X Congreso SOCHIGE – Valparaíso – Chile, 2018.

JIANG, Hongtao; CAI, Yi; LIU, Jin. **Engineering Properties of Soils Reinforced by Short Discrete Polypropylene Fiber**. Journal of Materials in Civil Engineering, 2010, p. 1315-1322.

LIMA, D. A. S. M. F. **Avaliação do tijolo modular de solo-cimento fabricado em prensa manual como material para construção de baixo custo com mão de obra comunitária**. 2018. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

LLORENTE, Gonzalo Guillán. **Contribución al conocimiento de los primeros geotécnicos del siglo XX**. 2015. Tese de Doutorado. Universidad Politécnica de Madrid.

LOBO, Gabriel Martins. **Efeito da Umidade de fabricação na resistência à compressão de tijolos solo-cimento**. Trabalho de conclusão de curso da Engenharia Civil - UFRJ/Campus Macaé, 2019.

MARCONDES, M. G. **Contribuição ao Estudo do Método Físico-Químico de Dosagem do Solo-Cimento**. 1992. Tese de Doutorado. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

NEUPLAST. **Produtos**: PP-Polipropileno. Disponível em: <https://www.neuplast.com.br/produtos/pp-polipropileno/>. Acessado em 19 de abril de 2022.

ONU. **Cinco coisas que você precisa saber sobre máscaras e poluição plástica.** Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2021/03/1746372>. Acessado em: 04 de março de 2022.

OPAS. **Histórico da pandemia de COVID-19.** Disponível em: <https://www.paho.org/pt/covid19/historico-da-pandemia-covid-19#:~:text=Em%2031%20de%20dezembro%20de,identificada%20antes%20em%20seres%20humanos>. Acessado em: 03 de março de 2022.

OUR WOLRD IN DATA, 2021. **Coronavirus data explorer.** Disponível em: <https://ourworldindata.org/explorers/coronavirus-data-explorer>. Acessado em: 18 de abril de 2022.

PINTO, Carlos de Souza. **Curso básico de mecânica dos solos.** São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

PINTO, Lucas Mazzoleni. **Estudo de Tijolo solo-cimento com adição de resíduo de construção civil.** Santa Maria: UFSM-RS, 2015.

PISANI, M. A. J. **Um material de construção de baixo impacto ambiental: o tijolo de solo-cimento.** In: SINERGIA. v.6. n.1. 2005. São Paulo, 2005. 53- 59p.

PNUMA. **Relatório da ONU sobre poluição plástica alerta sobre falsas soluções e confirma necessidade de ação global.** Disponível em: <https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/comunicado-de-imprensa/relatorio-da-onu-sobre-poluicao-plastica-alerta-sobre>. Acessado em: 02 de março de 2022.

ROSSINI, 2021. **COVID-19: descarte inadequado de máscaras e luvas está prejudicando vida selvagem.** Disponível em: <https://super.abril.com.br/sociedade/covid-19-descarte-inadequado-de-mascaras-e-luvas-esta-prejudicando-vida-selvagem/>. Acessado em: 12 de fevereiro de 2022.

ROYALMAQUINAS, 2022. **Como descartar o entulho da sua obra de forma correta.** Disponível em: <https://www.royalmaquinas.com.br/blog/descartar-entulho-obra-forma-correta/>. Acessado em: 13 de abril de 2022.

SABERIAN, M.; LI, J; KILMARTIN-LYNCH, S; et al.. **Repurposing of COVID-19 single-use face masks for pavements base/subbase.** Science of the Total Environment, Vol. 769, 2021, 145527. ISSN 0048-9697.

SAMRUK-KAZYNA. **Global polypropylene market outlook.** 24 de janeiro de 2017. Disponível em: <https://www.sk.kz/upload/iblock/713/713c4a54b6fdb2183807bba0dc84cbb3.pdf>. Acessado em: 02 de abril de 2022.

SANTIAGO. Cybèle Celestino. **O solo como material de construção.** 2ª Ed., revisada. Salvador: EDUFBA, 2001.



SCOTT, Charles Robin. **Soil mechanics and foundations**. Applied Science, 1984.

SENÇO, Wlastermiler de. **Manual técnico de pavimentação**. Vol. 1, 2007.

SERNA, Humberto Almeida de La & REZENDE, Márcio Marques. **Agregados para a Construção Civil**. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/8-1-2013-agregados-minerais>. Acessado em: 5 de julho de 2022.

SHS. **Projeto SHS - Solução Habitacional Simples**. Disponível em: [www.shs.poli.ufrj.br](http://www.shs.poli.ufrj.br). Acessado em: 01 de abril de 2022.

SILVA, M. S. **A terra crua como alternativa sustentável para a produção de habitação social**. Escola de Engenharia de São Carlos .Dissertação de Mestrado – Universidade de São Paulo, 2001.

SOUSA, Julião Ferreira de. **Fabricação e análise de tijolos de solo-cimento**. Trabalho de conclusão de curso da Engenharia Civil - UFRJ/Campus Macaé, 2018.

SOUZA, M. I.; SEGANTINI, A. A.; PEREIRA, J. A. **Tijolos prensados de solo-cimento confeccionados com resíduos de concreto**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, p. 205-212, 2008. ISSN 1415-4366.

TERZAGHI, K.; PECK, R. B. **Mecânica dos solos na prática da engenharia**. Rio de Janeiro, Sedegra, 1961.

TRIPATHI, Devesh. **Practical guide to polypropylene**. Shawbury, U.K.: Rapra Technology Ltd, 2002.

VILLAGE MARIE. **Projeto Village Marie: galeria**. Disponível em: <https://villagemarie.com/#galeria>. Acessado em: 13 de abril de 2022.

VIMAQPENSAS. **Vimaq prensas: galeria de imagens**. Disponível em: <http://vimaqpensas.com.br/fotos/>. Acessado em: 01 de abril de 2022.

VOTORANTIM. **Cimentos**. Disponível em: <https://www.votorantimcimentos.com.br/produtos/cimentos-votoran/todas-as-obras/>. Acessado em: 25 de fevereiro de 2022.

## ANEXO 1

### I. Determinação do teor de umidade

O conhecimento do teor de umidade é imprescindível, em diversos momentos da realização do presente estudo, inclusive em diversos ensaios, a exemplo dos Limites de Atterberg e de Compactação. A NBR 6457:2016 - “Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização” traz a maneira como deve ser feita a determinação do teor de umidade de solos.

Dessa forma, discorre-se aqui essa maneira normatizada para a obtenção do teor de umidade, que foi a empregada no presente trabalho. Quanto aos equipamentos necessários, ele se encontram listados na Tabela 0-1, abaixo.

Tabela 0-1 – Capacidade/Dimensão dos equipamentos utilizados na obtenção do teor de umidade

Equipamento	Capacidade/Dimensão
<b>Bandeja</b>	26 cm x 13 cm x 4 cm
<b>Espátula de aço com cabo de madeira</b>	2 cm de largura e 8 cm de comprimento
<b>Estufa</b>	com temperatura entre 105°C e 110°C
<b>Balança digital</b>	200g (sensível a 0,01g)
<b>Cápsulas metálicas</b>	5 cm de diâmetro
<b>Dessecador de vidro</b>	Contendo sílica em gel

Fonte: Adaptado de NBR 6457:2016.

No decorrer da presente pesquisa, adota-se o seguinte procedimento para se obter os valores de umidade necessários:

1. Pesa-se as cápsulas vazias;
2. Retira-se uma amostra dividida em 3 cápsulas metálicas;
3. Pesa-se as cápsulas com a amostra ensaiada;
4. Coloca-se as cápsulas na estufa por pelo menos 24h, ou até atingir a constância de massa;
5. Retira-se as amostras da estufa e coloca-se no dessecador para resfriar;
6. Pesa-se as amostras após atingirem a temperatura ambiente.

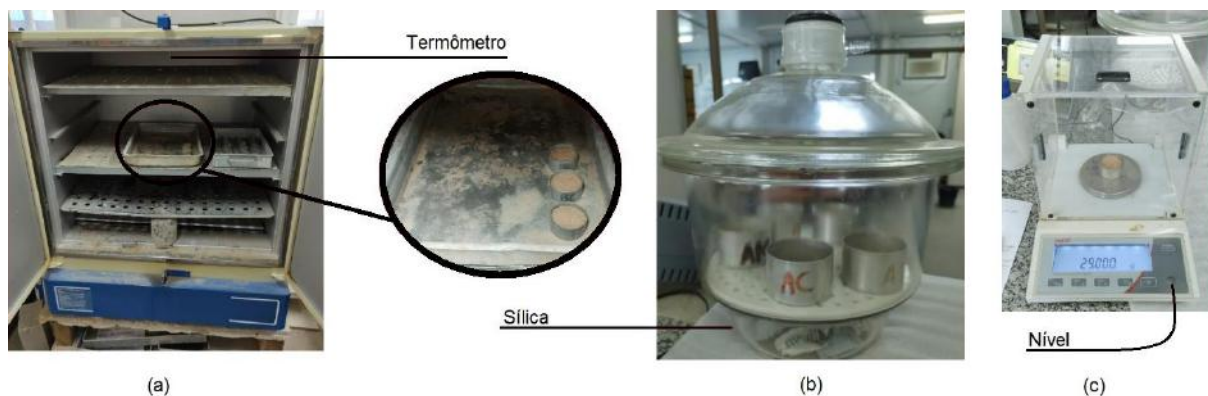


Figura 0-1 – Determinação do teor de umidade

(a) Bandeja com as cápsulas na estufa com temperatura controlada; (b) Resfriamento das cápsulas no dessecador de vidro; (c) Pesagem do material seco.

Por fim, depois de executar o procedimento acima, aplica-se os valores obtidos na , a seguir, para determinação do teor de umidade ( $w$ ). Cada um destes valores apresentados, no presente trabalho, é fruto da média aritmética dos 3 valores obtidos para cada amostra. Cada um deles é obtido pela Equação (6).

$$w = 100 \frac{M_1 - M_2}{M_2 - M_3} \quad (6)$$

onde:  $w$  é o teor de umidade (%);  $M_1$  é a massa úmida da amostra mais a massa da cápsula (g);  $M_2$  é a massa do solo seco mais a massa da cápsula;  $M_3$  é a massa do recipiente (g).

## ANEXO 2

Resultado do Peneiramento do Solo (igual proporção do Solo 1 e do Solo2):

<b>ASTM USS</b>	<b>Abertura da Peneira (mm)</b>	<b>Massa de Solo Retida (g)</b>	<b>Percentual de Solo Retido (%)</b>	<b>Percentual de Solo Retido Acumulado(%)</b>	<b>Percentual de Solo Passante (%)</b>
<b>4</b>	4,75	0,0	0,00%	0,00%	100,00%
<b>10</b>	2,00	3,0	1,50%	1,50%	98,50%
<b>16</b>	1,18	18,0	9,00%	10,50%	89,50%
<b>30</b>	0,600	42,0	21,00%	31,50%	68,50%
<b>40</b>	0,425	38,5	19,25%	50,75%	49,25%
<b>50</b>	0,300	42,0	21,00%	71,75%	28,25%
<b>100</b>	0,150	43,0	21,50%	93,25%	6,75%
<b>200</b>	0,075	12,5	6,25%	99,50%	0,50%
<b>Fundo</b>	0	1,0	0,50%	100,00%	0,00%
<b>Total</b>		200,0	100,00%	-	-

## ANEXO 3

Resultado dos ensaios para determinação do Limite de Liquidez do solo:

Número de Golpes		15		
Cápsula N°	BA	BG	Q1	
Cápsula + Solo úmido (g)	7,813	7,929	7,860	
Cápsula + Solo seco (g)	7,189	7,405	7,296	
Água (g)	0,624	0,524	0,564	
Cápsula (g)	5,575	6,069	5,860	
Solo Seco (g)	1,614	1,336	1,436	
Umidade (%)	38,662	39,222	39,276	

Número de Golpes		24		
Cápsula N°	BC	BP	DF	
Cápsula + Solo úmido (g)	7,974	8,709	8,337	
Cápsula + Solo seco (g)	7,457	8,053	7,681	
Água (g)	0,517	0,656	0,656	
Cápsula (g)	6,078	6,304	5,923	
Solo Seco (g)	1,379	1,749	1,758	
Umidade (%)	37,491	37,507	37,315	

Número de Golpes		31		
Cápsula N°	CC	DH	DL	
Cápsula + Solo úmido (g)	9,007	9,048	8,605	
Cápsula + Solo seco (g)	8,266	8,181	7,909	
Água (g)	0,741	0,867	0,696	
Cápsula (g)	6,209	5,820	5,984	
Solo Seco (g)	2,057	2,361	1,925	
Umidade (%)	36,023	36,722	36,156	

Número de Golpes		43		
Cápsula N°	BD	BM	CB	
Cápsula + Solo úmido (g)	7,783	8,160	8,819	
Cápsula + Solo seco (g)	7,197	7,609	8,087	
Água (g)	0,586	0,551	0,732	
Cápsula (g)	5,533	6,034	5,994	
Solo Seco (g)	1,664	1,575	2,093	
Umidade (%)	35,216	34,984	34,974	

<b>Número de Golpes</b>	<b>57</b>		
<b>Cápsula N°</b>	DA	BJ	K2
<b>Cápsula + Solo úmido (g)</b>	7,801	7,823	8,278
<b>Cápsula + Solo seco (g)</b>	7,330	7,343	7,700
<b>Água (g)</b>	0,471	0,48	0,578
<b>CÁPSULA (g)</b>	5,895	5,902	5,964
<b>Solo Seco (g)</b>	1,435	1,441	1,736
<b>Umidade (%)</b>	32,822	33,310	33,295

## ANEXO 4

Resultado dos ensaios para determinação do Limite de Plasticidade do solo:

Pontos	Cápsula (g)	Massa Cápsula (g)	Solo Úmido + Cápsula (g)	Solo Úmido (g)	Solo Seco + Cápsula (g)	Solo Seco (g)	Umidade (%)
1	A1	4,786	5,025	0,239	4,980	0,194	23,196
	I1	6,047	6,333	0,286	6,282	0,235	21,702
	P1	2,629	2,911	0,282	2,860	0,231	22,078
2	C2	4,585	4,835	0,25	4,791	0,206	21,359
	F2	4,544	4,785	0,241	4,739	0,195	23,590
	L2	4,207	4,526	0,319	4,468	0,261	22,222
3	A3	4,519	4,811	0,292	4,756	0,237	23,207
	I3	6,434	6,728	0,294	6,673	0,239	23,013
	K3	5,952	6,196	0,244	6,150	0,198	23,232
4	D2	4,588	4,904	0,316	4,845	0,257	22,957
	I2	6,090	6,452	0,362	6,382	0,292	23,973
	N1	4,310	4,671	0,361	4,603	0,293	23,208

## ANEXO 5

Resultado dos ensaios de Compactação do solo (Proctor Normal):

Cilindro		Unidade
<b>Massa</b>	4215,9	g
<b>Altura</b>	127,54	mm
<b>Diâmetro interno</b>	100,2	mm
<b>Volume</b>	1005,678	cm <sup>3</sup>

Ensaio Proctor (Solo-cimento)							
Pontos	Cápsula	Massa	Cap.+Solo	Solo Úmido	Solo S. + Cap.	Solo Seco	Umidade
1	BM	6,041	26,349	20,308	26,129	20,088	1,095
	DL	5,995	29,677	23,682	29,404	23,409	1,166
	CB	5,997	32,809	26,812	32,510	26,513	1,128
2	BD	5,536	29,016	23,480	28,355	22,819	2,897
	DH	5,829	29,243	23,414	28,562	22,733	2,996
	DF	5,935	29,701	23,766	29,000	23,065	3,039
3	AJ	12,679	40,149	27,47	38,176	25,497	7,738
	AZ	11,772	40,958	29,186	38,935	27,163	7,448
	AB	12,910	41,213	28,303	39,216	26,306	7,591
4	K2	5,975	31,082	25,107	28,571	22,596	11,113
	BJ	5,905	30,120	24,215	27,743	21,838	10,885
	DA	5,890	31,748	25,858	29,136	23,246	11,236
5	J2	6,319	31,270	24,951	28,075	21,756	14,686
	G1	4,649	26,767	22,118	23,916	19,267	14,797
	F2	4,546	31,414	26,868	27,996	23,450	14,576
6	A1	4,786	27,702	22,916	24,211	19,425	17,972
	B1	4,675	27,693	23,018	24,175	19,500	18,041
	F3	4,670	29,617	24,947	25,816	21,146	17,975
7	BM	6,041	31,253	25,212	26,796	20,755	21,474
	DL	5,995	32,398	26,403	27,762	21,767	21,298
	CB	5,997	28,245	22,248	24,368	18,371	21,104
8	BG	6,071	38,955	32,884	31,802	25,731	27,799
	Q1	5,864	42,714	36,850	34,711	28,847	27,743
	CC	6,211	38,606	32,395	31,561	25,350	27,791
9	DH	5,829	37,534	31,705	30,154	24,325	30,339
	BD	5,536	34,891	29,355	28,149	22,613	29,815
	DF	5,935	37,111	31,176	29,962	24,027	29,754



## ANEXO 6

## I. Resultado dos ensaios de Compressão Simples dos tijolos solo-cimento:

<b>Numeração</b>	<b>Data de Fabricação</b>	<b>Data de Ruptura</b>	<b>Umidade Inicial (%)</b>	<b>Carga de Ruptura (tonf)</b>	<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Tensão de Ruptura (Mpa)</b>
1	24/02/2022	28/03/2022	20,19	1,37	122,32	1,10
2	24/02/2022	28/03/2022	20,19	1,46	122,32	1,17
3	24/02/2022	28/03/2022	20,19	1,47	122,32	1,18
4	24/02/2022	28/03/2022	20,19	1,35	122,32	1,08
5	24/02/2022	28/03/2022	20,19	1,43	122,32	1,15
6	24/02/2022	28/03/2022	20,19	1,26	122,32	1,01
7	24/02/2022	28/03/2022	20,19	1,53	122,32	1,23
8	24/02/2022	28/03/2022	20,19	1,17	122,32	0,94
9	24/02/2022	28/03/2022	20,19	1,28	122,32	1,03
10	24/02/2022	28/03/2022	20,19	1,16	122,32	0,93
11	24/02/2022	28/03/2022	20,19	1,13	122,32	0,91
12	24/02/2022	28/03/2022	20,19	1,23	122,32	0,99
13	24/02/2022	28/03/2022	20,19	1,38	122,32	1,11
1	25/02/2022	29/03/2022	20,41	1,84	122,32	1,48
2	25/02/2022	29/03/2022	20,41	1,75	122,32	1,40
3	25/02/2022	29/03/2022	20,41	1,41	122,32	1,13
4	25/02/2022	29/03/2022	20,41	1,56	122,32	1,25
5	25/02/2022	29/03/2022	20,41	1,76	122,32	1,41
6	25/02/2022	29/03/2022	20,41	1,76	122,32	1,41
7	25/02/2022	29/03/2022	20,41	1,62	122,32	1,30
8	25/02/2022	29/03/2022	20,41	1,61	122,32	1,29
9	25/02/2022	29/03/2022	20,41	1,64	122,32	1,32
10	25/02/2022	29/03/2022	20,41	1,58	122,32	1,27
11	25/02/2022	29/03/2022	20,41	1,30	122,32	1,04
12	25/02/2022	29/03/2022	20,41	1,26	122,32	1,01
13	25/02/2022	29/03/2022	20,41	1,61	122,32	1,29
14	25/02/2022	29/03/2022	20,41	1,20	122,32	0,96
15	25/02/2022	29/03/2022	20,41	1,35	122,32	1,08
16	25/02/2022	29/03/2022	20,41	1,29	122,32	1,03
17	25/02/2022	29/03/2022	20,41	1,61	122,32	1,29
18	25/02/2022	29/03/2022	20,41	1,49	122,32	1,19

II. Resultado dos ensaios de Compressão Simples dos tijolos solo-cimento com adição de partículas reutilizadas de máscaras descartáveis de polipropileno:

<b>Numeração</b>	<b>Data de Fabricação</b>	<b>Data de Ruptura</b>	<b>Umidade Inicial (%)</b>	<b>Carga de Ruptura (tonf)</b>	<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Tensão de Ruptura (Mpa)</b>
I-1	08/03/2022	09/04/2022	18,47	1,68	122,32	1,35
I-2	08/03/2022	09/04/2022	18,47	1,52	122,32	1,22
I-3	08/03/2022	09/04/2022	18,47	1,51	122,32	1,21
I-4	08/03/2022	09/04/2022	18,47	1,62	122,32	1,30
I-5	08/03/2022	09/04/2022	18,47	1,34	122,32	1,07
I-6	08/03/2022	09/04/2022	18,47	1,46	122,32	1,17
I-7	08/03/2022	09/04/2022	18,47	1,85	122,32	1,48
I-8	08/03/2022	09/04/2022	18,47	2,11	122,32	1,69
I-9	08/03/2022	09/04/2022	18,47	1,48	122,32	1,19
I-10	08/03/2022	09/04/2022	18,47	1,45	122,32	1,16
I-11	08/03/2022	09/04/2022	18,47	1,37	122,32	1,10
II-1	08/03/2022	09/04/2022	19,30	1,44	122,32	1,15
II-2	08/03/2022	09/04/2022	19,30	1,39	122,32	1,11
II-3	08/03/2022	09/04/2022	19,30	1,62	122,32	1,30
II-4	08/03/2022	09/04/2022	19,30	1,35	122,32	1,08
II-5	08/03/2022	09/04/2022	19,30	1,36	122,32	1,09
II-6	08/03/2022	09/04/2022	19,30	1,37	122,32	1,10
II-7	08/03/2022	09/04/2022	19,30	1,28	122,32	1,03
II-8	08/03/2022	09/04/2022	19,30	1,45	122,32	1,16
II-9	08/03/2022	09/04/2022	19,30	2,04	122,32	1,64
II-10	08/03/2022	09/04/2022	19,30	1,65	122,32	1,32
II-11	08/03/2022	09/04/2022	19,30	1,73	122,32	1,39
II-12	08/03/2022	09/04/2022	19,30	1,67	122,32	1,34
II-13	08/03/2022	09/04/2022	19,30	1,32	122,32	1,06
II-14	08/03/2022	09/04/2022	19,30	1,24	122,32	0,99
1	09/03/2022	09/04/2022	20,72	1,34	122,32	1,07
3	09/03/2022	09/04/2022	20,72	1,27	122,32	1,02
4	09/03/2022	09/04/2022	20,72	1,41	122,32	1,13
5	09/03/2022	09/04/2022	20,72	1,20	122,32	0,96
6	09/03/2022	09/04/2022	20,72	1,39	122,32	1,11