

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
MESTRADO EM MATERIAIS PARA ENGENHARIA

FELIPE SILVA FARIA

**INFLUÊNCIA DO TEOR E DA GRANULOMETRIA DE RESÍDUO DE
POLIURETANO NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSA**

ITAJUBÁ-MG

2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

MESTRADO EM MATERIAIS PARA ENGENHARIA

FELIPE SILVA FARIA

**INFLUÊNCIA DO TEOR E DA GRANULOMETRIA DE RESÍDUO DE
POLIURETANO NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSA**

Defesa de Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Materiais para Engenharia como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Materiais para Engenharia

Área de concentração: Compósitos

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Mírian de Lourdes Noronha Motta Melo.

Coorientador: Prof. Dr. Paulo César Gonçalves.

ITAJUBÁ-MG

2021

EPÍGRAFE

*"A mente que se abre a uma nova ideia
jamais voltará ao seu tamanho original."*

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

À Prof.^a Dr.^a Mirian de Lourdes Noronha Motta Melo, pela ajuda dentro e fora da instituição, ensinamento e compreensão. Ao Prof. Dr. Paulo César Gonçalves por todo suporte e disponibilidade.

À Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI/Itajubá) pela oportunidade de estudo e pesquisa e por todo suporte técnico para a realização desta pesquisa de mestrado.

À minha família e amigos, pelo incentivo, apoio e carinho.

Aos técnicos do Laboratório de Construção Civil da UNIFEI, Lucas e todos os pesquisadores mestrandos, doutorandos e pós-doutorado pelo apoio e auxílio técnico.

À CAPES pela bolsa de mestrado concedida

RESUMO

SILVA-FARIA, F. (2020), Influência do teor e da granulometria de resíduo de poliuretano na produção de argamassa. 2021. 119p. Dissertação (Mestrado em Materiais Para Engenharia). Universidade Federal de Itajubá, Itajubá – MG, 2021.

Desenvolvendo em um ritmo acelerado, o mundo tem sofrido com acúmulos de resíduos. Resíduos esses oriundos de todas as áreas, com isso medidas já vêm sendo tomadas há anos. Leis, normas, estudos e pesquisas estão conectados para diminuir o impacto ambiental. com isso alternativas que possam buscar resolver não só problemas de uma área, e sim demais áreas ao mesmo tempo. Argamassa e concreto utilizam muitos recursos naturais e geram muitos resíduos também. Outro problema ambiental são os resíduos de refrigeradores que estão aumentando com o passar dos anos. Este trabalho busca analisar a utilização de argamassas com uso de resíduos de refrigeradores e suas propriedades. Foi realizado um traço de referência e posteriormente foi substituído o agregado miúdo por resíduos de polímero dos refrigeradores, nas proporções de 2,5%, 5% e 10% e alterando sua granulometria em dois grupos. Ensaios foram realizados como: resistência à compressão axial, absorção de água, índice de vazios, massa específica, módulo de elasticidade dinâmico. Pela literatura já foi possível esperar uma diminuição na resistência, mas com a incorporação de 2,5% resultados próximo ao traço de referência foram encontrados. Mesmo com resultado diferente de 2,5%, os traços de 5% também apresentaram medidas satisfatórias, já que o foco principal do trabalho é alternativa para reuso de resíduos. Conclui-se que é possível a utilização de 2,5% e 5% para fins estruturais.

Palavra-chave: argamassa, resistência mecânica, módulo de elasticidade, resíduos poliméricos, resíduo de eletrodoméstico, poliuretano.

ABSTRACT

Developing at a fast pace, the world has suffered from accumulations of waste. These residues come from all areas, which means that measures have been obtained for years. Laws, standards, studies and research are connected to reduce the environmental impact. therefore, alternatives that can seek to solve not only problems in one area, but also other areas at the same time. Mortar and concrete use a lot of natural resources and generate a lot of waste as well. Another environmental problem is the waste from refrigerators that are increasing over the years. This work seeks to analyze the use of mortars with the use of refrigerator residues and their properties. A reference trace was made and the fine aggregate was subsequently replaced by polymer residues from the refrigerators, in the proportions of 2.5%, 5% and 10% and changing its granulometry in two groups. Tests were performed as: resistance to axial compression, water absorption, voids index, specific mass, dynamic elastic modulus. Through the literature it was already possible to expect a decrease in resistance, but with an incorporation of 2.5% results close to the reference trace were found. Even with a different result of 2.5%, the 5% strokes are also satisfactory complementary measures, since the main focus of the work is an alternative for the reuse of waste. It is concluded that it is possible to use 2.5% and 5% for use purposes.

Keyword: mortar, mechanical resistance, elasticity module, polymeric residues, household appliance residues, polyurethane.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Valor total de lixo plástico descartado em resíduos sólidos urbanos, resíduos industriais, resíduos de construção, lixo eletrônico e resíduos agrícolas, na fabricação de produtos durante um ano	2
Figura 2: Exemplo de Nurague.....	5
Figura 3: componentes da argamassa	6
Figura 4: tipos de cimento Portland.....	8
Figura 5: Linhas de produtos do setor eletroeletrônico	10
Figura 6. Percentual de impactos gerados durante o ciclo de vida de um refrigerador.....	12
Figura 7. Percentual de impactos gerados durante o ciclo de vida de um refrigerador	13
Figura 8: Proposta de ciclo de vida para refrigeradores	14
Figura 9: Quantidade de publicações por ano	15
Figura 10: Número de publicações por autores	16
Figura 11: Número publicações por ano.....	17
Figura 12: Principais autores que publicam na área de argamassa com resíduo	17
Figura 13: Principais países onde ocorreram trabalhos relacionados com argamassa com resíduo	20
Figura 14: Fluxograma do procedimento experimental para obtenção da argamassa	23
Figura 15: Sequência de obtenção do resíduo polimérico da indústria Fox até utilização no trabalho	26
Figura 16: Betoneira utilizada para mistura dos materiais	27
Figura 17: Moldes para corpo de prova cilíndrico	27
Figura 18: Corpos de prova depois de desmoldados	30
Figura 19: Ensaio de massa específica em corpo de prova de concreto	31
Figura 20: Configuração básica do software Sonelastic para a caracterização dos corpos de prova e suporte para realização do ensaio	31
Figura 21: Suporte para realização do ensaio	35
Figura 22: Curvas granulométricas da areia natural e do resíduo de poliuretano oriundo da reciclagem de refrigeradores (RPU)	37

Figura 23: Agregados utilizados (a) areia natural e Resíduo de poliuretano (RPU) oriundo da reciclagem de refrigeradores separados segundo granulometria (a) e miúda G1 e (b) graúda (G2).....	43
Figura 24: Distribuição granulométrica dos agregados miúdos variando o teor de substituição da areia natural por resíduo de poliureteano (RPU) (a) 2,5%; (b) 5% e (c) 10% granulometria fina (RPU <1,2 mm)	44
Figura 25: Distribuição granulométrica dos agregados miúdos variando o teor de substituição da areia natural por resíduo de poliureteano (RPU) (a) 2,5%; (b) 5% e (c) 10% granulometria grossa G2 (2,4 mm > RPU > 1,2 mm).....	46
Figura 25: Distribuição granulométrica dos agregados miúdos variando o teor de substituição da areia natural por resíduo de poliureteano (RPU) (a) 2,5%; (b) 5% e (c) 10% granulometria grossa G2 (2,4 mm > RPU > 1,2 mm).....	51
Figura 26: Compressão axial (MPa) das argamassas em função do teor de areia natural substituída por resíduo de poliuretano (RPU) variando o teor e a granulometria	52
Figura 27: Módulo de elasticidade (GPa) das argamassas em função do teor de areia natural substituída por resíduo de poliuretano (RPU) variando o teor e a granulometria.	53
Figura 28: Módulo de elasticidade (GPa) das argamassas para 28 dias em função do teor de areia natural substituída por resíduo de poliuretano (RPU) variando o teor e a granulometria.....	54
Figura 29: Massa específica (g/cm ³) das argamassas em função do teor de areia natural substituída por resíduo de poliuretano (RPU) variando o teor e a granulometria	55
Figura 30: absorção de água (%) das argamassas em função do teor de areia natural substituída por resíduo de poliuretano (RPU) variando o teor e a granulometria	61
Figura 31: Índice de vazios (%) das argamassas em função do teor de areia natural substituída por resíduo de poliuretano (RPU) variando o teor e a granulometria	62
Figura 32: Análise de variância para resistência à compressão axial.....	64
Figura 33: Análise simultânea de Tukey para resistência à compressão axial	65
Figura 34: Análise de variância para módulo de elasticidade (a) 7 dias de cura (b) 28 dias de cura	66
Figura 35: Análise simultânea de Tukey para módulo de elasticidade (a) 7 dias de cura. (b) 28 dias de cura	67
Figura 36: Análise de variância para massa específica (a) 7 dias de cura. (b) 28 dias de cura ..	68
Figura 37: Análise simultânea de Tukey para massa específica. (a) 7 dias de cura. (b) 28 dias de cura	69

Figura 38: Análise de variância para absorção de água. (a) 7 dias de cura. (b) 28 dias de cura	71
Figura 39: Análise simultânea de Tukey para absorção de água. (a) 7 dias de cura. (b) 28 dias de cura	73

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ARI = Alta resistência Inicial

IEV = Índice de estabilidade visual

A = Teor de ar

A = Área de seção transversal

a/c = Relação água cimento

ABNT = Associação brasileira de normas técnicas

ASTM = Society for Testing and Materials

C = Consumo de cimento

cm = Centímetro

CP = Corpo de prova

CPV = Cimento Portland V

CSH = silicato de cálcio hidratado

E = Módulo de elasticidade

E_c = Módulo de elasticidade estático

E_d = Módulo de elasticidade dinâmico

F_{ck} = Resistência à compressão do concreto

IEV = Índice de estabilidade visual

ISO = International organization for standardization

Kg/dm^3 = Quilograma por decímetro cúbico

kg/m^3 = Quilograma por metro cúbico

L = comprimento

m^2/kg = Metro quadrado por quilograma

MD = Módulo de finura

ME = Massa específica

MF_{RP} = Módulo de finura do resíduo polimérico

min = Minuto

mm = Milímetro

MPa = Mega Pascal

MU = Massa unitária

NBR = Norma brasileira

PU = Poliuretano

PVA = poliacetato de vinila

PVC = Policloreto de vinila

REEE = Resíduos de equipamentos eletroeletrônicos

RP = Resíduo polimérico

TEI = Técnica de excitação por impulso

α = Constante adimensional tipo de agregado

μm = Micrômetro

ρ_f = Massa específica

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1. Justificativa	14
1.2. Objetivos	16
1.2.1. Objetivo geral	16
1.2.2. Objetivos específicos	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1. Argamassa – Definição	18
2.2 composição e materiais da argamassa.....	19
2.2.1. Cimento.....	20
2.2.2 Água.....	21
2.2.3 Agregado miúdo.....	21
2.3 Resíduo oriundo do Setor eletroeletrônico.....	21
2.3.1. Mercado dos refrigeradores no brasil.....	22
2.3.2. Gestão de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE)	23
2.4. Estado da arte	26
2.4.1. Pesquisa nacional da argamassa com resíduo	26
2.4.2. Pesquisa internacional da argamassa com resíduos	27
3. MATERIAIS E MÉTODOS	32
3.1. Materiais	34
3.1.1. Resíduo de poliuretano (RPU) de refrigerador	35
3.2. Método de dosagem e produção dos traços	36
3.3. Ensaio da argamassa	41
3.3.1. Ensaio no estado endurecido.....	41
3.3.2. Ensaio de resistência à compressão axial	41
3.3.3. Ensaio de absorção de água, índice de vazios e massa específica.....	41
3.3.4. Módulo de elasticidade dinâmico (Ed).....	42

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
4.1 Caracterização dos agregados	45
4.1.1 Caracterização da areia natural	45
4.1.2 Classificação do resíduo de poliuretano (RPU)	46
4.2 Determinação do traço e produção da argamassa de referência	53
4.3 Ensaios das argamassas no estado endurecido.....	54
4.3.1 Influência do teor e da granulometria do resíduo de poliuretano (RPU) substituindo a areia natural na resistência à compressão	54
4.3.2 Influência do Módulo de finura da areia artificial na resistência a compressão	57
4.3.3 Influência do teor e da granulometria do resíduo de poliuretano (RPU) substituindo a areia natural no módulo de elasticidade	58
4.3.5 Influência do teor e da granulometria do resíduo de poliuretano (RPU) substituindo a areia natural na massa específica das argamassas	60
4.3.6 Influência do teor e da granulometria do resíduo de poliuretano (RPU) substituindo a areia natural na absorção de água das argamassas	61
4.3.7 Influência do teor e da granulometria do resíduo de poliuretano (RPU) substituindo a areia natural no índice de vazios.....	62
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	Erro! Indicador não definido.
5.1 Análise Estatística dos resultados obtidos	64
5.1.2 Análise estatística dos resultados de compressão axial das argamassas.....	65
5.1.2 Análise estatística dos resultados de módulo de elasticidade das argamassas.....	69
5.1.3 Análise estatística dos resultados de massa específica das argamassas.....	73
5.1.4 Análise estatística dos resultados de absorção de água das argamassas	77
6. CONCLUSÕES.....	82
6.1. Sugestão para trabalhos futuros	84
7. BIBLIOGRAFIA.....	85

1. INTRODUÇÃO

1.1. Justificativa

O mundo tem se desenvolvido cada vez mais, trazendo inúmeros benefícios para sociedade. Mas seu desenvolvimento tem seu lado ruim quando utilizado de forma inadequada e somado com o aumento populacional. Necessitando assim de uma estratégia melhor para o consumo dos recursos naturais utilizados para o desenvolvimento, uma vez que esses não são infinitos. Esforços estão sendo feitos por empresas e universidades para reciclagem ou a reutilização dos resíduos (LINTZ et. al. ,2012).

A construção civil tem grande influência da utilização desses recursos naturais e na produção de resíduos. O que vem abrindo espaços para pesquisas e ideias que tem como desafio minimizar esses números, tanto na utilização dos recursos como na reciclagem de resíduos da construção civil (PETEK GURSEL et al., 2014).

Na escolha de materiais para construção civil, o principal é que sejam observadas informações como custos e propriedades técnicas. Os dias atuais mantem essa linha de escolha, mas outras informações começam ter mais relevância, como cuidados ambientais. Buscando novos materiais para incorporar na construção civil visando questões ambientais, temos a utilização de resíduos de plástico, pois está causa muitos problemas ambientais (SATHLER et. al., 2017).

Em 2019, um estudo feito pelo World Wildlife Fund, mostrou que o Brasil é 4º país que mais produz lixo plástico no mundo, mas o problema não chega ser apenas esse, visto que apenas 1,28% do produzido de lixo plástico é reciclado como é mostrado na Figura 1 (WWF, [s.d.]).

País	Total de lixo plástico gerado*	Total incinerado	Total reciclado	Relação produção e reciclagem
Estados Unidos	70.782.577	9.060.170	24.490.772	34,60%
China	54.740.659	11.988.226	12.000.331	21,92%
Índia	19.311.663	14.544	1.105.677	5,73%
Brasil	11.355.220	0	145.043	1,28%
Indonésia	9.885.081	0	362.070	3,66%
Rússia	8.948.132	0	320.088	3,58%
Alemanha	8.286.827	4.876.027	3.143.700	37,94%
Reino Unido	7.994.284	2.620.394	2.513.856	31,45%
Japão	7.146.514	6.642.428	405.834	5,68%
Canadá	6.696.763	207.354	1.423.139	21,25%

Figura 1: Valor total de lixo plástico descartado em resíduos sólidos urbanos, resíduos industriais, resíduos de construção, lixo eletrônico e resíduos agrícolas, na fabricação de produtos durante um ano (Fonte: WWF, [s.d.]

O problema não para só no impacto na vida dos animais terrestre e marinhos. Como também, os resíduos plásticos demoram para se decompor, gerando lotação nos aterros sanitários e poluição dos oceanos e assim afetando as vidas marinhas e junto a pesca. E assim chegamos a um problema também econômico, pelo comércio marítimo prejudicado e menor número de turistas em consequência de paisagens poluídas (WWF, 2019).

Os tipos de lixo plástico gerados são de vários polímeros conhecidos, como o Policloreto de vinila (PVC), o Politereftalato de etileno (PET), o polietileno de alta densidade (PEAD), o polietileno de baixa densidade (PEAD), o polipropileno (PP), o poliuretano (PU) e o poliestireno (PS) (CARASCHI & LEÃO, 2002).

Um dos resíduos que se encontra o poliuretano são os resíduos de refrigeradores, esses são compostos de metal 64%, plástico 31%, vidro 4% e outros 1% (SILVA, 2009). Sua reciclagem e reaproveitamento de suas partes é feita em quase toda sua totalidade, aproximadamente 90%. Empresas especializadas são contratadas para o serviço, pois o descarte inadequado pode afetar o meio ambiente devido aos materiais presentes nos resíduos de refrigeradores (KOSSAKA, 2004). O ciclo de vida dos refrigeradores termina basicamente na reciclagem e no descarte, na reciclagem seu destino são as indústrias, e no descarte o destino são aterro, incineração, compostagem e lixão (PNRS, 2010).

No âmbito dos resíduos gerados durante a confecção de produtos que tenham poliuretano e também no descarte desses materiais, tem causado grande preocupação, pois o fato de não terem alternativas de reuso e também pelo fato que nos aterros ocupam muito espaço pelo seu volume elevado em comparação com sua densidade, gerando custos elevados também (MODRO, 2009).

Não apenas na área de resíduos poliméricos que preocupa o mundo nos dias atuais, estratégias na construção civil também estão sendo tomadas visando desenvolvimento sustentável. Com a necessidade de preservação do meio ambiente, sempre aparecem novos trabalhos com propostas de adição de resíduos poliméricos de difícil reciclagem como agregados graúdos ou miúdo, tanto em substituição como em adição em argamassa e concreto (CASSA, 2001).

Este trabalho propõe utilizar resíduo de poliuretano oriundo da reciclagem de refrigeradores para a substituição de areia natural em argamassa e assim avaliar os resultados para sua melhor utilização. Com isso, além de aprimorar o conhecimento sobre argamassa com resíduo, o estudo visa contribuir com o desenvolvimento sustentável, ao demonstrar uma alternativa para o destino adequado para este resíduo.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo geral

Avaliar a substituição da areia natural por resíduo de poliuretano na forma de pó, oriundo da reciclagem de refrigeradores, variando teor e a granulometria nas propriedades no estado endurecido de argamassas. Bem como, analisar estatisticamente o efeito desta substituição variando o teor e a granulometria do resíduo de poliuretano.

1.2.2. Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral deste trabalho, será necessário:

- Fazer uma revisão crítica do estado atual das pesquisas de argamassa com adição de resíduos poliméricos.
- Elaborar traços de argamassa que permitam a adição de resíduos poliméricos de refrigeradores, em especial poliuretanos;
- Realizar ensaios que permitam a caracterização das propriedades mecânicas no estado endurecido;
- Analisar estatisticamente o efeito desta substituição variando o teor e a granulometria do resíduo de poliuretano;
- Comparar os resultados obtidos com normas e trabalhos científicos da literatura recente.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Argamassa – Definição

Definida pela NBR 13529 da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), a argamassa é “uma mistura homogênea de agregado(s) miúdos, aglomerante(s) inorgânicos e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento”. A grosso modo de definição pode se dizer que argamassa é a mistura de cimento e/ou cal, areia e água, pode apresentar em sua composição aditivos para melhores suas propriedades e sua principal utilização é ter a função de um ligante para unir os materiais da sua construção (SANTIAGO, 2007).

A milhares de anos os homens se abrigavam em cavernas e lugares para se proteger da chuva, sol frio e de animais selvagens. Com o passar dos anos o homem evoluiu e criou técnicas para construir seu próprio abrigo. Inicialmente o homem só empilhavam pedras chamados Nuragues, como na Figura 2. Em constante evolução o homem descobriu meios de juntar os materiais e assim surgiram as primeiras argamassas (HAN; GOLEMAN, DANIEL; BOYATZIS, RICHARD; MCKEE, 2019).



Figura 2: Exemplo de Nurague. Fonte: (ARQUITETANDO, 2012).

Muitos registros da história da argamassa são citados por vários sites e autores. Alguns deles especulam que a argamassa é conhecida há 10.000 anos atrás com a base em gesso, seguida da utilização da cal em 6.000 aC, pelos romanos e persas, onde usava-se alvenaria de

tijolos secos ao sol, com assentamento de argamassas de cal. Argamassas com cimento surgiram no século XIX e também a fabricação de argamassas industriais. Como antigamente, as argamassas eram preparadas no local da obra, tinha se uma variação muito grande de qualidade uma das outras, o que mudou bastante com argamassa industriais (HAN; GOLEMAN, DANIEL; BOYATZIS, RICHARD; MCKEE, 2019).

Hoje, a argamassa de fábrica é produzida em modernas fábricas automatizadas fornecendo centenas de argamassas diferentes, como argamassas de múltiplo uso. A mais empregadas na construção civil, para todos os tipos de aplicações com garantia de qualidade e desempenho mais constantes (VIANA et al., 2010).

2.2 Materiais da argamassa

Argamassa e concreto são os dois materiais mais utilizados na construção civil. Por definição, a argamassa pode ser descrita como uma mistura de agregado fino, aglomerados e água. Em algumas aplicações, a composição da argamassa também pode conter aditivos (Associação Brasileira de Normas Técnicas-ABNT NBR 7200, 1998).



Figura 3: componentes da argamassa. Fonte:(ENGENHARIA, [s.d.]

2.2.1. Cimento

Todos os tipos de cimento podem ser usados na produção de argamassas, e certos tipos específicos de cimento irão variar de acordo com as necessidades especiais da argamassa. A função básica da mistura de cimento e água é reunir agregados e conectá-los formando produtos de hidratação, aumentando assim a resistência mecânica (HELENE; ANDRADE, 2017).

Pelas características e desempenho do cimento Portland (CP I), ele é referência para outros tipos básicos de cimento Portland. De acordo com o ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), a criação do cimento Portland começa na extração do calcário e da argila, as matérias primas, são introduzidos ao forno depois de moídos e triturados, e se tem o clínquer. E por fim uma quantidade de gesso é adicionada para finalizar o cimento Portland.

O cimento Portland é dividido em 8 tipos como pode ser observado na Figura 4. Esses tipos variam de acordo com a proporção de clínquer para sulfato de cálcio e os aditivos adicionados durante o processo de moagem (como escória, pozolana e materiais carbonáticos). Os materiais carbonáticos são chamados de cargas de calcário em termos da indústria (ABCP, 2015).

Tipo de Cimento	Adições	Sigla	Norma
Cimento Portland Comum	Escória, pozolana ou filer (até 5%)	CP I-S 32 CP I-S 40	5732
Cimento Portland Composto	Escória (6-34%)	CP II-E 32 CP II-E 40	11578
	Pozolana (6-14%)	CP II-Z 32	
	Filer (6-10%)	CP II-F 32 CP II-F 40	
Cimento Portland de Alto-Forno	Escória (35-70%)	CP III 32 CP III 40	5735
Cimento Portland Pozolânico	Pozolana (15-50%)	CP IV 32	5736
Cimento Portland de Alta Resistência Inicial	Materiais carbonáticos (até 5%)	CP V-ARI	5733
Cimento Portland Resistente aos Sulfatos	Estes cimentos são designados pela sigla RS. Ex.: CP III-40 RS, CP V-ARI RS		5737

Figura 4: tipos de cimento Portland. Fonte (ABCP, 2015).

2.2.2 Água

Água com o valor de pH de 6,0 a 8,0, sem fragrância e salobras, mesmo que não adequadas para o consumo pode ser usada satisfatoriamente para preparar concreto. A cor escura ou odor desagradável não significa que são materiais nocivos. Mesmo assim deve se ter o cuidado necessário com possíveis impurezas nas águas, pois essa pode resultar em problemas nos concretos e argamassas. Problemas como na resistência, manchas na superfície e corrosão pode atrapalhar a qualidade do material, por isso muito cuidado com a qualidade da água (NEVILLE, 2016).

2.2.3 Agregado miúdo

Pela norma NBR 9935/2011 define-se agregado miúdo como agregados cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de 150 um, atendidos os requisitos da ABNT NBR 7211. Na mesma norma pode se encontrar a seguinte definição para a areia:

“agregado miúdo originado através de processos naturais ou artificiais de desintegração de rochas, ou provenientes de processos industriais. É chamada de areia natural se resultante de ação de agentes da natureza, de areia artificial quando proveniente de processos industriais; de areia reciclada, quando proveniente de processos de reciclagem; e de areia de britagem, quando proveniente do processo de cominuição mecânica de rocha, conforme normas específicas.”

2.3 Resíduo oriundo do Setor eletroeletrônico

Mundialmente e no mercado brasileiro, os produtos do setor de eletroeletrônicos são descritos como produtos que tem seu funcionamento dependente de corrente elétrica ou de campos eletromagnéticos. São utilizados em todos os lugares como indústrias, residências, comércio e serviços em gerais. Principalmente dentro do setor doméstico, é possível observar

a divisão dos produtos em 4 grandes linhas, Linha Verde, Marrom, Branca e Azul, quem podem ser observados na Figura 5 (CNI – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2017).

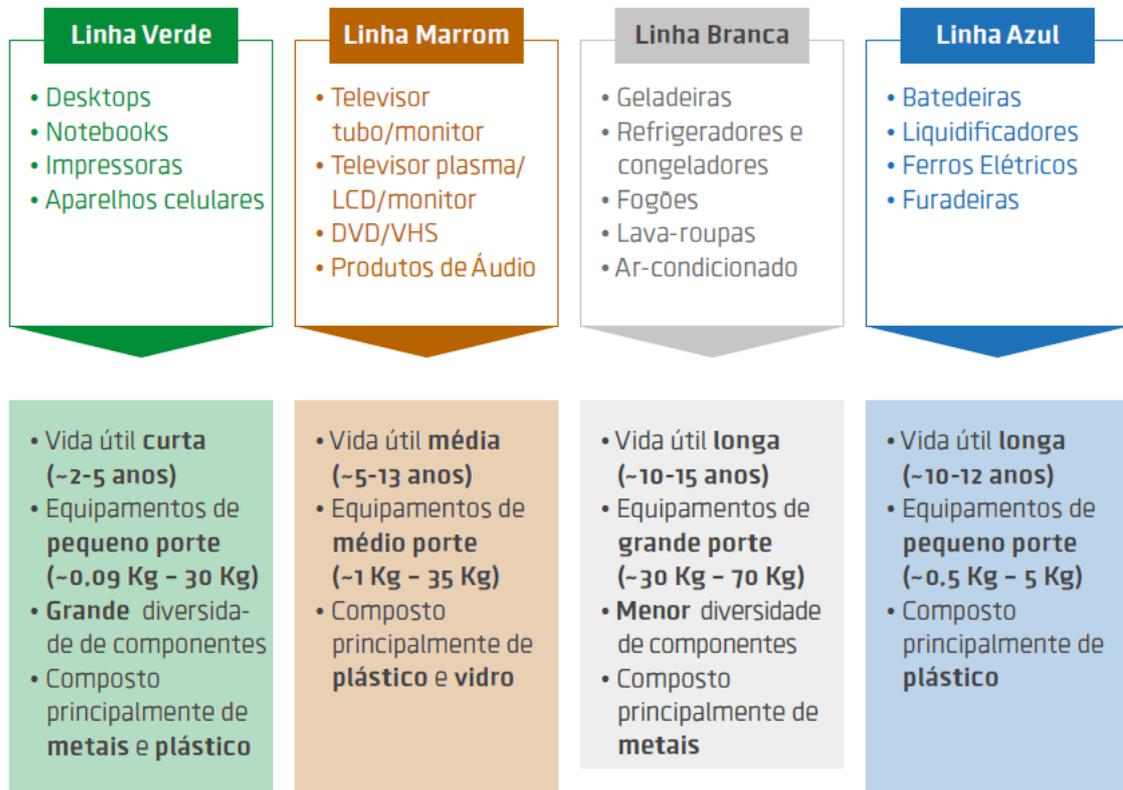


Figura 5: Linhas de produtos do setor eletroeletrônico. Fonte: (CNI – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2017).

De maneira geral o nome Linha Branca se originou por causa da cor que esses produtos geralmente apresentam. Com características de serem mais pesados, de difícil locomoção e geralmente estão dispostos em um local da casa (PRONI et al., 2008).

2.3.1. Mercado dos refrigeradores no Brasil

Ao longo dos anos, a indústria de eletrônicos do Brasil apresentou um grande crescimento nas vendas de produtos. Os principais fatores que promovem este crescimento incluem: a diversidade das funções dos equipamentos de produção, a redução da vida útil, a redução dos custos do produto final e a inovação tecnológica. Porém, com o aumento do

consumo de equipamentos elétricos e eletrônicos, os problemas relacionados ao gerenciamento dos resíduos gerados por esses equipamentos (resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos - REE) estão relacionados principalmente ao manuseio e controle de volume. Equipamentos eletrônicos e componentes descartados (XAVIER, 2007).

Os refrigeradores respondem por cerca de 90% da produção da indústria de linha branca e são o mercado mais concentrado e influente no mercado atual. Desde 1998, no Brasil, programas de eficiência energética foram implementados para consumidores residenciais de baixa renda. No entanto, só em 2005 esses planos foram realmente colocados em prática, pois toda empresa franqueada deve investir pelo menos 50% do seu investimento anual em planos para comunidades de baixa renda. Isso promove diretamente a compra e/ou substituição de geladeiras mais novas e de maior eficiência energética, bem como de equipamentos que utilizam clorofluorcarbonos (CFC) em seus sistemas de refrigeração a um custo menor (VAZ, 2016).

Segundo (XAVIER, 2007), as inovações na Linha Branca são em focadas em design e pequenas funcionalidades práticas, mas sem deixar de lado melhorias em desempenho. Basicamente a Linha Branca foi dividida em dois grupos, um focado em produtos esteticamente atraentes e com mais funções, e outro grupo com produtos custo benefício e sem funções extras.

Tecnologia avançando, indústrias produzindo mais e com preços acessíveis, esses fatores irão aumentar o número de produtos descartáveis e encurtar o ciclo de vida do produto no mercado. Com mais produtos fabricados temos um aumento nos resíduos desses produtos, gerando preocupações com o descarte correto no meio ambiente (ROGUE, 2020).

2.3.2. Gestão de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE)

Com o mundo desenvolvendo suas tecnologias cada vez mais e sua população seguindo um crescimento muito acelerado, tem-se um aumento no número de produtos sendo produzidos para atender uma demanda maior de consumo. Com isso o número de resíduos tem aumentado cada vez mais de todos os tipos (AWASTHI et al., 2018).

Os resíduos gerados pela indústria de refrigeradores, os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) também estão preocupando tanto pelo número de resíduos, mas também por conter até materiais perigosos. Mesmo se sabendo que seu impacto ambiental é

mais elevado durante o consumo, onde chega mais de 80% como é observado na Figura 7, soluções para seu descarte não podem ser ignoradas (XAVIER, 2007).

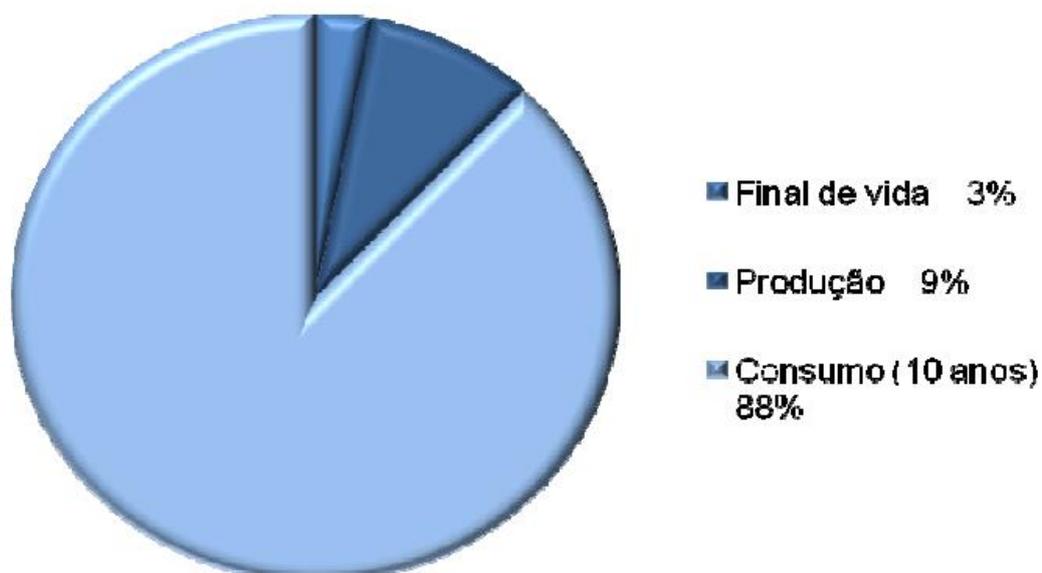


Figura 7. Percentual de impactos gerados durante o ciclo de vida de um refrigerador (XAVIER, 2007).

Segundo (ROGUE, 2020), o estado tem trabalho em leis para o controle e destino dos REEE. Seguindo uma forte influência da agenda 2030 do desenvolvimento sustentável, leis estão sendo feitas, como em 2008 a Lei n° 4.969 para delegar responsabilidade para os produtores sobre a logística inversa de seus produtos. Normas também foram criadas como a ABNT NBR 15833:2018 (atualizada) e ABNT NBR 16156:2013.

Nesse contexto, tem se oportunidades para empresas que possam fazer a logística inversa, resolvendo essa questão para empresas que produzem, assim terceirizando o serviço. Atuante nesse ramo temos empresas como: Fox Reciclagem, Sinctronics, Lorene, Essencis, Ecotronic, Umicore (ROGUE, 2020; XAVIER; NASCIMENTO; LINS, 2018).

O ciclo de vida da maioria dos produtos manufaturados inclui várias etapas até o produto final, incluindo a extração, processamento, fabricação, transporte, distribuição, uso, reaproveitamento, manutenção e destinação final da matéria-prima. A Figura 8 mostra o ciclo de vida do refrigerador desde o fornecedor da matéria-prima até o descarte final adequado. Ao analisar o ciclo de vida de um determinado produto, é possível ter um conhecimento amplo e

abrangente de todas as etapas do processo de produção, consumo e destinação final. Além de ter perspectivas ambientais e econômicas suficientes para minimizar diversos impactos ao meio ambiente (XAVIER, 2007).

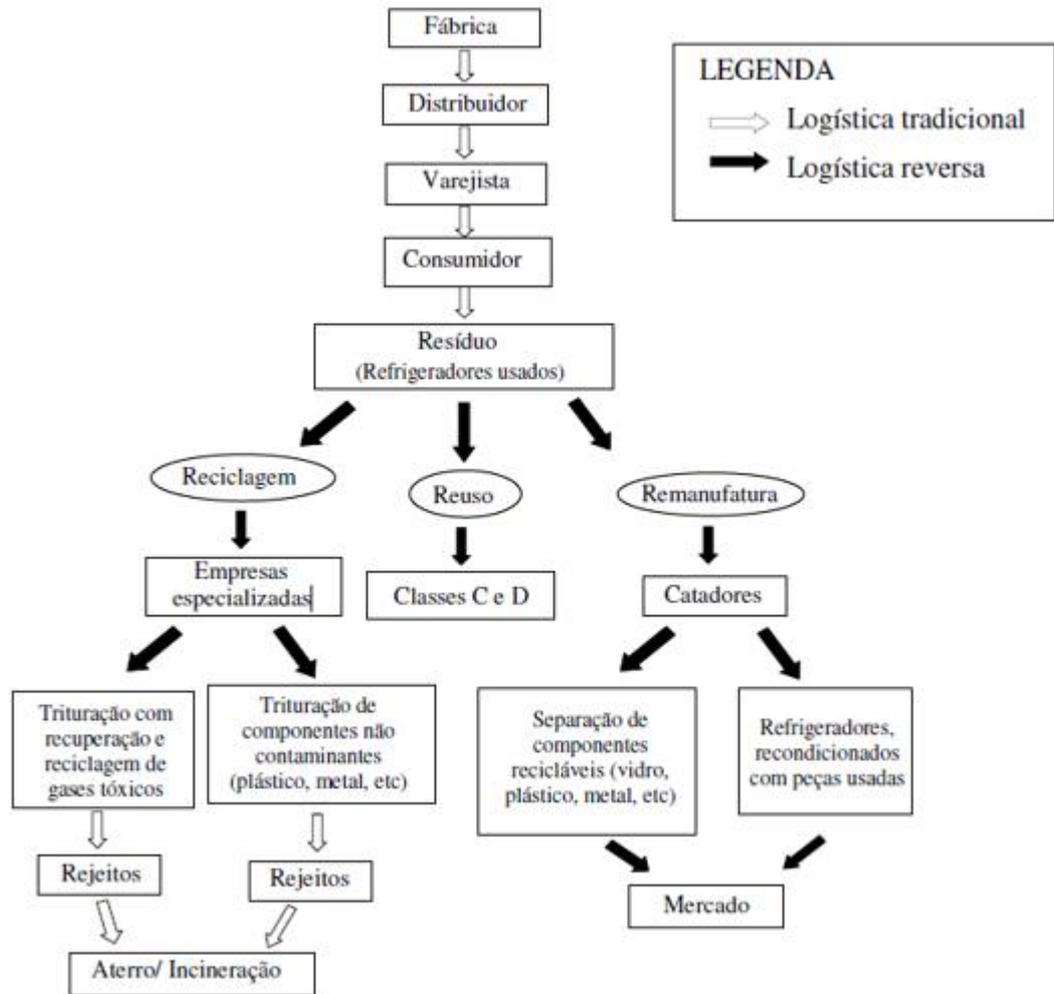


Figura 8: Proposta de ciclo de vida para refrigeradores. Fonte: Adaptada (XAVIER, 2007).

2.4. Estado da arte

2.4.1. Pesquisa nacional da argamassa com resíduo

A base de dados Lens, foi escolhida pela sua relevancia e seu grande alcance, sendo considerada uma das melhores base de dados. Com de 197 milhões de registros acadêmicos fornecidos pela Microsoft Academic, Pubmed e Crossref. Fornece meios para pesquisa avançada e possibilita meios para fazer tratamento dos dados da busca (AARONTAY, 2019; MARTÍN-MARTÍN et al., 2020).

Analisando os trabalhos referente a argamassa com resíduo utilizando palavras chave em português e com data limite de 2010 até os dias atuais é possível identificar trabalhos feitos principalmente no Brasil sobre o tema. A plataforma de base de dados de artigos utilizada foi LENS. Os operadores lógicos utilizados na base de dados foram: *Title: (argamassa* (and resíduo*)) OR (Abstract: (argamassa* (and resíduo*)) OR Full Text: (argamassa* (and resíduo*))*).



Figura 9: Quantidade de publicações por ano (FONTE: PROPRIO AUTOR).

Na Figura 9 pode se observar o tipo de publicação e a quantidade por ano, e também o tipo de publicação. O de maior relevância são os marcados com Unknown, que são definidos pelo site de busca como trabalhos não classificados, podendo ser principalmente artigos. Na

Figura 10 é possível identificar os principais autores de destaque na área que a busca foi efetuada.

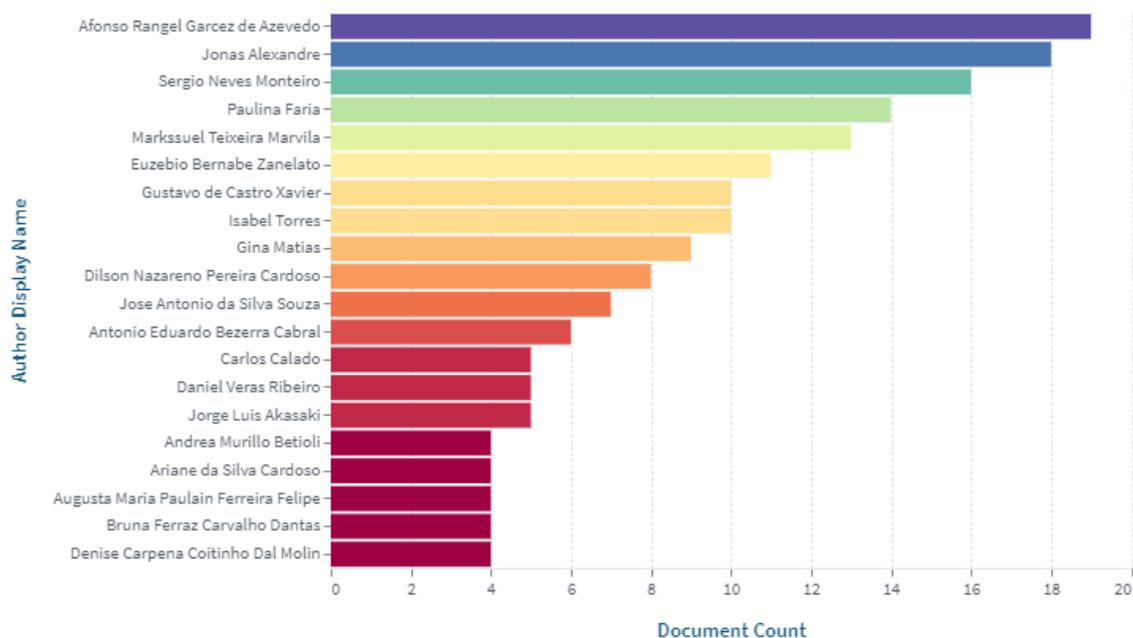


Figura 10: Número de publicações por autores (fonte: próprio autor, 2020)

A busca foi feita com termos em português na tentativa de buscar os principais artigos e pesquisadores no Brasil, mas apareceram publicações em outros países como Portugal, Estados Unidos, Belgica e outros, em uma quantidade não expressiva.

2.4.2. Pesquisa internacional da argamassa com resíduos

Para uma compreensão maior e direcionada a argamassa com resíduos, um levantamento foi feito para identificar os principais países, autores e quantidades de trabalhos por ano, no período de 2010 a 2020. Operadores lógicos em inglês para aumentar o raio mundial a base pesquisada. Os operadores lógicos utilizados na pesquisa foram: *title:(mortar and residue) OR abstract:(mortar and residue) OR keyword:(mortar and residue) OR title:(mortar and waste and recycled) OR abstract:(mortar and waste and recycled) OR keyword:(mortar and waste and recycled) OR title:(mortar and polymer) OR abstract:(mortar and polymer) OR keyword:(mortar and polymer)*. Posteriormente foi adicionado um filtro por ano, limitando os resultados para o período de 2015 a 2020. Com essas palavras chave os resultados encontrados

abrangem: argamassa com resíduos, aragamassa com resíduo reciclado e aragamassa com polímero.

Apenas na Figura 11 que mostra o numero de documentos por ano, foi aumentado o periodo das publicações para exemplificar mais vastamente a evolução das publicações com o decorrer dos anos. Publicações essas que pode ser artigos, conferências, livros, desconhecido (trabalhos não classificados) e capítulos de livro.

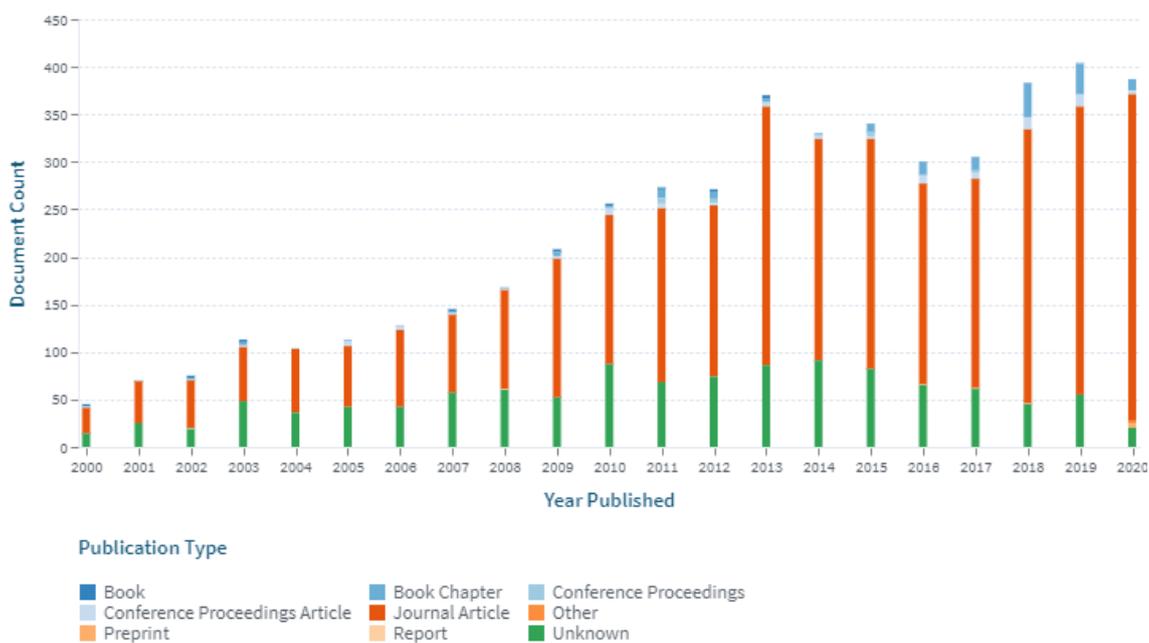


Figura 11: Número publicações por ano (fonte: próprio autor, 2020).

É possível ver o aumento de relevância do assunto pelo numero de publicações em crescente. Com o periodo estabelecido em 2015 a 2020, é mostrado na Figura 12 os autores que mais publicaram nesses ultimos 5 anos.

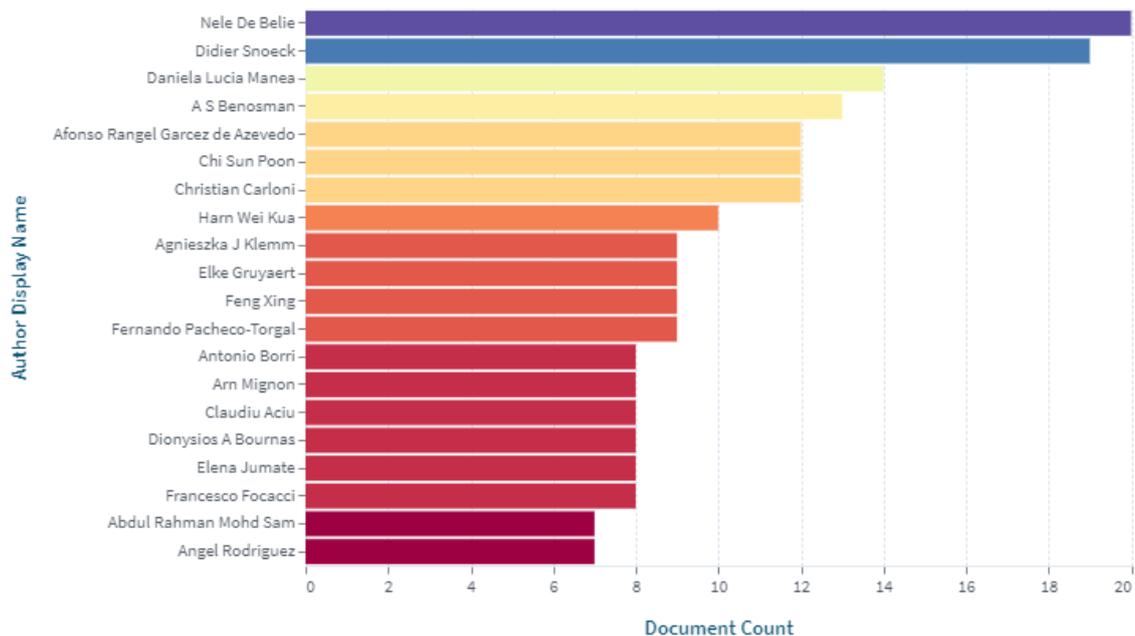


Figura 12: Principais autores que publicam na área de argamassa com resíduo (fonte: próprio autor, 2020).

A Figura 13 mostra os principais países onde ocorreram trabalhos relacionados com argamassa com resíduo.

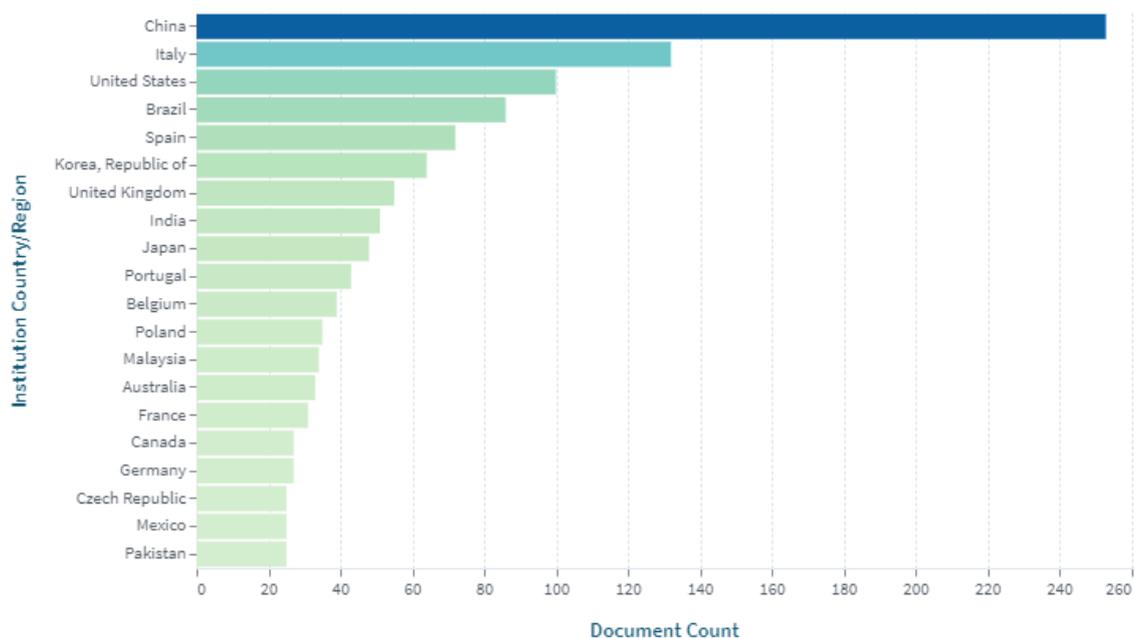


Figura 13: Principais países onde ocorreram trabalhos relacionados com argamassa com resíduo (fonte: próprio autor, 2020).

Novamente é possível ver na Figura 13 os países que mais produzem trabalhos no tema, mas separados por pelas instituições que mais publicam.

2.4.3. Revisão da literatura

Vários trabalhos envolvendo poliuretano como resíduo e também alguns que contem argamassas com resíduos em geral foram levados em conta para leitura. Na etapa anterior em uma base dedos foram separados trabalhos, por país e ano. Agora, para essa etapa foram separados alguns trabalhos de destaque para o tema escolhido e um breve resumo foi feito.

Trein (2014) tem como objetivo em seu trabalho, avaliar a viabilidade técnica de resíduos de poliuretano com acetato de etil-vinila, como agregados em argamassas alcali-ativadas. O resíduo foi dividido em 3 grupos de porções diferente: 30/70, 50/50 e 70/30 de PU e EVA respectivamente. A porcentagem de substituição em volume de areia foi de 10%, 20%, 30% e 40%. A viabilidade foi encontrada numa proporção melhor para 50/50 e na substituição de 40%, onde encontrou resistência à compressão superior a 2,5 MPa depois de 28 dias.

Em seu trabalho, Mariano (2009) propôs a utilização de espuma rígida de poliuretano em substituição parcial de areia na preparação de corpos de prova de concreto. A proporção dos traços foi definida como 75%, 50% e 25%. Os resultados encontrados para porção de 75% não foram satisfatórios, mas melhoram de acordo com a porcentagem de poliuretano for menor.

Motta (2014) também utilizando matriz poliméricas de resina poliuretana provinda do óleo de mamona e adicionou reforço de fibra de piaçava em alguns traços e outros apenas com a matriz polimérica. A proporção dos traços foi definida por 10 e 12% de resina em massa e nos traços com presença de fibras, teve adição de 1 e % em massa. Pelos testes efetuados, teve uma maior capacidade de absorções de energia antes da fratura. Seu tempo de cura foi maior. A utilização desse resíduo também é validada de acordo com sua utilização, uma vez que suas propriedades decaem com a adição de fibras de piaçava.

Segundo Heissler (2017), em seu trabalho foi desenvolvido contrapisos com poliuretano em substituição de areia. Os traços foram divididos em três grupos definidos pelo tamanho de grão: fino, médio e grosso, dentro desses grupos foram preparados 6 traços com porcentagem de substituição do agregado miúdo natural que varia de 0 a 100% com acréscimo de 20% de PU para cada traço: 0, 20, 40, 60, 80 e 100%. Além de avaliar a viabilidade do uso do poliuretano, o trabalho também tinha como objetivo avaliar densidade e condutividade térmica.

E como conclusão, teve uma redução da resistência mecânica, mas o resultado de maior relevância nesse trabalho foi a densidade e condutividade térmica, na qual tem o agregado de 80% de PU.

Com um resíduo diferente, Reis (2017) propôs em seu trabalho avaliar argamassas poliméricas com resíduo de cevada da indústria cervejeira. Os traços foram preparados com uma porcentagem de 1% a 10% de resíduo de cevada em substituição do agregado, e a resina variou de 12% a 20% em 5% das argamassas poliméricas de resíduo de cevada. Como resultado foi possível observar melhora nos resultados em até 5% de cevada em propriedades da fratura. Melhores resultados na propagação de trincas foram encontrados em 18% do teor de resina.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Essa pesquisa investiga a influência da substituição parcial de areia natural por pó de resíduo de poliuretano (RPU), oriundo da reciclagem de refrigeradores, na produção de argamassa. Visando avaliar a influência do teor de resíduo de poliuretano e da granulometria do resíduo na argamassa, utilizou-se design of experiments (DOE) para as variáveis: teor de resíduo de poliuretano (RPU) 2,5%, 5,0% e 10,0% em massa da areia natural e granulometria menor que 1,20 mm e maior que 1,20 mm até 2,4 mm.

A etapa experimental será resumidamente composta por partes gerais como:

- I. 1) Seleção e caracterização dos agregados (areia natural e resíduo de poliuretano);
- II. 2) Desenvolvimento do traço referência;
- III. 2) Produção dos traços de argamassa com resíduo de poliuretano (RPU);
- IV. 3) Execução dos ensaios no endurecido das argamassas;
- V. 5) Análise e comparação dos resultados.

No estado endurecido as mostras de argamassa foram caracterizadas quanto à resistência à compressão axial, módulo de elasticidade, massa específica, índice de vazios e absorção de água. As propriedades foram avaliadas aos 7 e 28 dias.

A seguir, estão apresentadas cada uma das etapas de planejamento e as definições adotadas para essa pesquisa.

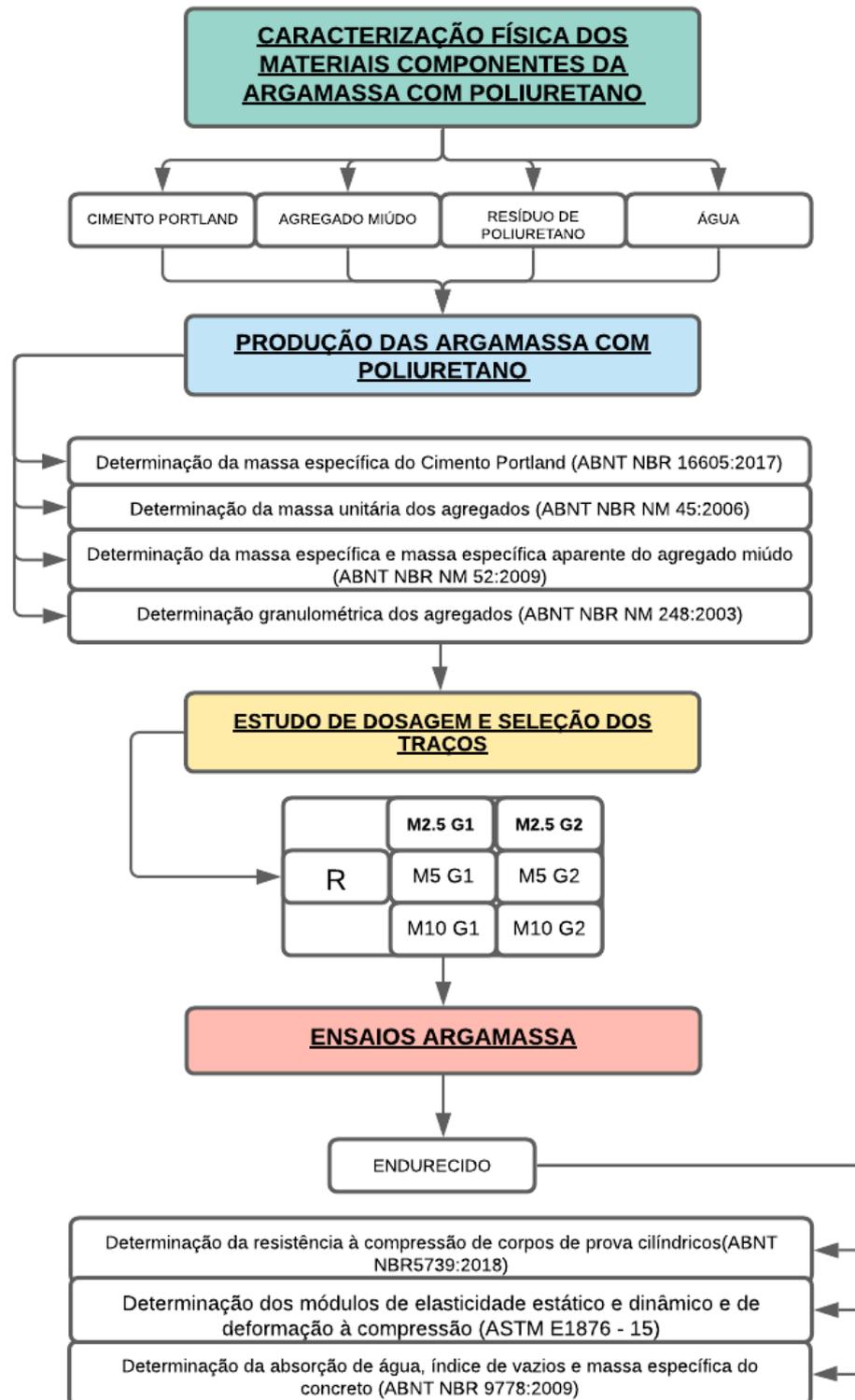


Figura 14: Fluxograma do procedimento experimental para obtenção da argamassa (Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2020).

3.1. Materiais

Os materiais para a produção das argamassas foram:

- Cimento Portland CP II-E-32 Itambé;
- Areia natural quartzosa;
- Resíduo polimérico (RPU) oriundo da reciclagem de refrigeradores.

O cimento Portland utilizado foi do tipo cimento Portland composto por escória sigla CPII-E-32 da empresa Itambé[®]. Segundo o fornecedor, o mesmo possui resistência à compressão aos 7 dias de 37,5 MPa e aos 28 dias de 52 MPa. E tempo de início de 140 minutos e final de 206 minutos, esta informação foi disponibilizada pelo fornecedor.

Tabela 1: Propriedades e características físicas do CP II-E-32.

Norma ABNT NBR	Valor	Unidade
Massa específica (ABNT NBR 53:2003)	3,01	g/cm ³
Massa unitária no estado solto (ABNT NBR 45:2006)	1,01	g/cm ³
Tempo de pega (ABNT NBR 65:2003)	Início	>1
	Fim	<10
Resistência à compressão (ABNT NBR 7215:1997)	1 dia	-
	3 dias	>10,0
	7 dias	>20,0
	28 dias	>30,0

Fonte: Adaptado de CIMENTOS ITAMBÉ, 2020.

Como agregados miúdos foram utilizados areia local. A areia natural da região sul de Minas Gerais, Brasil, provém de nascentes de rios e possui uma grande composição de rochas sedimentares como arenito e quartzito. (ALKIMIM, 2018).

A água (potável) utilizada provinha da rede pública de abastecimento da região sul de Minas Gerais, Brasil, fornecida pela empresa COPASA[®].

O resíduo de poliuretano (RPU) oriundo da reciclagem de refrigeradores foi fornecido pela Indústria Fox (ROQUE SILVA, 2019; ROQUE SILVA et. al., 2020).

Após a caracterização granulométrica da areia natural e do resíduo de poliuretano oriundo da reciclagem de refrigeradores conforme recebido (RPU-CR).

Preparou-se o traço de referência (com 0% de RPU) e os traços com substituição a areia natural em 2,5%, 5,0% e 10,0% em massa. Estão representados na Figura 14 (fluxograma),

divididos pelo traço de referência (R), traços com alteração de porcentagem do agregado (M2.5, M5 e M10) e granulometria do resíduo (G1 e G2).

Após a execução das argamassas com os diferentes traços foram moldados corpos de prova cilíndricos com dimensões segundo norma (\varnothing 5mm x 10mm) para a realização de ensaios no estado endurecido, vide tabela 2.

Os dados foram coletados em cada ensaio seguindo os procedimentos de cada respectiva norma, vide tabela 2. Estes dados foram registrados e depois analisados, verificando basicamente se o traço de referência, ou seja, a argamassa sem RPU atende aos parâmetros de cada ensaio, e comparando com os resultados de cada traço com variação percentual de RPU em substituição a areia natural.

Tabela 2: Ensaios executados na caracterização dos agregados

Material	Ensaio	Norma ABNT
Agregado miúdo Resíduo polimérico (RPU)	Granulometria	ABNT NBR 248:2003
	Massa específica	ABNT NBR 52:2009
	Massa unitária	ABNT NBR 45:2006

Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2020.

Todos os resultados foram também analisados em comparação com os obtidos em outros estudos de argamassa com resíduos de poliuretano ou mesmo outros materiais substitutos de agregados em argamassas.

A tabela 2 apresenta os ensaios executados para a caracterização dos agregados e as normas que foram utilizadas para a realização.

3.1.1. Resíduo de poliuretano (RPU) de refrigerador

O resíduo de poliuretano (RPU) na forma de pó foi doado pela empresa FOX. a obtenção deste resíduo passa por alguns processos exemplificados no fluxograma Figura 15. O primeiro passo é receber refrigeradores inutilizáveis ou descartados. Próxima etapa é a remoção de partes metálicas, eliminação de gases que são poluidores atmosféricos e limpeza superficial. E por última etapa é triturado, separado e armazenado [ROQUE, 2020].

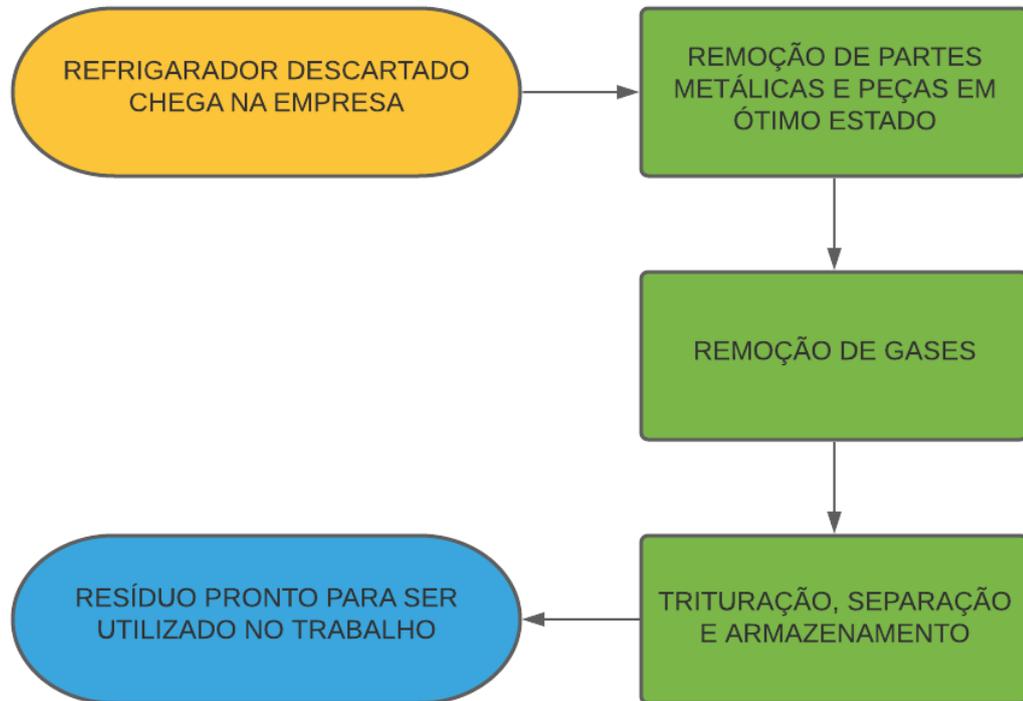


Figura 15: Sequência de obtenção do resíduo polimérico da indústria Fox até utilização no trabalho (Fonte: Adaptado ROQUE, 2020).

3.2. Método de dosagem e produção dos traços

Para produzir os traços de argamassa com resíduos de poliuretano, usou como base o método de dosagem descrito por Selmo (1989). Na Tabela 3, são exibidos os traços da argamassa utilizados para a pesquisa, como produto final das etapas anteriormente mencionadas. Nos traços as substituições de RPU por areia são realizadas em massa.

Dividido em duas etapas, sendo a primeira a determinação da dosagem dos traços e seguido pela produção dos traços.

Nesta etapa é feita a preparação do traço de referência (0% de RPU) em substituição aos agregados, em 2,5%, 5% e 10%. Estão representados na Tabela 3, divididos pelo traço de referência (R), traços com alteração de porcentagem do agregado (M2.5, M5 e M10) e granulometria do resíduo (G1 e G2).

Tabela 3: Proporções utilizadas na argamassa e consumo de cimento.

Proporção dos materiais em consumo kg/m³				
Mistura	Kg cimento	Kg de areia	Kg de PU	Kg de água
M0	331,574	1657,9	0,0	331,6
M2.5	329,345	1646,7	8,3	329,3
M5	327,146	1635,7	16,6	327,1
M10	322,835	1614,2	33,2	322,8

Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2020.

Proporções dos materiais em massa unitária [adimensional]				
Mistura	Cimento	Areia	RPU	Água
M0	1,0	5,0	0,000	1,0
M2.5	1,0	5,0	0,025	1,0
M5	1,0	4,9	0,050	1,0
M10	1,0	4,9	0,100	1,0

Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2020.

3.3. Planejamento dos experimentos (DOE)

O procedimento da escolha das variáveis consistiu em uma avaliação estatística, através do método de Planejamento de Experimentos (DOE). Três variáveis foram selecionadas para análise nesta fase:

- teor de resíduo de poliuretano (X1) em massa em substituição a areia natural;
- granulometria do resíduo de poliuretano (X2) em função das curvas granulométricas obtidas;
- tempo de cura (X3) de 7 e 28 dias em atendimento as normas.

Tabela 4: Variáveis de teste e respectivos níveis.

Fatores de controle	Símbolo	Níveis		
		Low (-1)	Middle (0)	High (+1)
Teor de poliuretano - RPU (%)	x_1	2,5	5	10
Granulometria do pò de RPU (mm)	x_2	1,2	-	4,8
Tempo de cura (dias)	x_3	7	-	28

Na segunda etapa da produção dos traços de argamassa, foi utilizada uma betoneira de marca CSM 145 litros, modelo CS 145 com rotação em eixo inclinado. Depois de pesados e separados os materiais: cimento, areia e poliuretano (exceto no traço de referência), foram adicionados na betoneira e logo em seguida a água foi adicionada aos poucos. Feita a homogeneização até atingir um grau adequado e em seguida foram colocados em moldes até endurecerem.



Figura 16: Betoneira utilizada para mistura dos materiais (Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2020).

A Figura 17 mostra alguns dos moldes utilizados para produção dos corpos de prova do traço. Corpos de prova cilíndricos 100x50 mm, conforme descrito na NBR 7215 da ABNT.



Figura 17: Moldes para corpo de prova cilíndrico (Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2020).

Desmoldados os corpos de prova, foram devidamente colocados em um tanque e permaneceram submersos em água potável para a execução da cura, como é possível observar na figura 18 onde os corpos de prova submersos estão sendo levados ao tanque.



Figura 18: Corpos de prova depois de desmoldados (Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2020).

Na Tabela 5 encontra se o número de traços depois de endurecidos utilizados para cada ensaio.

Tabela 5: Número de corpos de prova por ensaio no estado endurecido e suas respectivas normas

Ensaio	Número de corpos de prova	Norma
Compressão axial (MPa)	4	ABNT NBR 5739:2018
Módulo de elasticidade (GPa)	3	ASTM C215 (2014) e ASTM E1876, (2015)
Massa específica (g/cm ³)	3	ABNT NBR 7211:2005
Absorção (%)	3	ABNT NBR 7211:2005
Índice de vazios (%)	3	ABNT NBR 7211:2005

Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2020.

3.4. Ensaio da argamassa

Os ensaios foram divididos para checar as principais características da argamassa produzida.

3.4.1. Ensaio no estado endurecido

A argamassa no estado endurecido é caracterizada pelas normas exigidas. Os ensaios executados foram: resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral, absorção, índice de vazios, massa específica, módulo de elasticidade dinâmica. Na tabela 7 são mostrados esses ensaios com suas respectivas normas ABNT.

Tabela 71: Ensaio, normas e propriedades utilizadas no estado endurecido da argamassa.

Ensaio	Norma	Aspecto a ser analisado
Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos	(ABNT NBR5739:2018)	Resistência mecânica à compressão
Módulo de elasticidade dinâmico não-destrutivo pela Técnica de Excitação por Impulso (TEI)	(ASTM E1876 - 15)	Módulo de elasticidade do concreto, por meio de excitações por impulso, método não-destrutivo
Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica	(ABNT NBR 9778:2009)	Absorção de água, índice de vazios e massa específica

Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2020.

3.4.2. Ensaio de resistência à compressão axial

Realizado no Laboratório de Materiais para Construção Civil da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). Foram produzidos 4 corpos de provas para cada traço e idade das argamassas que foram ensaiados aos 7 e 28 dias de cura.

3.4.3. Ensaio de absorção de água, índice de vazios e massa específica

Foram produzidos 3 corpos de provas para cada traço das argamassas que foram ensaiadas aos 7 e 28 dias. A Figura19 mostra a realização do ensaio.



Figura 19: Ensaio de massa específica em corpo de prova de concreto (Fonte: ADAPTADA ROGUE, 2020).

3.4.4. Módulo de elasticidade dinâmico (E_d)

Para a aplicação da Técnica de Excitação por Impulso, foi empregado o equipamento Sonelastic na seguinte configuração: Software Sonelastic versão 3.0, suporte ajustável para barras e cilindros SA-BC, captador acústico direcional CA-DP e pulsador manual, o conjunto é mostrado na Figura 20. Foram produzidos três corpos de provas para cada traço de argamassa que foram ensaiados aos 7 e 28 dias de cura. A Figura 21 mostra o ensaio de um corpo de prova.



Figura 20: Configuração básica do software Sonelastic para a caracterização dos corpos de prova e suporte para realização do ensaio (Fonte: SONELASTIC, 2020).



Figura 21: Suporte para realização do ensaio (Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2020).

Por meio do módulo de elasticidade dinâmico obtido pela Técnica de Excitação por Impulso (TEI) e com base na ASTM E1876-15 foi determinado o módulo de elasticidade

dinâmico para os concretos. Para tanto foi feito uso do método proposto por (POPOVICS, 2008). É possível fazer uma estimativa do módulo de elasticidade estático (E_c) a partir do dinâmico (E_d), utilizando o modelo proposto por Popovics (POPOVICS, 2008). O modelo proposto por Popovics (2008) faz uso da Equação 2 em que é utilizada para cálculo do módulo de elasticidade estático pelo módulo de elasticidade dinâmico.

Sendo:

$$E_c = k \cdot E_d^{1,4} \cdot \rho^{-1} \quad (2)$$

Em que k é uma constante que depende das unidades utilizadas ($k = 0,107$ quando o módulo é dado em Pa e a densidade em kg/m^3) e ρ é a densidade do concreto.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização dos agregados

Os agregados devem ser selecionados com cautela, uma vez que eles representam cerca de 40% a 80% do consumo dos materiais de compósitos cimentícios, em massa, resultando em significativa influência no seu comportamento no estado fresco e endurecido, bem como no desempenho durante a sua utilização. Por essa razão, a influência da composição granulométrica e de outras características têm sido estudadas ao longo do tempo.

4.1.1 Caracterização da areia natural

A Tabela 0.1 apresenta respectivamente as características e a curva granulométrica da areia natural utilizada nos ensaios.

Tabela 0.1: Características físicas e granulométricas da areia natural

Abertura da peneira (mm)	Areia natural quartzosa	
	%retida	% acumulada
# 4,80	0	0
# 2,40	1	2
# 1,20	8	10
# 0,60	23	33
# 0,30	45	78
# 0,15	18	96
Fundo	4	100
D _{máx} característico	2,40 mm	
Módulo de finura (MF)	2,18	
Massa específica	2,56 kg/dm ³	
Massa unitária	1,46 kg/dm ³	
Absorção de água	0,37 %	
Classificação	Zona ótima inferior (ABNT NBR 7211:2009)	

Fonte: AUTOR, 2021.

4.1.2 Classificação do resíduo de poliuretano (RPU)

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e apresenta, respectivamente, a curva granulométrica e as características físicas e granulométricas do resíduo de poliuretano oriundo da reciclagem de refrigeradores conforme recebido (RPU-CR).

Tabela 9: Granulometria do resíduo de poliuretano (RPU-CR) oriundo de reciclagem de refrigeradores.

Abertura da peneira (mm)	Resíduo de poliuretano (RPU-CR)	
	% retida	% acumulada
# 4,80	0	1
# 2,40	2	2
# 1,20	5	9
# 0,60	56	25
# 0,30	9	71
# 0,15	27	93
Fundo	1	100
D _{máx} característico	2,4 mm	
Módulo de finura (MF)	2,01	
Massa específica	1,46 kg/dm ³	
Massa unitária	0,22 kg/dm ³	
Absorção de água	0,37 %	
Classificação	Zona ótima inferior (ABNT NBR 7211:2009)	

Fonte: AUTOR, 2021.

O resíduo de poliuretano oriundo da reciclagem de refrigeradores (RPU) foi classificado como agregado miúdo devido a sua granulometria, sendo classificado com agregado miúdo leve devido a sua massa específica ser menor que 2000 kg/m³.

Defini-se pela NBR 7225, que a granulometria da areia é classificada como fina, média e grossa. Este pode ser definido com os valores: Fina com granulometria 0,075 a 0,42 mm, média de 0,42 a 1,2 mm e grossa de 1,2 a 2,4 mm. Com o módulo de finura (MF) da areia e do resíduo de poliuretano com valores próximos então é possível a substituição entre eles.

Com o intuito de avaliar o efeito da granulometria do resíduo na substituição da areia natural, e após análise das curvas granulométricas optou-se por dividir o resíduo de poliuretano (RPU) em duas granulometrias, conforme descrito em materiais e métodos e apresentados na Tabela 10 e Figura 22:

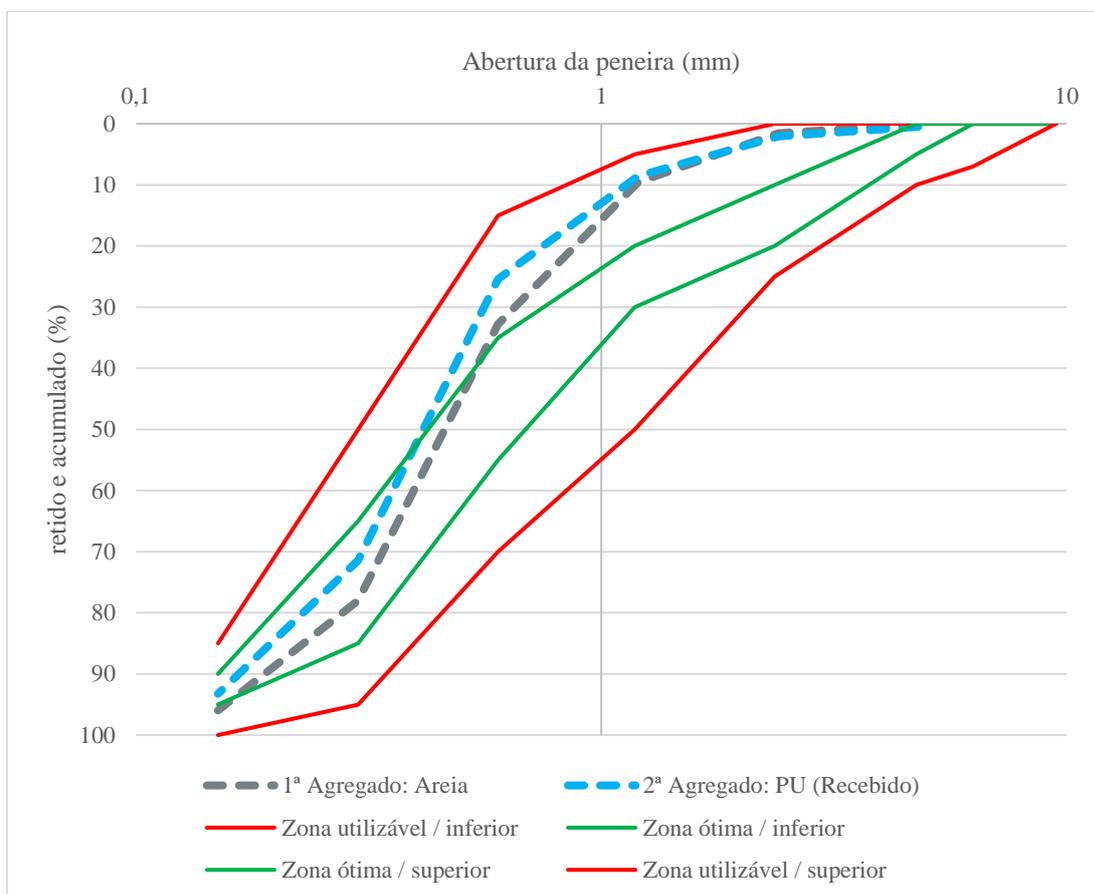


Figura 22: Curvas granulométricas da areia natural e do resíduo de poliuretano oriundo da reciclagem de refrigeradores (RPU).

Tabela 10: Granulometrias do resíduo de poliuretano (RPU) utilizadas nos ensaios

Granulometria do RPU	Dimensões	Módulo de Finura
Fina (G1)	RPU < 1,2 mm	1,65
Grossa (G2)	1,2 mm < RPU < 2,4 mm	2,37

Para o cálculo das granulometrias utilizou-se a regra da mistura. As tabelas 4.4 e 4.5 apresentam para os teores substituídos em função das granulometrias, fina (G1) e grossa (G2). As Figuras 21 e 22 apresentam as curvas da distribuição granulométrica dos agregados miúdos variando o teor de substituição da areia natural por resíduo de poliuretano (RPU) (a) 2,5%; (b) 5% e (c) 10% nas granulometrias fina RPU < 1,2 mm e grossa G2 (2,4 mm > RPU > 1,2 mm), respectivamente.



Figura 23: Agregados utilizados (a) areia natural e Resíduo de poliuretano (RPU) oriundo da reciclagem de refrigeradores separados segundo granulometria (a) e miúda G1) e (b) graúda (G2) (Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2021).

Tabela 11: Granulometria calculada da areia artificial após a substituição de parte da areia natural por resíduo de poliuretano (RPU) na granulometria menor (G1).

Abertura da Peneira (mm)	NBR 7211/2011	100 % Areia Natural	97,5% Areia Natural + 2,5% RPU	95% Areia Natural + 5% RPU	90% Areia Natural + 10% RPU	100% G1 RPU < 1,2 mm
	Limite ótimo*	% Acumulada	% Acumulada	% Acumulada	% Acumulada	% Acumulada
4,8	0 - 10	0	0	0	0	0
2,4	10 - 20	2	2	1	1	0
1,2	20 - 30	10	9	9	9	0
0,6	35 - 55	33	32	31	30	0
0,3	65 - 85	78	78	78	77	71
0,15	90 - 95	96	96	96	96	93
Fundo		100				100,00
D _{máx} característico		2,18 mm				2,42 mm
Módulo de finura		2,18	2,17	2,15	2,13	1,65
Massa específica		2,50 kg/dm ³				0,781 kg/dm ³
Massa unitária		1,50 kg/dm ³				0,607 kg/dm ³
Absorção de água		0,37 %				
Classificação (ABNT NBR 7211:2009)		Zona utilizável inferior	Zona utilizável inferior	Zona utilizável inferior	Zona utilizável inferior	Zona utilizável inferior

* A norma NBR 7211/2011 (Agregados para argamassa e concreto – Especificação) apresenta os limites de distribuição granulométrica para o agregado miúdo, conforme Tabela 17.

Tabela 12: Granulometria calculada da areia artificial após a substituição de parte da areia natural por resíduo de poliuretano (RPU) na granulometria maior (G2).

Abertura da Peneira (mm)	NBR 7211/2011	100% Areia Natural	97,5% Areia Natural + 2,5% RPU	95% Areia Natural + 5% RPU	90% Areia Natural + 10% RPU	100% RPU 2,4 mm > G2 > 1,2 mm
	Limite ótimo *	% Acumulada	% Acumulada	% Acumulada	% Acumulada	% Acumulada
4,8	0 - 10	0	0	0	0	1
2,4	10 - 20	2	2	2	2	2
1,2	20 - 30	10	10	9	9	9
0,6	35 - 55	33	33	32	32	25
0,3	65 - 85	78	79	79	80	100
0,15	90 - 95	96	96	96	96	100
Fundo		100				100,00
D _{máx} característico		2,5 mm				2,42 mm
Módulo de finura		2,18	2,18	2,19	2,20	2,37
Massa específica		2,50 kg/dm ³				0,781 kg/dm ³
Massa unitária		1,50 kg/dm ³				0,607 kg/dm ³
Absorção de água		0,37 %				
Classificação (ABNT NBR 7211:2009)		Zona utilizável inferior	Zona utilizável inferior	Zona utilizável inferior	Zona ótima	Zona ótima

* A norma NBR 7211/2011 (Agregados para argamassa e concreto – Especificação) apresenta os limites de distribuição granulométrica para o agregado miúdo, conforme Tabela 17

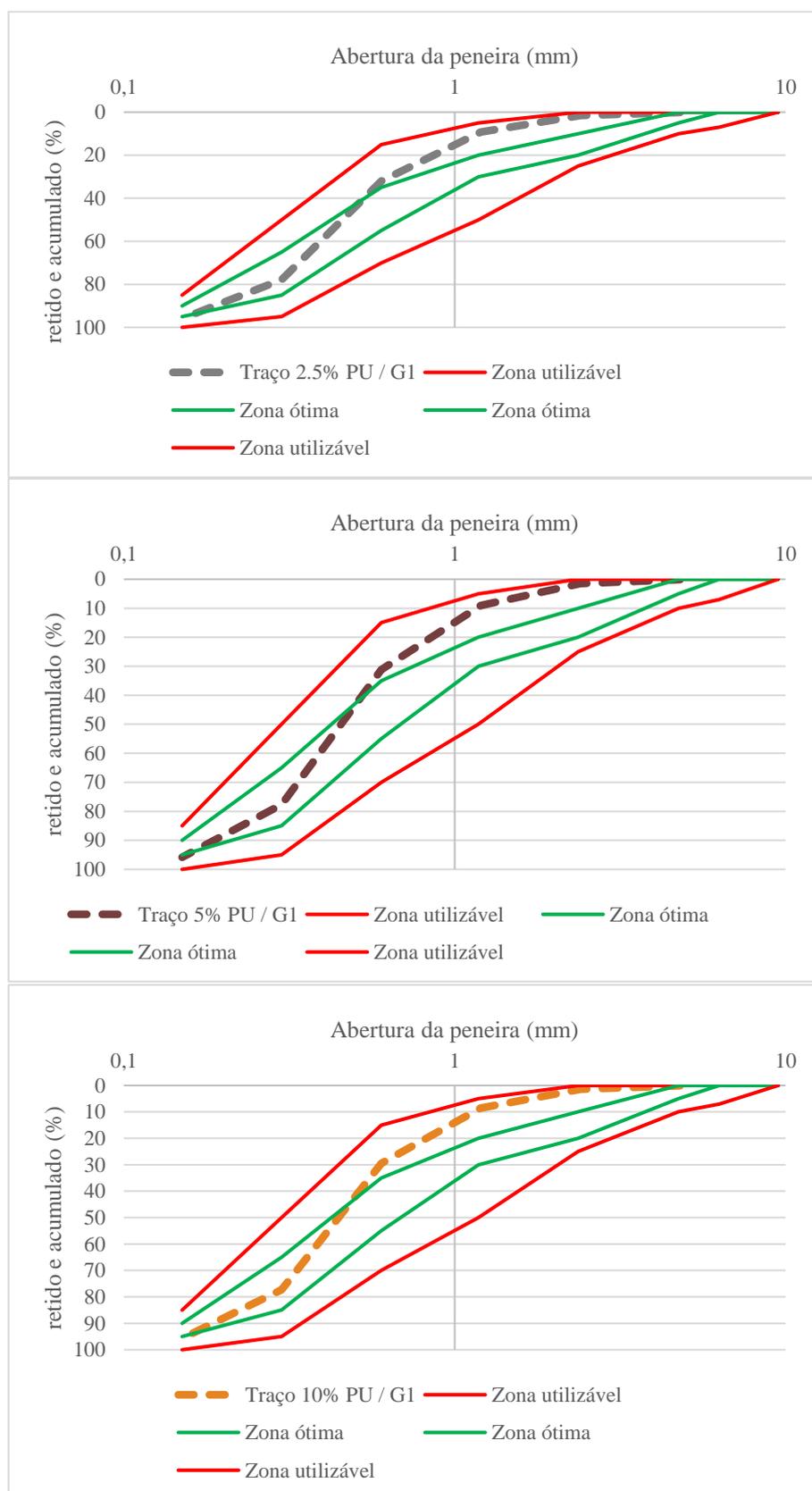


Figura 24: Distribuição granulométrica dos agregados miúdos variando o teor de substituição da areia natural por resíduo de poliuretano (RPU) (a) 2,5%; (b) 5% e (c) 10% granulometria fina (RPU <1,2 mm).

Fonte: AUTOR, 2021.

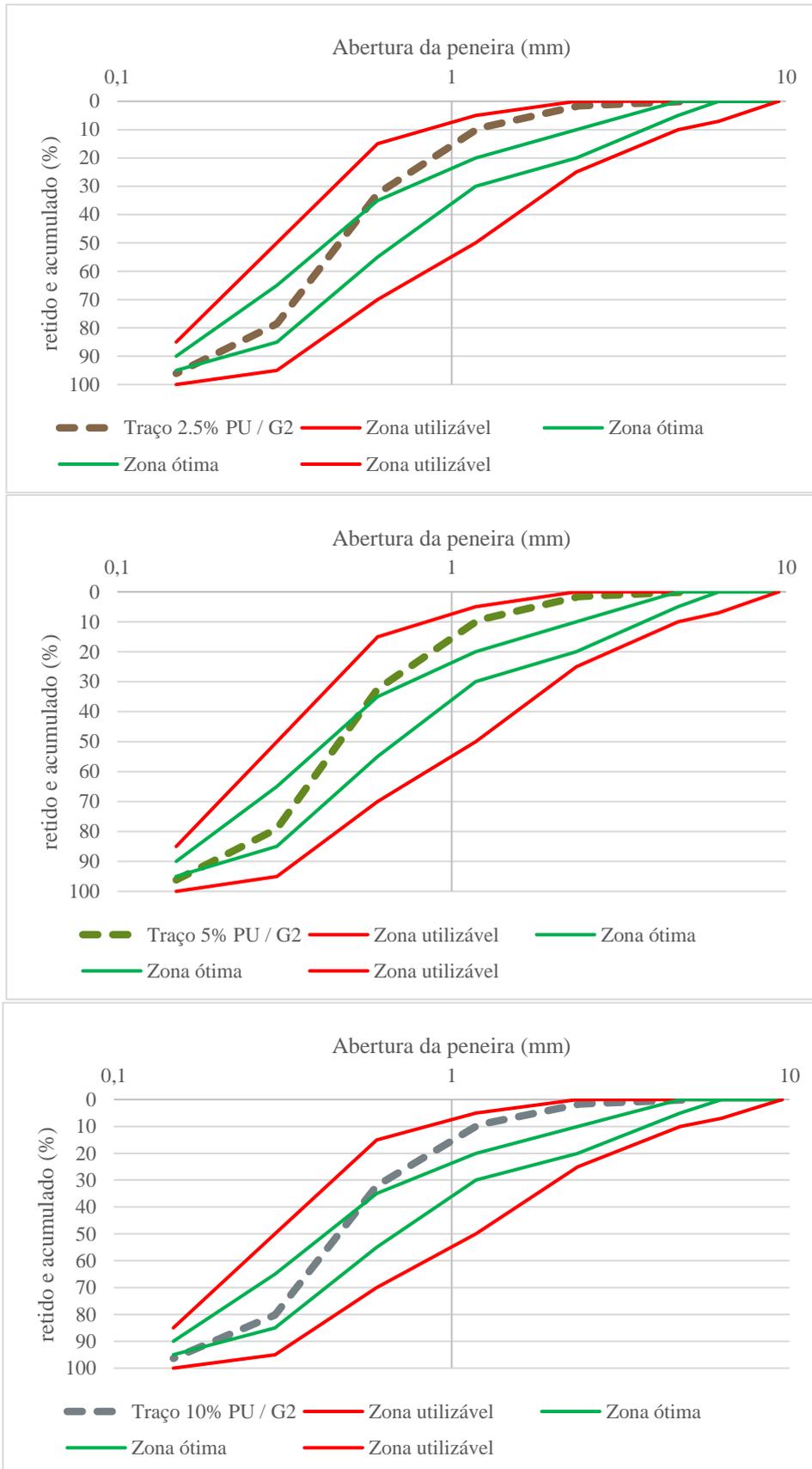


Figura 25: Distribuição granulométrica dos agregados miúdos variando o teor de substituição da areia natural por resíduo de poliuretano (RPU) (a) 2,5%; (b) 5% e (c) 10% granulometria grossa G2 (2,4 mm > RPU > 1,2 mm).
 Fonte: AUTOR, 2021.

4.2 Determinação do traço e produção da argamassa de referência

Após uma análise crítica dos trabalhos da literatura usando resíduo de poliuretano, verificou-se que:

- A teor de substituição varia de 2,5% a 10%;
- A granulometria varia de 2,4mm a 1,2mm;
- Os resultados de resistência a compressão variam em função da granulometria e do teor de substituição;
- A maioria dos traços utilizam plastificantes ou superplastificantes.

A partir desta análise dos resultados da literatura, optou-se por obter inicialmente um traço referência de argamassa convencional (AC) sem adição de plastificantes. Visto que plastificantes alteram a fluidez da argamassa, no entanto, a proposta deste trabalho é avaliar somente o efeito do teor e da granulometria do pó de resíduo de poliuretano.

Visando avaliar o efeito da granulometria do resíduo optou-se por dividir o resíduo de poliuretano conforme recebido (RPU-CP) em duas granulometrias, variar o teor e não usar plastificantes nos traços.

A tabela 4.7 apresenta os teores utilizados na confecção dos traços das argamassas com substituição da areia natural por resíduo de poliuretano na forma de partículas.

Tabela 13: Teor e granulometria do poliuretano (RPU) substituindo a areia natural

Argamassa	Porcentagem de RPU	Granulometria de RPU
TRAÇO 1	2,5%	G1 < 1,2mm
TRAÇO 2		2,4mm > G2 ≥ 1,2mm
TRAÇO 3	5,0%	G1 < 1,2mm
TRAÇO 4		2,4mm > G2 ≥ 1,2mm
TRAÇO 5	10,0%	G1 < 1,2mm
TRAÇO 6		2,4mm > G2 ≥ 1,2mm

Fonte: AUTOR, 2021.

4.3 Ensaio das argamassas no estado endurecido

4.3.1 Influência do teor e da granulometria do resíduo de poliuretano (RPU) substituindo a areia natural na resistência à compressão

A Figura 26 apresenta os resultados dos ensaios de resistência à compressão dos traços das argamassas.

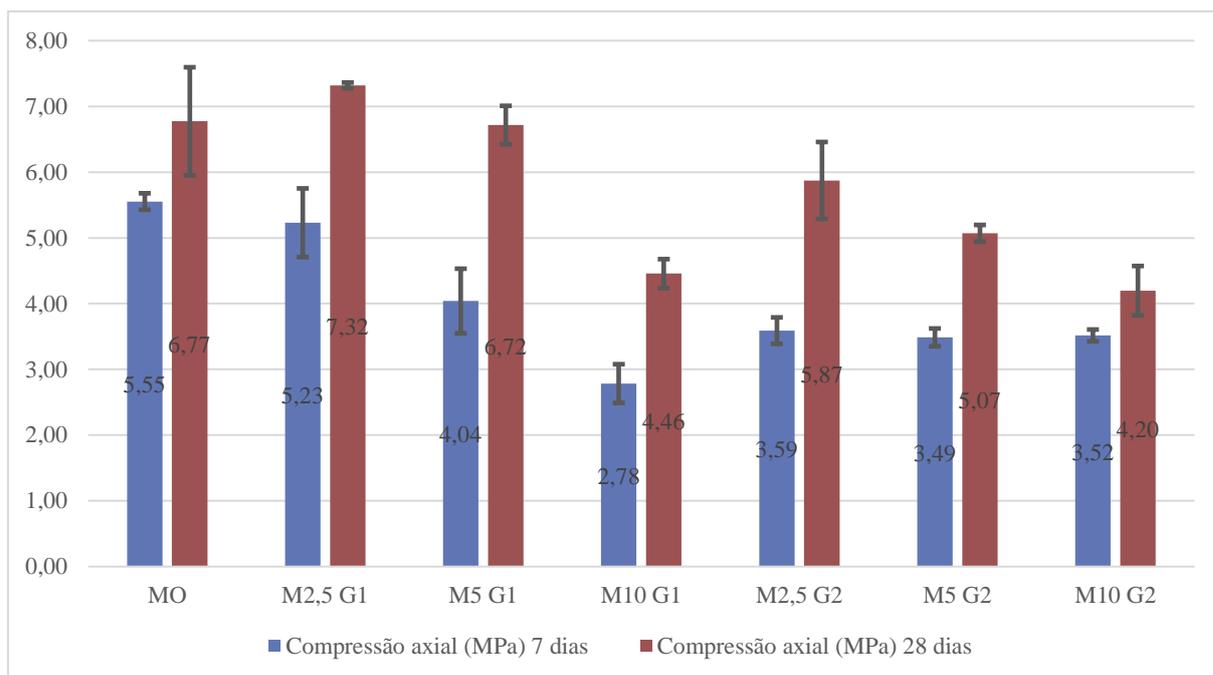


Figura 26: Média da compressão axial (MPa) das argamassas em função do teor de areia natural substituída por resíduo de poliuretano (RPU) variando o teor e a granulometria.

Fonte: AUTOR, 2021.

Nota-se ainda que apesar de ocorrer certa variação entre os resultados com a mesma composição (teor e granulometria), estes são reprodutíveis. Nota-se ainda que somente para o teor de 10% de substituição de areia natural por RPU é que houve uma perda considerável da resistência a compressão.

Observa-se ainda que a granulometria graúda (G2) não apresentou as maiores perdas de resistência como era esperado. Uma justificativa para isto seria o fato da massa específica do resíduo de poliuretano (RPU) ser menor, e como a substituição foi em massa, utilizou-se uma maior quantidade de material. Portanto, quando comparado com a areia um maior volume de partículas foi adicionado ao traço. Outro fato que deve ser considerado é que na granulometria miúda (G1) há uma maior quantidade de partículas que devem ser envolvidas pela pasta de cimento. Possivelmente se uma quantidade maior de água fosse usada, em outras palavras, uma nova relação água/cimento fosse usada a perda de resistência não seria tão grande.

Os resultados obtidos nos ensaios de compressão simples demonstram redução dos valores de resistência mecânica nas amostras com incorporação de RPU, em relação a amostra referência, conforme já observado em vários trabalhos, como em JUNCO et.al (2018) e VICARIO et.al. (2020). Exceção para a amostra M2.5G1, que indicou aumento de resistência na ordem de aproximadamente 8%. A redução da resistência à compressão era esperada, uma vez que a incorporação de RPU aumenta o índice de vazios e, conseqüentemente, reduz a resistência mecânica. Outros fatores podem influenciar na redução da resistência mecânica, quando comparada com a amostra referência. A ligação entre as partículas de RPU e matriz de pasta de cimento é facilmente agravada pela incorporação dos resíduos plásticos, resultando em uma resistência de aderência empobrecida (SADRMOMTAZI et.al., 2016). Por RPU ser mais macio que os agregados naturais, pode se comportar como vazios dentro da matriz durante o carregamento, o que resulta na iniciação das fissuras em torno das partículas.

As reduções de resistência mecânica observadas podem ser consideradas significativas, com percentuais de redução acima de 13%, chegando até 38% aproximadamente. Vale ressaltar que o melhor comportamento mecânico de amostras com incorporação de RPU foi o corpo de prova com substituição de 2,5% e granulometria de 0,6mm, cuja redução de resistência em comparação com a amostra referência foi de aproximadamente de 0,9%. Fica evidente a influência da granulometria de RPU ao analisar os resultados de resistência à compressão das amostras incorporadas com RPU de maior granulometria (G.2) em relação as amostras de menor granulometria (G.1). Foram observadas reduções de resistência de aproximadamente 19,7%, 24,5% e 5,8%, dos traços M2.5, M5, M10, respectivamente. Possivelmente o motivo dos valores de resistência das amostras G.1 serem superiores as das amostras G.2 é a granulometria mais fina de G.1, resultando em um melhor empacotamento das partículas, indicando corpos de prova com menos poros.

Observa-se ainda que não está muito claro os resultados quando se compara a média de resistência à compressão com as médias de massa específica. Algumas indicam redução de ambas, mas outras amostra, a massa aumenta em relação a referência, mas resistência diminui. Sendo interessante avançar nestes experimentos.

É importante ressaltar que, apesar de reduções de resistência mecânica resultantes da incorporação de RPU, de modo geral os valores se apresentam dentro de um patamar aceitável no que tange os limites normatizados. A norma ASTM C-270 apresenta valores limites de resistência à compressão para algumas classes de argamassas. Apesar da norma americana prever inserção de cal hidráulica nos traços de argamassa e limitar a proporção de agregados

até três vezes a soma dos aglomerantes, a comparação com os valores de resistência obtidos nos ensaios podem ajudar a nortear a aplicação da argamassa com incorporação de RPU. Segundo a ASTM C-270, a classe “O” é indicada para argamassas estruturais de média resistência, podendo ser aplicada em alvenaria estrutural (SEMO et.al. BT_00310), cujo valor limite mínimo de resistência à compressão aos 28 dias é de 5,4 MPa. As amostras com incorporação de RPU na granulometria G.1, nas proporções de 2,5% e 5,0% de substituição, apresentaram valores superiores de 35% e 24,4%, respectivamente, em relação ao limite da ASTM C-270. Já a amostra com 10% de substituição teve redução da resistência na ordem de 17,5% em relação a ASTM C-270. No caso das amostras com RPU na granulometria graúda (G.2), M2.5 apresentou valor de resistência à compressão superior, na ordem de 8,7%. As amostras M5 e M10 apresentaram valores inferiores de aproximadamente 6,15% e 22,3 %, respectivamente, comparados do limite da ASTM C-270. Portanto, argamassas com incorporação de resíduos finos de RPU, com substituição da areia natural de até 5,0%, podem ser indicadas no uso estrutural.

A norma europeia BSI-5628 apresenta os limites mínimos de resistência à compressão de acordo com o traço das argamassas. Segundo a BSI-5628, para o traço 1 (C): 4 a 5 (A) (correspondente aos traços usados nos ensaios), a resistência à compressão mínima é de 3,6 MPa. Os valores médios de resistência mecânica em todos os traços com substituição da areia por RPU foram superiores ao limite da BSI-5628. O traço com maior proporção de substituição e com a granulometria mais graúda (M10G.2) foi aproximadamente 16,6% superior ao limite da BSI-5628 e o melhor desempenho em comparação com o limite da norma europeia foi observado no traço M2.5G.1, cujo valor de resistência à compressão foi aproximadamente 103% superior.

No âmbito da normatização brasileira, a NBR 13281:2005 apresenta valores limites de resistência à compressão para argamassas para assentamento e revestimento de paredes e teto. As argamassas e respectivos limites de resistência mecânica são identificadas por classes. Segundo os critérios de resistência à compressão da NBR 13281:2005 para as classes de argamassas, todas as amostras de argamassa com incorporação de RPU são enquadradas na classe P4, cujo intervalo de limite de resistência é de 4 a 6,5 MPa.

4.3.2 Influência do Módulo de finura da areia artificial na resistência a compressão

A tabela 4.6 apresenta um quadro resumo com os traços de argamassa produzidos e com os módulos de finura e resistência a compressão. Comparando as Figuras 21 e 22 nota-se que não houve grandes variações na granulometria com a substituição da areia natural por resíduo de poliuretano (RPU). Ocorre o mesmo com o módulo de finura, conforme as tabelas 4.4 e 4.5. Evidenciando que as quantidades substituídas de RPU na areia natural não foram suficientes para alterar a granulometria e o módulo de finura da areia artificial. Portanto, só em função destes parâmetros não fica claro os efeitos deletérios da substituição nas propriedades mecânicas das argamassas.

Tabela 14 – Teor substituído de areia natural por RPU, módulo de finura e resistência à compressão das argamassas

	Módulo de finura	Média de resistência a compressão (MPa)
100% de areia	2,18	6.938
97,5% de areia + 2,5% RBP G1	2,17	2.437
95% de areia + 5,0% RBP G1	2,15	4.47
90% de areia + 10% RBP G1	2,13	5.48
97,5% de areia + 2,5% RBP G2	2,18	2.603
95% de areia + 5,0% RBP G2	2,19	4.78
90% de areia + 10% RBP G2	2,20	5.762

Fonte: AUTOR, 2021.

Ainda com relação a Tabela 4.6 nota-se que para os teores 5% e 10% há pouca perda de resistência à compressão e nestes casos o módulo de finura está dentro da zona ótima.

4.3.3 Influência do teor e da granulometria do resíduo de poliuretano (RPU) substituindo a areia natural no módulo de elasticidade

A Figura 27 apresenta os resultados dos ensaios de módulo de elasticidade dos traços das argamassas.

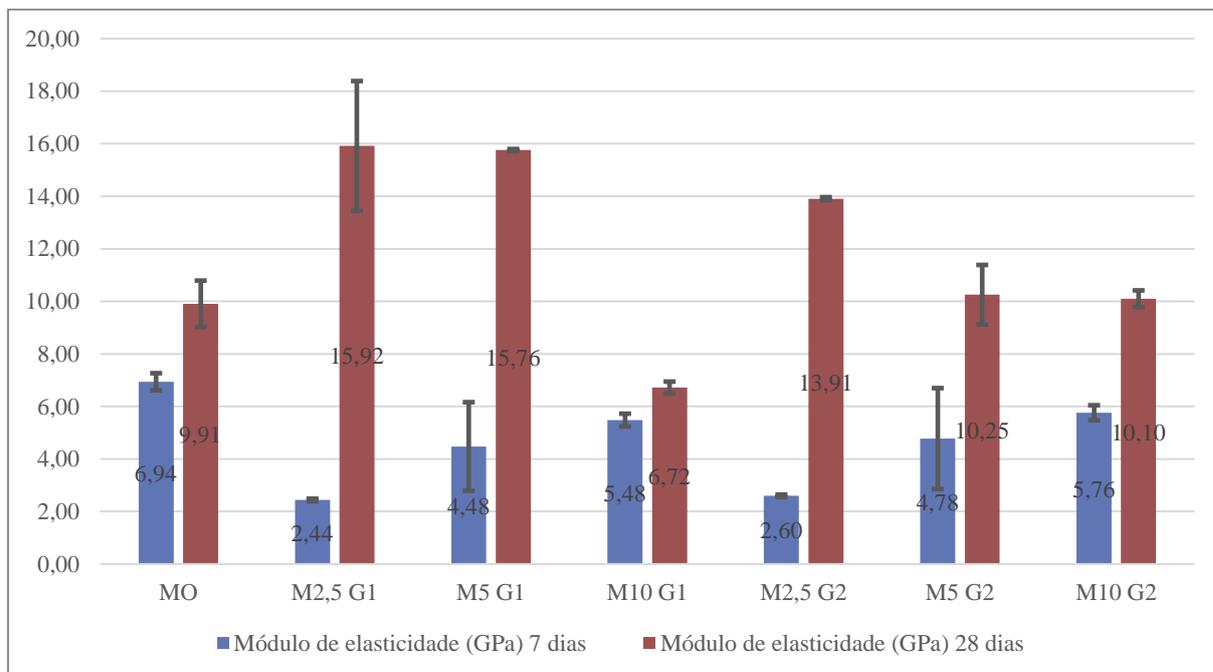


Figura 27: Módulo de elasticidade (GPa) das argamassas em função do teor de areia natural substituída por resíduo de poliuretano (RPU) variando o teor e a granulometria.

Fonte: AUTOR, 2021.

4.3.4 Influência do teor e da granulometria do resíduo de poliuretano (RPU) substituindo a areia natural no módulo de elasticidade

Neste caso, exceto para o teor de 10% de substituição com granulometria miúda (G1), a introdução do RPU interfere muito no módulo de elasticidade.

Em geral, os trabalhos da literatura apresentam queda do módulo com a introdução de resíduos poliméricos. Mas neste caso, houve um aumento, conforme Figura 28, exceto para o teor de 10% granulometria miúda. Possivelmente isto pode ser atribuído ao fato de o poliuretano ser hidrofóbico ou a forma de absorção de água. Desta forma, alterando a relação água/ cimento e as reações de hidratação dos traços com RPU.

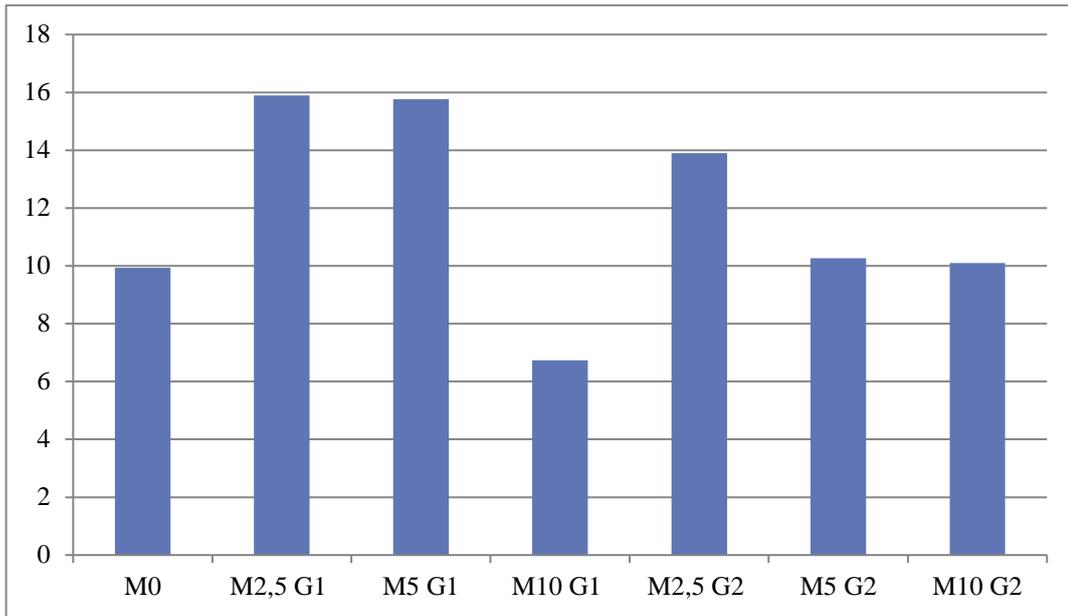


Figura 28: Módulo de elasticidade (GPa) das argamassas para 28 dias em função do teor de areia natural substituída por resíduo de poliuretano (RPU) variando o teor e a granulometria.

4.3.5 Influência do teor e da granulometria do resíduo de poliuretano (RPU) substituindo a areia natural na massa específica das argamassas

A Figura 29 apresenta os resultados das massas específicas dos traços das argamassas.

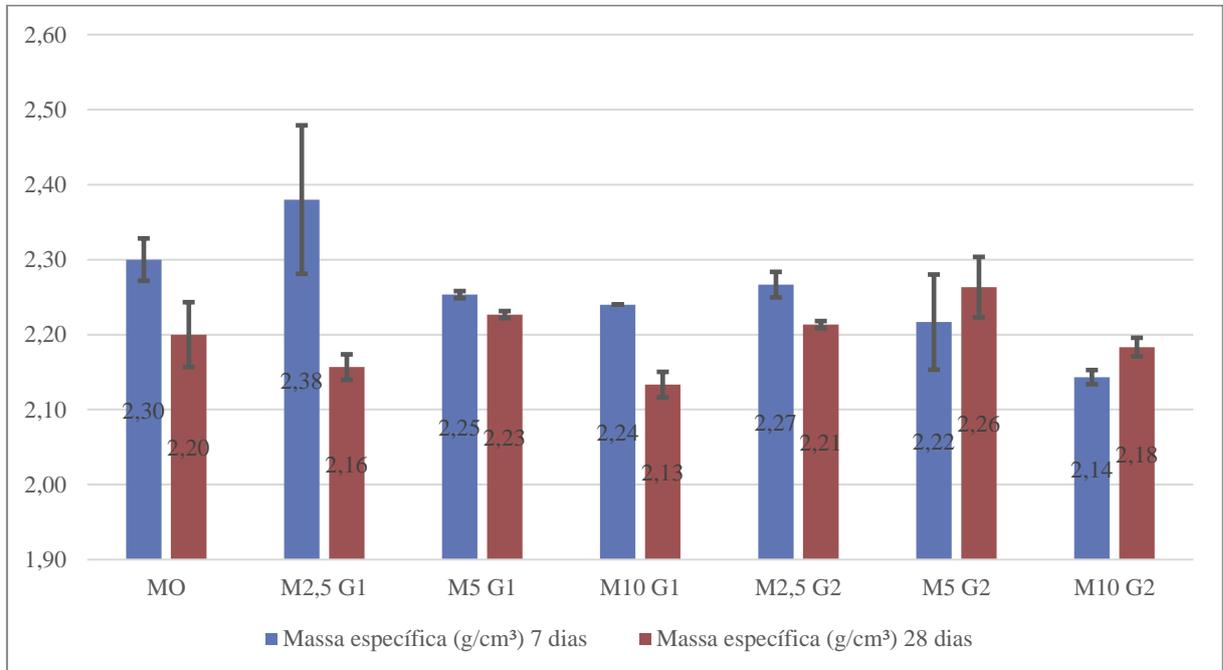


Figura 29: Massa específica (g/cm³) das argamassas em função do teor de areia natural substituída por resíduo de poliuretano (RPU) variando o teor e a granulometria.

4.3.6 Influência do teor e da granulometria do resíduo de poliuretano (RPU) substituindo a areia natural na absorção de água das argamassas

A Figura 30 apresenta os resultados das massas específicas dos traços das argamassas.

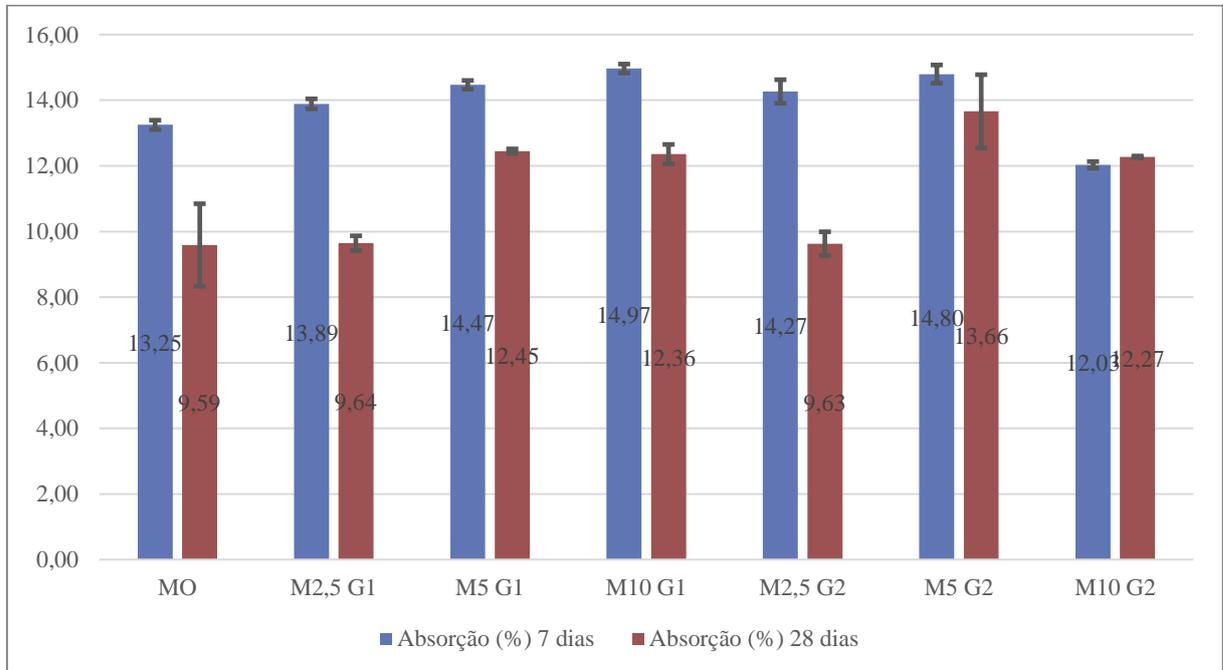


Figura 30: absorção de água (%) das argamassas em função do teor de areia natural substituída por resíduo de poliuretano (RPU) variando o teor e a granulometria.

Neste caso, a introdução do RPU interfere muito na absorção de água.

4.3.7 Influência do teor e da granulometria do resíduo de poliuretano (RPU) substituindo a areia natural no índice de vazios

A Figura 31 apresenta os resultados das massas específicas dos traços das argamassas.

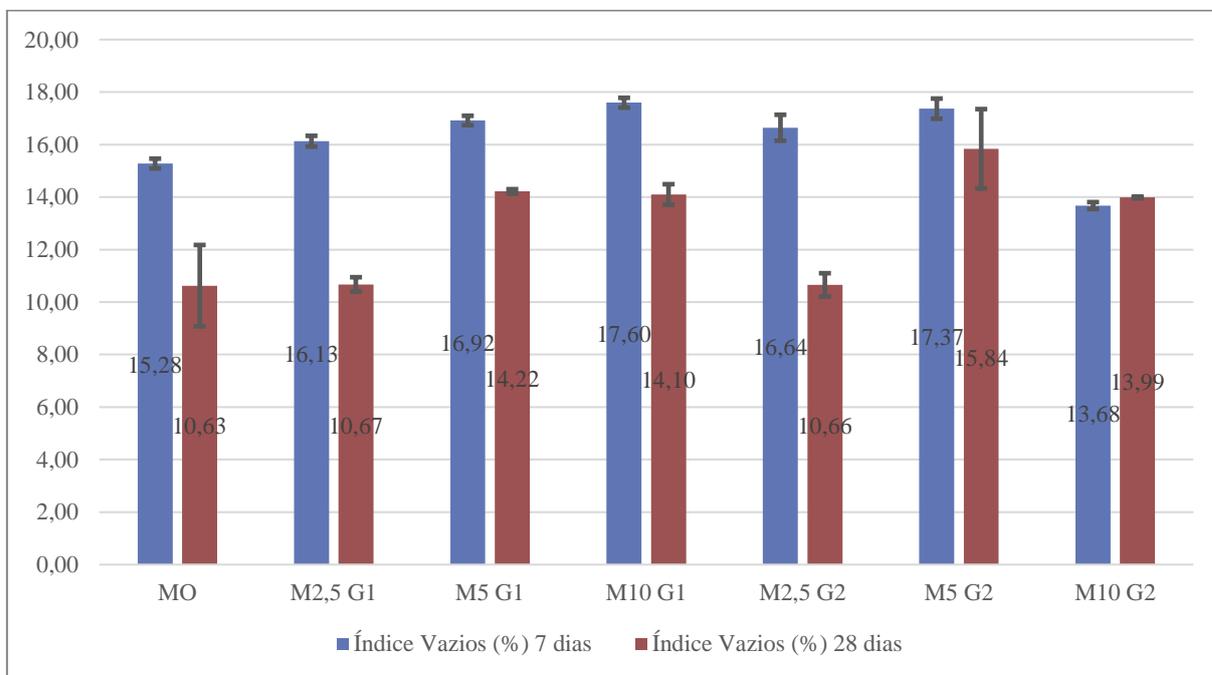


Figura 31: Índice de vazios (%) das argamassas em função do teor de areia natural substituída por resíduo de poliuretano (RPU) variando o teor e a granulometria.

A quantidade de água absorvida por um material está associada ao índice de vazios presentes em sua microestrutura, que por sua vez, determina a permeabilidade do material.

Analisando a Figura 31 percebe-se que o fator tempo de cura é importante: sempre 28 dias foram menores do que em 7 dias. Neste caso, a introdução do RPU interfere muito no índice de vazios.

Os resultados obtidos, apresentados na Figura 31, demonstram que o traço de argamassa de referência obteve o valor médio de índice de vazio de 10%, para 28 dias. Para todos os traços com incorporação de RPU, as variações das proporções dos valores de índice de vazio foram superiores em relação ao traço base. Vale ressaltar que a menor diferença de acréscimo de índice de vazio das amostras com RPU foram substituição aos agregados em 2,5%, para ambas as granulometrias do resíduo (G1 e G2). Outra observação é em relação aos valores apresentados pelas amostras com granulometria do resíduo G1, para os traços M5 e M10. Percebe-se que houve uma redução do valor de índice de vazio da substituição de 5% para 10%, o que se esperava o inverso. Possivelmente isto se deve a quantidade de RPU incorporado com

a granulometria miúda tem uma maior quantidade de partículas para a mesma massa incorporada.

Com o objetivo de verificação dos valores obtidos nos ensaios para índice de vazio, estes foram comparados com os valores apresentados por NETO et.al. (2009). Os autores analisaram comportamento mecânico das argamassas de assentamento para uso estrutural a partir de traços compostos com cimento, cal e areia e variando a relação A/C. Os valores obtidos no trabalho foram aferidos com limites das normas brasileiras e estrangeiras. De acordo com os resultados do trabalho de NETO et.al. (2009), para o traço 1:1:3 (cimento, cal e areia) e relação A/C de 1,30, o valor de índice de vazios foi de 21,71%. Já para o traço 1:1:6 e relação A/C de 1,72, o índice de vazio foi de 23,18%. Os valores obtidos em todos os traços, a partir do traço base com relação 1:5 (cimento e areia) e relação A/C de 1,0, com substituição da areia natural pelo RPU apresentaram valores inferiores. Mesmo o de maior valor, da amostra M5G1, apresentou proporção de 31,66% inferior ao apresentado em NETO et.al. (2009). Os resultados de índice de vazios obtidos nos ensaios das amostras possivelmente foram influenciados pelo empacotamento adequado das partículas obtendo um módulo de finura mais adequado.

Em relação aos valores médios de absorção de água, houve o aumento de acordo com o acréscimo de porcentagem de substituição da areia natural por RPU, o que era esperado, corroborando com. NETO et.al. (2009).

5. ANÁLISE ESTATÍSTICA

5.1 Análise Estatística dos resultados obtidos

Visando avaliar o efeito da substituição de areia natural por resíduo de poliuretano (RPU) na obtenção de argamassas. Mas, sabendo que esta substituição pode influenciar diretamente nas propriedades mecânicas, foi feita uma análise estatística para determinar as variáveis que exerceram maior influência no desempenho da fabricação destas argamassas. A análise estatística desta pesquisa foi realizada com base na técnica DOE. Foram três as variáveis de testes analisadas: uma variável categórica que é o tempo de cura (7 e 28 dias); e duas variáveis contínuas, teor e granulometria do resíduo de poliuretano (RPU).

Fixou-se cinco ensaios para analisar a influência das variáveis: compressão axial, módulo de elasticidade, massa específica, absorção e índice de vazios. A relação destas variáveis, dos ensaios e respectivos valores, está apresentada na Tabela 15.

Tabela 15: Quadro resumo dos resultados experimentais dos ensaios das argamassas no estado endurecido

Mistura	Compressão axial		Módulo de elasticidade		Massa esp		Absorção		Índ. Vazios	
	(MPa)		(GPa)		(g/cm ³)		(%)		(%)	
Mistura	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias
M0	5,5	5,7	6,5	10,1	2,3	2,2	13	9	15	10
M0	5,7	7,7	7,3	10,9	2,3	2,3	13	11	15	13
M0	5,5	6,9	6,9	8,8	2,3	2,2	13	9	16	9
M2,5 G1	6,0	7,3	2,4	12,9	2,3	2,2	14	9	16	10
M2,5 G1	4,8	7,4	2,5	18,9	2,4	2,1	14	10	16	11
M2,5 G1	5,0	7,3	2,4	15,9	2,5	2,2	14	10	16	11
M5 G1	4,6	6,5	2,4	15,8	2,3	2,2	14	12	17	14
M5 G1	3,4	7,1	6,5	15,7	2,3	2,2	14	13	17	14
M5 G1	4,1	6,5	4,5	15,8	2,3	2,2	15	12	17	14
M10 G1	3,0	4,2	5,7	7,0	2,2	2,1	15	13	17	14
M10 G1	3,0	4,6	5,1	6,5	2,2	2,2	15	13	18	14
M10 G1	2,4	4,7	5,6	6,7	2,2	2,1	15	12	18	14
M2,5 G2	3,7	6,7	2,7	14,0	2,3	2,2	14	9	17	10
M2,5 G2	3,8	5,5	2,5	13,8	2,3	2,2	14	10	16	11
M2,5 G2	3,3	5,4	2,6	13,9	2,3	2,2	15	10	17	11
M5 G2	3,6	5,3	2,4	11,0	2,1	2,3	14	15	17	18
M5 G2	3,5	5,0	7,1	11,1	2,2	2,2	15	13	17	15
M5 G2	3,3	5,0	4,8	8,7	2,3	2,2	15	13	18	15
M10 G2	3,4	3,7	6,1	9,7	2,2	2,2	12	12	14	14
M10 G2	3,6	4,2	5,4	10,5	2,1	2,2	12	12	14	14
M10 G2	3,6	4,6	5,8	10,1	2,2	2,2	12	12	14	14

5.1.2 Análise estatística dos resultados de compressão axial das argamassas

De acordo com a **Erro! Fonte de referência não encontrada.**32, a resistência à compressão sofre alteração com a incorporação de PU tanto em 7 dias quanto em 28 dias de

cura. Na idade de 7 dias de cura pela 32a, é possível verificar que somente a mistura M2.5G1 não perde resistência mecânica significativa em comparação a mistura referência M0. Na Tabela, o valor de p-value é menor que 0.05 indicando que há diferença significativa entre as médias analisadas. Ainda na Tabela, o valor de R^2 expressa que a quantidade de variância dos dados é explicada pelo modelo linear de regressão é de 89.85%. Contudo, 10.45% restantes são explicados por outras variáveis não consideradas neste estudo.

Na idade de 28 dias de cura pela **Erro! Fonte de referência não encontrada.**32b, é possível verificar que somente as misturas M2.5G1, M2.5G2, M5.0G1, M5.0G2 não perdem resistência mecânica significativa em comparação a mistura referência M0. Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**32, o valor de p-value é menor que 0.05 indicando que há diferença significativa entre as médias analisadas. Ainda na Tabela, o valor de R^2 expressa que a quantidade de variância dos dados que é explicada pelo modelo linear de regressão é de 87.27%. Contudo, 12.73% restantes são explicados por outras variáveis não consideradas neste estudo.

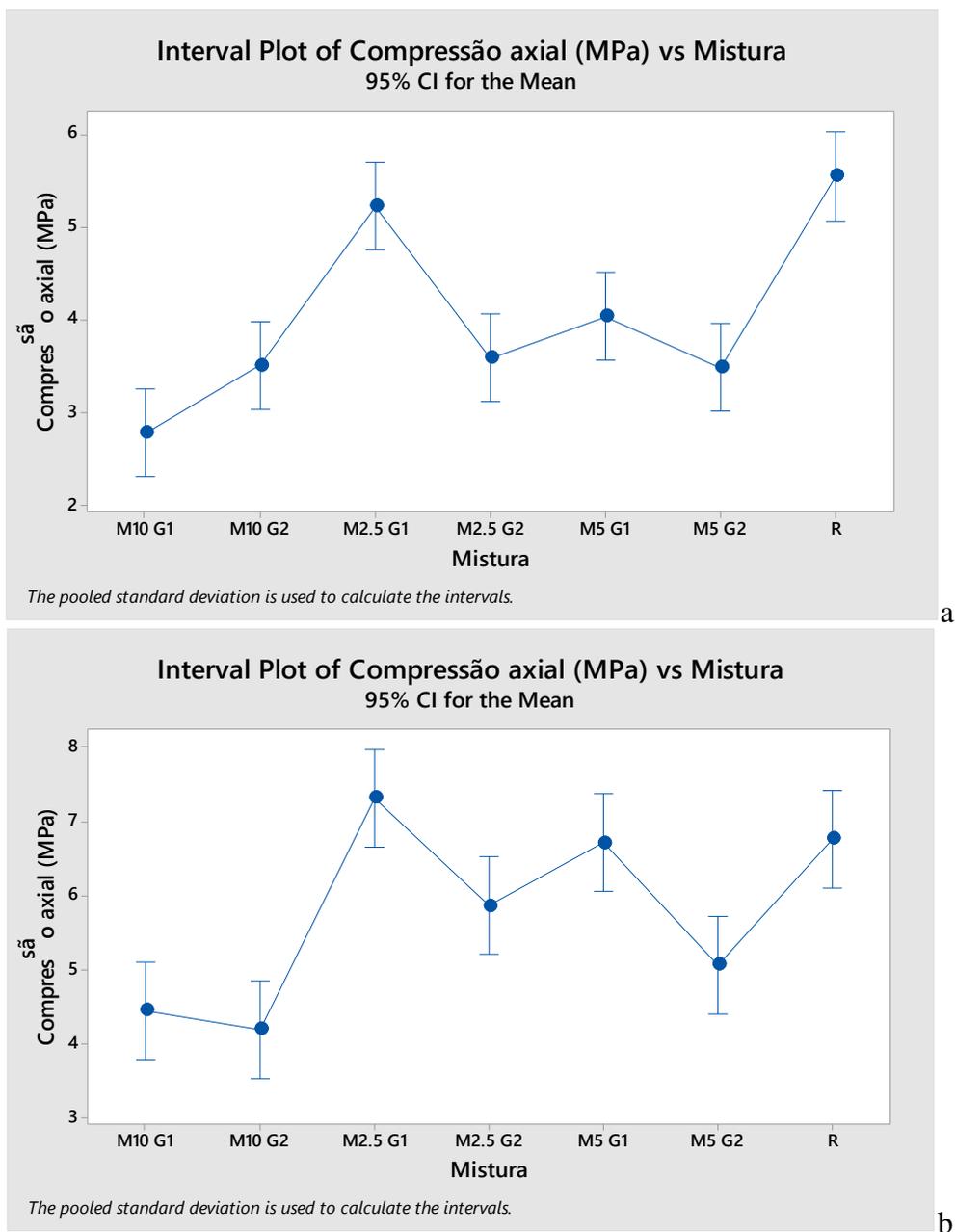


Figura 32: Análise de variância para resistência à compressão axial. (a) 7 dias de cura (b) 28 dias de cura.

Tabela 15: Análise de variância para resistência a compressão axial

7 dias de cura	p-value	0.000
	R ²	89.85%
28 dias de cura	p-value	0.000
	R ²	87.27%

É necessário realizar uma análise estatística para verificar quais grupos de mistura apresentam diferenças significativas entre si. Então, analisando a diferença entre vários grupos

de mistura pela comparação de Tukey, **Erro! Fonte de referência não encontrada.**³³, foi possível testar formalmente quais pares de grupos apresentam diferenças significativas.

Para as idades analisadas, com destaque para 28 dias de cura e com base na Tabela é possível afirmar que existem três diferentes grupos de misturas distintos A, B e C. Analisando a **Erro! Fonte de referência não encontrada.**^{33a} verifica-se que há diferença significativa entre os grupos: M2.5G1 - M10G1; M5G1 - M10G1; M0 - M10G1; M2.5G1 - M10G2; M2.5G2 - M10G2; M5G1 - M10G2; M0 - M10G2; M0 - M5G2.

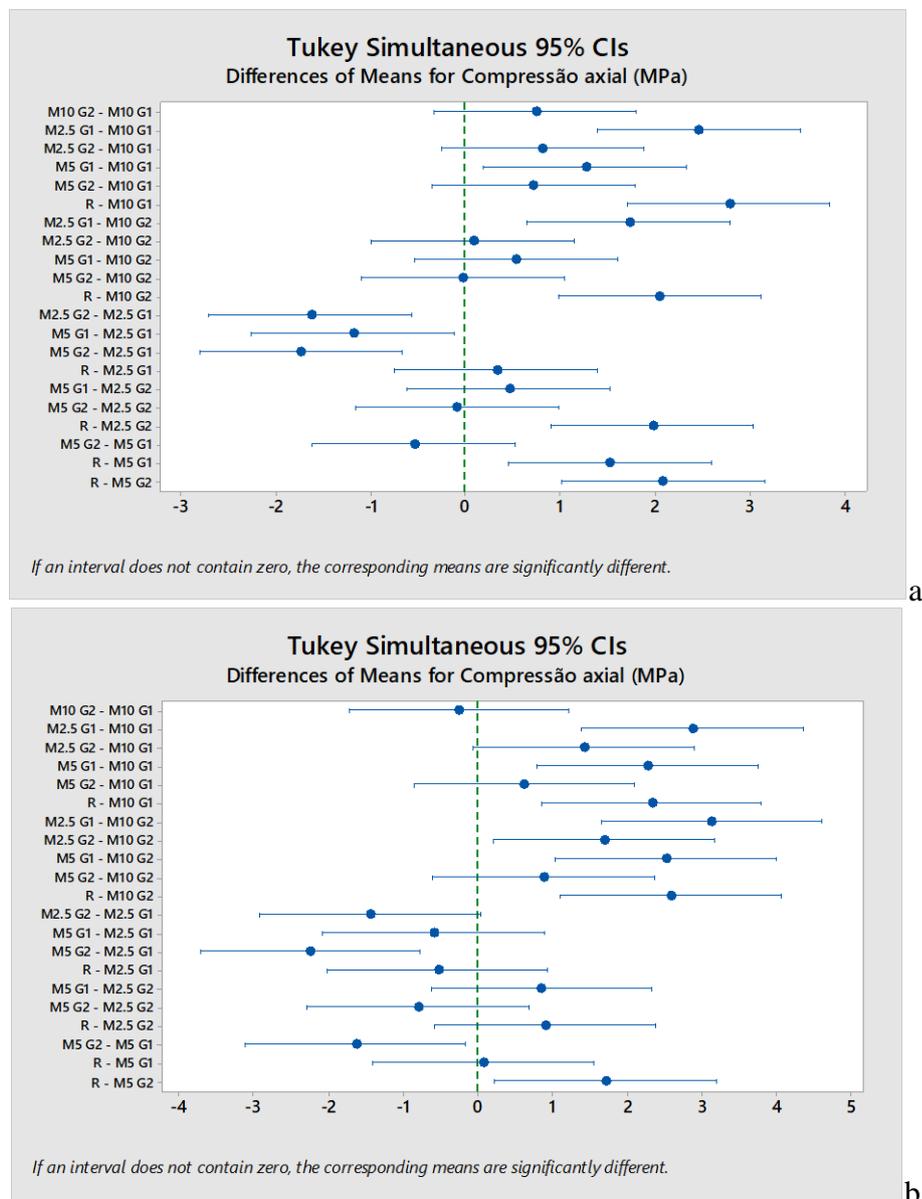


Figura 33: Análise simultânea de Tukey para resistência à compressão axial. (a) 7 dias de cura (b) 28 dias de cura.

Tabela 16: resumo dos dados do modelo adotado para análise estatística de resistência à compressão axial para amostras (IC: intervalo de confiança e Sd: desvio padrão)

Misturas	7 dias de cura		28 dias de cura	
	Média	Grupos	Média	Grupos
M10G1	2.784	A	4.457	A
M10G2	3.517	A	4.197	A
M2.5G1	5.230	B	7.319	A
M2.5G2	3.590	B C	5.873	A B
M5G1	4.040	B C	6.715	B C
M5G2	3.487	B C	5.068	B C
M0	5.553	C	6.773	C

Pela confirmação estatística realizada é possível constatar que de modo geral, a resistência à compressão das argamassas com PU ensaiadas obtiveram maiores valores de resistência à compressão axial para as misturas de M2.5G1 e M5G1 que representam aumento de 8.1% e perda de 0.85%, respectivamente, com relação a M0. Com base em estudos realizados pelos autores McMurry, Begley (2015) que utilizam PU em pó, tanto em argamassa, quanto em concretos convencionais, pode-se verificar que há uma tendência a perda de resistência mecânica. Contudo, valores de adição em relação a massa do cimento próximos de 2.0% a 5.0% podem representar manutenção ou aumento da resistência mecânica.

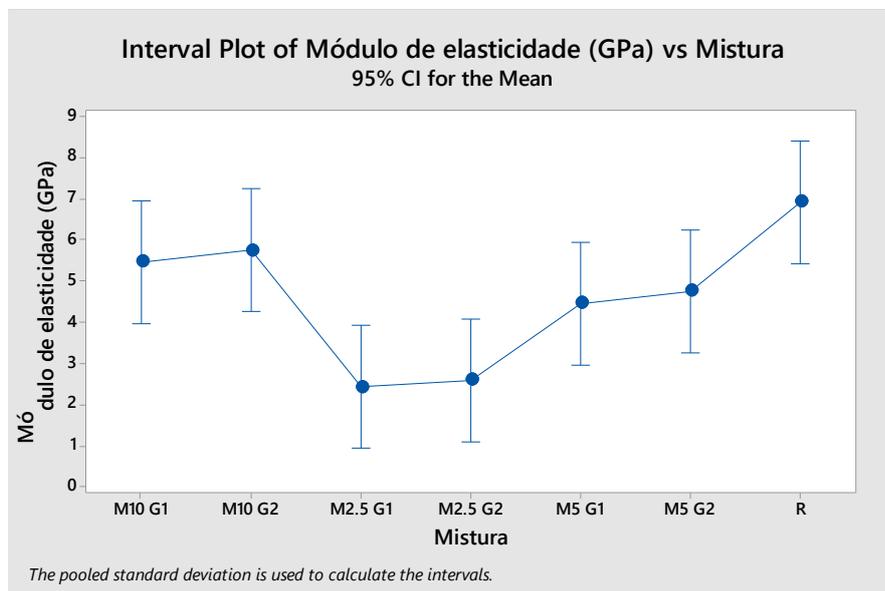
De acordo com Albany (2013) a adição de material polimérico em determinadas porcentagens nos produtos cimentícios comprometem a zona de ligação interna entre agregados e pasta de cimento. Os polímeros possuem em geral menor resistência mecânica e menor massa específica, se por um lado prejudicam a resistência mecânica por outro ajudam ao concreto a obter menor peso por unidade de volume (IONESCU, 2005).

5.1.2 Análise estatística dos resultados de módulo de elasticidade das argamassas

De acordo com a **Erro! Fonte de referência não encontrada.**³⁴, o módulo de elasticidade sofre alteração com a incorporação de PU tanto em 7 dias quanto em 28 dias de cura. Na idade de 7 dias de cura pela **Erro! Fonte de referência não encontrada.**^{34a}, é possível verificar que ocorre diminuição do módulo de elasticidade para todas as misturas com relação a M0. Na Tabela , o valor de p-value é menor que 0.05, indicando que há diferença

significativa entre as médias analisadas. Ainda na Tabela , o valor de R^2 expressa que a quantidade de variância dos dados que é explicada pelo modelo linear de regressão é de 70.57%. Contudo, 29.57% restantes são explicados por outras variáveis não consideradas neste estudo.

Na idade de 28 dias de cura pela **Erro! Fonte de referência não encontrada.**34b, verifica-se que as misturas M2.5G1, M2.5G2 e M5.0G1 aparentemente evoluíram que apresentaram módulo de elasticidade mais elevado que a mistura M0. Na Tabela 4, o valor de p-value é menor que 0.05 indicando que há diferença significativa entre as médias analisadas. Ainda na Tabela 4, o valor de R^2 expressa que a quantidade de variância dos dados é explicada pelo modelo linear de regressão é de 73.70%. Contudo, 26.39% restantes são explicados por outras variáveis não consideradas neste estudo.



a

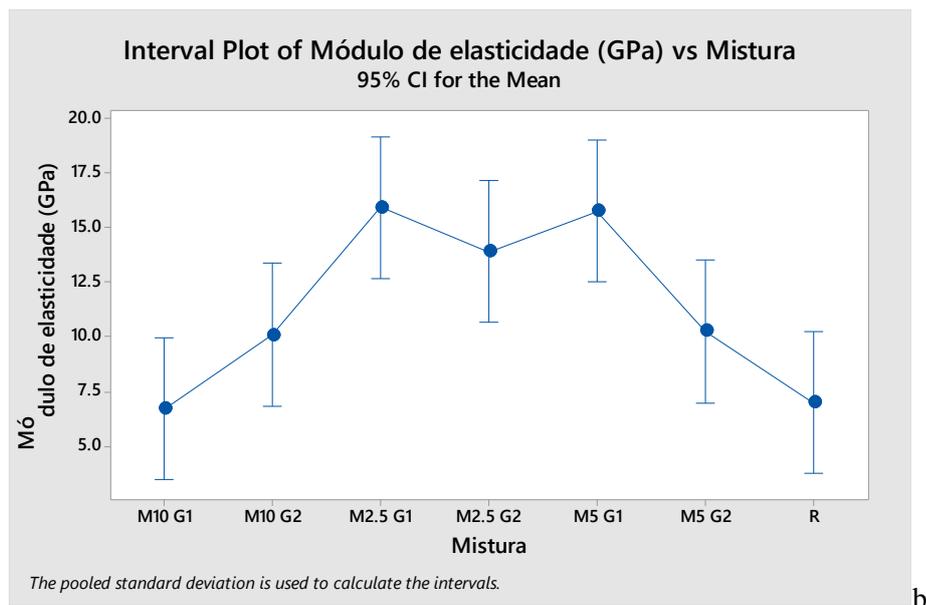


Figura 34: Análise de variância para módulo de elasticidade (a) 7 dias de cura (b) 28 dias de cura.

Tabela 17: análise de variância para módulo de elasticidade

7 dias de cura	p-value	0.004
	R ²	70.57%
28 dias de cura	p-value	0.002
	R ²	73.70%

Realizando uma análise estatística para verificar quais grupos de mistura apresentam diferenças significativas entre si. Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**^{34a} é mostrada comparação de grupos pelo método de Tukey em que foi possível testar formalmente quais pares de grupos apresentam diferença significativas entre si.

Para as idades analisadas, com destaque para 28 dias de cura e com base na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**³⁴ é possível afirmar que existem dois grupos de misturas distintos A e B. Analisando **Erro! Fonte de referência não encontrada.** verifica-se que há diferença significativa entre os grupos: M2.5G1 - M10G1, M5G1 - M10G1, M0 - M2.5G1, M0 - M5G1.

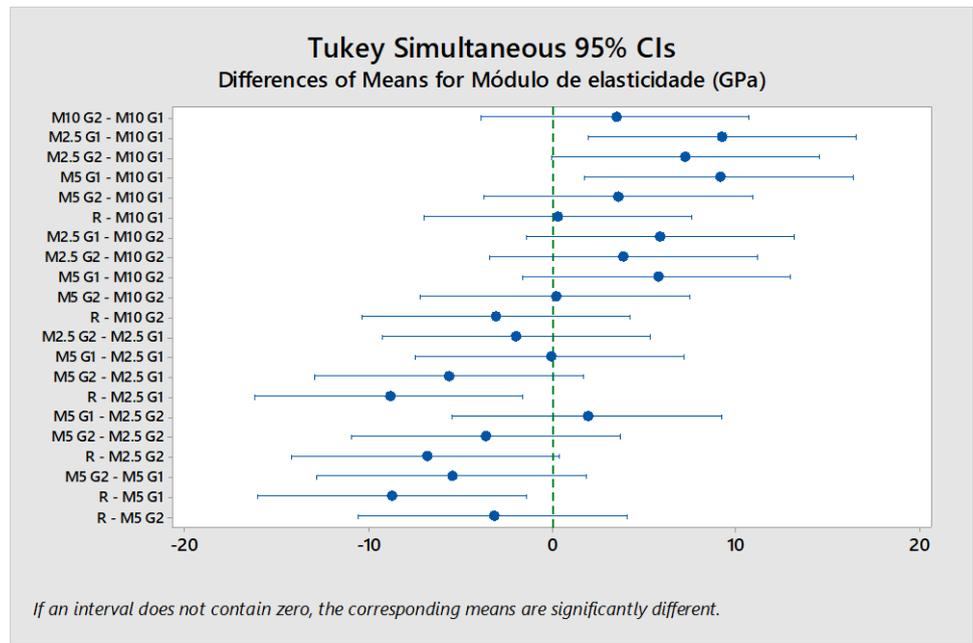
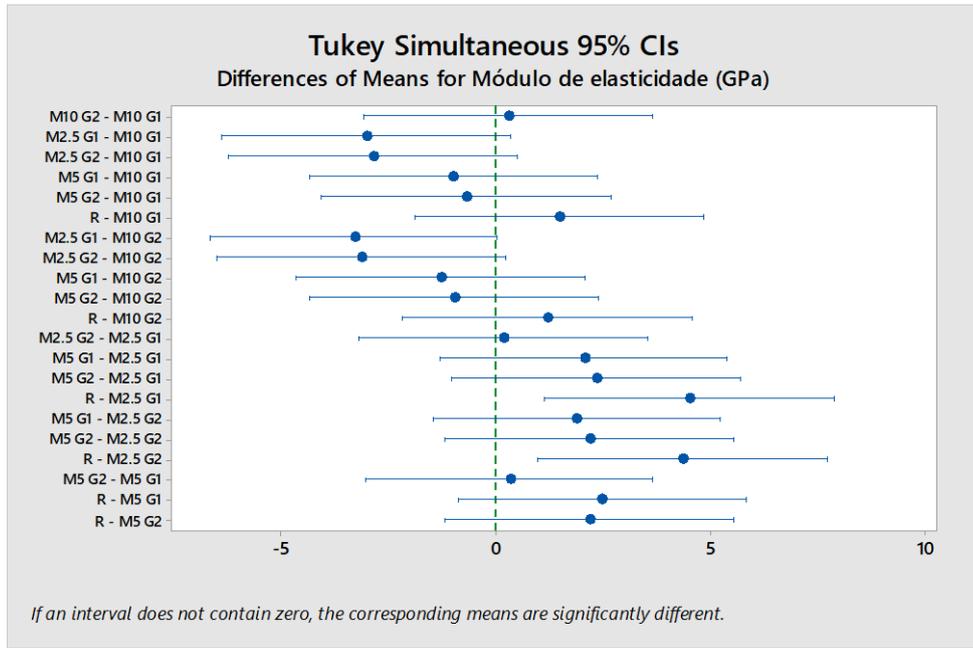


Figura 35: Análise simultânea de Tukey para módulo de elasticidade (a) 7 dias de cura. (b) 28 dias de cura.

Tabela 18: Resumo dos dados do modelo adotado para análise estatística do módulo de elasticidade para amostras (IC: intervalo de confiança e Sd: desvio padrão)

Misturas	7 dias de cura		28 dias de cura	
	Média	Grupos	Média	Grupos
M10 G1	5.48	A	6.722	A
M10 G2	5.762	A B	10.102	A
M2.5 G1	2.437	A B	15.920	A B
M2.5 G2	2.603	A B	13.907	A B
M5 G1	4.47	A B	15.760	A B
M5 G2	4.78	B	10.250	B
M0	6.938	B	7.000	B

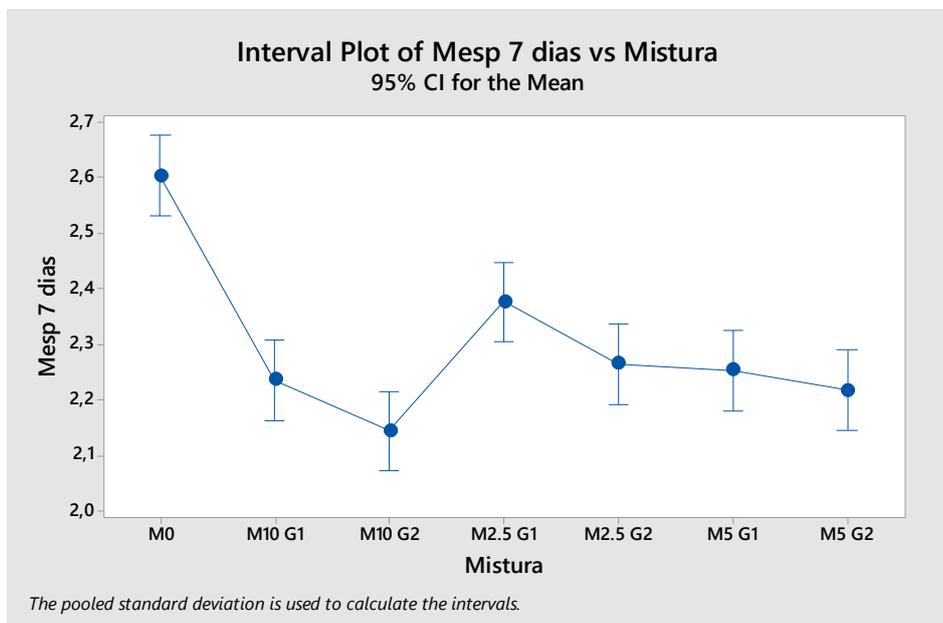
Com base na análise estatística realizada com os dados para o módulo de elasticidade é possível confirmar os melhores resultados foram obtidos pelas misturas M2.5G1, M2.5G2 e M5G1 que obtiveram aumento de 127%, 98% e 125%, respectivamente, com relação a M0. O módulo de elasticidade é um coeficiente físico que representa matematicamente o comportamento de rigidez de um material, submetido a tensão, e com isso sofrendo deformações (LIU et al., 2015). Ele é influenciado principalmente pela composição do material, materiais metálicos ($E_{aço}=200\text{GPa}$) possuem em geral elevado módulo de elasticidade em contra partida materiais poliméricos possuem baixo módulo de elasticidade (Eborracha= $0,0034\text{GPa}$). Os resultados obtidos pelos experimentos mostram que apesar de estar adicionando material polimérico ao concreto é possível obter ganho elevados de módulo de elasticidade. Estudos realizado pelos autores (SELMO; HELENE, 1989) mostram essa tendência de ganho de rigidez em produtos cimentícios com uso de materiais poliméricos em faixas de adições específicas e controladas. Pelo fato de estar se utilizando material em pó com módulo de finura na zona ótima para agregados miúdos, segundo (GADEA et al., 2010) provavelmente este agregado está contribuindo com o empacotamento granulométrico da argamassa.

5.1.3 Análise estatística dos resultados de massa específica das argamassas

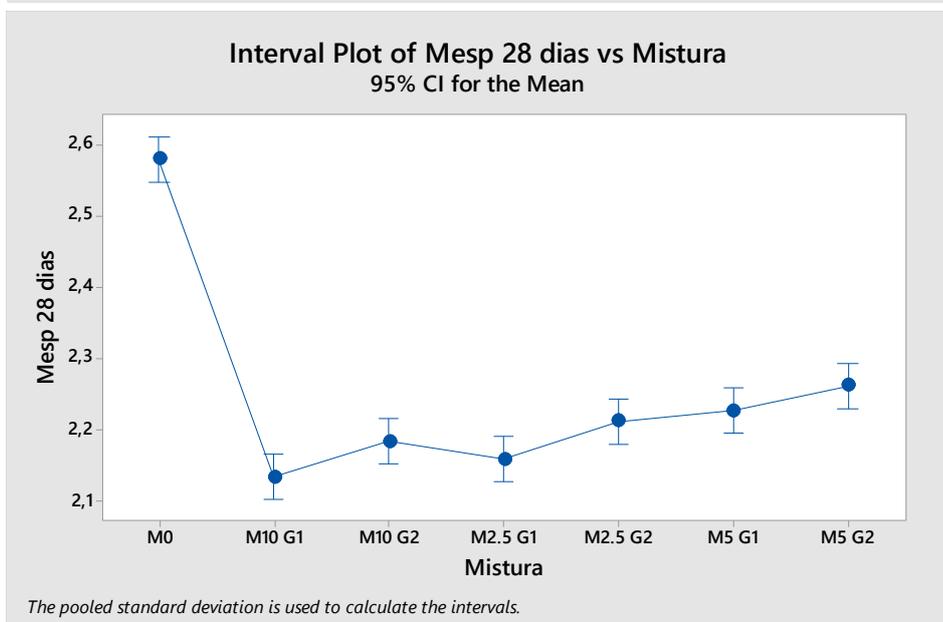
De acordo com a **Erro! Fonte de referência não encontrada.36**, a massa específica sofre alteração com a incorporação de PU tanto em 7 dias quanto em 28 dias de cura. Na idade

de 7 dias de cura pela **Erro! Fonte de referência não encontrada.36a** pode-se verificar que ocorre diminuição da massa específica para as todas as misturas analisadas. Na Tabela o valor de p-value apresenta-se menor que 0.05, indicando que há diferença significativa entre as médias analisadas. Ainda na Tabela o valor de R^2 expressa que a quantidade de variância dos dados que é explicada pela modelo linear de regressão é de 89,67%. Com isso 10.33% são explicados por outras variáveis não consideradas neste estudo.

Analisando a massa específica para 28 dias de cura, de acordo com a **Erro! Fonte de referência não encontrada.36b** pode-se verificar que também ocorre diminuição da massa específica para as todas misturas analisadas. Na Tabela o valor de p-value apresenta-se menor que 0.05, indicando que há diferença significativa entre as médias analisadas. Ainda na Tabela o valor de R^2 expressa que a quantidade de variância dos dados que é explicada pela modelo linear de regressão é de 97,82%. Ou seja, quase a totalidade da variação da resposta, massa específica, pode ser explicada pela modificação das variáveis granulometria e quantidade de PU na argamassa de cimento Portland.



a



b

Figura 36: Análise de variância para massa específica (a) 7 dias de cura. (b) 28 dias de cura.

Tabela 19: Análise de variância para massa específica

7 dias de cura	p-value	0,000
	R ²	89,67%
28 dias de cura	p-value	0,000
	R ²	97,82%

De maneira a verificar pontualmente quais grupos de mistura são estatisticamente distintos entre si realizou-se o teste de Tukey, para dar suporte as análises a Tabela mostra que

para 7 dias há três grupos e para 28 dias há quatro grupos distintos. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.**³⁷ mostra este teste para as variáveis e respostas consideradas neste estudo. De maneira geral, tanto para 7 dias quanto para 28 dias de cura a diferenciação entre os grupos são semelhantes, dando destaque para a idade de 28 dias pode-se confirmar que a mistura M0 se diferencia das demais. As misturas M10G1, M2.5G1 e M10G2 são iguais e as misturas M2.5G2, M5G1 e M5G2 também são iguais.

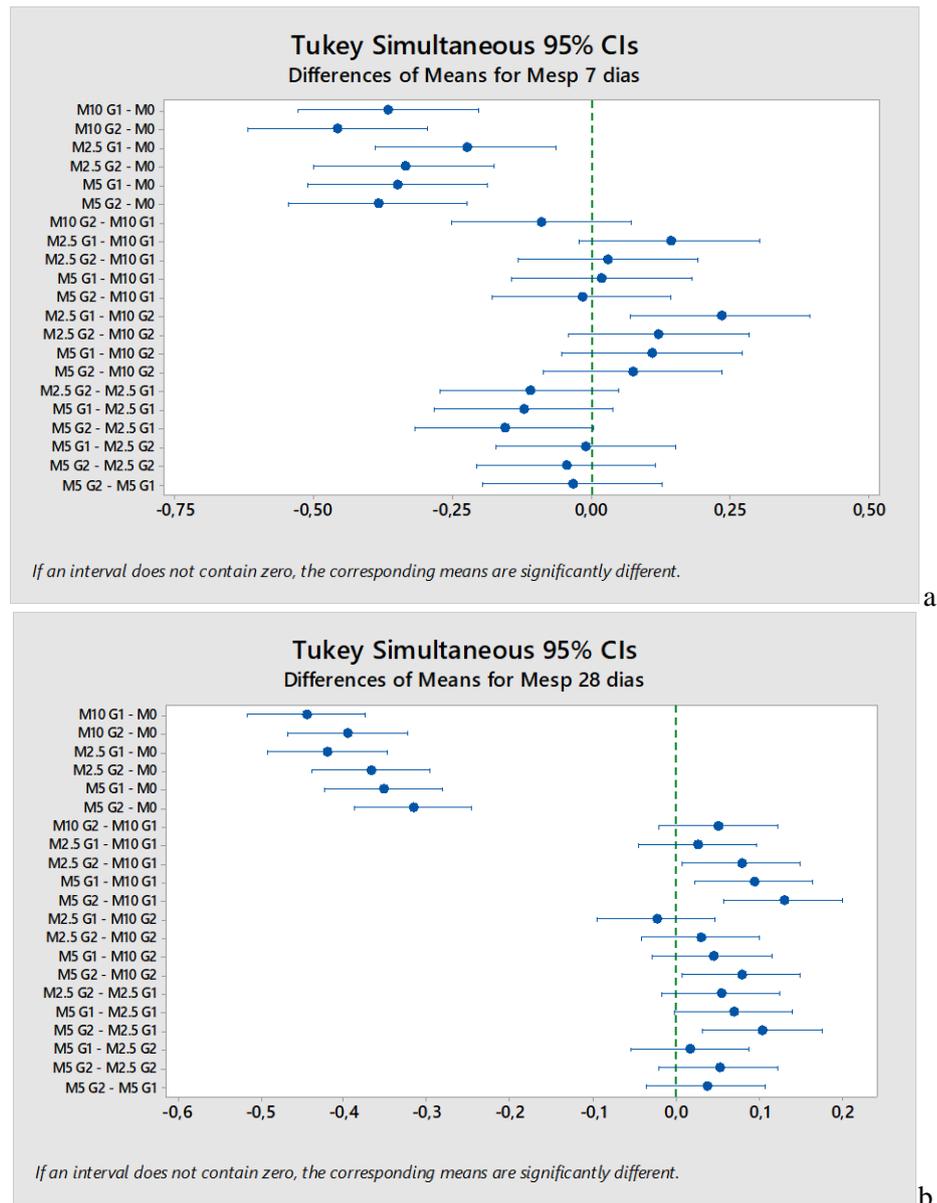


Figura 37: Análise simultânea de Tukey para massa específica. (a) 7 dias de cura. (b) 28 dias de cura.

Tabela 20: Resumo dos dados do modelo adotado para análise estatística da massa específica para amostras (IC: intervalo de confiança e Sd: desvio padrão)

Misturas	7 dias de cura		28 dias de cura	
	Média	Grupos	Média	Grupos
M10G1	2.24	A	2.134	A
M10G2	2.14	B	2.184	B
M2.5G1	2.37	B C	2.159	B C
M2.5G2	2.26	B C	2.212	B C
M5G1	2.25	B C	2.227	C D
M5G2	2.21	B C	2.262	C D
M0	2.29	C	2.199	D

Estudos semelhantes com utilização de PU para promover a diminuição da massa por unidade de volume pode ser encontrado em (JUNCO et al., 2012). Segundo (SOMARATHNA et al., 2018) a utilização de polímero para execução de produtos cimentícios tem seu ponto forte na produção final de elementos de concreto leves. Aliado a diminuição de peso e manutenção de resistência mecânica, pode se obter um produto final cuja aplicação é vantajosa em edificações de concreto armado, pois, o peso próprio da estrutura poderá ser diminuído, assim a estrutura como um todo será menos robusta e onerosa.

5.1.4 Análise estatística dos resultados de absorção de água das argamassas

De acordo com a Figura 38, a absorção de água sofre alteração com a incorporação de PU tanto em 7 dias quanto em 28 dias de cura. Analisando na idade de 7 dias de cura pela Figura 38a pode-se verificar que ocorre aumento da absorção apenas para mistura M2.5G1 e diminuição para M10G2, com relação a mistura referência M0. Na Tabela , o valor de p-value apresenta-se menor que 0.05, indicando que há diferença significativa entre as médias analisadas. Ainda na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**38 o valor de R² expressa que a quantidade de variância dos dados que é explicada pela modelo linear de regressão é de 95.50%.

A absorção de água para 28 dias de cura, de acordo com a Figura 38b pode-se verificar que somente as misturas M2.5G1 e M2.5G2 obtém absorção de água no mesmo patamar que a mistura referência M0. As demais misturas contem valores de absorção maior que a M0, isso levando em contar o desvio padrão das médias.

Na Tabela 21 o valor de p-value apresenta-se menor que 0.05, indicando que há diferença significativa entre as médias analisadas. Ainda na Tabela o valor de R^2 expressa que a quantidade de variância dos dados que é explicada pela modelo linear de regressão é de 84.82%. Existindo, portanto, grande correlação entre as variáveis avaliadas e alteração nas respostas.

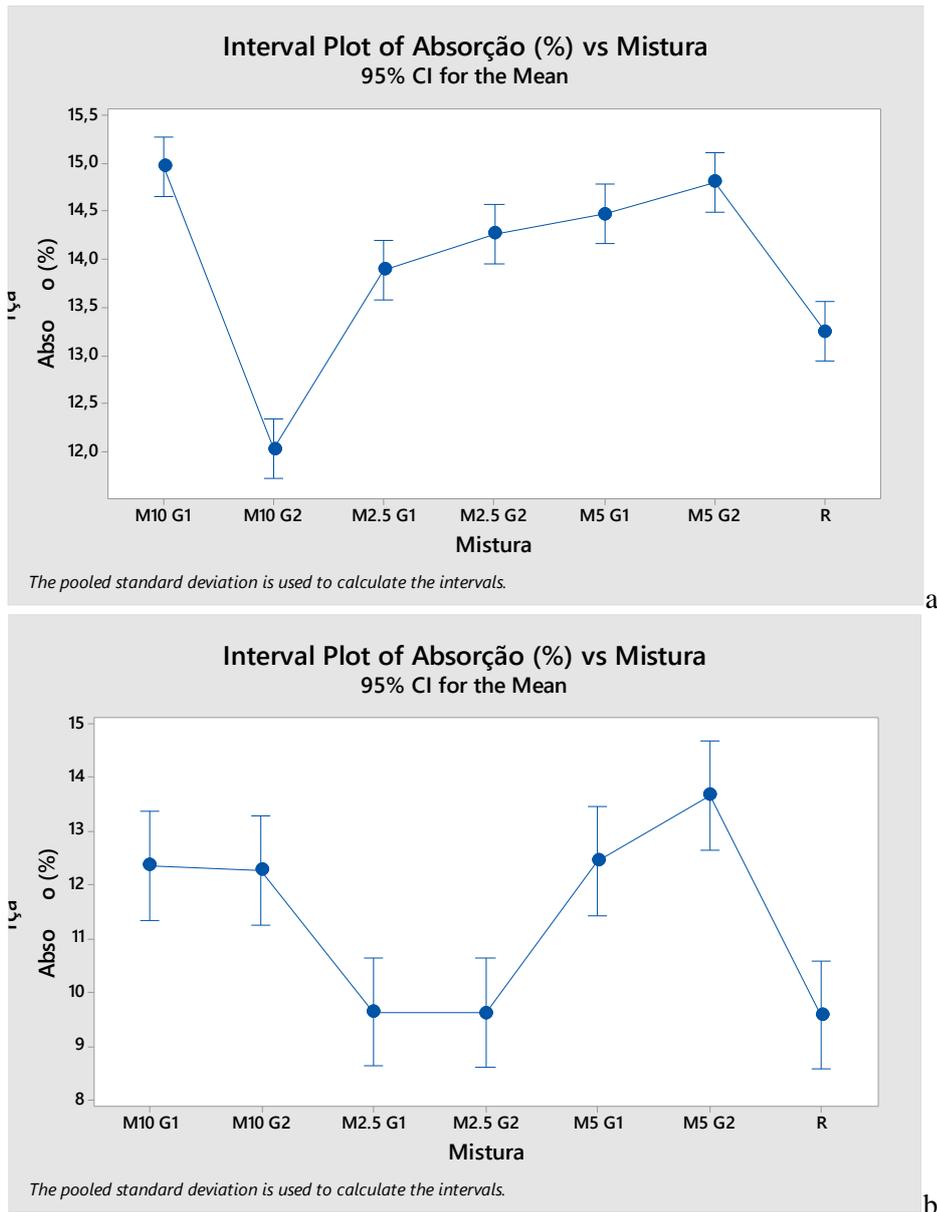


Figura 38: Análise de variância para absorção de água. (a) 7 dias de cura. (b) 28 dias de cura.

Tabela 21: Análise de variância para absorção de água

7 dias de cura	p-value	0.000
	R ²	95.50%
28 dias de cura	p-value	0.000
	R ²	84.82%

Para a verificar quais grupos de mistura são estatisticamente distintos entre si realizou-se o teste de Tukey, para dar suporte as análises.

A Tabela 22 demonstra a realização do teste de Tukey para analisar entre quais grupos e médias ocorrem diferença. Para 7 dias há quatro grupos e para 28 dias há dois grupos distintos. A Figura 39 mostra este teste para as variáveis e respostas consideradas neste estudo. É nítido que a diferenciação entre os grupos muda com a variação no tempo de cura. Analisando principalmente os resultados para 28 dias de cura é possível verificar que vários grupos possuem diferença significativa entre si. De certa forma isto fato comprova que as misturas M2.5G1, M2.5G2 e M0 são iguais entre si, pois, estas diferem das demais misturas. Em suma os grupos que são distintos são: M2.5G1 - M10G1; M2.5G2 - M10G1; R - M10G1; M2.5G1 - M10G2; M2.5G2 - M10G2; M5G1 - M2.5G1; M5G1 - M2.5G2; M5G2 - M2.5G2; R - M5G1; R - M5G2.

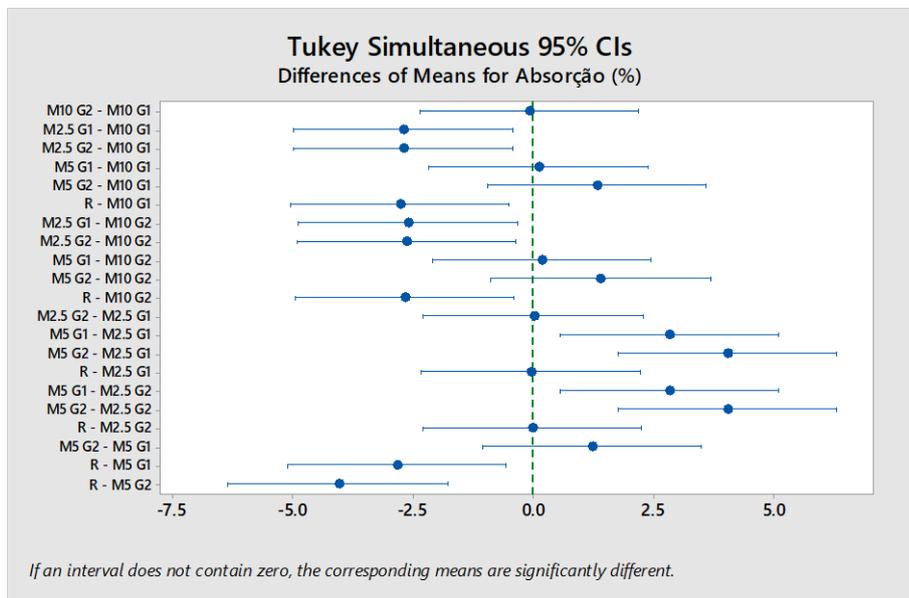
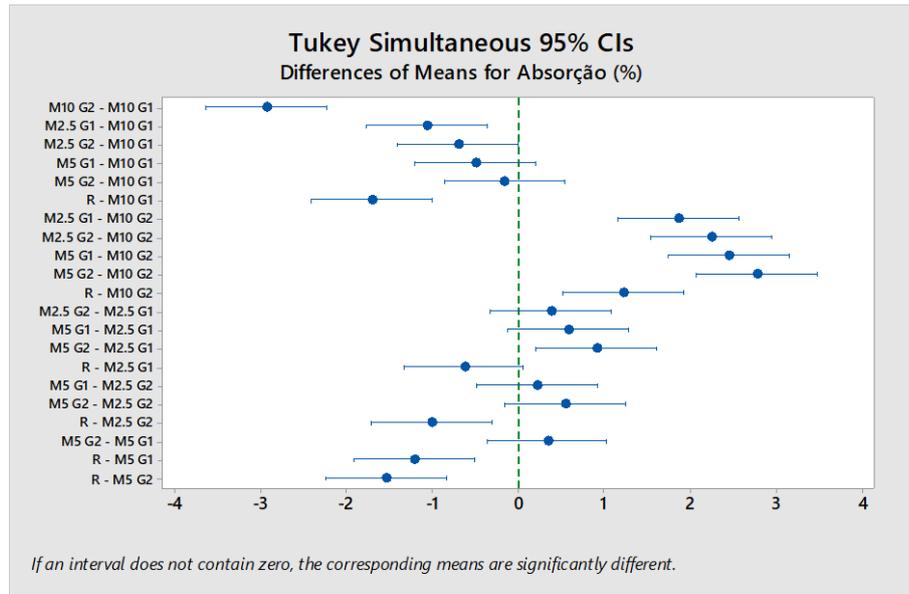


Figura 39: Análise simultânea de Tukey para absorção de água. (a) 7 dias de cura. (b) 28 dias de cura.

Tabela 22: Resumo dos dados do modelo adotado para análise estatística da absorção de água para amostras (IC: intervalo de confiança e Sd: desvio padrão)

Misturas	7 dias de cura		Misturas	28 dias de cura	
	Média	Grupos		Média	Grupos
M10 G1	14.97	A	M10 G1	13.66	A
M10 G2	14.80	A	M10 G2	12.45	A
M2.5 G1	14.47	A B	M2.5 G1	12.36	A
M2.5 G2	14.27	A B	M2.5 G2	12.27	A
M5 G1	13.89	B C	M5 G1	9.65	B
M5 G2	13.25	C	M5 G2	9.63	B
M0	12.03	D	M0	9.59	B

A absorção de água em produtos cimentícios é um importante parâmetro para classificação de qualidade de argamassas. Uma vez que é a partir da umidade ocasionada pela presença de água que ocorrem as principais patologias relacionada as construção (SALAS et al., 2016). Segundo (CORINALDESI; MAZZOLI; MORICONI, 2011) a absorção de água de produtos cimentícios está fortemente ligada a microestrutura deste material. Fatores como volume de vazios e homogeneidade dos materiais empregados também afetam fortemente a absorção. De certa forma pode-se correlacionar estas hipóteses com o comportamento ocorrido nas argamassas medidas, pois, percebe-se maior absorção nas argamassas com granulometria mais graúda e em maior porcentagem.

É importante notar que há uma tendência prejudicial com relação a absorção de água e volume de vazios quando se utiliza resíduos de natureza sintética que não sejam naturais (ALALOUL; JOHN; ALI, 2020). Em resíduos poliméricos que em geral possuem menor massa específica há maior tendência de aprisionamento de ar nos superfície deste agregado no momento de execução da argamassa (JUNCO et al., 2012). Outro fator é a fraca zona de transição interna que frequentemente se apresentam deterioradas com ocorrência de falta de ligação e vazios que é ocorrência a exsudação interna (MUÑOZ-RUIPEREZ et al., 2018).

6. CONCLUSÕES

O presente trabalho avaliou a substituição da areia natural por resíduo de poliuretano na forma de pó, proveniente da reciclagem de refrigeradores, variando teor e a granulometria nas propriedades no estado endurecido de argamassas.

A partir de uma revisão mais aprofundada na literatura em bases de dados sobre a adição de resíduos em argamassa, em especial os resíduos poliméricos, constatou-se uma crescente evolução no número de trabalhos publicados, principalmente nos últimos cinco anos, fato que motivou esta pesquisa. Os traços utilizados nos ensaios foram definidos por meio do método estatístico de experimento DOE, a qual permitiu conhecer as condições otimizadas da incorporação de RPU como substituições da areia natural, cujas proporções foram 2,5%, 5,0% e 10,0%.

A caracterização dos materiais indicou o resíduo de poliuretano RPU como agregado miúdo leve em função da sua granulometria. Com o estudo da curva granulométrica, decidiu-se preparar os traços a partir de duas granulometrias do RPU. Ademais, como o objetivo do trabalho foi avaliar as interferências de teor e granulometria do RPU nas propriedades no estado endurecido de argamassas, não foram utilizados plastificantes nos traços.

Os principais resultados obtidos neste trabalho permitiram formular as seguintes conclusões:

- Conforme já observado na literatura, os ensaios de compressão simples demonstram redução dos valores de resistência mecânica nas amostras com incorporação de RPU em relação a amostra referência, possivelmente pelo aumento do índice de vazios que leva a redução da resistência mecânica;
- A ligação entre as partículas de RPU e a matriz de pasta de cimento fica comprometida, resultando no empobrecimento da resistência de aderência;
- O melhor comportamento de resistência mecânica das amostras com incorporação de RPU foi a de proporção de 2,5% de substituição com a granulometria mais fina, a qual apresentou redução de menos de 1% em relação a amostra de referência, não representando diferença significativa com a argamassa sem incorporação de RPU.
- Os resultados de resistência à compressão evidenciaram a influência da granulometria dos resíduos RPU, sendo que os traços com incorporação de PRU de menor granulometria provavelmente apresentou melhor empacotamento das partículas, indicando corpos de prova com menos poros, quando comparado com as amostras com partículas de RPU mais grossas.
- Mesmo com as reduções de resistência mecânica com incorporação de RPU, alguns tipos de amostras apresentaram valores satisfatórios comparados com os limites

normatizados. As amostras com incorporação de RPU na granulometria mais fina, nas proporções de 2,5% e 5,0% de substituição, apresentaram valores superiores de 35% e 24,4%, respectivamente, em relação ao limite da norma americana ASTM C-270, podendo ser argamassas aplicadas em alvenaria estrutural.

- A partir das análises dos resultados, tendo os limites de resistência definidos pela norma americana ASTM C-270, as argamassas com incorporação de resíduos finos de RPU, com substituição da areia natural de até 5,0% para ambas as granulometrias, podem ser indicadas no uso estrutural;
- Em relação a norma europeia BSI-5628, os valores médios de resistência mecânica em todos os traços com substituição da areia por RPU foram superiores aos limites indicados na norma. Especial atenção para os valores de resistência mecânica do traço M2.5G.1, em comparação com o limite da norma, foi aproximadamente 103% superior, corroborando com indicação do uso estrutural desta argamassa. Vale ressaltar que os traços utilizados para confecção dos corpos de prova estão dentro do intervalo previsto pela BSI-5628;
- Apesar de não apresentar maiores detalhes, a NBR 13281:2005 apresenta classes de resistência à compressão para argamassas para assentamento e revestimento. Segundo análise dos valores de resistência a compressão obtidos nos ensaios, todas as amostras de argamassa com incorporação de RPU são enquadradas na classe P4 da NBR 13281:2005. Mesma na falta de outros ensaios prevista na norma supracitada, acredita-se que as argamassas com incorporação de RPU, dentro das proporções de substituição estudadas, podem ser indicadas para uso de revestimento.
- Os resultados do módulo de elasticidade dinâmico se apresentaram satisfatórios, especialmente os obtidos das amostras com 2,5% e 5,0% de substituição da areia natural por RPU, de granulometria fina, em relação a argamassa referência. O módulo de elasticidade é importante propriedade mecânica, uma vez que está relacionado ao comportamento elástico, a deformabilidade e a rigidez de um revestimento de argamassa. A literatura, de forma geral, apresenta redução do módulo de elasticidade com incorporação de resíduos poliméricos. Porém, os resultados obtidos neste trabalho mostram exatamente o inverso. Possíveis razões do aumento do módulo de elasticidades nas amostras com incorporação de RPU podem estar relacionadas com o fato do poliuretano ser hidrofóbico ou a forma de absorção de água. A granulometria fina apresenta um maior teor de material pulverulento e, conseqüentemente, apresenta um grau de empacotamento maior resultando em uma maior densidade de massa.

Diante dessas considerações, as argamassas com incorporação de RPU, nas proporções 2,5% e 5,0% com a granulometria inferior a 1,2mm, pode ser indicada para uso estrutural, como revestimento, no assentamento de alvenaria estrutural, para reparos em estruturas de concreto. Vale ressaltar a contribuição com o meio ambiente, uma vez que emprega resíduos que são descartados na natureza.

6.1. Sugestão para trabalhos futuros

No decorrer do desenvolvimento do trabalho foram sendo observadas novas propostas de abordagem para a reutilização dos resíduos RPU. Ademais, alguns ensaios não foram realizados. Desta forma, são apresentadas algumas sugestões para futuros estudos sobre a incorporação de RPU em argamassas:

- ✓ Ensaio de tração na flexão;
- ✓ Ensaio de tração ao arrancamento
- ✓ Realizar ensaios de imagem da microestrutura da argamassa;
- ✓ Realizar ensaios de retração no estado fresco e endurecido;
- ✓ Propor um estudo da relação da resistência de aderência à e da resistência de aderência ao cisalhamento e quantificar suas contribuições para o uso estrutural das argamassas
- ✓ Refazer os traços com uso de plastificantes
- ✓ Refazer os traços com uma gama maior de módulos de finura.

7. BIBLIOGRAFIA

AARONTAY. **7 reasons why you should try Lens.org (updated to version Release 5.16.0 — March 2019) | by Aaron Tay | Medium.** Disponível em: <<https://aarontay.medium.com/6-reasons-why-you-should-try-lens-org-c40abb09ec6f>>.

Acesso em: 7 dez. 2020.

AARONTAY. **7 reasons why you should try Lens.org (updated to version Release 5.16.0 — March 2019) | by Aaron Tay | Medium.** Disponível em: <<https://aarontay.medium.com/6-reasons-why-you-should-try-lens-org-c40abb09ec6f>>.

Acesso em: 7 dez. 2020.

ABCP. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Guia básico de utilização do cimento Portland. **Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis**, v. 53, n. 9, p. 1689–1699, 2015.

| **WWF Brasil.** Disponível em: <<https://www.wwf.org.br/>>. Acesso em: 8 abr. 2021.

AARONTAY. **7 reasons why you should try Lens.org (updated to version Release 5.16.0 — March 2019) | by Aaron Tay | Medium.** Disponível em: <<https://aarontay.medium.com/6-reasons-why-you-should-try-lens-org-c40abb09ec6f>>.

Acesso em: 7 dez. 2020.

ABCP. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Guia básico de utilização do cimento Portland. **Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis**, v. 53, n. 9, p. 1689–1699, 2015.

ALALOUL, W.; JOHN, V.; ALI, M. Mechanical and Thermal Properties of Interlocking Bricks Utilizing Wasted Polyethylene Terephthalate. **International Journal of Concrete Structures and Materials**, v. 14, 2020.

ALKMIM, F. F. História geológica de minas gerais. **Departamento de Geologia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Morro do Cruzeiro s/n. 35.400.000 Ouro Preto, MG, [s.d.]**.

ARQUITETANDO. **Hoje é dia de pré história | Arquetetando.**

AWASTHI, A. K. et al. Modelling the correlations of e-waste quantity with economic increase. **Science of The Total Environment**, v. 613–614, p. 46–53, 2018.

CNI – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. Brasília 2017. **A indústria elétrica e eletrônica impulsionando a economia verde e a sustentabilidade / Confederação Nacional da Indústria, Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica –**

Brasília :, p. 62, 2017.

CORINALDESI, V.; MAZZOLI, A.; MORICONI, G. Mechanical behaviour and thermal conductivity of mortars containing waste rubber particles. **Materials & Design**, v. 32, n. 3, p. 1646–1650, 2011.

ENGENHARIA, G. DA. **Argamassas: tipos e aplicações - Guia da Engenharia**.

GADEA, J. et al. Lightweight mortar made with recycled polyurethane foam. **Cement and Concrete Composites**, v. 32, n. 9, p. 672–677, 2010.

HAN, E. S.; GOLEMAN, DANIEL; BOYATZIS, RICHARD; MCKEE, A. 濟無No Title No Title. **Journal of Chemical Information and Modeling**, v. 53, n. 9, p. 1689–1699, 2019.

HELENE, P.; ANDRADE, T. **Concreto de cimento portland**. [s.l: s.n.].

JUNCO, C. et al. Durability of lightweight masonry mortars made with white recycled polyurethane foam. **Cement and Concrete Composites**, v. 34, n. 10, p. 1174–1179, 2012.

LIU, S. et al. Cyclic compression behavior and energy dissipation of aluminum foam–polyurethane interpenetrating phase composites. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 78, p. 35–41, 2015.

MARTÍN-MARTÍN, A. et al. **Google Scholar, Microsoft Academic, Scopus, Dimensions, Web of Science, and OpenCitations' COCI: a multidisciplinary comparison of coverage via citations**. [s.l.] Springer International Publishing, 2020.

MUÑOZ-RUIPEREZ, C. et al. Durability of lightweight concrete made concurrently with waste aggregates and expanded clay. **Structural Concrete**, v. 19, n. 5, p. 1309–1317, 2018.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. [s.l: s.n.].

PRONI, M. W. et al. Análise Do Potencial Da Indústria Da Linha Branca No Ceará. 2008.

ROGUE, L. R. Universidade Federal De Itajubá Itajubá-Mg Itajubá-Mg. 2020.

SALAS, M. et al. Recycled polyamide mortars modified with non-ionic surfactant: physical and mechanical strength after durability tests. **Materials and Structures**, v. 49, p. 3385, 2016.

SANTIAGO, C. C. **Argamassas tradicionais de cal**. [s.l: s.n.].

SELMO, S. M. DE S.; HELENE, P. R. L. **Dosagem de argamassas de cimento Portland e cal para revestimento externo de fachada dos edifícios**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 1989.

SOMARATHNA, H. M. C. C. et al. The use of polyurethane for structural and infrastructural engineering applications: A state-of-the-art review. **Construction and Building**

Materials, v. 190, p. 995–1014, 2018.

VAZ, C. R. Florianópolis. 2016.

VIANA, C. E. et al. Influência da incorporação de resíduo de escória de fluxo de soldagem nas propriedades tecnológicas de argamassa de múltiplo uso e cerâmica vermelha para construção civil. **Cerâmica**, v. 56, n. 337, p. 83–90, 2010.

XAVIER, L. H. Gestão De Resíduos Eletroeletronicos : Proposta Para Implementação De Sistema De Logística Reversa De. n. 2007, p. 1–13, 2007.

XAVIER, L. H.; NASCIMENTO, H.; LINS, F. **Manual para a destinação de resíduos eletroeletrônicos: orientação ao cidadão sobre como dispor adequadamente os resíduos eletroeletrônicos na cidade do Rio de Janeiro**. [s.l: s.n.].

AARONTAY. **7 reasons why you should try Lens.org (updated to version Release 5.16.0 — March 2019) | by Aaron Tay | Medium**. Disponível em: <<https://aarontay.medium.com/6-reasons-why-you-should-try-lens-org-c40abb09ec6f>>. Acesso em: 7 dez. 2020.

ABCP. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Guia básico de utilização do cimento Portland. **Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis**, v. 53, n. 9, p. 1689–1699, 2015.

ALALOUL, W.; JOHN, V.; ALI, M. Mechanical and Thermal Properties of Interlocking Bricks Utilizing Wasted Polyethylene Terephthalate. **International Journal of Concrete Structures and Materials**, v. 14, 2020.

ALKMIM, F. F. História geológica de minas gerais. **Departamento de Geologia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Morro do Cruzeiro s/n. 35.400.000 Ouro Preto, MG**, [s.d.].

ARQUITETANDO. **Hoje é dia de pré história | Arquetetando**.

AWASTHI, A. K. et al. Modelling the correlations of e-waste quantity with economic increase. **Science of The Total Environment**, v. 613–614, p. 46–53, 2018.

CNI – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. Brasília 2017. **A indústria elétrica e eletrônica impulsionando a economia verde e a sustentabilidade / Confederação Nacional da Indústria, Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica – Brasília :**, p. 62, 2017.

CORINALDESI, V.; MAZZOLI, A.; MORICONI, G. Mechanical behaviour and thermal conductivity of mortars containing waste rubber particles. **Materials & Design**, v. 32, n. 3, p. 1646–1650, 2011.

ENGENHARIA, G. DA. **Argamassas: tipos e aplicações - Guia da Engenharia**.

GADEA, J. et al. Lightweight mortar made with recycled polyurethane foam. **Cement**

and Concrete Composites, v. 32, n. 9, p. 672–677, 2010.

HAN, E. S.; GOLEMAN, DANIEL; BOYATZIS, RICHARD; MCKEE, A. 濟無No Title No Title. **Journal of Chemical Information and Modeling**, v. 53, n. 9, p. 1689–1699, 2019.

HELENE, P.; ANDRADE, T. **Concreto de cimento portland**. [s.l.: s.n.].

JUNCO, C. et al. Durability of lightweight masonry mortars made with white recycled polyurethane foam. **Cement and Concrete Composites**, v. 34, n. 10, p. 1174–1179, 2012.

LIU, S. et al. Cyclic compression behavior and energy dissipation of aluminum foam–polyurethane interpenetrating phase composites. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 78, p. 35–41, 2015.

MARTÍN-MARTÍN, A. et al. **Google Scholar, Microsoft Academic, Scopus, Dimensions, Web of Science, and OpenCitations’ COCI: a multidisciplinary comparison of coverage via citations**. [s.l.] Springer International Publishing, 2020.

MUÑOZ-RUIPEREZ, C. et al. Durability of lightweight concrete made concurrently with waste aggregates and expanded clay. **Structural Concrete**, v. 19, n. 5, p. 1309–1317, 2018.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. [s.l.: s.n.].

PRONI, M. W. et al. Análise Do Potencial Da Indústria Da Linha Branca No Ceará. 2008.

ROGUE, L. R. Universidade Federal De Itajubá Itajubá-Mg Itajubá-Mg. 2020.

SALAS, M. et al. Recycled polyamide mortars modified with non-ionic surfactant: physical and mechanical strength after durability tests. **Materials and Structures**, v. 49, p. 3385, 2016.

SANTIAGO, C. C. **Argamassas tradicionais de cal**. [s.l.: s.n.].

SELMO, S. M. DE S.; HELENE, P. R. L. **Dosagem de argamassas de cimento Portland e cal para revestimento externo de fachada dos edifícios**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 1989.

SOMARATHNA, H. M. C. C. et al. The use of polyurethane for structural and infrastructural engineering applications: A state-of-the-art review. **Construction and Building Materials**, v. 190, p. 995–1014, 2018.

VAZ, C. R. Florianópolis. 2016.

VIANA, C. E. et al. Influência da incorporação de resíduo de escória de fluxo de soldagem nas propriedades tecnológicas de argamassa de múltiplo uso e cerâmica vermelha para construção civil. **Cerâmica**, v. 56, n. 337, p. 83–90, 2010.

WWF. **Brasil é o 4º país do mundo que mais gera lixo plástico | WWF Brasil**.

Disponível em: <<https://www.wwf.org.br/?70222/Brasil-e-o-4-pais-do-mundo-que-mais-gera-lixo-plastico>>. Acesso em: 8 abr. 2021.

XAVIER, L. H. *Gestão De Resíduos Eletroeletrônicos : Proposta Para Implementação De Sistema De Logística Reversa*. De. n. 2007, p. 1–13, 2007.

XAVIER, L. H.; NASCIMENTO, H.; LINS, F. **Manual para a destinação de resíduos eletroeletrônicos: orientação ao cidadão sobre como dispor adequadamente os resíduos eletroeletrônicos na cidade do Rio de Janeiro**. [s.l.: s.n.].

AARONTAY. **7 reasons why you should try Lens.org (updated to version Release 5.16.0 — March 2019) | by Aaron Tay | Medium**. Disponível em: <<https://aarontay.medium.com/6-reasons-why-you-should-try-lens-org-c40abb09ec6f>>. Acesso em: 7 dez. 2020.

ABCP. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Guia básico de utilização do cimento Portland. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, v. 53, n. 9, p. 1689–1699, 2015.

ALALOUL, W.; JOHN, V.; ALI, M. Mechanical and Thermal Properties of Interlocking Bricks Utilizing Wasted Polyethylene Terephthalate. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, v. 14, 2020.

ALKMIM, F. F. História geológica de minas gerais. **Departamento de Geologia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Morro do Cruzeiro s/n. 35.400.000 Ouro Preto, MG**, [s.d.].

ARQUITETANDO. **Hoje é dia de pré história | Arquetetando**.

AWASTHI, A. K. et al. Modelling the correlations of e-waste quantity with economic increase. *Science of The Total Environment*, v. 613–614, p. 46–53, 2018.

CNI – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. Brasília 2017. **A indústria elétrica e eletrônica impulsionando a economia verde e a sustentabilidade / Confederação Nacional da Indústria, Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica – Brasília** :, p. 62, 2017.

CORINALDESI, V.; MAZZOLI, A.; MORICONI, G. Mechanical behaviour and thermal conductivity of mortars containing waste rubber particles. *Materials & Design*, v. 32, n. 3, p. 1646–1650, 2011.

ENGENHARIA, G. DA. **Argamassas: tipos e aplicações - Guia da Engenharia**.

GADEA, J. et al. Lightweight mortar made with recycled polyurethane foam. *Cement and Concrete Composites*, v. 32, n. 9, p. 672–677, 2010.

HAN, E. S.; GOLEMAN, DANIEL; BOYATZIS, RICHARD; MCKEE, A. 濟無No Title No Title. *Journal of Chemical Information and Modeling*, v. 53, n. 9, p. 1689–1699,

2019.

HELENE, P.; ANDRADE, T. **Concreto de cimento portland**. [s.l.: s.n.].

JUNCO, C. et al. Durability of lightweight masonry mortars made with white recycled polyurethane foam. **Cement and Concrete Composites**, v. 34, n. 10, p. 1174–1179, 2012.

LIU, S. et al. Cyclic compression behavior and energy dissipation of aluminum foam–polyurethane interpenetrating phase composites. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 78, p. 35–41, 2015.

MARTÍN-MARTÍN, A. et al. **Google Scholar, Microsoft Academic, Scopus, Dimensions, Web of Science, and OpenCitations' COCI: a multidisciplinary comparison of coverage via citations**. [s.l.] Springer International Publishing, 2020.

MUÑOZ-RUIPEREZ, C. et al. Durability of lightweight concrete made concurrently with waste aggregates and expanded clay. **Structural Concrete**, v. 19, n. 5, p. 1309–1317, 2018.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. [s.l.: s.n.].

PRONI, M. W. et al. Análise Do Potencial Da Indústria Da Linha Branca No Ceará. 2008.

ROGUE, L. R. Universidade Federal De Itajubá Itajubá-Mg Itajubá-Mg. 2020.

SALAS, M. et al. Recycled polyamide mortars modified with non-ionic surfactant: physical and mechanical strength after durability tests. **Materials and Structures**, v. 49, p. 3385, 2016.

SANTIAGO, C. C. **Argamassas tradicionais de cal**. [s.l.: s.n.].

SELMO, S. M. DE S.; HELENE, P. R. L. **Dosagem de argamassas de cimento Portland e cal para revestimento externo de fachada dos edifícios**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 1989.

SOMARATHNA, H. M. C. C. et al. The use of polyurethane for structural and infrastructural engineering applications: A state-of-the-art review. **Construction and Building Materials**, v. 190, p. 995–1014, 2018.

VAZ, C. R. Florianópolis. 2016.

VIANA, C. E. et al. Influência da incorporação de resíduo de escória de fluxo de soldagem nas propriedades tecnológicas de argamassa de múltiplo uso e cerâmica vermelha para construção civil. **Cerâmica**, v. 56, n. 337, p. 83–90, 2010.

WWF. **Brasil é o 4º país do mundo que mais gera lixo plástico | WWF Brasil**. Disponível em: <<https://www.wwf.org.br/?70222/Brasil-e-o-4-pais-do-mundo-que-mais-gera-lixo-plastico>>. Acesso em: 8 abr. 2021.

XAVIER, L. H. **Gestão De Resíduos Eletroeletronicos : Proposta Para Implementação**

De Sistema De Logística Reversa De. n. 2007, p. 1–13, 2007.

XAVIER, L. H.; NASCIMENTO, H.; LINS, F. **Manual para a destinação de resíduos eletroeletrônicos: orientação ao cidadão sobre como dispor adequadamente os resíduos eletroeletrônicos na cidade do Rio de Janeiro.** [s.l: s.n.].

do mundo que mais gera lixo plástico. **WWF, 2019.** Disponível em: <<https://www.wwf.org.br/?70222/Brasil-e-o-4-pais-do-mundo-que-mais-gera-lixo-plastico>>. Acesso em: 09 de nov. de 2020.

ALALOUL, W.; JOHN, V.; ALI, M. Mechanical and Thermal Properties of Interlocking Bricks Utilizing Wasted Polyethylene Terephthalate. **International Journal of Concrete Structures and Materials**, v. 14, 2020.

ALBANY NY. Global Polyols and Polyurethane Markets are Expected to Reach USD 22.6 Billion and USD 66.4 Billion Respectively by 2018: Transparency Market Research, <https://www.prnewswire.com/news-releases/global-polyols-and-polyurethane-markets-are-expected-to-reach-usd-226-billion-and-usd-664-billion-respectively-by-2018-transparency-market-research-207681271.html> (2013).

ALKMIM, F. F. História geológica de minas gerais. **Departamento de Geologia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Morro do Cruzeiro s/n. 35.400.000 Ouro Preto, MG,** [s.d.].

ALKMIM, F.F. História Geológica de Minas Gerais. Dep Geol Esc Minas, Univ Fed Ouro Preto Morro do Cruzeiro s/n 35400000 Ouro Preto, MG. Available online: <http://recursomineralmg.codemge.com.br/wpcontent/uploads/2018/10/HistoriaGeologicadeMG.pdf> (accessed on 15 February 2020).

ARQUITETANDO. **Hoje é dia de pré história | Arquitetando.** Disponível em: <<https://arquitetandoasociedade.wordpress.com/2014/08/25/hoje-e-dia-de-pre-historia/>>. Acesso em: 12 fev. 2021.

AWASTHI, A. K. et al. Modelling the correlations of e-waste quantity with economic increase. **Science of The Total Environment**, v. 613–614, p. 46–53, 2018.

AWASTHI, A. K. et al. Modelling the correlations of e-waste quantity with economic increase. **Science of The Total Environment**, v. 613–614, p. 46–53, 2018.

CALDERON, Veronica & Horgnies, Matthieu & Arroyo, Raquel & Rodríguez, Ángel & Gutiérrez-González, Sara. (2015). **Lightweight Polyurethane Mortar with Structural**

Properties. Advanced Materials Research. 1129. 581.
10.4028/www.scientific.net/AMR.1129.581.

CARASCHI, José & LEAO, Alcides. (2002). **Avaliação das propriedades mecânicas dos plásticos reciclados provenientes de resíduos sólidos urbanos.** Acta Scientiarum : Technology. 24. 10.4025/actascitechnol.v24i0.2462.

CASSA, J. C. S. ;CARNEIRO, A. P.; BRUM, I. A. S.. **Reciclagem de Entulho para a Produção de Materiais de Construção** – Projeto Entulho Bom. Salvador: Editora da UFBA,2001. 311p;

CINTRA, C. L. **ARGAMASSA PARA REVESTIMENTO COM PROPRIEDADES TERMOACÚSTICAS.** [s.l: s.n.].

CNI – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. Brasília 2017. **A indústria elétrica e eletrônica impulsionando a economia verde e a sustentabilidade / Confederação Nacional da Indústria, Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica – Brasília :**, p. 62, 2017.

COPPOLA, B. et al. Investigation on the use of foamed plastic waste as natural aggregates replacement in lightweight mortar. **Composites Part B: Engineering**, v. 99, p. 75–83, 2016.

Corinaldesi V, Mazzoli A, Moriconi G. Mechanical behaviour and thermal conductivity of mortars containing waste rubber particles. *Mater Des* 2011; 32: 1646–1650.

CORINALDESI, V.; MAZZOLI, A.; MORICONI, G. Mechanical behaviour and thermal conductivity of mortars containing waste rubber particles. **Materials & Design**, v. 32, n. 3, p. 1646–1650, 2011.

CORINALDESI, V.; MAZZOLI, A.; MORICONI, G. Mechanical behaviour and thermal conductivity of mortars containing waste rubber particles. **Materials & Design**, v. 32, n. 3, p. 1646–1650, 2011.

ENGENHARIA, G. DA. **Argamassas: tipos e aplicações - Guia da Engenharia.** Disponível em: <<https://www.guiadaengenharia.com/tipos-argamassas-construcao/>>. Acesso em: 20 jan. 2021.

FIORITO, Antonio J. S. I. **Manual de argamassas e revestimentos: estudos e procedimentos de execução.** 2. ed. São Paulo: Pini, 2009.

FLEXÍVEL. **Flexível**. Disponível em: <<https://flexivelpu.com.br/blog/o-mercado-brasileiro-do-poliuretano/>>. Acesso em: 25 nov. 2020.

Gadea J, Rodríguez A, Campos PL, et al. Lightweight mortar made with recycled polyurethane foam. *Cem Concr Compos* 2010; 32: 672–677.

GADEA, J. et al. Lightweight mortar made with recycled polyurethane foam. **Cement and Concrete Composites**, v. 32, n. 9, p. 672–677, 2010.

HAN, E. S.; GOLEMAN, DANIEL; BOYATZIS, RICHARD; MCKEE, A. 濟無No Title No Title. **Journal of Chemical Information and Modeling**, v. 53, n. 9, p. 1689–1699, 2019.

HELENE, P.; ANDRADE, T. **Concreto de cimento portland**. [s.l.: s.n.].

Ionescu M. Chemistry and technology of polyols for polyurethanes. 2005.

Junco C, Gadea J, Rodríguez A, et al. Durability of lightweight masonry mortars made with white recycled polyurethane foam. *Cem Concr Compos* 2012; 34: 1174–1179.

JUNCO, C. et al. Durability of lightweight masonry mortars made with white recycled polyurethane foam. **Cement and Concrete Composites**, v. 34, n. 10, p. 1174–1179, 2012.

KOSSAKA, J. **Método de reciclagem de espuma rígida de poliuretano de refrigeradores e congeladores de uso domésticos**. [S.l.]: [s.n.], 2004. Universidade Federal de Paraná / Curitiba. Dissertação - Mestrado em engenharia de materiais e processos.

LINTZ, R. C. C. et al. **Estudo do reaproveitamento de resíduos de construção em concretos empregados na fabricação de blocos**. *Rev. IBRACON Estrut. Mater.*, São Paulo, v. 5, n. 2, p. 166-181, Apr. 2012.

LIU, S. et al. Cyclic compression behavior and energy dissipation of aluminum foam–polyurethane interpenetrating phase composites. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 78, p. 35–41, 2015.

LIU, S. et al. Cyclic compression behavior and energy dissipation of aluminum foam–polyurethane interpenetrating phase composites. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 78, p. 35–41, 2015.

MARTÍN-MARTÍN, A. et al. **Google Scholar, Microsoft Academic, Scopus, Dimensions, Web of Science, and OpenCitations' COCI: a multidisciplinary comparison of coverage via citations**. [s.l.] Springer International Publishing, 2020.

McMurry JE, Begley TP. *The Organic Chemistry of Biological Pathways*. Second edi. W. H. Freeman, 2015.

MODRO, N. L. R., and Marchi, V. L. 2009. **“Utilização de resíduos de espuma de poliuretano rígido proveniente de indústria de refrigeração como elemento de enchimento de lajes nervuradas de concreto moldadas ‘in loco’.”** Revista Tecnológica, Edição Especial ENTECA, 49-55. <http://dx.doi.org/10.4025/revtecnol.v0i0>.

Muñoz-Ruiperez C, Rodríguez Á, Junco C, et al. Durability of lightweight concrete made concurrently with waste aggregates and expanded clay. *Struct Concr* 2018; 19: 1309–1317.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. [s.l: s.n.].

PETEK GURSEL, A. et al. Life-cycle inventory analysis of concrete production: A critical review. **Cement and Concrete Composites**, v. 51, n. August 2014, p. 38–48, 2014.

PNRS. **Política Nacional de Resíduos Sólidos.**, 2010. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/index.php/reget/article/view/19322>>. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010.

PRONI, M. W. et al. *Análise Do Potencial Da Indústria Da Linha Branca No Ceará*. 2008.

ROQUE-SILVA, L.R. (2020), Análise de propriedades do concreto autoadensável com resíduo polimérico. 2020. 156p. Dissertação (Mestrado em Materiais Para Engenharia). Universidade Federal de Itajubá, Itajubá – MG, 2020.

Salas MA, Gadea J, Gutiérrez-González S, et al. Recycled polyamide mortars modified with non-ionic surfactant: physical and mechanical strength after durability tests. *Mater Struct Constr* 2016; 49: 3385–3395.

SALAS, M. et al. Recycled polyamide mortars modified with non-ionic surfactant: physical and mechanical strength after durability tests. **Materials and Structures**, v. 49, p. 3385, 2016.

SALAS, M. et al. Recycled polyamide mortars modified with non-ionic surfactant: physical and mechanical strength after durability tests. **Materials and Structures**, v. 49, p. 3385, 2016.

SANTIAGO, C. C. **Argamassas tradicionais de cal**. [s.l: s.n.].

SATHLER, João Eduardo Versiani; SANTOS, Letícia Mendonça dos; BARBOSA, Flávio Alchaar; CABRAL, Stênio Cavalier. **Comparativo do concreto convencional com o concreto auto-adensável. Revista Vozes dos Vales – UFVJM**, Minas Gerais, Brasil, Nº 12, 2017.

SELMO SMS, HELENE PRL. Dosagem de argamassas de cimento Portland e cal para revestimento externo de fachada dos edifícios. EPUSP/SP.

SILVA, F. M. S. **gestão de resíduos eletroeletrônicos: proposta para implementação de sistema de logística reversa de refrigeradores no Brasil**. [S.l.]: [s.n.], 2009. II seminário nordestino sobre resíduos sólidos - redisa. Barranquilla, Colombia.

Somarathna HMCC, Raman SN, Mohotti D, et al. The use of polyurethane for structural and infrastructural engineering applications: A state-of-the-art review. *Constr Build Mater* 2018; 190: 995–1014.

SOMARATHNA, H. M. C. C. et al. The use of polyurethane for structural and infrastructural engineering applications: A state-of-the-art review. **Construction and Building Materials**, v. 190, p. 995–1014, 2018.

SOMARATHNA, H. M. C. C. et al. The use of polyurethane for structural and infrastructural engineering applications: A state-of-the-art review. **Construction and Building Materials**, v. 190, p. 995–1014, 2018.

VIANA, C. E. et al. Influência da incorporação de resíduo de escória de fluxo de soldagem nas propriedades tecnológicas de argamassa de múltiplo uso e cerâmica vermelha para construção civil. **Cerâmica**, v. 56, n. 337, p. 83–90, 2010.

XAVIER, L. H. **Gestão De Resíduos Eletroeletronicos : Proposta Para Implementação De Sistema De Logística Reversa De**. n. 2007, p. 1–13, 2007.

XAVIER, L. H.; NASCIMENTO, H.; LINS, F. **Manual para a destinação de resíduos eletroeletrônicos: orientação ao cidadão sobre como dispor adequadamente os resíduos eletroeletrônicos na cidade do Rio de Janeiro**. [s.l.: s.n.].