

UNIVERSIDADE SÃO JUDAS

Programa de Mestrado Profissional *Stricto Sensu* em Engenharia Civil

**OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE ARGAMASSAS DE
REVESTIMENTO PRODUZIDAS COM RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO
E DEMOLIÇÃO (RCD) COMO AGREGADO RECICLADO**

Daniela Aparecida Dutra de Lima

SÃO PAULO

2022

UNIVERSIDADE SÃO JUDAS

Programa de Mestrado Profissional *Stricto Sensu* em Engenharia Civil

OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO PRODUZIDAS COM RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD) COMO AGREGADO RECICLADO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Civil da Universidade São Judas, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de conhecimento: Engenharia Civil

Especialidade: Materiais e Componentes de Construção

Orientadora: Profa. Dra. Claudia Terezinha Kniess

Coorientadora: Profa. Dra. Heloisa Candia Hollnagel

São Paulo

2022

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca
da Universidade São Judas Tadeu**

Bibliotecária: Marieta Rodrigues Brechet - CRB 8/10384

L732r Lima, Daniela Aparecida Dutra de.
Resíduos de construção e demolição; Argamassas; Informações
patentárias; planejamento de experimentos; sustentabilidade / Daniela
Aparecida Dutra de Lima. - São Paulo, 2022.
f. 180: il.; 30 cm.

Orientadora: Claudia Terezinha Kniess.
Dissertação (mestrado) – Universidade São Judas Tadeu, São Paulo,
2022.

1. Resíduos de construção e demolição. 2. Argamassas. 3.
Informações patentárias. 4. planejamento de experimentos. 5.
Sustentabilidade. I. Kniess, Claudia Terezinha. II. Universidade São Judas
Tadeu, Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia Civil. III.
Título.

CDD 22 – 624

Daniela Aparecida Dutra de Lima

**OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE ARGAMASSAS DE
REVESTIMENTO PRODUZIDAS COM RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO
E DEMOLIÇÃO (RCD) COMO AGREGADO RECICLADO**

Esta dissertação foi julgada adequada à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Civil da Universidade São Judas Tadeu.

São Paulo, 24 de junho de 2022.

Profa. Cláudia Terezinha Kniess
Universidade São Judas Tadeu (USJT)

Prof. Renan Pícolo Salvador
Universidade São Judas Tadeu (USJT)

Prof. João Alexandre Paschoalin Filho
Universidade Nove de Julho

Dedico este trabalho à minha família que tanto amo: meus pais Cicero e Jucileide, minha irmã Antonia Rafaela e meu namorado Lucas.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à Deus pela vida e oportunidade em tempos difíceis.

Agradeço à toda minha família, principalmente aos meus pais Cicero Barbosa e Jucileide Carmo, por todo apoio, amor, carinho e dedicação para que eu possa sempre alcançar todos os meus sonhos. À minha irmã Antonia Rafaela por todo amor e carinho. Ao meu tio Marcelo por sempre me apoiar e sempre estar disposto a me ajudar, aos meus primos Asaph, Davi e Caleb pela alegria que me proporcionam.

Agradeço ao meu namorado Lucas por ser paciente, amoroso, carinhoso, por me alegrar nos momentos em que mais precisava e por ter me ajudado muito durante os dias de trabalhos exaustivos no laboratório e durante a revisão de toda minha escrita. Obrigada por todo apoio incondicional e por não me deixar desistir.

À minha orientadora Profa. Dra. Claudia Kniess pela paciência, confiança, dedicação, aconselhamentos e por compartilhar seu conhecimento sempre de forma a inspirar e nos contagiar com sua alegria.

À minha coorientadora Prof. Dra. Heloisa Hollnagel por compartilhar seu conhecimento contribuindo com novas ideias que foram essenciais.

Ao coordenador do programa de mestrado Prof. Dr. Renan Pícolo Salvador por toda ajuda, por compartilhar seu conhecimento e por intermediar as conversas com os laboratórios externos do Instituto de Pesquisa Tecnológica (IPT) e da Universidade de São Paulo (USP) para a realização dos ensaios de caracterização.

Ao Instituto de Pesquisa Tecnológica (IPT) e ao Laboratório de Caracterização Tecnológica (LCT) da USP por se disporem a realizar alguns dos ensaios de caracterização.

Aos laboratoristas da Universidade São Judas: Igor, Fernando e Clayton pelos auxílios, ensinamentos e amizade.

Aos alunos de Iniciação Científica Karen Licciarde e Marco Antonio por todo apoio e dedicação desde o início da pesquisa.

A todos os colegas do Programa de mestrado de Engenharia Civil, principalmente ao Leandro Barioni por estar sempre disposto a ajudar de alguma forma.

Ao Programa de Pós-Graduação Stricto Senso de Engenharia Civil e à Universidade São Judas por todo apoio e pela oportunidade de uma bolsa mérito para que eu pudesse desenvolver meu projeto.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação de mestrado em Engenharia Civil que contribuíram para que este trabalho pudesse ser desenvolvido.

RESUMO

A construção civil é uma das atividades mais importantes no Brasil, tendo uma participação significativa no PIB nacional. Apesar de sua relevância econômica, é uma grande geradora de resíduos podendo gerar prejuízos ao meio ambiente e a sociedade. Os resíduos de construção e demolição (RCD's) podem ser compostos por componentes cerâmicos, argamassas, concreto, demolição de peças pré-moldadas, entre outros, podendo ser reciclados e utilizados em novos produtos. Neste contexto, este estudo teórico e empírico tem como objetivo a obtenção e caracterização de argamassas de revestimentos utilizando RCD como agregado reciclado. Para isso, foi realizado um estudo nas bases de dados de periódicos científicos e de documentos patentários para a definição da rota tecnológica a ser utilizada no processo de produção das argamassas. Para a formulação das argamassas foi utilizado um delineamento experimental de misturas do tipo vértice extremos através do software de estatística *MiniTab Statistical Software*, que resultou em treze formulações de três componentes, com os seguintes limites: cimento ($14,90\% \leq x_1 \leq 33,33\%$), agregado natural ($0\% \leq x_2 \leq 72,00\%$) e agregado reciclado ($6,67\% \leq x_3 \leq 75,00$). As argamassas foram produzidas utilizando a metodologia presente nas patentes selecionadas e foram caracterizadas em estado fresco através da massa específica e índice de consistência; e no estado endurecido através da absorção de água por capilaridade e por imersão, índices de vazios, velocidade de onda ultrassônica, resistência à aderência, à tração na flexão e à compressão. Com o uso do delineamento de misturas foi possível gerar equações para cada propriedade analisada. Os resultados mostram que apesar do uso do agregado reciclado aumentar a absorção de água e do índice de vazios, contribuiu para o aumento da resistência à compressão, à flexo-tração e à aderência o que mostra seu grande potencial de uso. A contribuição deste estudo possibilita utilizar softwares para a simulação de misturas, identificando as características dos compósitos e limitações de uso. O uso do agregado reciclado tornou-se também mais vantajoso economicamente em comparação ao uso do agregado natural. Já as argamassas industrializadas se apresentaram menos viáveis economicamente. Além disso, houve uma contribuição para o alcance dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), dentre eles, os ODS 9, 11 e 12.

Palavras-chaves: Resíduos de construção e demolição; Argamassas; Informações patentárias; planejamento de experimentos; Sustentabilidade.

ABSTRACT

Civil construction is one of the most important activities in Brazil, having a significant share of the national GDP. Despite its economic relevance, it is a major waste generator and can cause damage to the environment and society. Construction and demolition waste (RCD's) can be composed of ceramic components, mortar, concrete, demolition of precast parts, among others, and can be recycled and used in new products. In this context, this theoretical and empirical study aims to obtain and characterize coating mortars using RCD as recycled aggregate. For this, a study was conducted in the databases of scientific journals and patent documents to define the technological route to be used in the mortar production process. For the formulation of the mortars, an experimental design of mixtures of the extreme vertex type was used through the statistical software MiniTab Statistical Software, which resulted in thirteen formulations of three components, with the following limits: cement ($14.90\% \leq x_1 \leq 33,33\%$), natural aggregate ($0\% \leq x_2 \leq 72.00\%$) and recycled aggregate ($6.67\% \leq x_3 \leq 75.00$). The mortars were produced using the methodology present in the selected patents and were characterized in a fresh state through the specific mass and consistency index; and in the hardened state through the absorption of water by capillarity and by immersion, void ratios, ultrasonic wave velocity, adhesion resistance, tensile strength in bending and compression. Using the mixture design, it was possible to generate equations for each analyzed property. The results show that despite the use of recycled aggregate increasing the water absorption and the void ratio, it contributed to the increase in the compressive strength, flexural strength and adhesion, which shows its great potential for use. The contribution of this study makes it possible to use software for the simulation of mixtures, identifying the characteristics of composites and limitations of use. The use of recycled aggregate has also become more economically advantageous compared to the use of natural aggregate. The industrialized mortars were less economically viable. In addition, there was a contribution to the achievement of the Sustainable Development Goals (SDGs), among them, SDGs 9, 11 and 12.

Keywords: Construction and demolition waste; mortars; Patent information; experiment planning; Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).....	9
Figura 2 - Dimensões da Sustentabilidade.....	10
Figura 3 - Ciclo da melhoria contínua (PDCA).	11
Figura 4 - Coleta de RCD pelos municípios nas regiões do Brasil.	17
Figura 5 - Principais produtos desenvolvidos ou comercializados pelas usinas de reciclagem.....	18
Figura 6 - Camadas do revestimento em argamassa.....	21
Figura 7 - Fissuras em revestimentos de argamassa com RCD.	23
Figura 8 - Relação entre conhecimento e inovação à criação de valores econômicos.	27
Figura 9 - Fluxograma da metodologia da pesquisa empregada.	29
Figura 10 - Saco de agregado reciclado.	32
Figura 11 - Quarteamento da amostra de agregado reciclado (AGRR).	34
Figura 12 - Sistema de coordenadas simplex para geração de modelos: (a) lineares; (b) quadráticos; (c) cúbicos simples; e (d) cúbicos completos.	41
Figura 13 – Diagrama Triaxial das formulações.	45
Figura 14 - Substrato padrão úmido antes da aplicação da argamassa.	50
Figura 15 - Evolução do depósito de patentes ao longo dos anos.	54
Figura 16 - Número de patentes em relação aos Escritórios/Países.....	55
Figura 17 - Número de patentes de acordo com o CIP.	56
Figura 18 - Curva Granulométrica do AGRN e AGRR.	67
Figura 19 - Difração de Raios X da amostra de agregado reciclado (AGRR).	69
Figura 20 - Gráfico TGA e DTG do agregado reciclado (AGR).	70
Figura 21 - Gráfico de absorção de água por capilaridade das trezes formulações..	74
Figura 22 - Gráfico de variação dimensional.....	76
Figura 23 - Gráfico de resíduo de absorção de água (ABS).	81
Figura 24 - Gráfico de Contorno de Mistura para a propriedade absorção de água (ABS).....	82
Figura 25 - Gráfico de resíduo de índice de vazios (IDV).....	84
Figura 26 - Gráfico de Contorno de Mistura de índice de vazios (IDV).	85
Figura 27 - Gráfico de resíduo de resistência de aderência à tração (ADR).	88

Figura 28 - Gráfico de contorno de mistura de resistência de aderência à tração (ADR)	89
Figura 29 - Gráficos de resíduos de velocidade de onda ultrassônica (US) com 7 dias.	93
Figura 30 - Gráficos de resíduos de velocidade de onda ultrassônica (US) com 14 dias.	94
Figura 31 - Gráficos de resíduos de velocidade de onda ultrassônica (US) com 28 dias.	94
Figura 32 - Gráfico de contorno de mistura velocidade de onda ultrassônica (US) 7 dias.	95
Figura 33 - Gráfico de contorno de mistura velocidade de onda ultrassônica (US) 14 dias.	95
Figura 34 - Gráfico de contorno de mistura velocidade de onda ultrassônica (US) 28 dias.	96
Figura 35 - Gráficos de resíduos de Flexo-tração de 7 dias.	100
Figura 36 - Gráficos de resíduos de Flexo-tração de 14 dias.	101
Figura 37 - Gráficos de resíduos de Flexo-tração de 28 dias.	101
Figura 38 - Gráfico de contorno de mistura Flexo-tração de 7 dias.	102
Figura 39 - Gráfico de contorno de mistura Flexo-tração de 14 dias.	102
Figura 40 - Gráfico de contorno de mistura Flexo-tração de 28 dias.	103
Figura 41 - Gráficos de resíduos Compressão de 7 dias.	107
Figura 42 - Gráficos de resíduos Compressão de 14 dias.	108
Figura 43 - Gráficos de resíduos Compressão de 28 dias.	108
Figura 44 - Gráfico de contorno de mistura Compressão de 7 dias.	109
Figura 45 - Gráfico de contorno de mistura Compressão de 14 dias.	109
Figura 46 - Gráfico de contorno de mistura Compressão de 28 dias.	110

LISTAS DE QUADROS

Quadro 1 - Usos recomendados de resíduos reciclados na construção civil.	18
Quadro 2 - Ensaio de caracterização das matérias-primas.	33
Quadro 3 - Ensaio de caracterização da argamassa.	47
Quadro 5 - Classe e Subclasse da Classificação CIP das patentes encontradas.	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Requisitos da norma ABNT NBR 13281 (2005a).	20
Tabela 2 - Resultados em MPa do ensaio de compressão axial.	23
Tabela 3 - Quantidade de CO ₂ contido em argamassas de diferentes idades.	24
Tabela 4 - Limites máximos e mínimos dos componentes da argamassa.	42
Tabela 5 - Delineamento de misturas obtido através do Minitab Statistical Software.	43
Tabela 6 - Formulação das porcentagens em massa para a obtenção das argamassas.	44
Tabela 7 - Composição do cimento Portland CP III - 40 RS.	64
Tabela 8 - Características físicas do cimento Portland CP III - 40 RS.	65
Tabela 9 - Composição química da cal CH – III.	65
Tabela 10 - Propriedades das matérias-primas.	66
Tabela 11 - Análise Química do Agregado Reciclado (AGRR).	68
Tabela 12 – Número ICSD das fases cristalinas.	69
Tabela 13 – Formulação das porcentagens em massa para a obtenção das argamassas.	71
Tabela 14 - Caracterização das argamassas no estado fresco.	72
Tabela 15 - Resultados de absorção de água por capilaridade das trezes formulações.	74
Tabela 16 - Variação dimensional das formulações de argamassas	76
Tabela 17 - Resultados das propriedades das formulações das argamassas.	77
Tabela 18 - Continuação dos resultados das propriedades das formulações das argamassas.	78

Tabela 19 - Sumário do modelo de absorção de água (ABS).	79
Tabela 20 - Análise de variância para absorção de água (ABS) (proporções de componentes).....	79
Tabela 21 - Coeficientes de Regressão Estimados para absorção de água (ABS) (proporções do Componente);.....	80
Tabela 22 - Sumário do modelo índice de vazios (IDV)	83
Tabela 23 - Análise de variância para índice de vazios (IDV) (proporções de componentes).....	83
Tabela 24 - Coeficientes de regressão estimados para índice de vazios (IDV) (proporções de componentes).....	84
Tabela 25 - Sumário do modelo resistência de aderência à tração (ADR).....	86
Tabela 26 - Análise de variância para resistência de aderência à tração (ADR) (proporções de componentes).....	87
Tabela 27 - Coeficientes de regressão estimados para resistência de aderência à tração (ADR) (proporções de componentes).....	87
Tabela 28 - Sumário do modelo velocidade de onda ultrassônica (US).....	90
Tabela 29 - Análise de variância para velocidade de onda ultrassônica (US) (proporções de componentes).....	91
Tabela 30 - Coeficientes de regressão estimados para velocidade de onda ultrassônica (US) (proporções de componentes).	92
Tabela 31 - Sumário do modelo Flexo-tração.	97
Tabela 32 - Análise de variância para Flexo-tração (proporções de componentes)..	97
Tabela 33 - Coeficientes de regressão estimados para Flexo-tração (proporções de componentes).....	99
Tabela 34 - Sumário do modelo Compressão.	104
Tabela 35 - Análise de variância para Compressão (proporções de componentes).	105
Tabela 36 - Coeficientes de regressão estimados para Compressão (proporções de componentes).....	106
Tabela 37 - Preço do saco de 20 kg de agregado natural.....	112
Tabela 38 - Preços das matérias primas de acordo com as formulações.	112
Tabela 39 - Preço da argamassa industrializada.	113

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Art	Artigo
AsBEA	Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura
CBCS	Conselho Brasileiro de Construção Sustentável
CH	Cal Hidratada
CIP	Classificação Internacional de Patentes;
CONAMA	Conselho nacional do Meio Ambiente;
CP	Cimento Portland
CSN	Companhia Siderúrgica Nacional
DII	Derwent Innovations Index
DRX	Difração de Raios X
DTG	Curva Termogravimétrica Diferencial
EPO	European Patent Office
Eq	Equação
FIESP	Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
FRX	Fluorescência de Raios X
Hab	Habitantes
INPI	Instituto Nacional da Propriedade Industrial
IPC	International Patent Classification
ISO	International Organization for Standardization
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MPa	Megapascal

NBR	Normas Brasileiras
NM	Norma Mercosul
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ODM	Objetivos de Desenvolvimento do Milênio
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
OMPI	Organização Mundial da Propriedade Intelectual
ONG	Organizações Não Governamentais
ONU	Organização das Nações Unidas
PIB	Produto Interno Bruto
PNRS	Política Nacional dos Resíduos Sólidos
RCC	Resíduos de Construção Civil
RCD	Resíduos de Construção e Demolição
SGA	Sistema de Gestão Ambiental
TGA	Análise Termogravimétrica
UN	United Nations
UNEP	United Nations Environment Programme
USPTO	Escritório Americano de Patentes e Marcas
WIPO	World Intellectual Property Organization
CI	Cimento
AGRN	Agregado Natural
AGRR	Agregado Reciclado

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivos Geral e Específicos	3
1.1.1. Objetivo Geral.....	3
1.1.2. Objetivos Específicos	3
1.2. Justificativa	4
1.3. Estrutura do Trabalho	5
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1. Sustentabilidade	7
2.1.1. Gestão Ambiental	10
2.1.2. Gestão de Resíduos.....	12
2.2. Sustentabilidade na Construção Civil	14
2.2.1. Resíduos de Construção e Demolição (RCD)	16
2.3. Argamassas	19
2.3.1. Argamassas de Revestimento	21
2.3.2. Argamassas com Resíduos de Construção e Demolição (RCD).....	22
2.4. Inovação e Informações Patentárias	24
3. METODOLOGIA DA PESQUISA	29
3.1. Revisão Bibliográfica	30
3.2. Levantamento das Informações Patentárias	30
3.3. Matérias-primas Empregadas	32
3.4. Caracterização das Matérias-Primas	33
3.4.1. Quarteamento da amostra de agregado reciclado (AGRR).....	34
3.4.2. Massa Específica (M.E.)	34
3.4.3. Massa Específica Saturada Superfície Seca	35
3.4.4. Massa Unitária (M.U.).....	36
3.4.5. Absorção de água.....	36

3.4.6.	Análise Granulométrica	36
3.4.7.	Teor de Materiais Pulverulentos	36
3.4.8.	Análise Termogravimétrica (TGA)	37
3.4.9.	Análise Mineralógica por Difração de Raios X (DRX).....	38
3.4.10.	Fluorescência de Raios-X (FRX).....	39
3.5.	Estudo de Formulações: Delineamento de Misturas	39
3.5.1.	Delineamento Experimental Por Vértices Extremos	41
3.6.	Processo de Produção das Argamassas	46
3.7.	Caracterização das Argamassas Obtidas	46
3.7.1.	Ensaio das Argamassas no Estado Fresco	47
3.7.1.1.	Índice de Consistência	47
3.7.1.2.	Massa Específica	48
3.7.2.	Ensaio das Argamassas no Estado endurecido.....	48
3.7.2.1.	Ensaio mecânicos	48
3.7.2.2.	Resistência à Aderência	49
3.7.2.3.	Variação Dimensional	50
3.7.2.4.	Velocidade de Propagação de Onda Ultrassônica.....	50
3.7.2.5.	Absorção de Água por Imersão e Índice de Vazios	51
3.7.2.6.	Absorção de Água por Capilaridade	51
3.8.	Análise Preliminar de Viabilidade Econômica	52
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES: PARTE I	53
4.1.	Informações Patentárias.....	53
4.1.1.	Depósito de Patentes	53
4.1.2.	Escritório/Países de publicação.....	54
4.1.3.	Classificação Internacional de Patentes (CIP).....	55
4.1.4.	Tecnologias Encontradas nas Patentes	59
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES: Parte II	64

5.1. Caracterização das Matérias-primas	64
5.1.1. Cimento Portland	64
5.1.2. Cal Hidratada	65
5.1.3. Agregado Natural e Agregado Reciclado	65
5.1.3.1. Fluorescência de Raios X	67
5.1.3.2. Difração de Raios X	68
5.1.3.3. Análise Termogravimétrica (TGA)	69
5.2. Caracterização das formulações de argamassas	70
5.2.1. Formulação das Argamassas	70
5.2.2. Propriedades das formulações no Estado Fresco	72
5.2.3. Propriedades das formulações no Estado Endurecido	73
5.2.3.1. Absorção de Água por Capilaridade	73
5.2.3.2. Variação Dimensional	75
5.2.4. Análise Estatística das Propriedades das Formulações de Argamassa	77
5.2.4.1. Absorção de água (ABS).....	79
5.2.4.2. Índice de vazios	83
5.2.4.3. Resistência de Aderência à Tração	86
5.2.4.4. Velocidade de Onda Ultrassônica	90
5.2.4.5. Resistência à Tração na Flexão.....	97
5.2.4.6. Resistência à Compressão	104
5.3. Análise Preliminar da Viabilidade Econômica	111
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	114
6.1. Contribuição Social	114
6.2. Contribuição Acadêmica	114
6.3. Contribuição Tecnológica	115
6.4. Proposta para trabalhos futuros	117
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	118

APÊNDICE I – PARTICIPAÇÃO EM EVENTOS E ARTIGO PUBLICADO	131
APÊNDICE II – TABELA DE PATENTES	132

1. INTRODUÇÃO

A construção civil pode ser considerada um dos setores mais importantes do país, por ter uma participação significativa no Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil chegando a 7%. Ademais, é o setor responsável por uma grande geração de empregos, cerca de 10% dos trabalhadores brasileiros estão empregados no setor da construção civil (ABRAINC, 2021).

As matérias-primas utilizadas na construção civil são recursos finitos e quando utilizados sem limites podem ocasionar impactos ambientais. Esses impactos podem ser minimizados ao utilizar tecnologias inovadoras como a utilização dos resíduos de construção e demolição como matéria-prima, consequentemente evitando o desperdício de materiais, o uso excessivo de matérias-primas de jazidas e o descarte irregular desses de resíduo (SPADOTTO *et al.*, 2011).

Os resíduos gerados na construção civil às vezes podem ser dispostos de forma irregular podendo causar problemas como: contaminação do solo, de águas superficiais e subterrâneas, além disso, influencia negativamente na qualidade de vida da população (SILVA *et al.*, 2015).

Devido a crescente preocupação pela geração e disposição dos resíduos, foi criada a Resolução nº 307/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2002). De acordo com o Art. 3º item I desta resolução, os resíduos de construção e demolição (RCD's) são classificados como componentes cerâmicos, argamassas, concreto, demolição de peças pré-moldadas, e são materiais que podem ser reutilizados ou reciclados. Além disso, considera que o gerador de resíduos é o responsável pelo gerenciamento desses resíduos. Em 16 de agosto de 2004 foi criada a Resolução nº 348/2004, alterando o item IV do Art. 3,º onde foi acrescentado a consideração de que os materiais que contêm amianto são materiais prejudiciais à saúde.

O Art. 4º da resolução nº 307 do CONAMA (2002) dispõe que os geradores devem ter como prioridade a redução da produção desses resíduos, a reutilização, a reciclagem, o tratamento e disposição final adequados. Esses resíduos são destinados aos aterros de classe IIB (Inertes) e não podem ser dispostos em aterros de resíduos urbanos, em "bota fora", encostas, corpos d'água, lotes e áreas protegidas por lei. Portanto, os estudos para reaproveitamento dos resíduos de construção e demolição (RCD's) são relevantes, principalmente por meio da reciclagem.

A Lei nº 12.305/10 institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) definindo diretrizes de gestão e gerenciamento ambiental adequado dos resíduos sólidos (BRASIL, 2010). A PNRS tem como objetivos a proteção da saúde pública e da qualidade ambiental, para isso, deve-se seguir a ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final ambientalmente adequados. Além disso, a implementação desta Lei incentiva as indústrias à reciclarem utilizando matérias-primas e insumos provenientes de materiais recicláveis (BRASIL, 2010). Para isso, a implementação de ferramentas nas empresas são muito importantes, como a utilização da coleta seletiva, sistemas de logística reversa, ter um monitoramento e fiscalização ambiental, cooperação técnica e financeira para desenvolver pesquisas de novos produtos ou métodos de reciclagem, reutilização e disposição final adequados (BRASIL, 2010).

Nesse contexto, existem diversos estudos na literatura que descrevem a utilização dos resíduos de construção e demolição nas etapas da construção, como na obtenção de argamassas de revestimentos (ASSUNÇÃO; CARVALHO; BARATA, 2007; JOCHEM, 2012; SOUZA; LIMA; SOUZA, 2019), em pavimentos (FERREIRA; BERTEQUINI, 2018) e em concretos (ÂNGULO, 2005; LEITE, COSTA, 2014).

Nas argamassas de revestimentos, o RCD pode ser empregado como agregado miúdo substituindo a areia natural em diferentes porcentagens apresentando desempenhos satisfatórios. Segundo Ferreira (2017), as argamassas com maiores percentuais de agregado reciclado obtiveram resistências superiores, podendo estar relacionado à quantidade de finos presentes nestes agregados reciclado preenchimento dos vazios tornando as argamassas mais compactas, portanto, mais resistentes.

Na linha do desenvolvimento de novos produtos, buscar conhecimento em grandes bases de dados para inovação, como base de dados de patentes, vem se tornando uma prática comum na maioria das organizações, devido à evolução da tecnologia da informação. Os dados de patentes podem mostrar alterações na estrutura e no desenvolvimento de atividades criativas de um país nas tecnologias, na indústria e nas empresas. As patentes também podem indicar as mudanças de dependência de determinadas tecnologias, além de sua disseminação e penetração científica (HIRATA *et al.*, 2015). As patentes ainda representam uma forma de expressar ao mercado o crescimento tecnológico e financeiro de um país, visto que

contém descrições de invenções e suas funcionalidades, o que permite analisar a competitividade entre inventores e empresas (REYMOND; DEMATRAZ, 2014).

Nesse sentido, esta dissertação tem como foco a utilização do RCD como agregado reciclado para a fabricação de argamassas de revestimentos. Para a busca de alternativas viáveis técnica e economicamente para a reciclagem dos RCD's serão utilizadas as pesquisas já desenvolvidas sobre o tema, disponíveis na bibliografia, além das informações patentárias disponíveis nos bancos internacionais de patentes.

1.1. Objetivos Geral e Específicos

1.1.1. Objetivo Geral

Obter e caracterizar argamassas de revestimento produzidas com resíduos de construção e demolição (RCD) como agregado reciclado.

1.1.2. Objetivos Específicos

- a) Utilizar informações de bases de dados patentárias sobre o tema para a prospecção de produtos, processos e rotas tecnológicas mais viáveis para a aplicação neste trabalho;
- b) Utilizar o delineamento de misturas para a determinação das proporções dos componentes e determinar teores ótimos de acordo com as propriedades para argamassas de revestimento;
- c) Caracterizar o agregado reciclado e da respectiva argamassa visando comparar o desempenho técnico com o agregado natural;
- d) Estudar a viabilidade técnica e econômica de argamassas produzidas com a utilização de RCD comparadas de argamassas comerciais;
- e) Propor alternativas mais sustentáveis para o setor da construção civil, alinhadas com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da agenda 2030 da ONU.

1.2. Justificativa

Os resíduos de demolição e construção, embora disciplinados por legislação própria, são, na maioria das vezes, descartados de forma irregular, ocasionando impactos ambientais, sociais, físicos e econômicos. Esse descarte irregular pode gerar aglomerados de água que causam a proliferação de insetos e roedores, assim, aumentando a proliferação de doenças (NETO *et al.*, 2004; ROCHA *et al.*, 2016).

A reciclagem dos resíduos de construção e demolição (RCD) contribui positivamente ao acréscimo da vida útil dos aterros, além de ajudar economicamente. E a sua utilização acarreta na diminuição da quantidade de resíduos que são descartados de forma irregular, diminuição do uso de matérias-primas e na minimização da emissão de dióxido de carbono (CO₂) durante a extração e o transporte dos materiais de construção, destruição da vegetação, etc. (SOUSA, 2013).

A utilização do RCD na produção de argamassas não é um tema aprofundado na literatura, grande parte dos estudos estão voltados para a utilização em agregados graúdos para concreto. Ao utilizar o RCD nas argamassas algumas propriedades podem ser afetadas, como gerar uma maior porosidade, menor trabalhabilidade, maior absorção de água, etc. dependendo do tipo de RCD utilizado (JOCHEM, 2012). Porém, algumas características podem ser melhoradas como a resistência mecânica e a resistência de aderência, que podem ser superiores em argamassas com RCD comparada às argamassas com agregados naturais (OLIVEIRA; CABRAL, 2011), maior absorção de CO₂ nas argamassas com RCD devido ao aumento da carbonatação causada pelo acréscimo do teor de Portlandita presente em sua matriz do RCD (SOUZA; LIMA; SOUZA, 2019).

O agregado reciclado (RCD) possui massa específica menor comparada a massa específica do agregado miúdo natural (areia), causando uma diminuição da massa específica das argamassas de revestimento com a utilização do agregado reciclado (PEDROZO, 2008). As argamassas de revestimento com a utilização de agregado reciclado (RCD) podem ocasionar à diminuição do índice de vazios e da absorção de água, pois o agregado reciclado possui menor finura comparado ao agregado natural diminuindo a porosidade das argamassas (MACEDO *et al.*, 2019).

A busca por patentes nas bases de dados patentárias contribuem no mapeamento tecnológico para o desenvolvimento de novos produtos ou novos processos, ou seja, é possível identificar se há um mercado favorável para a pesquisa

que está sendo realizada e identifica novas tecnologias mais viáveis, assim evitando a “perda de recursos financeiros e de tempo” para o pesquisador (PARANHOS; RIBEIRO, 2018).

A partir destes dados prévios, busca-se comprovar que o uso destes materiais reciclados pode trazer benefícios ambientais além da possibilidade de melhor desempenho para argamassas de revestimentos. Os aspectos econômicos associados aos estudos de desempenho possibilitam avaliar a ecoeficiência destes novos produtos. Destaca-se ainda que o uso dos agregados reciclados, por apresentarem portlandita em sua composição, podem fazer com que as argamassas tenham um aumento da captação de CO₂ do ar, contribuindo assim para a diminuição do dióxido de carbono (CO₂) da atmosfera (LIMA *et al*, 2020).

1.3. Estrutura do Trabalho

O trabalho está dividido nos capítulos descritos a seguir.

O capítulo 1 descreve a introdução do tema abordado neste trabalho, o objetivo geral e objetivos específicos e a justificativa desta pesquisa.

O capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica que descreve um pequeno histórico sobre sustentabilidade, gestão ambiental gestão de resíduos. Também descreve sobre a sustentabilidade na construção civil, resíduos de construção e demolição (RCD), argamassas e argamassas de revestimento com resíduos de construção e demolição (RCD).

O capítulo 3 descreve toda a metodologia da pesquisa na seguinte ordem: revisão bibliográfica, levantamento de informações patentárias, descrição das matérias-primas utilizadas, caracterização do resíduo e das demais matérias-primas, estudo das formulações através do delineamento de misturas, produção das argamassas com o agregado reciclado e caracterização dessas argamassas no estado fresco e endurecido.

O capítulo 4 apresenta a primeira parte dos resultados e discussões com o levantamento dos documentos de informações patentárias.

O capítulo 5 apresenta a segunda parte dos resultados e discussões com todos os resultados da caracterização das matérias primas utilizadas, caracterização das argamassas no estado fresco e endurecido utilizando os gráficos obtidos através do *Minitab Statistical Software*.

O capítulo 6 apresenta a análise da viabilidade econômica comparando o agregado reciclado ao agregado natural.

O capítulo 7 apresenta as considerações finais com uma conclusão quanto ao uso das patentes, do delineamento experimental de misturas, e do uso do agregado reciclado em argamassas de revestimento.

O capítulo 8 descreve alguns possíveis estudos a serem realizados nos próximos trabalhos. Por fim, o capítulo 9 apresenta todas as referências que foram utilizadas neste trabalho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo estão descritos os principais conceitos e reflexões sobre os seguintes temas: sustentabilidade, sustentabilidade na construção civil, argamassas, inovação e informações patentárias.

2.1. Sustentabilidade

Desde a metade do século XX, as preocupações com o crescimento da população, o desenvolvimento das nações e o meio ambiente, passaram a fazer parte das agendas políticas de governos e discussões com a participação da sociedade e academia.

Em 1972, a Organização das Nações Unidas (ONU) realizou a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano na cidade de Estocolmo que estabeleceu princípios para a preservação do meio ambiente. Nesta conferência foi criada o primeiro programa da ONU voltado exclusivamente aos problemas ambientais, o *United Nations Environment Programme* (UNEP) (NATIONS, 1972).

Em 1992, houve a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e o Desenvolvimento a Rio-92 onde reuniu líderes políticos, diplomatas, cientistas, representantes da mídia e organizações não governamentais (ONG's). Esta conferência teve como objetivo era produzir a Agenda 21 de ação internacional para orientar os países sobre questões ambientais e de desenvolvimento sustentável no século XXI como a aplicação de novos métodos de educação e de formas de preservação dos recursos naturais. Além disso, foi abordado que as dimensões sociais, econômicas e ambientais estão interligados entre si, ou seja, essas três dimensões devem ser sempre trabalhadas juntas o que implicaria na buscar de novas estratégias para os métodos de produção e de consumo (UN, 1992).

Cinco anos depois, em 1997 na cidade de Nova York, foi feita uma avaliação da Agenda 21, essa reunião ficou conhecida como a Rio + 5 (NATIONS, 1997).

No ano de 2000 foi realizada uma campanha chamada de Cúpula do Milênio que estabeleceu os seguintes Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM):

1. Erradicação da pobreza extrema e da fome;
2. Ensino básico universal;
3. Promover igualdade de gênero e empoderamento das mulheres;
4. Redução da mortalidade infantil;

5. Melhora da saúde materna
6. Combate ao HIV (AIDS) e outras doenças;
7. Garantir sustentabilidade ambiental;
8. Desenvolver parceria global para o desenvolvimento.

Em 2002, houve a Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável em Johannesburgo. Nesta cúpula foi adotada um plano com um conjunto de medidas relacionadas à água, energia, saúde, agricultura, diversidade biológica, entre outras. Essas medidas tem como objetivo alcançar um desenvolvimento levando em consideração o respeito ao meio ambiente (UN, 2002).

Em 2008 ocorreu a Reunião de Alto Nível com o objetivo de verificar o progresso dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM) e que precisavam intensificar as ações para que esses objetivos fossem alcançados até 2015 (UN, 2008).

Vinte anos após a Rio-92 ocorreu a Conferência das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável que ficou conhecida como a Rio+20. O objetivo desta conferência foi a avaliação do progresso e de lacunas encontradas na implementação das decisões adotadas nas conferências anteriores, verificando o compromisso dos países com o desenvolvimento sustentável (COMITÊ NACIONAL DE ORGANIZAÇÃO RIO+20, 2011).

No ano de 2015 houve a conferência da ONU durante três dias com o objetivo de encontrar novas maneiras para melhorar a vida das pessoas, como a erradicação da pobreza, bem-estar para todos, direito à água potável, proteção ao meio ambiente etc. Essa conferência resultou na criação dos dezessete Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), apresentados na Figura 1, com a meta de serem alcançados até o ano de 2030 (UN, 2015).

Figura 1 - 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).



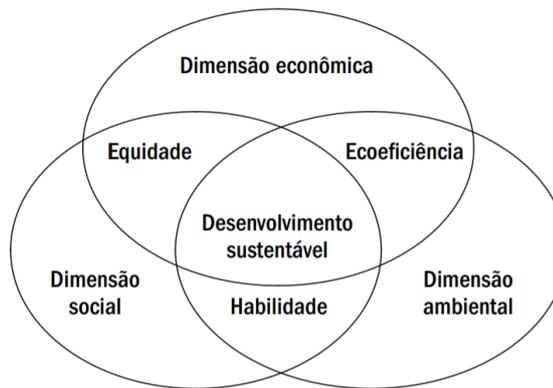
FONTE: (<<https://plan.org.br/conheca-os-17-objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel/>>, 2017)

Atualmente o termo mais utilizado em sustentabilidade é o empregado por Elkington (1998), “*triple bottom line*”, utilizado com ênfase nas três dimensões da sustentabilidade: econômica, ambiental e social (Figura 2).

As empresas devem inovar considerando as três dimensões do *triple bottom line*. A dimensão econômica está ligada a obtenção de lucro para as empresas gerando vantagem competitiva, a dimensão ambiental se preocupa com os impactos ambientais através do uso dos recursos naturais e emissão de poluentes pelas empresas, e a dimensão social se preocupa com os impactos na população como a geração de empregos, inclusão social, erradicação da pobreza, entre outras (BARBIERI *et al.*, 2010).

A ecoeficiência é um termo utilizado para representar a intersecção entre a dimensão econômica e a dimensão ambiental, ou seja, são inovações que diminuem a quantidade de materiais e energia aumentando a vida útil dos produtos, assim, mitigando a quantidade de substâncias tóxicas, porém, para que a inovação ecoeficiente seja considerada sustentável deve-se levar em consideração a dimensão social (BARBIERI *et al.*, 2010; ELKINGTON, 1998).

Figura 2 - Dimensões da Sustentabilidade.



FONTE: (BARBIERI *et al.*, 2010)

2.1.1. Gestão Ambiental

Não é de hoje que a construção civil é considerada uma grande consumidora de matérias-primas provenientes de jazidas e grande geradora de resíduos. Entretanto, levando em consideração essa situação, ao utilizar técnicas de gestão ambiental os cenários de degradação do meio ambiente podem ser minimizados (NETO; GONÇALVES; CÓRDOBA, 2020).

A gestão ambiental é um sistema feito para ajudar empresas e empreendimentos a gerenciarem seus processos e atividades, identificando, gerenciando, monitorando e controlando as questões ambientais (ABNT, 2015).

Nesse âmbito, na gestão ambiental podem também estar inclusos problemas econômicos e sociais, fazendo com que as empresas busquem alternativas que abrangem os requisitos ambientais, econômicos e sociais (DEGANI, 2003).

Ao aplicar a gestão ambiental nas empresas e empreendimentos pode-se gerar um retorno tanto financeiro como melhorar a imagem das empresas. Esse retorno pode ocorrer a longo prazo, porém, é importante as empresas aderirem a estratégias de gestão ambiental usando ferramentas de fácil implementação, assim, contribuindo ao aumento de benefícios competitivos relacionados à melhoria do meio ambiente (SILVA *et al.*, 2016).

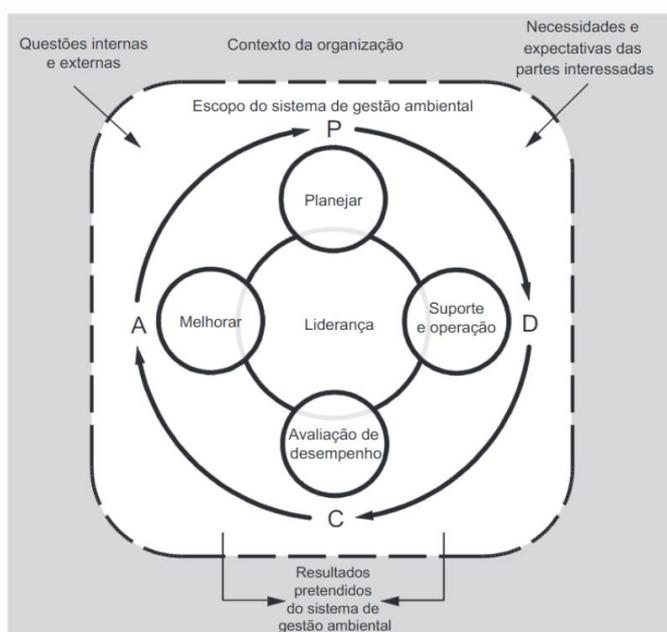
Diante disso, o sistema de gestão ambiental é importante para as empresas e para o meio em que ela está inserida, pois ajuda a mitigar impactos negativos ao meio ambiente e a sociedade, contribuindo à saúde da população e à políticas públicas (CAMPOS; MATOS; BERTINI, 2015).

Portanto, ao adotar a gestão ambiental a empresa estará tomando medidas de proteção ao meio ambiente, uma dessas medidas pode ser a reutilização dos materiais, destinação final adequada dos resíduos sólidos e estudo do impacto ambiental na empresa (ATAÍDES; SILVA; ROSA, 2020).

A ISO 14001 (2015) sobre Sistemas da gestão ambiental faz parte da série de normas ISO 14000 e houve uma atualização em 2015. Esta norma tem como objetivo orientar a implementação de um Sistema de Gestão Ambiental (SGA) ajudando organizações a prevenir e controlar impactos ambientais causados por essas organizações (ABNT, 2015).

O Sistema de Gestão Ambiental (SGA) usa como princípio o ciclo da Figura 3 que está dividido em quatro etapas – Planejar (P), Executar (D), Verificar (C) e Agir (A). Nesse sentido, para a organização melhorar seu sistema de gestão deve-se determinar objetivos para atingir os resultados esperados (Planejar); após isso há a execução do que foi determinado (Executar); depois há o monitoramento desses processos e objetivos devendo estar em conformidade com os requisitos legais; e por último a realização das ações necessárias para melhorar o sistema de gestão da organização ou empresa (ABNT, 2015).

Figura 3 - Ciclo da melhoria contínua (PDCA).



FONTE: (ABNT, 2015)

2.1.2. Gestão de Resíduos

Um dos fatores que prejudicam o meio ambiente é a geração de resíduos, o crescimento da população e da urbanização das cidades amplificam a quantidade dos resíduos sólidos gerados. Diante disso, a preocupação em relação à geração de resíduos sólidos e da destinação final desses resíduos vem aumentando com o passar dos anos e o gestão adequada desses resíduos contribuem para a diminuição dos impactos negativos ao meio ambiente (JACOBI; BESEN, 2011).

O descarte irregular desses resíduos além de causarem impactos ambientais, também atraem vetores que prejudicam a saúde pública por conter material orgânico, tóxico e o aumento da proliferação de insetos (NASCIMENTO *et al.*, 2019).

De acordo com a norma NBR 10004 – Resíduos sólidos (ABNT, 2004a) os resíduos sólidos são classificados de acordo com os riscos ao meio ambiente e à saúde pública, sendo eles:

- a) Resíduos classe I – Perigosos: são resíduos caracterizados como inflamáveis, corrosivos, tóxicos, reativos, tóxicos ou patogênicos, ou seja, resíduos que podem apresentar risco à saúde pública e / ou riscos ao meio ambiente;
- b) Resíduos classe II – Não perigosos:
 - Resíduos classe II A – Não inertes: são resíduos que podem ser biodegradáveis, ter combustibilidade ou solubilidade em água;
 - Resíduos classe II B – Inertes: são resíduos que ao entrarem em contato com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, não solubilizarem em concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água.

A NBR 10005 apresenta procedimentos para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos diferenciando os resíduos classificados como classe I – perigosos e classe II – não perigosos pela NBR 10004 (ABNT, 2004b).

Já a NBR 10006 tem como objetivo definir requisitos para obtenção de extrato solubilizado dos resíduos sólidos diferenciando os resíduos classificados como classe II A – não inertes e classe II B – inertes (ABNT, 2004c).

Em 2010 foi criada a Lei nº 12.305 – Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) que estabelece diretrizes para o gerenciamento de resíduos sólidos. Essa Lei

estabelece uma ordem de prioridade na gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos como “não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos”. Além disso, nesta mesma Lei, enfatiza que pode ser utilizada tecnologias a favor da recuperação energética dos resíduos sólidos, necessitando de uma comprovação técnica e ambiental, (BRASIL, 2010).

Na Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) é feita uma classificação quanto a origem:

- a) Domiciliares;
- b) Limpeza urbana;
- c) Sólidos urbanos;
- d) Estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços;
- e) Serviços públicos de saneamento básico;
- f) Industriais;
- g) Serviços de saúde;
- h) Construção civil;
- i) Agrossilvopastoris;
- j) Serviços de transportes;
- k) Mineração.

Quanto a periculosidade a Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010) define os resíduos como perigosos que apresentam riscos à saúde pública ou ambiental e os resíduos não perigosos:

- a) Resíduos perigosos: inflamáveis, corrosivos, reativos, tóxicos, patogênicos, carcinogênicos etc.;
- b) Resíduos não perigosos: que não estão enquadrados no item (a).

Sendo assim, no capítulo VI está disposto que os resíduos não podem ser destinados à locais como qualquer corpos hídricos, a céu aberto, queima a céu aberto ou recipientes não autorizados ou qualquer outra forma não autorizada pelo poder público (BRASIL, 2010).

Em julho de 2002 foi publicada a resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) estabelecendo formas para o gerenciamento dos resíduos de construção e demolição (RCD) (CONAMA, 2002).

Com o decorrer dos anos essa resolução sofreu algumas alterações:

- Em 2004 através da resolução n° 348 entra em vigor que os materiais ou objetos que contém amianto como telhas são materiais prejudiciais à saúde (CONAMA, 2004).
- A resolução n° 431 de 2011 mudou a classificação do gesso que passou a ser considerado um material de Classe B como um resíduo reciclável (CONAMA, 2011).
- A resolução n° 448 altera os artigos 2°, 4°, 5°, 6°, 8°, 9°, 10° e 11° e revoga os artigos 7°, 12° e 13° (CONAMA, 2012).

E a resolução n° 469 que altera o inciso II do artigo 3° incluindo as embalagens vazias de tintas imobiliárias como Classe B e inclui os parágrafos 1° e 2° no mesmo artigo explicando o que seriam embalagens vazias de tintas imobiliárias e que as embalagens de tintas usadas na construção civil precisam passar por um sistema de logística reversa, ou seja, destinadas para a reciclagem (CONAMA, 2015).

2.2. Sustentabilidade na Construção Civil

A sustentabilidade ganhou relevância num contexto onde as ações empresariais são apontadas como principais causadoras da degradação social e ambiental, visto que, a exploração dos recursos naturais e sua consequente degradação têm sido potencializadas por um sistema orientado, quase que exclusivamente, para o crescimento econômico (ORTEGA, 2014).

A construção civil é uma das atividades mais antigas e indispensável para o crescimento populacional (ALGARVIO, 2009; KARPINSKI *et al.*, 2009), entretanto, é indicada como o setor que mais consome os recursos naturais, além ainda de ser responsável por boa parte dos resíduos sólidos gerados nos centros urbanos. Nas últimas décadas a construção civil tem se dedicado a melhorias nas infraestruturas urbanas, implementando novos progressos ambientais, sociais e econômicos (ROQUE; PIERRI, 2019).

A sustentabilidade na construção civil deve abordar diversos temas, dentre eles, a redução do desperdício de materiais, ações que minimizem custos e insumos, reaproveitamento dos recursos naturais (matérias-primas) (ROQUE; PIERRI, 2019).

Darko *et al.* (2017) elencam vários fatores que influenciam o emprego da sustentabilidade na construção civil, como a: eficiência energética e hídrica, redução dos impactos ambientais, saúde e conforto dos usuários, e reputação da empresa.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente – MMA (2012), existem grandes desafios para o setor da construção civil, em suma, reduzir e otimizar o consumo de materiais, energia e água, reduzir a geração de resíduos, preservar o meio ambiente e melhorar a qualidade do ambiente construído.

O Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS) e a Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura (AsBEA), apresentam algumas para a sustentabilidade na construção civil, sendo as principais (CIC, 2008):

- Aproveitar das condições naturais locais;
- Utilizar mínimo de terreno e integrar-se ao ambiente natural;
- Implantação e análise do entorno;
- Não provocar ou reduzir impactos no entorno;
- Qualidade ambiental interna e externa;
- Gestão sustentável da implantação da obra;
- Adaptar-se às necessidades atuais e futuras dos usuários;
- Usar matérias-primas que contribuam com a ecoeficiência do processo;
- Reduzir o consumo energético;
- Reduzir o consumo de água;
- Reduzir, reutilizar, reciclar e dispor corretamente os resíduos sólidos;
- Introduzir inovações tecnológicas sempre que possível e viável;
- Educação ambiental: conscientização dos envolvidos no processo.

De acordo com Ortega (2014) o setor construtivo vem causando grandes debates, principalmente, quanto às questões ambientais. Pois além de ser um grande consumidor de matérias-primas, é também um grande gerador de resíduos, e quando não possui um programa de gestão destes resíduos, eles são descartados inadequadamente, resultando transtornos sociais, econômicos e ambientais.

O mercado está cada vez mais exigente e com a crescente concorrência, diante disso, a vertente sustentabilidade vem ganhando força no mercado e se tornou um diferencial competitivo (ROQUE; PIERRI, 2019). Desta maneira, uma opção

sustentável com aproveitamento de resíduos da construção civil, parece ser a alternativa para competitividade.

2.2.1. Resíduos de Construção e Demolição (RCD)

De acordo com a resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2002) os resíduos de construção civil (RCC) são os resíduos provenientes de construções como: reformas, reparos, demolições, de preparação e escavação de terrenos. Esses resíduos podem ser restos de tijolos, blocos cerâmicos ou de concreto, solos, rochas, metais, colas, tintas, madeiras, gessos, argamassas, telhas, pavimentos, plásticos, entulhos em geral (CONAMA, 2002).

A resolução nº 307 junto com suas modificações (resoluções nº 348, 431 e 469) classificam os resíduos de construção civil como:

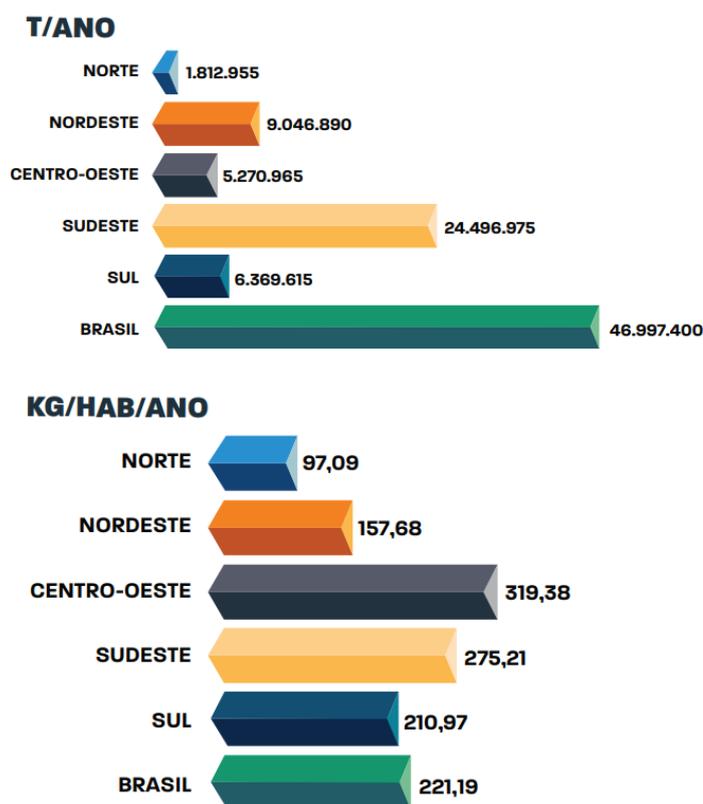
- Classe A: resíduos reutilizáveis ou recicláveis como:
 - a) Resíduos provenientes de construção, reformas e reparos de pavimentação, obras de infraestrutura e terraplanagem;
 - b) Resíduos provenientes de edificações como: cerâmicas, argamassas e concreto;
 - c) Resíduos de processos de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto.
- Classe B: resíduos recicláveis como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias (embalagens com resíduos de tintas secas em seu revestimento interno) e gesso;
- Classe C: resíduos que não existe tecnologias ou aplicações economicamente viáveis para a reciclagem;
- Classe D: resíduos perigosos como: tintas, solventes, óleos ou contaminados ou prejudiciais à saúde como os materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

Esses resíduos devem ter uma destinação final adequada. Portanto, além de se estabelecer diretrizes de gestão para esses resíduos a resolução também

estabelece no Art. 4º que os geradores devem priorizar a não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final adequada para esses resíduos. No mesmo Art. 4º parágrafo 1º estabelece que os resíduos não podem ser destinados à áreas como aterros de resíduos sólidos urbanos, áreas de “bota fora”, encostas, corpos d’água, lotes vagos e áreas protegidas por Lei (CONAMA, 2012).

A geração de RCD tem atingido dados alarmantes, em 2020, no Brasil foram coletados 47 milhões de toneladas de RCD, correspondendo a aproximadamente 221,2 kg por habitante/ano. De acordo com a Figura 4 a região sudeste se destaca com a maior quantidade de RCD coletado no Brasil, sendo por volta de 52% do total coletado em um ano, porém a região que se destaca em relação a coleta de RCD em kg/hab/ano é o centro-oeste com aproximadamente 319 kg de RCD por habitante/ano (ABRELPE, 2021).

Figura 4 - Coleta de RCD pelos municípios nas regiões do Brasil.

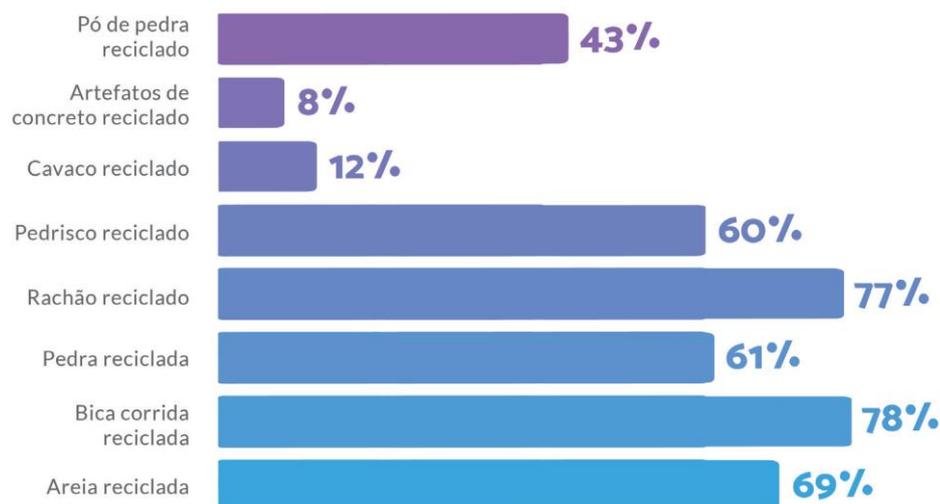


FONTE: (ABRELPE, 2021)

De acordo com a última pesquisa setorial da ABRECON (2019), há um total estimado de 360 usinas de reciclagem e RCD no Brasil, sendo que 64% das usinas produzem volumes inferiores a 3.000 m³/mês e apenas 10% declararam que produzem acima de 10.000 m³/mês.

A Figura 5 mostra os principais produtos que são produzidos pelas usinas de reciclagem, sendo a maior porcentagem de bica corrida reciclada (78%), de rachão reciclado (77%) e areia reciclada (69%). Portanto, boa parte das usinas produzem materiais reciclados de RCD com diferentes granulometrias, com diferentes potenciais de uso com diversas formas de comercializações (ABRECON, 2019).

Figura 5 - Principais produtos desenvolvidos ou comercializados pelas usinas de reciclagem



FONTE: (ABRECON, 2019)

O Quadro 1 mostra os possíveis usos dos resíduos de construção e demolição (RCD) como materiais reciclados na construção civil recomendados pela ABRECON (2021), sendo possível a utilização desde areias recicladas para argamassas até materiais do tipo rachão para pavimentos.

Quadro 1 - Usos recomendados de resíduos reciclados na construção civil.

Produto	Uso Recomendado
Areia reciclada	Argamassas de assentamento de alvenaria de vedação, contrapisos, solo-cimento, blocos e tijolos de vedação.
Pedrisco reciclado	Fabricação de artefatos de concreto, blocos de vedação, pisos intertravados, manilhas de esgoto, dentre outros.
Brita reciclada	Fabricação de concretos não estruturais e obras de drenagens.
Bica corrida	Obras de base e sub-base de pavimentos, reforço e subleito de pavimentos, regularização de vias não pavimentadas, aterros e acerto topográfico.
Rachão	Obras de pavimentação, drenagem e terraplanagem.

FONTE: (ABRECON, 2021)

2.3. Argamassas

As argamassas fazem parte de um sistema tendo como objetivo a impermeabilização, isolamento termoacústico, absorção de deformações, regularização e/ou proteção de substratos, unir os elementos de uma alvenaria, entre outros. Em função disso é importante que as argamassas tenham: boa trabalhabilidade, capacidade de aderência ao substrato, durabilidade quanto aos agentes químicos e físicos com o decorrer da vida útil do sistema, baixo módulo de elasticidade (RECENA, 2011).

De acordo com a norma ABNT NBR 13281 (2005a) as argamassas são misturas homogêneas de agregado miúdo, aglomerante e água, podendo ou não ter aditivos com principais propriedades de aderência e endurecimento, geralmente são dosadas no canteiro de obras ou podem ser industrializadas.

A norma ABNT NBR 13281 (2005a) também apresenta sete requisitos que devem ser cumpridos pelas argamassas de assentamento e de revestimentos que são classificadas de acordo com as propriedades apresentadas na Tabela 1.

Os sete requisitos são:

- P: resistência à compressão (MPa)
- M: densidade de massa aparente no estado endurecido (kg/m^3)
- R: resistência à tração na flexão (MPa)
- C: coeficiente de capilaridade ($\text{g/dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$)
- D: densidade de massa no estado fresco (kg/m^3)
- U: retenção de água (%)
- A: resistência potencial de aderência à tração

Tabela 1 - Requisitos da norma ABNT NBR 13281 (2005a).

CLASSES	1	2	3	4	5	6
P (MPa)	≤ 2,0	1,5 a 3,0	2,5 a 4,5	4,0 a 6,5	5,5 a 9,0	> 8,0
M (kg/m³)	≤ 1200	1000 a 1400	1200 a 1600	1400 a 1800	1600 a 2000	> 1800
R (MPa)	≤ 1,5	1,0 a 2,0	1,5 a 2,7	2,0 a 3,5	2,7 a 4,5	> 3,5
C (g/dm².min^{1/2})	≤ 1,5	1,0 a 2,5	2,0 a 4,0	3,0 a 7,0	5,0 a 12,0	> 10,0
D (kg/m³)	≤ 1400	1200 a 1600	1400 a 1800	1600 a 2000	1800 a 2200	> 2000
U (%)	≤ 78	72 a 85	80 a 90	86 a 94	91 a 97	95 a 100
A (MPa)	< 0,20	≥ 0,20	≥ 0,30	-	-	-

FONTE: (ABNT, 2005)

Esses requisitos devem estar dispostos nas embalagens de acordo com a classificação das argamassas industrializadas, e para as embalagens preparadas in loco estes requisitos devem estar dispostos na documentação de execução (ABNT, 2005).

Ainda, de acordo com a ABNT NBR 13281 (2005), existem vários tipos de argamassas de acordo com a sua função como:

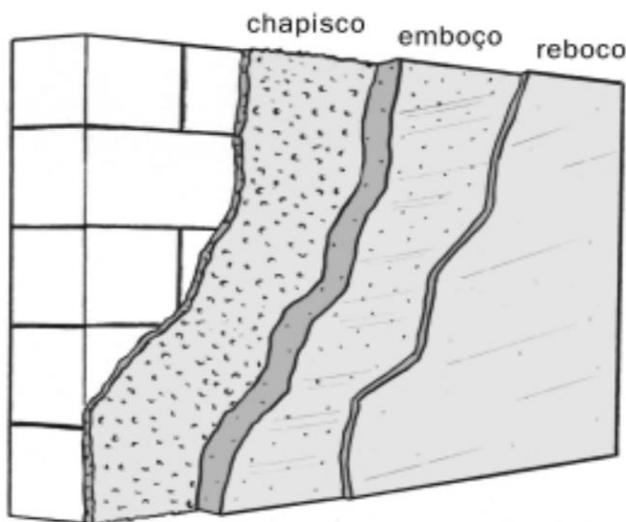
- Para assentamento: argamassa para assentamento de alvenaria de vedação, para assentamento de alvenaria estrutural e para complemento de alvenaria (encunhamento);
- Para revestimento: argamassa para revestimento interno, revestimento externo de paredes e tetos;
- Argamassas de uso geral;
- Argamassas para reboco;
- Argamassa decorativa em camada fina;
- Argamassa decorativa em monocamada para locais em contato com o meio externo.

2.3.1. Argamassas de Revestimento

Em relação a argamassa de revestimento, ela é o tipo de revestimento mais utilizado em alvenarias no Brasil, pois ajuda a proteger as edificações principalmente das ações externas (MONTE; BARROS; FIGUEIREDO, 2018).

As argamassas são consideradas uma proteção com uma ou mais camadas formando uma superfície que possa receber ou não um acabamento decorativo, além disso, é composta por uma mistura homogênea de aglomerante, agregado miúdo, água e/ou aditivos/adições (ABCP, 2002; ABNT, 2013). Na Figura 6 estão representadas as camadas de um revestimento de argamassa, sendo: chapisco uma camada que uniformiza a superfície da base e melhora a aderência do revestimento, o emboço também tem função de regularizar a base podendo ter chapisco antes ou não e ajuda a receber uma outra camada de reboco ou revestimento decorativo, e o reboco que pode ter função de acabamento final (ABNT, 2013).

Figura 6 - Camadas do revestimento em argamassa.



FONTE: (ABCP, 2002)

As argamassas não podem ser consideradas de forma isoladas, deve-se sempre levar em consideração o sistema como um todo, a interação com o substrato, e para isso as argamassas de revestimentos tem algumas funções principais como: impermeabilização, absorção de deformações naturais, regularizar e/ou proteger os substratos dos sistemas de impermeabilização e isolamento termo acústico (RECENA, 2011).

Além disso, de acordo com Recena (2011), para que as argamassas cumpra as suas funções deve apresentar as propriedades:

- Trabalhabilidade adequada;
- Capacidade de retenção de água;
- Durabilidade de acordo com a vida útil da edificação;
- Estabilidade química;
- Estabilidade física com resistência mecânica de acordo com os ciclos de molhagem e secagem;
- Ter aderência ao substrato formando um sistema único;
- Baixo módulo de elasticidade para que sejam capazes de absorver as deformações causadas pelas tensões da movimentação da estrutura.

2.3.2. Argamassas com Resíduos de Construção e Demolição (RCD)

Alguns estudos observaram alterações na composição de argamassas que utilizam os Resíduos de Construção e Demolição (RCD) como agregado reciclado mostrando um aumento na relação a/c em comparação às argamassas com agregados naturais, pois os resíduos reciclados apresentam maior quantidade de finos e maior área específica do grão (JOICHEM, 2012; SOUZA; LIMA; SOUZA, 2019).

As argamassas com o uso do RCD como agregado reciclado também podem apresentar resistências superiores em relação às argamassas convencionais. Como Jochem (2012) acrescenta o aumento na resistência à aderência, podendo alcançar resistência maior que 0,20 MPa que é o valor mínimo exigido por norma.

Segundo Assunção, Carvalho e Barata (2007) as argamassas com agregado reciclado podem apresentar compressão axial maior em comparação à argamassa composta apenas por agregado natural. A Tabela 2 mostra esse resultado, ou seja, as argamassas com até 50% de agregado reciclado obtiveram resistências maiores em relação à argamassa de referência com agregado natural (REF).

Tabela 2 - Resultados em MPa do ensaio de compressão axial.

Traços	REF (MPa)	AR 30 (MPa)	AR 50 (MPa)
7 dias	4,30	3,80	6,16
	4,43	4,48	6,21
	4,29	4,58	6,98
14 dias	4,59	4,74	7,74
	3,97	5,70	6,40
	4,97	5,20	8,10

FONTE: ASSUNÇÃO; CARVALHO; BARATA, 2007

A pesquisa realizada por Oliveira (OLIVEIRA, 2012) também descreve que o agregado reciclado apresentou 21% maior absorção de água do que o agregado natural, ou seja, a argamassa que utiliza o resíduo reciclado de RCD precisará de maior demanda de água para uma mesma consistência. Porém, a resistência à compressão chegou a ter 5,6 MPa e a resistência à aderência chegou a 0,59 MPa para as argamassas com até 75% de agregado reciclado.

As argamassas que utilizam RCD como agregado reciclado também podem apresentar fissuras por causa do alto teor de finos que está presente no agregado reciclado como mostra a Figura 7, porém isso pode ser minimizado ao controlar o teor de finos passantes pela peneira de 75µm (BAVASTRI; RUDNITSKI; MOHAMAD, 2014; MORALES, 2015).

Figura 7 - Fissuras em revestimentos de argamassa com RCD.



FONTE: (BAVASTRI; RUDNITSKI; MOHAMAD, 2014)

A utilização de RCD em argamassas também podem ter um potencial de absorção do dióxido de carbono (CO₂) duas vezes maior comparada às argamassas convencionais devido a presença de portlandita no RCD utilizado (SOUZA; LIMA;

SOUZA, 2019). De acordo com a Tabela 3, as argamassas com 100% de substituição de agregado natural por agregado reciclado obtiveram maiores porcentagens de CO₂ absorvido devido à presença de Portlandita [Ca(OH)₂] no RCD.

Tabela 3 - Quantidade de CO₂ contido em argamassas de diferentes idades.

Argamassa	Teor de CO₂ aos 7 dias (% em massa)	Teor de CO₂ aos 14 dias (% em massa)	Teor de CO₂ aos 28 dias (% em massa)	Teor de CO₂ aos 56 dias (% em massa)
AN (100 % agregado natural)	1,84	3,04	3,32	3,86
RCD (100% agregado reciclado)	6,89	7,34	8,01	8,25
AN/RCD (50 % agregado natural e 50% agregado reciclado)	6,01	6,10	6,32	6,42
AN/Cal (92,4 % agregado natural e 7,6% cal hidratada)	4,03	4,24	4,42	5,71

FONTE: SOUZA; LIMA; SOUZA, 2019.

2.4. Inovação e Informações Patentárias

No decorrer dos anos as empresas vem sendo incentivadas a criar novos produtos e/ou processos, assim as empresas e organizações têm a necessidade de inovar cada vez mais para a manutenção de seus negócios (HIRATA *et al.*, 2015)

A inovação é um termo com vários conceitos diferentes, o termo é derivado do latim *innovare* que significa *fazer algo novo*, ou seja, inovação é um processo, não basta ter boas ideias, mas sim fazer com que essas ideias tenham uma utilidade prática (TIDD; BESSANT, 2015). A inovação pode ser a produção de um novo produto ou a melhora de um produto já existente, ou processos e métodos adotados por empresas ou organizações (OCDE, 2007).

A inovação ainda pode abordar a sustentabilidade, que visa não só a introdução de produtos, processos e métodos de gestão podendo ser novos ou apenas melhorados, mas também resulte em benefícios significativos para os setores econômicos, sociais e ambientais. Inovar levando em conta as três dimensões da sustentabilidade não é fácil, mas com um bom planejamento de gestão é possível,

podendo ser aplicado não só por empresas inovadoras, mas também por instituições de ensinos, de pesquisas e órgãos governamentais, pela sociedade civil (BARBIERI *et al.*, 2010).

Segundo a OCDE (2009) a inovação sustentável é a que enfatiza o conceito de redução do impacto ambiental e não se limita apenas à inovação de produtos, processos ou métodos, mas também inclui a inovação social. Portanto, as empresas devem inovar pensando nas três dimensões da sustentabilidade: social, ambiental e econômica.

A inovação pode agregar valor aos produtos e/ou processos e ser protegida por meio das patentes (INPI, 2010). A patente é uma das formas mais antigas de proteger as invenções, pois contém registros de inovações tecnológicas desde o século XVII e podem ser documentos públicos como fonte de conhecimento de informações técnicas indicando o nível de inovação de um país ou região de acordo com a quantidade de registros de patentes (PINTO; SILVA; SILVA, 2017).

Diante disso, a patente é uma autorização que dá ao titular o direito de poder controlar o uso de uma invenção conforme as suas reivindicações dentro de uma área e por um tempo limitado. Após feito o depósito da patente, ela é publicada pela *World Intellectual Property Organization* (WIPO) após 18 meses da data de prioridade, sendo assim, ela passa a ficar disponível nos bancos de dados internacionais (OMPI, 2007).

A Lei N° 9.279, de 14 de maio de 1996, dispõe sobre os direitos e obrigações relacionados à propriedade industrial descrevendo que uma invenção é patenteável quando atende aos requisitos de novidade, ou que resulte na melhoria de uma invenção ou no processo de fabricação (BRASIL, 1996).

Segundo *World Intellectual Property Organization* (2004) a patente é um documento emitido através de um órgão governamental ou regional que descreve uma invenção que só poderá ser explorada com a autorização do detentor da patente, essa proteção geralmente tem um período limitado de até 20 anos. Quando uma patente é concedida, deve apresentar detalhes no registro como dados bibliográficos, número da patente, nome e endereço do depositante e do inventor, número do pedido original, data de depósito e detalhes sobre o pedido de prioridade da invenção. Após a patente ser concedida é emitido um certificado e passa a ser publicada nas bases de dados de informações patentárias 18 meses após a data de prioridade ou de depósito.

Sendo assim, a patente é uma ferramenta para disseminar a informação, pois pode ser utilizada como uma fonte de dados para indicadores de desenvolvimento tecnológico e econômico, para acompanhar a evolução tecnológica e para identificar os detentores de tecnologias, as tendências do mercado e a possibilidade de identificar as empresas que investem em pesquisa e desenvolvimento (P&D) (HIRATA *et al.*, 2015; PARANHOS; RIBEIRO, 2018).

A patente também pode ser usada como fonte técnica e tecnológica que é expressa ao mercado, podendo conduzir a pesquisa em diferentes áreas sendo que está sempre surgindo mudanças na sociedade fazendo com que haja novas formas por obtenção de conhecimento sejam utilizadas (QUONIAM; KNIESS; MAZIERI, 2014).

Segundo Haase, Araújo e Dias (2005), existe uma relação inversa entre a criação de valores econômicos e a quantidade dos resultados de pesquisa, ou seja, existem muitas informações e conhecimentos que não agregam em valores econômicos como mostrado no gráfico da Figura 8. Porém, as inovações baseadas em patentes, patentes comercializadas e as patentes concedidas apresentam uma quantidade de resultados significativamente baixa, mas com um grande valor econômico. As informações patentárias são fontes de informações que podem ser aproveitadas pelas universidades enriquecendo as pesquisas fazendo uma ligação entre as atividades de P&D e a exploração comercial.

Figura 8 - Relação entre conhecimento e inovação à criação de valores econômicos.



FONTE: (HAASE; ARAÚJO; DIAS, 2005)

As informações patentárias estão disponíveis nas bases de dados como: Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), Escritório Americano de Patentes e Marcas (USPTO), *European Patent Office* (EPO), LATIPAT, *World Intellectual Property Organization* (WIPO), *Derwent Innovations Index* (DII) e o *Google Patents* (QUINTELLA *et al.*, 2018).

O *European Patent Office* (EPO) é uma base de dados de patentes gratuita que contém atualmente mais de 120 milhões de documentos de patentes de todo o mundo, podendo ser acessível através da ferramenta do ESPACENET (<https://worldwide.espacenet.com/>) (EPO, 2021).

O *World Intellectual Property Organization* (WIPO) é uma base fundada em 1967 e autofinanciada pelas Nações Unidas. Atualmente, contém um total de 97 milhões de documentos de patentes disponíveis na ferramenta do PATENTSCOPE (<https://patentscope.wipo.int/search/en/search.jsf>) (WIPO, 2021).

O *Google Patents* é outra base de dados de patentes gratuita que inclui mais de 120 milhões de publicações de patentes, sendo mais de 100 milhões de escritórios de patentes em todo o mundo disponível no site <https://patents.google.com/> (GOOGLE, 2021).

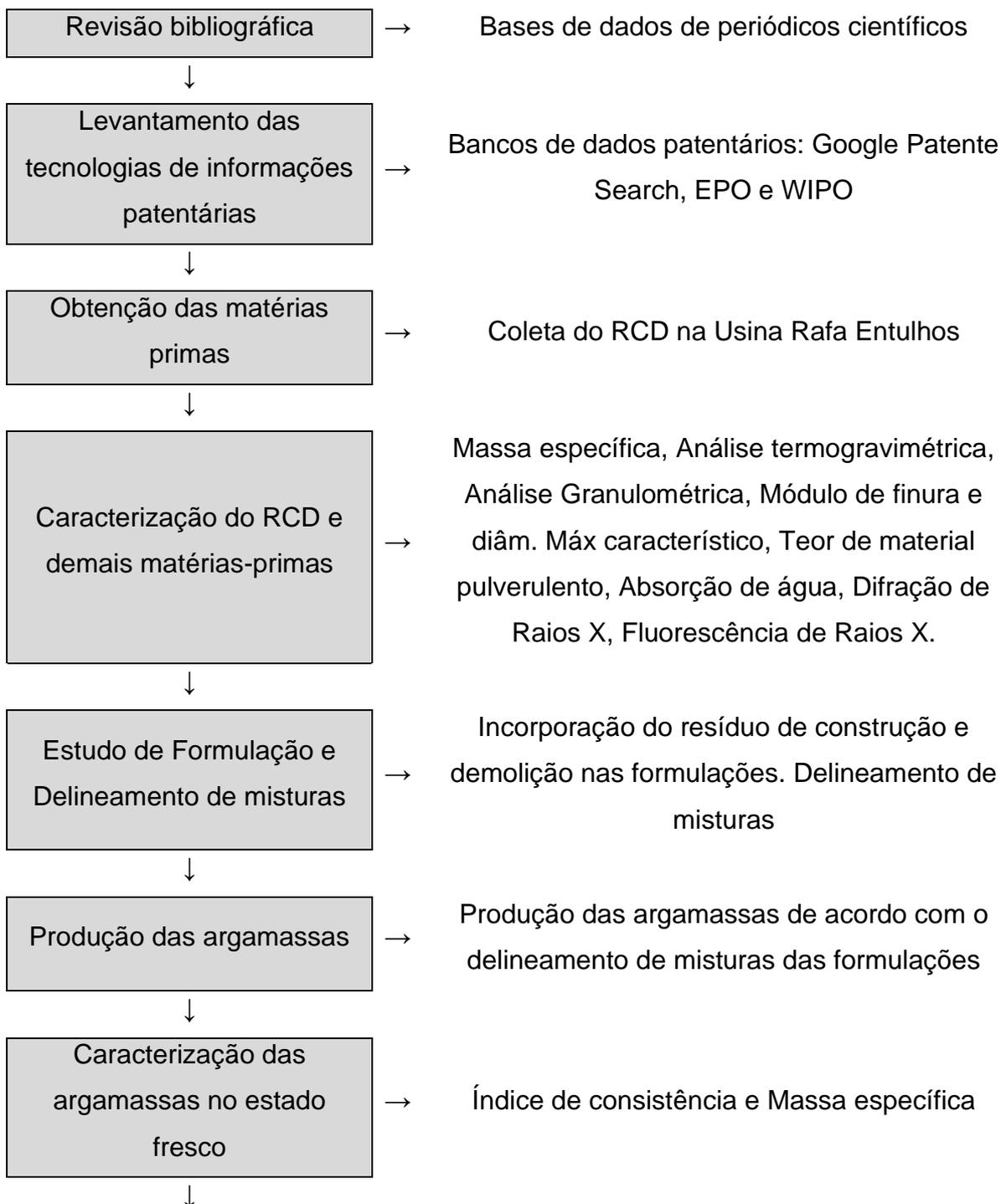
Diante disso, o uso de patentes se mostra como uma ferramenta importante para o acompanhamento tecnológico das tendências de mercados da produção de argamassas, principalmente ao que se refere às argamassas com o uso de agregado reciclado em sua composição, uma vez que o uso deste material como matéria-prima não é tão usual. O uso dos resíduos de construção de demolição (RCD) são vistos como um ponto positivo ao que se refere a sustentabilidade, pois além de ajudar com o aumento da vida útil dos aterros e das jazidas onde são extraídas matérias-primas.

3. METODOLOGIA DA PESQUISA

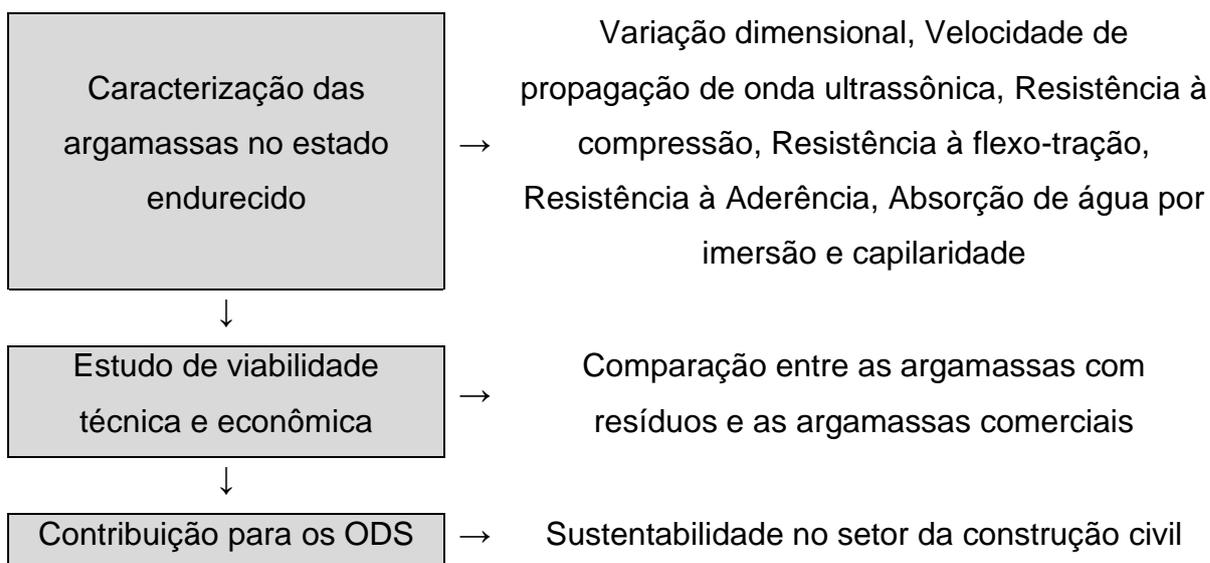
O fluxograma apresentado na Figura 9 descreve de forma resumida a metodologia empregada nesta pesquisa de acordo com os objetivos propostos. Cada etapa descrita será detalhada neste item.

Figura 9 - Fluxograma da metodologia da pesquisa empregada.

(Continua)



(Conclusão)



3.1. Revisão Bibliográfica

Para o desenvolvimento deste trabalho foi realizada uma pesquisa bibliográfica em bases de dados de periódicos científicos para a coleta de informações sobre as pesquisas desenvolvidas, dentre os quais, foram encontrados artigos, dissertações e teses de mestrados e doutorados e capítulos de livros relacionadas ao tema que está sendo abordado (estado da arte).

Essa pesquisa foi realizada através das bases de dados do Google Acadêmico (<https://scholar.google.com.br/>), Science Direct (<https://www.sciencedirect.com/>) e Scielo (<https://www.scielo.org/>) com corte temporal de 2000 à 2021 e utilizando as palavras chaves “argamassas de revestimento”, “RCD em argamassas de revestimento”, “argamassas com resíduos de construção e demolição”, “argamassas com substituição do agregado por RCD” e “sustentabilidade na construção civil”.

3.2. Levantamento das Informações Patentárias

Para o levantamento das informações patentárias foi necessário acessar os registros de pedidos de patentes que estão disponíveis em bancos de dados contendo informações tecnológicas que abrangem várias áreas e de fácil acesso como o Google

Patent Search¹, o WIPO² e o EPO³, todos com milhões de patentes disponíveis (FERRAZ *et al.*, 2016).

Para os estudos de alternativas de reciclagem dos resíduos a partir de informações patentárias foram usados métodos mistos, especialmente qualitativos para a interpretação indutiva dos resultados e quantitativo relacionado a análise estatística dos dados disponíveis.

A busca de informações tecnológicas foi realizada utilizando um modelo de mapeamento baseado em Paranhos e Ribeiro (PARANHOS; RIBEIRO, 2018):

- a) Definição das bases de dados a serem pesquisadas dependendo do enfoque do mapeamento;
- b) Construção do escopo para a busca patentária, garantindo qualidade na metodologia utilizada;
- c) Busca e seleção dos documentos recuperados para download;
- d) Retirada das duplicidades, repetições e documentos falsos;
- e) Elaboração de planilhas para estudo estatísticos e ponderações qualitativas.

Esta pesquisa foi realizada durante os meses de julho a setembro de 2020 utilizando as palavras-chaves “*construction and demolition waste*” e “*mortar*” acompanhadas do operador booleano “*and*”, sem recorte temporal. Os resultados encontrados foram catalogados em uma planilha com o nome dos inventores e depositantes, escritório/país, número da patente, Classificação Internacional de Patentes (CIP), data de depósito e um breve resumo (esta planilha encontra-se no APÊNDICE II).

Através desse levantamento foi possível verificar a quantidade de depósitos de patentes com o decorrer dos anos, os escritórios/países que detêm a maior quantidade de patentes sobre o tema tornando o mercado mais favorável e a quantidade de patentes de acordo com cada código da Classificação Internacional de Patentes (CIP) permitindo a definição da área em que cada patente se encontra.

As informações obtidas nas bases patentárias contribuíram para os parâmetros do planejamento da rota tecnológica para a produção das argamassas de

¹ Disponível em: www.google.com/patents

² Disponível em: <http://www.wipo.int/patentscope/en/>

³ Disponível em: <http://worldwide.espacenet.com/>

revestimento que foram desenvolvidas em escala laboratorial utilizando o resíduo de construção e demolição (RCD) como agregado reciclado (AGRR)

3.3. Matérias-primas Empregadas

O agregado reciclado é proveniente de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) que foram disponibilizados pela empresa Rafa Entulhos, localizada em Santo André - SP. A Rafa Entulhos é uma empresa de coleta de resíduos que tem usinas mineradoras onde é feito o processo de triagem, separação e britagem de resíduos que são produzidos e vendidos ensacados. O agregado adquirido foi do tipo areia média, que são vendidas em sacos de 20 kg (Figura 10).

Figura 10 - Saco de agregado reciclado.



FONTE: (Autora, 2021)

O agregado natural utilizado nas argamassas é a areia de granulometria média. De acordo com Lima *et. al.* (2020) a areia média pode ter diâmetro máximo característico de 2,38 mm. Portanto neste trabalho foi utilizado a areia média natural disponibilizada pelo laboratório da Universidade São Judas.

De acordo com algumas pesquisas como da Oliveira e Cabral (2011), Assunção *et. al.* (2007) e Ferreira (2017) a escolha do tipo de cimentos Portland é justificada através dos tipos de cimentos que estão disponíveis na região em que a pesquisa é realizada. Porém, dentre os cimentos Portland, o CP III pode contribuir para a diminuição de fissuras nas argamassas, tem maior durabilidade, menor permeabilidade e pode ser considerado um tipo de cimento ecológico por conter baixo teor de clínquer em sua composição (25 – 65%) (ABNT, 2018; CSN, 2021). Portanto, o cimento Portland escolhido para este trabalho é o CP III.

A cal hidratada é um ligante comumente utilizada em argamassas de revestimento. Segundo a norma NBR 7175 existem três tipos de cal hidratada: CH-I, CH-II e CH-III, e a cal utilizada será a CH-III.

A água de amassamento para as argamassas será a água disponível da rede pública da região da Mooca em São Paulo.

3.4. Caracterização das Matérias-Primas

O Quadro 2 descreve os ensaios que foram realizados para a caracterização das matérias-primas utilizadas. A seguir, cada um desses ensaios será detalhado.

Quadro 2 - Ensaio de caracterização das matérias-primas.

Material	Ensaio	Ref.
Cimento (CI)	Massa Específica	NBR 16605: 2017
Cal Hidratada (CH)	Massa Específica	NBR 16605: 2017
	Análise Granulométrica	NBR NM 248: 2003
Agregado Miúdo Natural (AGRN)	Módulo de Finura e Diâm. Máx Característico	NBR NM 248: 2003
	Massa Específica Seca	NBR 16916:2021
	Massa Específica Saturada Superfície Seca	NBR 16916:2021
	Massa Unitária	NBR 16972: 2021
	Teor de Material Pulverulento	NBR 16973: 2003
	Absorção de Água	NBR 16916:2021
	Quarteamento	NBR 16915:2021
Agregado Reciclado (AGRR)	Análise Granulométrica	NBR NM 248: 2003
	Módulo de Finura e Diâm. Máx Característico	NBR NM 248: 2003
	Análise Termogravimétrica	(SCRIVENER; SNELLINGS; LOTHENBACH, 2016)
	Massa Específica	NBR 16916:2021
	Massa Unitária	NBR 16972:2021
	Absorção de Água	NBR 16916:2021
	Teor de Material Pulverulento	NBR 16973: 2003
Análise mineralógica (DRX)	(SALVADOR <i>et al.</i> , 2020)	
Fluorescência de Raio X (FRX)	(SALVADOR <i>et al.</i> , 2019)	

FONTE: Elaborado pela autora (2021)

3.4.1. Quarteamento da amostra de agregado reciclado (AGRR)

Para a realização da caracterização do agregado reciclado (AGRR) é necessário obter uma amostra representativa, portanto foi realizado o procedimento de quarteamento descrito no Procedimento B da norma NBR 16915 (ABNT, 2021a).

A amostra foi colocada em uma superfície de madeira para não ocorrer a perda de material e foi homogeneizada com a ajuda de uma pá. Após isso, a amostra foi disposta em formato de cone e dividida em quatro partes iguais (Figura 11), sendo que duas partes opostas diagonalmente são descartadas do ensaio e as outras duas são quarteadas novamente até que a amostra seja reduzida a uma quantidade necessária para os ensaios de caracterização, assim obtendo uma amostra representativa.

Figura 11 - Quarteamento da amostra de agregado reciclado (AGRR).



3.4.2. Massa Específica (M.E.)

A massa específica do cimento e da cal hidratada foi determinada de acordo com a norma NBR 16605 (ABNT, 2017). Para isso, utilizou-se um frasco Le Chatelier, balança com resolução 0,01 g, funil para auxiliar a inserção do material no frasco e um reagente líquido não reagente com a amostra. O resultado foi obtido através da Equação (1):

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

ρ = massa específica do material em g/cm³;

m = massa do material a ser ensaiado em g;

V = volume deslocado (V₂' - V₁') em cm³;

Para o agregado miúdo, a norma utilizada foi a NBR 16916 (2021a) que determina a densidade do agregado miúdo e a absorção de água. Para isso, foi utilizado um frasco de (500 ± 25) ml, molde de tronco cônico, haste de compactação, estufa, peneiras, entre outros. O resultado foi obtido através das Equações (2) e (3):

$$\rho_s = \frac{m_A}{V - V_a} \quad (\text{Eq. 2}) \quad V_a = \frac{m_D - m_C}{\rho_a} \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:

ρ_s = densidade do agregado na condição seca, em gramas por centímetro cúbico (g/cm³);

m_A = massa da amostra seca em estufa a (105 ± 5) °C, em gramas (g);

V = volume do frasco, em centímetros cúbicos (cm³);

V_a = volume de água adicionada ao frasco, em centímetros cúbicos (cm³);

m_C = massa da amostra saturada superfície seca mais a massa do frasco, em gramas (g);

m_D = massa da amostra saturada superfície seca mais a massa do frasco mais a massa da água, em gramas (g);

ρ_a = densidade da água na temperatura do banho, em gramas por centímetro cúbico (g/cm³).

3.4.3. Massa Específica Saturada Superfície Seca

A massa específica na condição saturada superfície seca foi determinada utilizando a mesma norma da massa específica seca a NBR 16916 (ABNT, 2021a)

$$\rho_{sss} = \frac{m_B}{V - V_a} \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde:

ρ_{SSS} = densidade do agregado na condição saturada superfície seca, em gramas por centímetro cúbico (g/cm^3);

m_B = massa da amostra saturada superfície seca, em gramas (g);

V = volume do frasco, em centímetros cúbicos (cm^3);

V_a = volume de água adicionada ao frasco, em centímetros cúbicos (cm^3).

3.4.4. Massa Unitária (M.U.)

A determinação da massa unitária para os agregados miúdos (agregado natural e agregado reciclado) foi realizada de acordo com a norma NBR 16972 (ABNT, 2006).

3.4.5. Absorção de água

A absorção de água foi realizada nos agregados miúdos (natural e reciclado) de acordo com a norma NBR 16916 (ABNT, 2021), sendo calculada de acordo com a Equação (5):

$$\text{Abs} = \frac{m_B - m_A}{m_A} \times 100 \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde:

Abs = absorção de água, em porcentagem (%);

m_A = massa da amostra seca em estufa a $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$, em gramas (g);

m_B = massa da amostra saturada superfície seca, em gramas (g).

3.4.6. Análise Granulométrica

Através da norma NBR NM 248 (ABNT, 2003) obteve-se a curva granulométrica dos agregados miúdos (agregado natural e reciclado), módulo de finura e a dimensão máxima característica. Para a realização do ensaio utilizou-se uma balança com resolução de 0,1% da massa da amostra, estufa para secagem da amostra, peneiras da série normal e intermediária, pincel ou escova.

3.4.7. Teor de Materiais Pulverulentos

O teor de materiais pulverulentos foi obtido de acordo com a norma NBR 16973 (ABNT, 2003) que determina o material fino passante na peneira $75\mu\text{m}$. Os

equipamentos utilizados foram: balança analítica com resolução de 0,1 g, jogo de peneiras com abertura de malha de 75 µm e 1,18 mm, recipiente para levar a amostra à estufa.

A amostra para o ensaio foi de 500 g, que foi seca em estufa à temperatura de (105 ± 5) °C por 24 horas. Após isso, a amostra foi colocada nas peneiras e lavada com o auxílio de um fluxo contínuo de água até que a água passante ficasse límpida.

A quantidade de material passante pela peneira com abertura de malha de 75 µm por lavagem é calculada de acordo com a Equação (6):

$$m = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100 \quad (\text{Eq. 6})$$

Onde:

m = é a quantidade de material mais fino que 75 µm, em porcentagem (%);

m_i = massa inicial da amostra seca em estufa a (105 ± 5) °C, em gramas (g);

m_f = massa da amostra seca após a lavagem, em gramas (g).

3.4.8. Análise Termogravimétrica (TGA)

A Análise Termogravimétrica (TGA) é uma técnica termoanalítica que apresenta a variação de massa de uma amostra em função da temperatura sendo capaz de identificar hidratos amorfos como o C-S-H, além disso, pode ser uma técnica que complementa resultados de outras análises como a de Difração de Raios X (DRX) (SCRIVENER; SNELLINGS; LOTHENBACH, 2016).

A TGA pode estar acompanhada da Termogravimetria Derivada (DTG) que é um arranjo matemático da derivada da variação da massa em um período de tempo em função da temperatura, sendo assim uma derivada da Análise Termogravimétrica (TGA) (DENARI; CAVALHEIRO, 2012; SCRIVENER; SNELLINGS; LOTHENBACH, 2016).

Essa análise tem diversas aplicações, como: determinar calcinação e torrefação de minerais; corrosão de materiais em várias atmosferas; decomposição de materiais explosivos; decomposição térmica ou pirólise de materiais orgânicos, inorgânicos e biológicos, entre outros. O equipamento utilizado para este ensaio é composto por uma microbalança, um forno, termopares e um sistema de fluxo de gás (MACHADO, 2008).

Para esta análise devem ser considerados alguns parâmetros importantes que podem afetar os resultados da TGA, como a preparação das amostras a serem analisadas. A água livre presente na amostra pode ser removida antes do ensaio para a preservação dos hidratos. Outro fator que pode prejudicar as amostras é a carbonatação durante o armazenamento, pois caso haja a presença de um pouco de água e os grãos por serem muito finos, e conseqüentemente ter uma grande área superficial, tornam essas amostras mais suscetíveis à carbonatação. Portanto, é importante que as amostras tenham um armazenamento adequado (SCRIVENER; SNELLINGS; LOTHENBACH, 2016).

Este ensaio foi realizado apenas no agregado reciclado (AGRR). A amostra para representar o lote do agregado reciclado (AGRR) foi obtida através do quarteamento (item 3.4.1.1.). Essa amostra passou por um peneiramento utilizando uma malha de 150 µm até que fosse obtida uma quantidade de aproximadamente 5 gramas de amostra passante e armazenada em saquinho hermético.

Esta caracterização foi realizada através do Laboratório de Materiais para Produtos de Construção (LMPC) localizado no Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT).

3.4.9. Análise Mineralógica por Difração de Raios X (DRX)

A DRX é comumente usada em materiais cimentícios para uma análise qualitativa identificando as fases mineralógicas por meio da estrutura cristalina das fases presentes na amostra (SCRIVENER; SNELLINGS; LOTHENBACH, 2016).

A técnica utilizada para a Difração de Raio X (DRX) foi a do pó, que consiste na incidência de um feixe de Raio X sobre a amostra e os ângulos são medidos onde o comprimento da onda de raio X de característica λ é difratado podendo ser relacionado à Lei de Bragg (Equação 7) (BISH; POST, 2018):

$$n\lambda = 2d \sin\theta \quad (\text{Eq. 7})$$

Este ensaio foi realizado para caracterizar o agregado reciclado (AGRR) utilizando uma amostra representativa obtida através do quarteamento (item 3.4.1.1.) que passou por um peneiramento utilizando a malha de 150 µm até que fosse obtida uma quantidade aproximada de 5 gramas de amostra passante. Esta amostra foi armazenada em saco hermético até a realização do ensaio.

Para a realização do DRX com a técnica do pó foi utilizado um difratômetro PANalytical X'Pert PRO MPD Alpha1, com geometria de reflexão Bragg-Bretano $\theta/2\theta$ e fenda de divergência fixa em $0,5^\circ$. Após o ensaio, o difratograma foi analisado quantitativamente utilizando o software X'Pert HighScore Plus.

Este ensaio foi realizado pelo Laboratório de Materiais para Produtos de Construção (LMPC) localizado no Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT).

3.4.10. Fluorescência de Raios-X (FRX)

A fluorescência de raios X é uma técnica considerada não destrutiva que detecta as partículas químicas pela a fluorescência emitida de cada partícula da amostra, além disso, pode quantificar os elementos que estão presentes na amostra (NASCIMENTO-DIAS; OLIVEIRA; ANJOS, 2017).

Este ensaio também foi utilizado para caracterizar o agregado reciclado (AGRR) utilizando uma amostra representativa que passou por pela peneira de malha de $150 \mu\text{m}$ até obter aproximadamente 5 gramas de amostra passante e foi armazenada em um saco hermético.

A caracterização foi realizada pelo Laboratório de Caracterização Tecnológica (LCT) localizado no Departamento de Engenharia na Universidade de São Paulo (USP). Os teores foram dosados em amostra prensada, na calibração STD-1 (Standarless) com análise sem padrões dos elementos químicos entre o flúor e o urânio, com espectrômetro de fluorescência de raios X da marca *Malvern Panalytical*, modelo Zetium. Os valores foram normalizados em 100% e a Perda de Fogo (PF) foi realizada a 1.020°C por duas horas.

3.5. Estudo de Formulações: Delineamento de Misturas

Vários produtos são fabricados por meio da mistura de dois ou mais componentes e em todos os produtos há pelo menos uma propriedade que seja interessante para o fabricante. Essa propriedade depende da proporção dos componentes que estão presentes na formulação do produto final (CORNELL, 2011).

O planejamento experimental inibe que as formulações sejam de forma aleatória, evitando o uso da tentativa e erro para definir as porcentagens dos componentes de uma mistura. Em um sistema de planejamento experimental de

misturas, a proporção de seus componentes deve satisfazer a Equação (8) (SNEE; MARQUARDT, 1974):

$$0 \leq X_i \leq 1,0 ; \sum_{i=1}^q x_i = 1 \quad (\text{Eq. 8})$$

Onde: x_i é o i -ésimo componente da mistura e 1 corresponde a 100%.

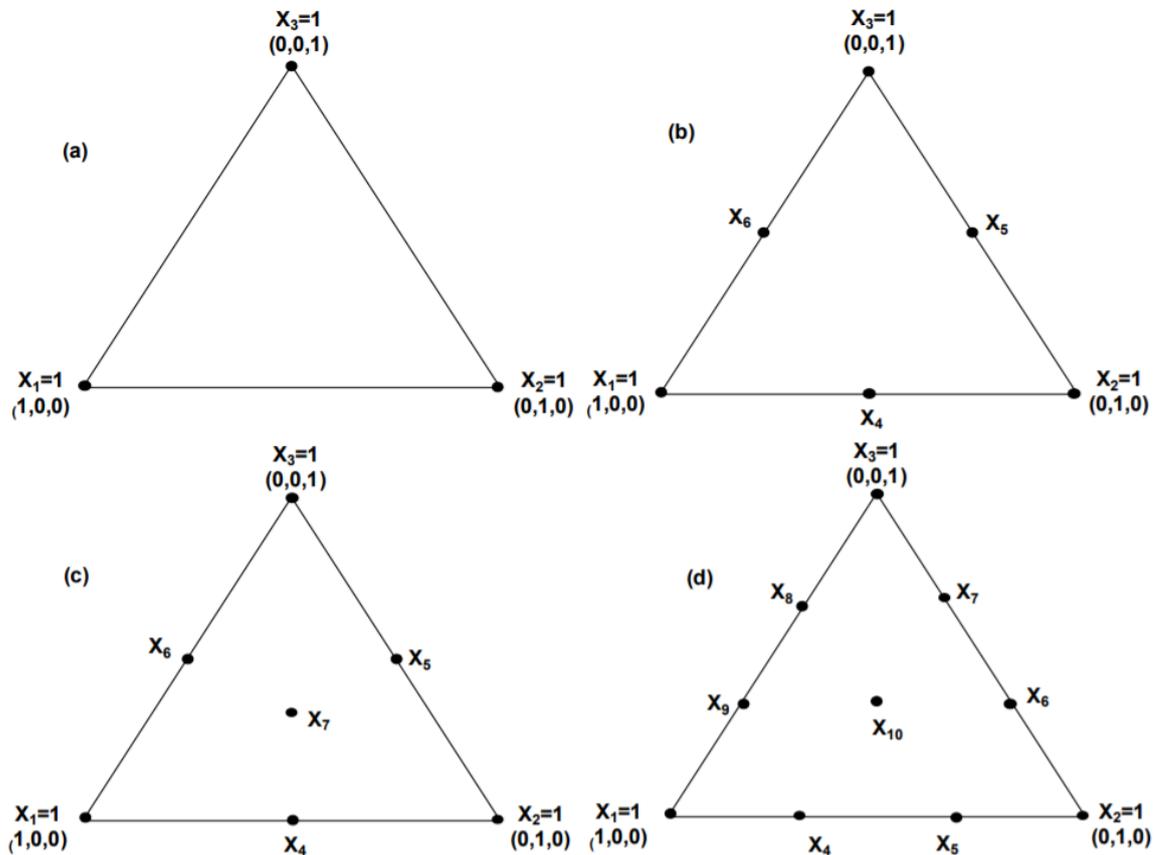
O delineamento experimental de mistura apresenta restrições que podem gerar combinações das proporções originais de Pseudocomponentes, sendo possível explorar toda a região de um simplex, ou seja, a região gerada pelo conjunto de restrições. Os pseudocomponentes estão divididos entre L-pseudocomponentes que são seus limites inferiores e os U-pseudocomponentes que são os seus limites superiores. Para isso, a Equação (9) demonstra essa restrição de limites inferiores e superiores através do x_i (BARROS-NETO; SCARMINIO; BRUNS, 1996):

$$L_i \leq x_i \leq U_i \quad \text{para} \quad i= 1, 2, \dots, q \quad (\text{Eq. 9})$$

Onde: L_i é o limite inferior sendo $L_i \geq 0$ e U_i é o limite superior sendo $U_i \leq 1$.

Os componentes das misturas formam uma área geométrica que é definida como a região simplex, ou seja, uma mistura com até três componentes sendo x_1 , x_2 e x_3 formará um simplex triangular contendo no mínimo três pontos (modelo linear), seis pontos (quadrático), sete pontos (cúbicos simples) e dez pontos (cúbicos completos). Os componentes puros estão localizados em cada um dos vértices do triângulo e o seu centro representa uma mistura com proporções iguais dos componentes (Figura 12) (SANTANA, 2020).

Figura 12 - Sistema de coordenadas simplex para geração de modelos: (a) lineares; (b) quadráticos; (c) cúbicos simples; e (d) cúbicos completos.



FONTE: (SANTANA, 2020)

3.5.1. Delineamento Experimental Por Vértices Extremos

As misturas podem apresentar restrições como limites superiores e/ou inferiores, estes limites podem tornar impossível o uso de alguns tipos de delineamentos. Uma solução para este problema é o uso do delineamento de vértices extremos (SNEE; MARQUARDT, 1974 apud MacLean, Anderson, 1966).

O projeto de vértices extremos, desenvolvido por MacLean e Anderson (1966), é um caso particular de delineamento estatístico de misturas onde os componentes têm seus valores limitados em máximos e mínimos sendo diferentes de 0 e 1 (Equação 10). O uso deste tipo de delineamento experimental poderá ajudar em casos de misturas com limites máximos e mínimos tornando possível a exploração de toda a região do simplex com vários pontos centrais.

$$0 \leq L_i \leq x_i \leq U_i \leq 1 \quad \text{para} \quad i = 1, 2, \dots, q \quad (\text{Eq. 10})$$

Conforme mencionado anteriormente, o levantamento das proporções dos componentes: cimento, agregado natural e agregado reciclado foi planejado com base na literatura e análise das patentes, considerando os valores mínimos e máximos de cada uma dessas variáveis, a Tabela 4 mostra os Limites Superiores e Limites Inferiores. A cal hidratada não fez parte da definição dos limites superiores e inferiores, porque ao ser considerada como mais uma variável o resultado de quantidades de formulações seria inviável para produção (devido ao tempo de pesquisa), portanto foi decidido que a cal hidratada seja um componente fixo.

Tabela 4 - Limites máximos e mínimos dos componentes da argamassa.

Composições	Limites Superiores (%)	Limites Inferiores (%)
Cimento	33,33	14,90
Agregado Natural	72,00	0,00
Agregado Reciclado (RCD)	75,00	6,67

FONTE: Elaborado pela autora (2021)

O delineamento de misturas utilizado para este trabalho foi o de Vértices Extremos. Os limites superiores e inferiores apresentados na

Tabela 4 foram inseridos no programa *Minitab Statistical Software*, obtendo o delineamento de misturas com três variáveis apresentado na Tabela 5, sendo: X_1 o cimento (CI), X_2 agregado natural (AGRN) e X_3 agregado reciclado (AGRR). Para este delineamento obteve-se automaticamente treze formulações com diferentes proporções para cada variável, sendo que para cada formulação a soma das variáveis é sempre 1 (Tabela 5) e as trezes formulações em porcentagens de massa estão apresentadas na Tabela 6.

Através do delineamento de misturas foi possível obter a formulação ótima para a mistura de argamassa de revestimento com agregado reciclado, considerando as propriedades que satisfaçam as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) sobre revestimentos de argamassas.

Tabela 5 - Delineamento de misturas obtido através do *Minitab Statistical Software*.

Formulação	Pseudocomponentes		
	X ₁	X ₂	X ₃
F1	0,1935	0,5384	0,2681
F2	0,2856	0,4784	0,2359
F3	0,1935	0,2289	0,5776
F4	0,1490	0,7200	0,1310
F5	0,3333	0,0000	0,6667
F6	0,2380	0,3568	0,4052
F7	0,2500	0,0000	0,7500
F8	0,2256	0,5384	0,2359
F9	0,2856	0,1784	0,5359
F10	0,2133	0,7200	0,0667
F11	0,3333	0,6000	0,0667
F12	0,1490	0,1010	0,7500
F13	0,2440	0,1784	0,5776

FONTE: Elaborado pela autora através do Software *Minitab Statistical Software* (2021)

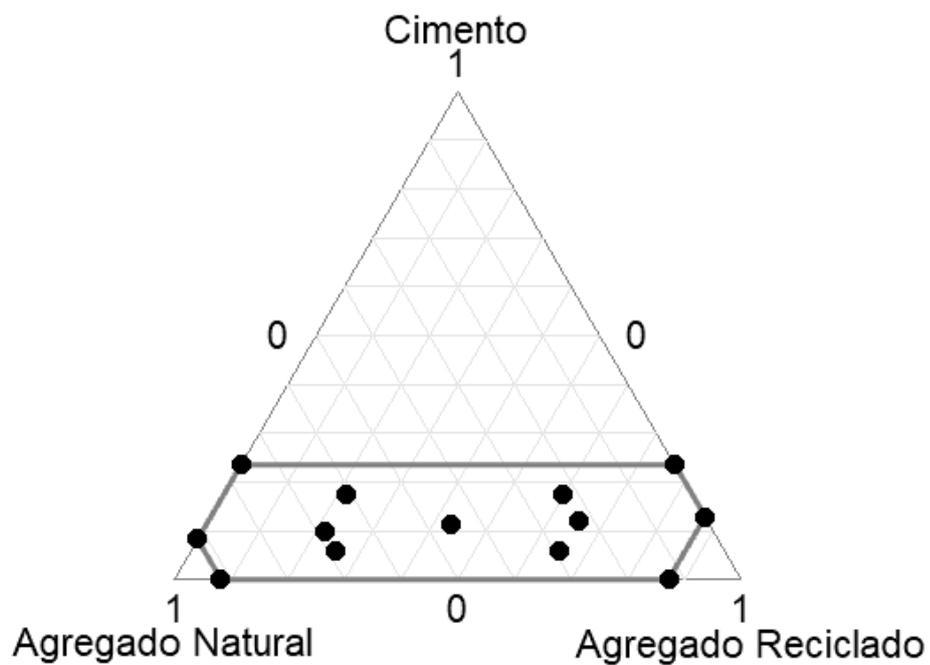
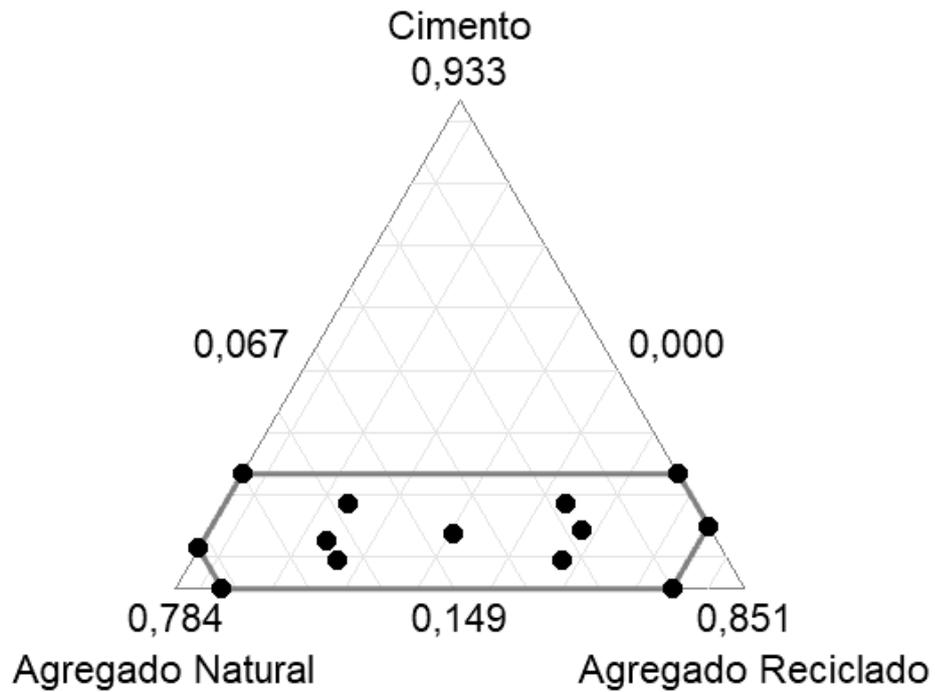
Tabela 6 - Formulação das porcentagens em massa para a obtenção das argamassas.

Formulação	CI (%)	AGRN (%)	AGRR (%)
F1	19,35	53,84	26,81
F2	28,56	47,84	23,59
F3	19,35	22,89	57,76
F4	14,90	72,00	13,10
F5	33,33	0,00	66,67
F6	23,80	35,68	40,52
F7	25,00	0,00	75,00
F8	22,56	53,84	23,59
F9	28,56	17,84	52,59
F10	21,33	72,00	6,67
F11	33,33	60,00	6,67
F12	14,90	10,10	75,00
F13	24,40	17,84	57,76

FONTE: Elaborado pela autora através do Software *Minitab Statistical Software* (2021)

A Figura 13 apresenta os gráficos triaxiais com os pontos das formulações obtidas através do programa *Minitab Statistical Software* 20.3.0.0.

Figura 13 – Diagrama Triaxial das formulações.

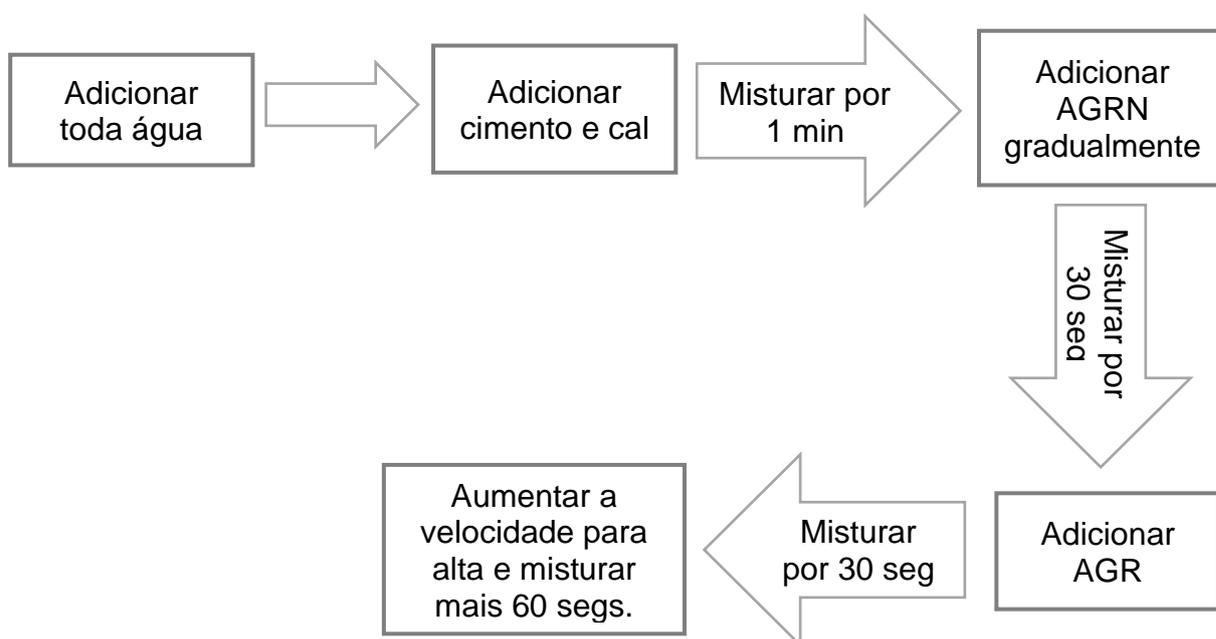


FONTE: Elaborado pela autora através do *Minitab Statistical Software* (2021)

3.6. Processo de Produção das Argamassas

Para a obtenção das argamassas de revestimento, utilizou-se as informações das patentes selecionadas como base para o processo de produção.

Portanto, a metodologia empregada para a produção das argamassas desta pesquisa foi baseada na patente de Vargas, Moura e Ramos (2018) e na norma NBR 16738 (ABNT, 2019a), levando em consideração que o resíduo empregado será o resíduo de construção e demolição (RCD) já caracterizado anteriormente. A sequência da metodologia está descrita no fluxograma a seguir:



Para a definição da relação a/c fixou-se o índice de consistência em 240 ± 10 mm, pois esse índice mostrou-se trabalhável para uma argamassa sem a necessidade de um aditivo (NETO *et al.*, 2019; SILVA *et al.*, 2020).

3.7. Caracterização das Argamassas Obtidas

As argamassas foram caracterizadas no estado fresco e no estado endurecido. O Quadro 3 apresenta os ensaios realizados para a caracterização das argamassas no estado fresco e endurecido. Nos itens 3.7.1 e 3.7.2 os ensaios estão descritos detalhadamente.

Quadro 3 - Ensaio de caracterização da argamassa

Estado	Ensaio	Amostra	Idade	Referência
Fresco	Índice de Consistência	Argamassa no estado fresco	Logo após a mistura	NBR 13276:16
	Massa Específica	Argamassa no estado fresco	Logo após a mistura	NBR 13278:05
Endurecido	Ensaio Mecânicos	Corpos de prova prismáticos	7, 14 e 28 dias	NBR 13279:05
	Resistência à aderência	Argamassa em substrato padrão	28 dias	NBR 13258:21
	Variação Dimensional	Corpos de prova prismáticos	7, 14 e 28 dias	NBR 15261:05
	Velocidade de propagação de onda ultrassônica	Corpos de prova prismáticos	7, 14 e 28 dias	NBR 8802:19
	Absorção de água por imersão e Índice de Vazios	Corpos de prova cilíndricos	28 dias	NBR 9778:05
	Absorção de água por Capilaridade	Corpos de prova cilíndricos	3, 6, 24, 48 e 72 horas	NBR 9779:13

FONTE: Elaborado pela autora (2021)

3.7.1. Ensaio das Argamassas no Estado Fresco

3.7.1.1. Índice de Consistência

O índice de consistência das argamassas foi realizado de acordo com a norma NBR 13276 (ABNT, 2016) utilizando como equipamentos uma mesa para índice de consistência, um molde troncônico, um soquete metálico e um paquímetro para as medições do espalhamento da argamassa. O índice de consistência foi medido através da média de três medidas registradas.

3.7.1.2. Massa Específica

A massa específica da argamassa foi realizada de acordo com a norma NBR 13278 (ABNT, 2005b) utilizando uma balança com resolução de 0,1 g, um recipiente cilíndrico com aproximadamente 400 cm³, espátula e placa de vidro.

O resultado foi obtido através da Equação (11):

$$d = \frac{m_c - m_v}{V_r} \times 100 \quad (\text{Eq. 11})$$

Onde:

m_c = massa do recipiente cilíndrico com argamassa em gramas;

m_v = massa do recipiente cilíndrico vazio em gramas;

V_r = volume do recipiente cilíndrico em cm³.

3.7.2. Ensaio das Argamassas no Estado endurecido

3.7.2.1. Ensaio mecânicos

Os ensaios mecânicos foram realizados de acordo com a norma NBR 13279 (ABNT, 2005c) para determinação de resistência à tração e à compressão de argamassas. Para o ensaio utilizou-se moldes metálicos prismáticos para os corpos-de-prova com 4 x 4 x 16 cm, uma mesa de adensamento, espátulas, régua metálica, cronômetro e máquina para ensaios de resistência à tração na flexão e à compressão, disponíveis no laboratório de Engenharia da Universidade São Judas.

A quantidade de corpos de provas a serem moldados foi de no mínimo três por idade, permanecendo por 48 ± 24 horas nos moldes sob condições de 23 ± 2 °C e umidade relativa do ar de 60 ± 5 % até a ruptura.

Segundo a norma NBR 13179 (ABNT, 2005c), a idade para a ruptura dos corpos-de-prova é de 28 dias, porém foi definido as idades de 7, 14 e 28 dias para a ruptura.

A resistência à tração na flexão foi obtida através da Equação (12):

$$R_f = \frac{1,5 F_f - L}{40^3} \quad (\text{Eq. 12})$$

Onde:

R_f = resistência à tração na flexão, em megapascals (MPa);

F_f = carga aplicada verticalmente no centro do prisma, em newtons (N);

L = distância entre os suportes, em milímetros (mm).

Já a resistência à compressão axial, utilizando as metades dos corpos de provas rompidos no ensaio de resistência à tração na flexão, foi obtida através da Equação (13):

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (\text{Eq. 13})$$

Onde:

R_c = resistência à compressão, em megapascals (MPa);

F_c = carga máxima aplicada, em newtons (N);

1600 = área da seção considerada quadrada do dispositivo (40 mm x 40 mm), em milímetros quadrados (mm²).

3.7.2.2. Resistência à Aderência

A resistência à aderência é a propriedade do revestimento resistir às tensões que atuam na superfície ou na interface da argamassa com o substrato, ou seja, é uma propriedade que depende da interação entre a base e o revestimento (ABNT, 2019).

De acordo com a norma NBR 13528-1 (ABNT, 2019) os equipamentos que devem ser utilizados são um dinamômetro de tração, pastilha metálica circular com 50 ± 1 mm de diâmetro, serra-copo para o corte, paquímetro e cola à base de resina epóxi.

O ensaio foi realizado de acordo com a norma NBR 15258 (ABNT, 2021c), utilizando um substrato padrão com dimensões de 250 x 500 x 20 mm previamente úmido para que não absorve-se a água de amassamento da argamassa (Figura 14).

Figura 14 - Substrato padrão úmido antes da aplicação da argamassa.



Optou-se por realizar a cura das argamassas em câmara úmida, pois quando deixadas nas condições ambientais do laboratório apareceram algumas fissuras.

3.7.2.3. Variação Dimensional

A variação dimensional foi realizada através da norma NBR 15261 (ABNT, 2005d). Para isso, foram moldados três corpos de prova com dimensões de 25 x 25 x 285 mm com pinos nas duas extremidades para cada formulação. Para a realização da leitura foi utilizado um aparelho comparador de comprimento disposto de um relógio com resolução de 0,0001 mm.

3.7.2.4. Velocidade de Propagação de Onda Ultrassônica

A velocidade de onda ultrassônica pode ser sensível à porosidade, sendo proporcional à porosidade da argamassa de revestimento, quanto maior o aparecimento de fissuras maior será a velocidade de onda ultrassônica (SENTENA; KAZMIERCZAK; KREIN, 2018; SOLTANI *et al.*, 2013).

De acordo com a norma NBR 15630 (2008), o ensaio deve ser realizado com no mínimo três corpos de provas com dimensões de 4 cm x 4 cm x 16 cm com idade de 28 dias. O resultado foi obtido através da Equação (14):

$$V = \frac{L}{t} \quad (\text{Eq. 14})$$

Onde:

V = velocidade de propagação de onda ultrassônica, em milímetros por microssegundos (mm/μs);

L = distância entre os pontos de acoplamento dos transdutores (comprimento do corpo-de-prova), em milímetros (mm);

t = tempo registrado pelo mostrados digital, em microssegundos (μ s).

3.7.2.5. Absorção de Água por Imersão e Índice de Vazios

A absorção de água por imersão e o índice de vazios foram realizados de acordo com a norma NBR 9778 (ABNT, 2009). Foram confeccionados três corpos de prova cilíndricos de 5 x 10 cm para cada formulação de argamassa e ,após a desforma, foram deixados na câmara úmida submersos até a idade de 28 dias. Para o cálculo foi utilizada a Equação (15) e (16):

$$A = \frac{m_{\text{sat}} - m_s}{m_s} \times 100 \quad (\text{Eq. 15}) \quad I_v = \frac{m_{\text{sat}} - m_s}{m_{\text{sat}} - m_i} \times 100 \quad (\text{Eq. 16})$$

Onde:

A = absorção de água, em porcentagem (%);

m_{sat} = massa da amostra saturada em água após a imersão, em gramas (g);

m_s = massa da amostra seca em estufa, em gramas (g);

I_v = índice de vazios, em porcentagem (%);

m_i = massa da amostra saturada imersa em água pela balança hidrostática, em gramas (g).

3.7.2.6. Absorção de Água por Capilaridade

A absorção de água por capilaridade foi realizada de acordo com a norma NBR 9779 (ABNT, 2013b). Os corpos de prova utilizados para esta caracterização foram os mesmos corpos de prova cilíndricos usados para a absorção de água por imersão.

Os corpos de prova foram colocados em um recipiente com água e suportes para que permanecesse com o nível de água a 5 ± 1 mm acima da face inferior dos corpos de prova. A massa saturada dos corpos de prova foi medida com 3h, 6h, 24h, 48h e 72h de contato com a lâmina d'água. O cálculo foi feito de acordo com a Equação (17):

$$C = \frac{m_{\text{sat}} - m_s}{S} \quad (\text{Eq. 17})$$

Onde:

C= absorção de água por capilaridade, em gramas por centímetro quadrado (g/cm²);

m_{sat} = massa saturada do corpo de prova que esteve com a face inferior em contato com água durante um tempo;

m_s = massa do corpo de prova seco em estufa, em gramas (g).

3.8. Análise Preliminar de Viabilidade Econômica

A análise preliminar da viabilidade econômica foi realizada através da consulta dos valores dos produtos de três empresas revendedoras de cimentos, agregado natural (areia) e cal hidratada. Para o agregado reciclado foi utilizado os valores fornecidos pela empresa Rafa Entulhos que venderam o agregado reciclado para esta pesquisa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES: PARTE I

A seguir são apresentados e discutidos os resultados obtidos por meio da busca realizada nas bases de dados patentárias e do delineamento de misturas.

4.1. Informações Patentárias

Para a busca de informações patentárias foi utilizado o termo de busca “*construction and demolition waste*” e “*mortar*” através das bases de documentos patentários *European Patent Office (EPO)*, *World Intellectual Property Organization (WIPO)* e o *Google Patents*. Foram encontradas um total de 70 documentos de patentes depositadas⁴, excluindo as patentes duplicadas entre as bases de dados utilizadas, que foram organizadas de acordo com os anos de depósito, inventores e/ou depositantes, escritório e/ou país (o quadro com as patentes se encontra no APÊNDICE II).

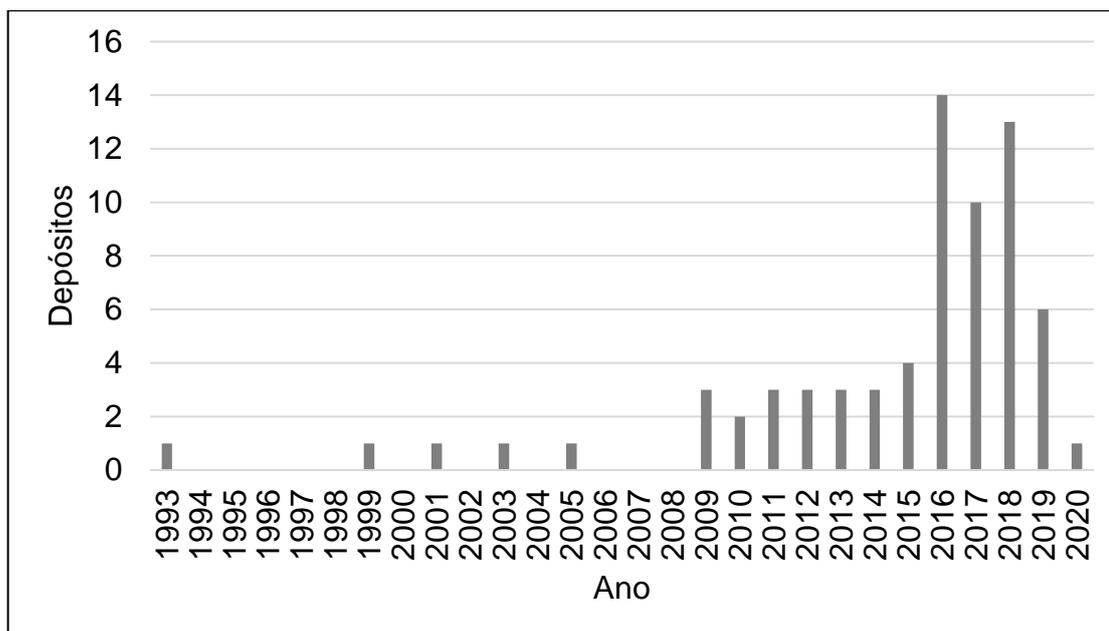
4.1.1. Depósito de Patentes

A Figura 15 apresenta o gráfico com o número de patentes depositadas de acordo com o termo de busca utilizado. Percebe-se que a primeira patente encontrada foi depositada no ano de 1993 e houve um aumento na quantidade de depósitos de patentes nos anos de 2016 a 2019, sendo que o ano com maior quantidade de depósito de patentes foi em 2016 com um total de 14 depósitos.

O ano de 2020 apresentou uma queda na quantidade de depósitos. Isso pode ter ocorrido pois a coleta dos dados foi realizada até o mês de setembro de 2020, até o final do mesmo ano provavelmente houveram mais depósitos realizados.

⁴ As patentes analisadas são as depositadas disponíveis nas bases de dados utilizadas.

Figura 15 - Evolução do depósito de patentes ao longo dos anos.



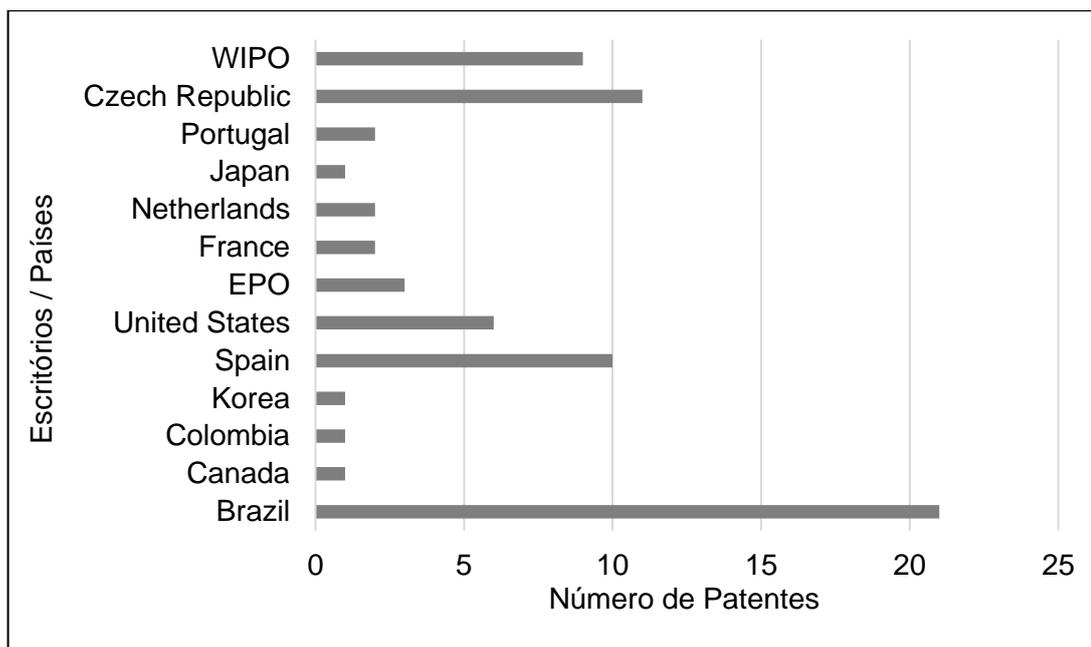
FONTE: Elaborado pela autora (2021)

4.1.2. Escritório/Países de publicação

A Figura 16 apresenta a quantidade de patentes depositadas e/ou publicadas em relação aos escritórios/países depositantes. De acordo com a figura, percebe-se que dentre as 70 patentes publicadas os países com maiores quantidade de patentes é o Brasil, com um total de 21 patentes, seguido da República Tcheca e Espanha com 11 e 10 patentes, respectivamente.

As quantidades de patentes acerca do tema proposto podem estar relacionadas à cultura construtiva de cada região, como por exemplo o Brasil que tem em seu principal sistema construtivo o uso de alvenarias, a base de tijolo e argamassa em geral (COSTA, 2017). Já outros países podem utilizar outros sistemas construtivos, como o Japão que tem a madeira como o principal material em seu sistema construtivo (ISHIKURA; MOLINA; BÔAS, 2017).

Figura 16 - Número de patentes em relação aos Escritórios/Países.



FONTE: Elaborado pela autora (2021)

4.1.3. Classificação Internacional de Patentes (CIP)

O CIP pode ser utilizado como forma de restringir a busca de acordo com o segmento, permitindo a avaliação do desenvolvimento tecnológico em diversas áreas.

Na Figura 17 está representada o número de patentes em relação a Classificação Internacional de Patentes (CIP). O Quadro 4 apresenta a descrição de Classe e Subclasse de cada código do CIP das patentes encontradas nesta busca.

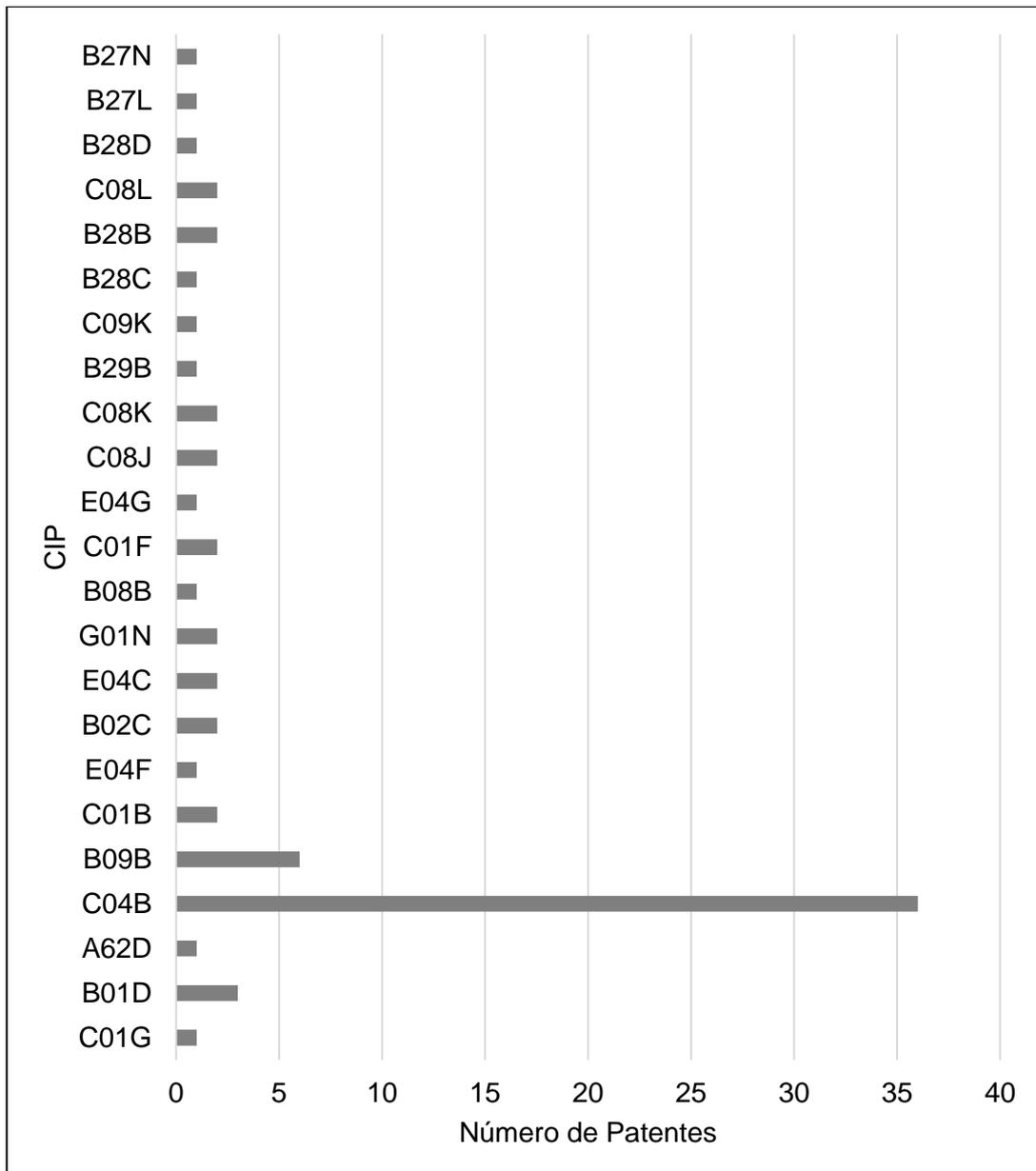
Pode-se observar que a classificação com maior quantidade de patentes está na seção C (química; metalurgia), seguida da classe C04 (cimentos; concretos; pedra artificial; cerâmica; refratários) e subclasse C04B (cal; magnésia; escória; cimentos; suas composições, por exemplo: argamassa, concreto ou materiais de construções similares; pedra artificial; cerâmica; refratários; tratamento de pedra natural), essa classificação teve um total de 36 patentes.

A segunda classificação com maior quantidade de publicações teve um total de 6 patentes estando na seção B (realização de operações e transportes), classe B09 (eliminação de resíduos sólidos; recuperação de solo contaminado) e subclasse B09B (eliminação de resíduos sólidos).

Esses resultados se devem ao fato de ter sido utilizado as palavras-chaves “*construction and demolition waste*” e “*mortar*” nos campos de busca, sendo um tema

que compreende em materiais de construção em geral como materiais cimentícios, cerâmicas e pedras que são representados pela classificação C04B e resíduos que são representados pela classificação B09B.

Figura 17 - Número de patentes de acordo com o CIP.



FONTE: Elaborado pela autora (2021)

Quadro 4 - Classe e Subclasse da Classificação CIP das patentes encontradas.

(Continua)

CIP	SEÇÃO	CLASSE	SUBCLASSE	QUANT.
A62D	A – Necessidades Humanas	Salva-vidas; Combate a incêndio	Meios químicos para extinção de incêndios ou para combate ou proteção contra agentes químicos nocivos; materiais químicos para uso em aparelhos de respiração	1
B01D	B – Realizando operações; Transporte	Processos físicos ou químicos ou aparelhos em geral	Separação	3
B02C		Esmagamento; Pulverização ou desintegração; Tratamento preparatório de grão para moagem	Esmagamento, Pulverização ou desintegração em geral; Grão de moagem	2
B08B		Limpeza	Limpeza em geral; Prevenção de sujeiras em geral	1
B09B		Eliminação de resíduos sólidos; Reclamação de solo contaminado	Eliminação de resíduos sólidos	6
B27L		Trabalhando ou conservando madeira ou material semelhante;	Remoção de cascas ou vestígios de ramos; madeira de separação; fabricação de veneira, varas de madeira, rebarbas de madeira, fibras de madeira ou pó de madeira	1
B27N		máquinas de pregar ou grampear em geral	Fabricação por processos secos de artigos, com ou sem agentes de ligação orgânicos, feitos a partir de partículas ou fibras consistentes em madeira ou outro lignocelulósico ou material orgânico semelhante	1
B28B		Cimento, argila ou pedra	Argila ou outras composições cerâmicas; escórias; misturas contendo material cimentício, por ex. gesso	2

(Continua)

CIP	SEÇÃO	CLASSE	SUBCLASSE	QUANT
B28C	B – Realizando operações; Transporte	Cimento, argila ou pedra	Preparando a argila; produção de misturas contendo argila ou material cimentício, por ex. gesso	1
B28D			Pedra de trabalho ou materiais semelhantes a pedra	1
B29B		Trabalho de plásticos; trabalho de substâncias de plásticos em geral	Preparação ou pré-tratamento do material a dar forma; fazendo grânulos ou pré-formas; recuperação de plásticos ou outros componentes de materiais resíduos contendo plásticos	1
C01B	C - Química; Metalurgia	Química inorgânica	Elementos não metálicos; seus compostos;	2
C01F			Compostos dos metais de berílio, magnésio, alumínio, cálcio, estrônio, bário, rádio, tório ou dos metais raros	2
C04B		Cimentos; concreto; pedra artificial; cerâmica; refratários	Cal, magnésia; escória; cimentos, por ex. argamassas, betão ou materiais de construção semelhantes; pedra artificial; cerâmica; refratários; tratamento de pedra natural	36
C08J		Compostos macromoleculares orgânicos; sua preparação ou trabalho químico;	Trabalhando; processos gerais de composição; pós-tratamento não coberto pelas subclasses C08B, C08C, C08F, C08G ou C08H	2
C08K			Use de substâncias orgânicas ou inorgânicas não- macromoleculares como ingredientes de composição	2
C08L			Composições de compostos macromoleculares	2
C09K		Tintas; pinturas; esmaltes; resinas naturais; adesivos; composições não fornecidas; aplicações de materiais não fornecidos	Materiais para aplicações diversas, não fornecidos para outro lugar	1

(Conclusão)

CIP	SEÇÃO	CLASSE	SUBCLASSE	QUANT.
E04C	E - Construções fixas	Construção	Elementos estruturais; materiais de construção	2
E04F			Trabalhos de acabamento em edifícios, por ex. escadas, pisos	1
E04G			Andaime; formas; implementos de construção, ou seu uso; manuseio de materiais de construção no local; reparação, partida ou outras obras em edifícios existentes	1
G01N	G - Física	Medição; testes	Investigando ou analisando materiais, determinando suas propriedades químicas ou físicas	2

FONTE: (<https://ipcpub.wipo.int/>, 2021)

4.1.4. Tecnologias Encontradas nas Patentes

A seguir estão descritas algumas das patentes selecionadas que apresentam tecnologias voltadas para a produção de argamassas com o uso de resíduos como agregado reciclado. No APÊNDICE II encontra-se o quadro completo com descrições das 70 patentes encontradas.

Dentre todas as patentes encontradas, cinco se destacaram, pois apresentam metodologias de produção de argamassas utilizando agregados reciclados. A patente do item (e) foi a principal, pois apresenta uma metodologia mais detalhada, porém todas as cinco foram importantes para a definição da metodologia utilizada para a produção das argamassas desta pesquisa apresentada no item 3.6.

- a) Título: Processo para obtenção de agregados reciclados na obra de construção civil e argamassa obtida a partir desses agregados.

Número da Patente: BRPI1000223 A2

CIP: C04B

País: Brasil

Ano de Depósito: (2010)

Inventor(es): Claudio Manoel Santos; José Carlos Corbari

Depositante: Claudio Manoel Santos; José Carlos Corbari

Na patente Número BRPI1000223-5 A2, os inventores criaram um processo de duas etapas para a obtenção de agregados reciclados na obra e a reutilização desses resíduos em argamassas. Na primeira etapa há a coleta e triagem dos resíduos na obra (excluindo materiais metálicos, madeiras, papéis e plásticos), moagem utilizando moinho mandíbula, peneiramento separando a maior granulometria (pedrisco) da menor granulometria (areia média), armazenamento do pedrisco e da areia em unidades separadas, seleção e dosagem do agregado (areia e/ou pedrisco). A segunda etapa é basicamente a mistura de todos os materiais juntos no misturador resultando em argamassa de resíduos reciclados para contrapisos e assentamento.

b) Título: Processo de produção de misturas tipo argamassa aplicável à fabricação de produtos destinados à construção civil.

Número da Patente: BRPI0305617-1

CIP: B28B, C04B e B09B

País: Brasil

Ano de Depósito: (2003)

Inventor(es): Geneci Borges Alves

Depositantes: Geneci Borges Alves

A patente de número PI0305617-1 tem como objetivo de desenvolver um processo de produção de argamassas para a fabricação de produtos como blocos, lajes, pisos, telhas, ou argamassas para revestimento. Para isso, Alves descreve que o resíduo (RCD) deve passar por um moinho até atingir granulometria de 0,5 mm, após isso, é feita a mistura por cinco minutos em uma máquina composta por uma pá planetária onde são depositados primeiro o RCD, depois é acrescentado rejeitos industriais e logo após o cimento.

c) Título: *Mortero estructural aligerado com arcilla expandida y agregado com áridos reciclados*

Número da Patente: ES2629064B2

CIP: C04B

País: Espanha

Ano de Depósito: (2016)

Inventor(es): Carmelo Muñoz Ruipérez; Ángel Rodríguez Sáiz; Verónica Calderón Carpintero; Francisco Fiol Oliván; Jesús y Gadea Sáinz; e Carlos Junco Petrement.

Depositantes: Universidade de Burgos

A patente descreve o processo de obtenção de argamassas estruturais leves utilizando agregados reciclados finos provenientes de entulhos de concreto. A substituição do agregado natural pelo agregado reciclado é de 25% à 100%, incluindo argilas que tornam o material mais leve.

Para a produção do produto, os componentes são mantidos em laboratório por no mínimo 24 horas a uma temperatura entre 20°C e 25°C. Cada componente é pesado separadamente (areia, argila expandida, agregados de concreto reciclado, cimento e água). Após pesados, os materiais são colocados em um saco plástico onde são misturados homogeneamente por doze voltas. Então, a argamassadeira é umedecida e a mistura homogênea é introduzida, o restante da água é adicionada e a mistura feita por 90 segundos.

Este material pode ser usado em argamassas de alvenaria, em enchimentos, em betão com necessidade estrutural ou em elementos pré-fabricados.

d) Título: *Procedimiento para la fabricación de morteros con residuos cerámicos y su aplicación en una pieza de entrevigado para forjado con vigas de madera.*

Número da Patente:

CIP: ES2668027B1

País: Espanha

Ano de Depósito: (2016)

Inventor(es): Paloma Rubio de Hita; Filomena Pérez Gálvez; María Jesús Morales Conde; e Carmen Rodríguez Liñan

Depositantes: Universidade de Sevilla

A patente descreve um procedimento de fabricação de peças para interseções e bordas para lajes intertravadas. Para isso, os resíduos são coletados na usina de reciclagem, sendo previamente seco em estufa a 11 ± 5 °C até que o peso fique

constante, após isso o material é triturado, peneirado, caracterizado e acondicionado. A mistura para a obtenção da argamassa segue o seguinte passo a passo:

- Seleção granulométrica dos agregados comerciais e dos agregados reciclados;
- Umedecimento dos resíduos para que os agregados estejam envolvidos e uma camada úmida;
- Acrescentar o cimento aos agregados e fazer a mistura;
- E Adicionar a água com relação a/c de 0,90 a 1,05.

e) Título: Composição de argamassa à base de resíduos granulados de carvão vegetal e processo de obtenção de argamassa à base de resíduos de carvão vegetal.

Número da Patente: BR102016022643A2

CIP: C04B

País: Brasil

Ano de Depósito: (2016)

Inventor(es): Alexandre Silva de Vargas; Angela Beatrice Dewes Moura; e Fernando Volpatto Ramos.

Depositantes: Associação Pró Ensino Superior em Novo Hamburgo.

Outro processo de produção pode ser verificada na patente de Vargas, Moura e Ramos (2018) que descreve um processo de produção de uma argamassa a base de resíduos de carvão vegetal. Nesta invenção foram preparadas argamassas à base de cimento CP V – ARI e agregado miúdo natural com substituição por resíduo de carvão em 5, 10, 15, 20 e 30%. É feita a coleta do resíduo e o seu peneiramento, após isso as outras matérias primas (cimento e agregado natural) foram separados em potes com as quantidades de acordo com o traço determinado e a mistura ocorreu em uma argamassadeira. Primeiramente foi adicionado toda a água ($a/c = 0,48$) e o cimento sendo agitados por um período de 1 a 3 minutos em velocidade baixa, após isso, sem parar o processo de mistura, foi acrescentada o agregado natural com muito cuidado durante 30 segundos e 90 segundos e agitando por 1 a 3 min em velocidade lenta. Na sequência foi adicionado o resíduo agitando em velocidade lenta por 1 a 3

minutos, em seguida a agitação passou a ser em velocidade rápida por 4 a 6 minutos até a completa homogeneização.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES: Parte II

A seguir são apresentados e discutidos os resultados obtidos nas caracterizações das matérias-primas e argamassas produzidas através das formulações, no estado fresco e endurecido.

5.1. Caracterização das Matérias-primas

As matérias-primas utilizadas nessa pesquisa são o cimento Portland de alto-forno CP III com baixo teor de clínquer em sua composição (ABNT, 2018), Cal Hidratada CH-III, agregado natural (areia média) e agregado reciclado (resíduo de construção e demolição).

5.1.1. Cimento Portland

O cimento CP III - 40 RS da CSN apresenta massa específica de 2,95 g/cm³ e, segundo a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), é um cimento normalizado através da norma ABNT NBR 16697 (ABNT, 2018). As composições e características físicas do cimento estão apresentadas na

Tabela 7 e Tabela 8 que foram adquiridas através do site da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) (<https://www.csn.com.br/>).

A

Tabela 7 mostra que o cimento CP III apresenta uma elevada porcentagem de escória de alto-forno, variando entre 35% à 75% o que pode elevar a taxa de carbonatação e apresenta um baixo teor de clínquer, variando entre 25% à 65%, tornando um cimento mais ecológico (ABNT, 2018; CSN, 2021).

Tabela 7 - Composição do cimento Portland CP III - 40 RS.

Composição do CP III	Porcentagem de massa (%)
Clinquer e gipsita	25 – 65
Escória granulada de alto-forno	35 – 75
Material Carbonático	0 – 10

FONTE: (CSN, 2021)

Tabela 8 - Características físicas do cimento Portland CP III - 40 RS.

Características Físicas		
Resistência à Compressão	3 dias (MPa)	≥ 12
	7 dias (MPa)	≥ 23
	28 dias (MPa)	≥ 40
	91 dias (MPa)	≥ 48
Finura	Resíduo na Peneira 75 µm	≤ 8,0
Tempo de Pega	Início (min)	≥ 60
	Fim (min)	≤ 720
Expansibilidade	À frio (mm)	≤ 5
	À quente (mm)	≤ 5

FONTE: (CSN, 2021)

5.1.2. Cal Hidratada

A cal hidratada utilizada foi a CH-III ITAÚ (Votorantim) que apresentou massa específica de 2,51 g/cm³. A Tabela 9 apresenta a composição química da cal hidratada CH - III. A cal CH - III apresenta maior teor de Hidróxido de cálcio e hidróxido de magnésio em sua composição.

Tabela 9 - Composição química da cal CH – III.

Nome Químico	CAS Number	Faixa de Concentração (%)
Hidróxido de Cálcio	1305-62-0	65 – 78
Hidróxido de Magnésio	1305-62-0	15 – 25
Carbonato de Cálcio	1317-65-3	< 15
Óxido de Cálcio	1305-78-8	< 15

FONTE: (VOTORANTIM, 2018)

5.1.3. Agregado Natural e Agregado Reciclado

A Tabela 10 apresenta as propriedades caracterizando o agregado natural (AGN) e o agregado reciclado (AGR) utilizados neste trabalho.

Tabela 10 - Propriedades das matérias-primas.

Matéria-Prima	M. E. seca (g/cm³)	M. E. Sat. Sup. Seca (g/cm³)	Absorção de Água (%)	Teor de Mat. Pulverulento (%)
Agregado Natural (AGRN)	2,03 ± 0,00	2,14 ± 0,00	5,24 ± 0,07	2,85
Agregado Reciclado (AGRR)	2,09 ± 0,01	2,26 ± 0,01	8,14 ± 0,55	6,05

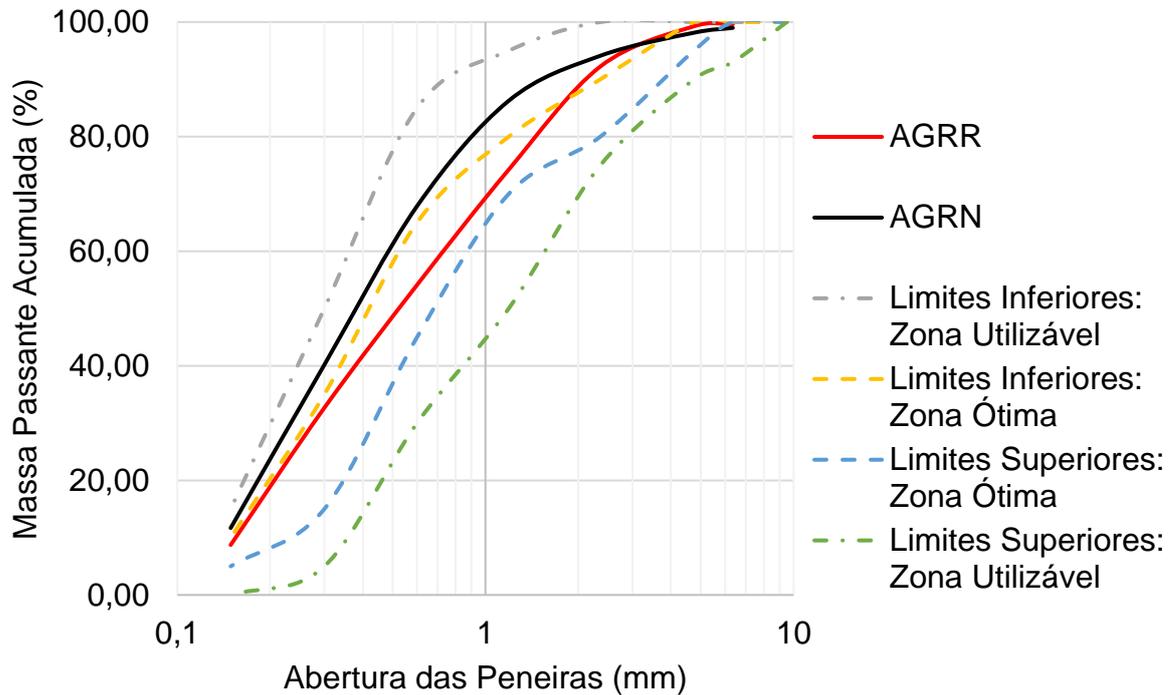
FONTE: Elaborado pela autora (2022)

Pode-se observar que o agregado natural (AGRN) apresenta massa específica na condição seca abaixo da massa específica seca do agregado reciclado (AGRR), e a massa específica na condição saturada superfície seca é inferior em relação ao agregado reciclado (AGRR). O agregado reciclado (AGRR) também apresenta um percentual de absorção de água superior em relação ao agregado natural (AGRN). Portanto, o agregado reciclado (AGRR) possivelmente apresenta maior porosidade comparado ao agregado natural (AGRN), pois a absorção de água é definida pelo aumento da massa do agregado de acordo com o preenchimento dos poros permeáveis dos grãos do agregado (ABNT, 2021).

O agregado natural (AGRN) apresenta módulo de finura e diâmetro máximo característico de 3,03 e 4,75 mm, respectivamente. Já o agregado reciclado (AGRR) apresentou valores para essas mesmas grandezas de 3,39 e 4,75 mm, respectivamente.

A Figura 18 apresenta as curvas granulométricas do agregado natural, do agregado reciclado e as curvas dos limites superiores e inferiores com suas zonas utilizáveis e zonas ótimas. As curvas dos dois agregados são semelhantes, porém o agregado reciclado (AGRR) se encontra entre a área dos limites ótimos inferiores e superiores, já a curva do agregado natural (AGRN) se encontra entre os limites utilizável e ótimo inferiores. Portanto, o agregado natural (AGRN) é um pouco mais fino comprado ao agregado reciclado (AGRR).

Figura 18 - Curva Granulométrica do AGRN e AGRR.



FONTE: Elaborado pela autora (2022)

5.1.3.1. Fluorescência de Raios X

A Tabela 11 apresenta a análise química do agregado reciclado (AGRR) obtida através do ensaio de fluorescência de raios X. O agregado reciclado (AGRR) utilizado nesse trabalho é composto principalmente por materiais cimentícios, pois apresenta em sua composição maiores teores de óxido de cálcio (CaO), de óxido de silício (SiO₂), óxido de alumínio (Al₂O₃) e óxido de ferro (Fe₂O₃) que são matérias-primas utilizadas na fabricação do cimento Portland (LIMA, 2011).

Tabela 11 - Análise Química do Agregado Reciclado (AGRR).

Constituintes	Resíduo (%)
Na ₂ O	0,40
MgO	1,63
Al ₂ O ₃	7,88
SiO ₂	28,2
P ₂ O ₅	0,16
SO ₃	1,22
Cl	0,06
K ₂ O	2,08
CaO	31,8
TiO ₂	0,61
MnO	0,08
Fe ₂ O ₃	3,38
ZnO	0,03
As ₂ O ₃	0,02
Rb ₂ O	<0,01 ⁵
SrO	0,06
ZrO ₂	0,05
BaO	0,02
Perda ao Fogo	22,3

5.1.3.2. Difração de Raios X

A Figura 19 apresenta o difratograma da amostra de agregado reciclado (AGRR) e a Tabela 12 apresenta os códigos das cartas cristalográficas das fases encontradas na amostra. Observa-se que a amostra possui a presença das fases cristalinas Quartzo (SiO₂), Óxido de Cálcio (CaO), alumina (Al₂O₃) e calcita (CaCO₃) na amostra. Essas fases como quartzo e calcita, geralmente estão presentes em amostras de agregado reciclado compostas principalmente por materiais provenientes de concretos e argamassas cimentícias (ARTUSO; LUKIANTCHUKI, 2019; JIMÉNEZ, 2011).

⁵ 0,01% - Limite de quantificação FRX

Figura 19 - Difração de Raios X da amostra de agregado reciclado (AGRR).

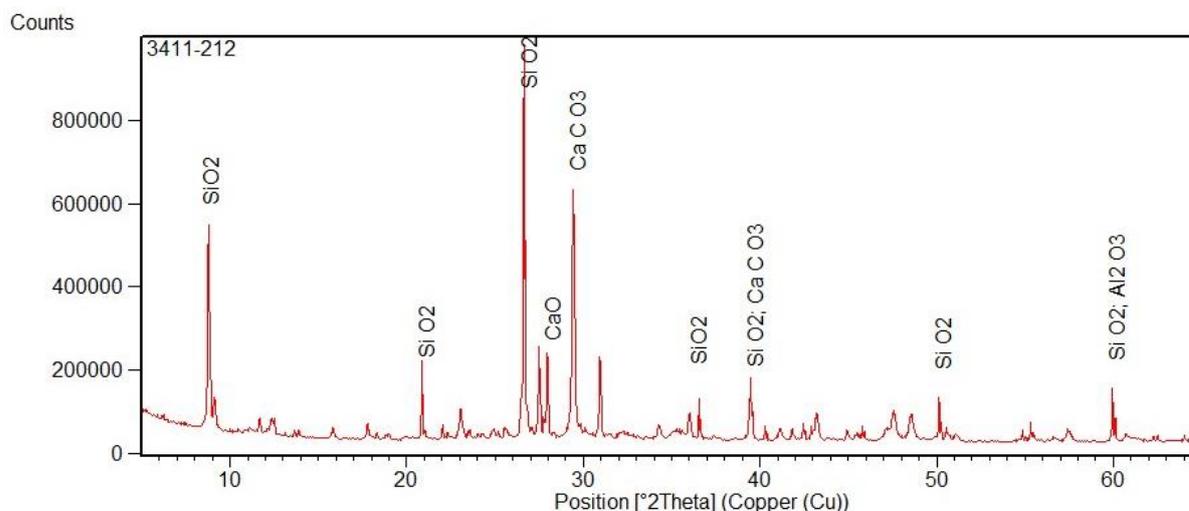


Tabela 12 – Número ICSD das fases cristalinas.

Nome da Fase Cristalina	Fórmula Química	Número ICSD das fases cristalinas
Quartzo	SiO ₂	026429
Óxido de Cálcio	CaO	028905
Calcita	CaCO ₃	016710
Alumina	Al ₂ O ₃	009772

5.1.3.3. Análise Termogravimétrica (TGA)

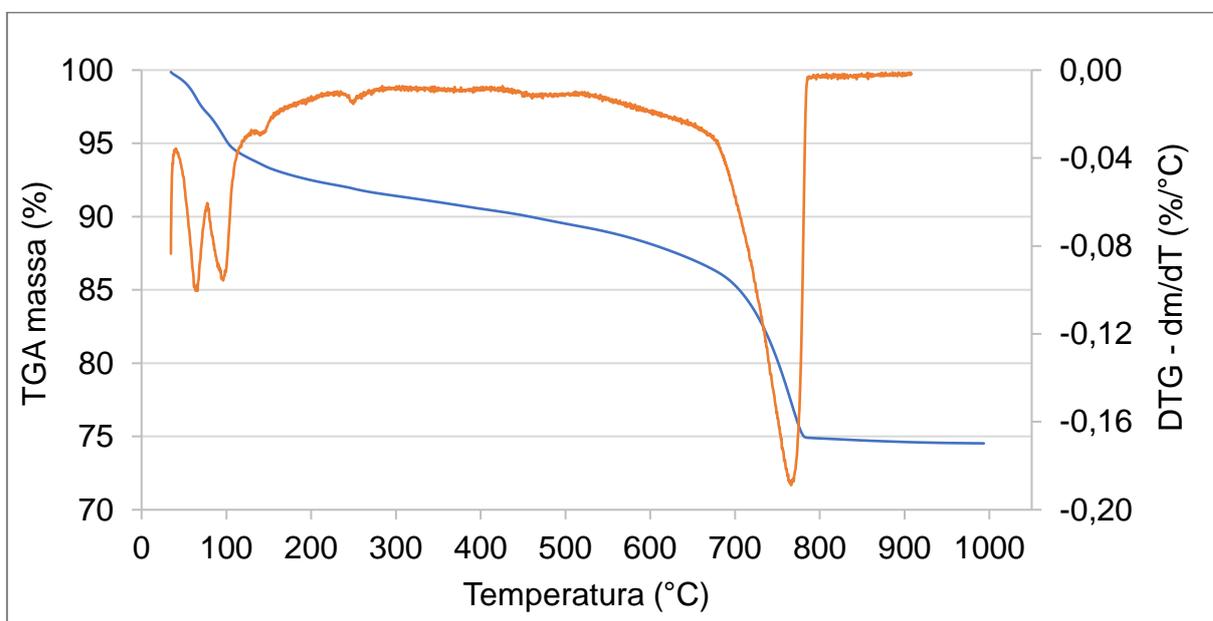
A Figura 20 apresenta o gráfico da análise termogravimétrica (TGA) e termogravimetria derivada (DTG) do agregado reciclado (AGRR) mostrando a perda de massa do material em função da temperatura, sendo de até 1000°C.

No intervalo de temperaturas de 0°C a 100°C pode ocorrer a perda de massa relacionado à água livre e/ou água do C-S-H ou aluminatos presente na amostra, e no intervalo de 700°C a 800°C pode ocorrer a descarbonatação do carbonato de cálcio (CaCO₃) da amostra (SCRIVENER; SNELLINGS; LOTHENBACH, 2016).

De acordo com a Figura 20, pode-se supor que de 0°C a 100°C a perda de massa foi aproximadamente 5%, podendo estar relacionado à água livre, ao C-S-H e aos aluminatos presentes na amostra de agregado reciclado (AGRR). Já entre as temperaturas de 700°C a 800°C a porcentagem de massa passaram de 85% para 75%, ou seja, houve uma perda de 10% de massa durante a descarbonatação,

provavelmente, do CaCO_3 . Portanto, o agregado reciclado (AGRR) utilizado provavelmente não apresenta alto teor de umidade.

Figura 20 - Gráfico TGA e DTG do agregado reciclado (AGRR).



5.2. Caracterização das formulações de argamassas

5.2.1. Formulação das Argamassas

O delineamento de misturas com três variáveis gerado através do programa *Minitab Statistical Software* obteve as treze formulações para as argamassas. As formulações e os traços unitários em massa estão apresentados na Tabela 13, sendo: cimento (CI), agregado natural (AGRN), agregado reciclado (AGRR).

Para se chegar ao traço unitário de cada formulação, os três componentes (CI, AGRN e AGRR) foram divididos cada um pela porcentagem do cimento (CI). A cal hidratada foi fixada em 40%⁶ do cimento e a relação a/c foi definida de acordo com o índice de consistência.

⁶ Média da quantidade de cal utilizada nos trabalhos encontrados na pesquisa bibliográfica.

Tabela 13 – Formulação das porcentagens em massa para a obtenção das argamassas.

Formulação	Nomenclatura	CI (%)	AGRN (%)	AGRR (%)	Traço unitário (em massa)				
					CI	CAL	AGRN	AGRR	A/C
F1	C19,3 N53,84 R26,81	19,35	53,84	26,81	1,00	0,40	2,78	1,39	1,03
F2	C28,56 N47,84 R23,59	28,56	47,84	23,59	1,00	0,40	1,67	0,83	0,75
F3	C19,35 N22,89 R57,76	19,35	22,89	57,76	1,00	0,40	1,18	2,99	0,99
F4	C14,90 N72,00 R13,10	14,90	72,00	13,10	1,00	0,40	4,83	0,88	1,40
F5	C33,33 N0,00 R66,67	33,33	0,00	66,67	1,00	0,40	0,00	2,00	0,62
F6	C23,80 N35,68 R40,52	23,80	35,68	40,52	1,00	0,40	1,50	1,70	0,84
F7	C25,00 N0,00 R75,00	25,00	0,00	75,00	1,00	0,40	0,00	3,00	0,75
F8	C22,56 N53,84 R23,59	22,56	53,84	23,59	1,00	0,40	2,39	1,05	0,93
F9	C28,56 N17,84 R52,59	28,56	17,84	52,59	1,00	0,40	0,62	1,88	0,71
F10	C21,33 N72,00 R6,67	21,33	72,00	6,67	1,00	0,40	3,38	0,31	0,96
F11	C33,33 N60,00 R6,67	33,33	60,00	6,67	1,00	0,40	1,80	0,20	0,66
F12	C14,90 N10,10 R75,00	14,90	10,10	75,00	1,00	0,40	0,68	5,03	1,23
F13	C24,40 N17,84 R57,76	24,40	17,84	57,76	1,00	0,40	0,73	2,37	0,77

5.2.2. Propriedades das formulações no Estado Fresco

As formulações das argamassas foram caracterizadas no estado fresco através dos ensaios de índice de consistência (ABNT, 2016) e de densidade de massa (ABNT, 2005). O índice de consistência foi fixado em 240 ± 10 mm conforme descrito no item 3.6.

A Tabela 14 apresenta os valores do índice de consistência e de densidade de massa de cada formulação. A formulação com menor índice de consistência é a F4 e a com maior índice de consistência é a F12 com valores de 234,57 mm e 247,92 mm, respectivamente. Apesar de ter o menor índice de consistência, a argamassa F4 apresenta a maior relação a/c de 1,40 apresentada na Tabela 13, isso ocorreu porque quanto maior a quantidade de materiais secos maior será a quantidade de água para que se obtenha a trabalhabilidade definida.

A densidade de massa das argamassas não obteve valores muito distantes entre si e não se pode afirmar com precisão a relação entre esses valores, pois cada formulação é um traço unitário diferente e, portanto, apresenta quantidade de materiais diferentes fazendo com que haja muitas variáveis que podem interferir nos resultados da densidade das argamassas.

Tabela 14 - Caracterização das argamassas no estado fresco.

Formulações	Índice de Consistência (mm)	Massa Específica (g/cm³)
F1	237,85 ± 2,01	1,30
F2	245,90 ± 2,33	1,34
F3	235,93 ± 0,59	1,27
F4	234,57 ± 3,27	1,29
F5	235,25 ± 2,69	1,33
F6	234,78 ± 3,43	1,31
F7	238,20 ± 3,08	1,31
F8	247,10 ± 0,22	1,32
F9	235,98 ± 1,51	1,31
F10	237,20 ± 0,99	1,36
F11	234,72 ± 3,97	1,35
F12	247,92 ± 2,92	1,18
F13	234,88 ± 3,14	1,29

5.2.3. Propriedades das formulações no Estado Endurecido

5.2.3.1. Absorção de Água por Capilaridade

A Tabela 15 e a Figura 21 mostram os resultados de absorção de água por capilaridade das trezes formulações de argamassas em função do tempo em horas. Pode-se observar que após as 45 horas, apesar de continuar havendo uma absorção após as 126 horas, todas as curvas dão uma atenuada.

Observa-se por meio dos dados apresentados na Tabela 15 que durante as primeiras 24 horas dos corpos-de prova em contato com a lâmina d'água, a formulação que mais absorveu água foi a F4. Essa formulação precisou conter uma relação a/c maior em comparação às demais para atender aos requisitos estabelecidos para o índice de consistência, o fato desta formulação necessitar de maior quantidade de água pode ter resultado em um composto (argamassa) com maior teor de poros interconectados, contribuindo para o aumento da absorção de água.

Porém, após 48 horas a formulação F12 ultrapassa o valor de absorção de água da F4, sendo que essa formulação foi a que obteve a segunda maior relação a/c dentre todas as outras formulações e as duas, tanto a F4 quanto a F12, apresentam a mesma quantidade de materiais secos. A diferença foi que, segundo a Tabela 13, a formulação F4 tem uma maior porcentagem de agregado natural (AGRN) do que agregado reciclado (AGRR), sendo de 72,00% para AGRN e 13,10% para AGRR. Já a formulação F12 apresenta 10,10% de AGRN e 75,00% de AGRR.

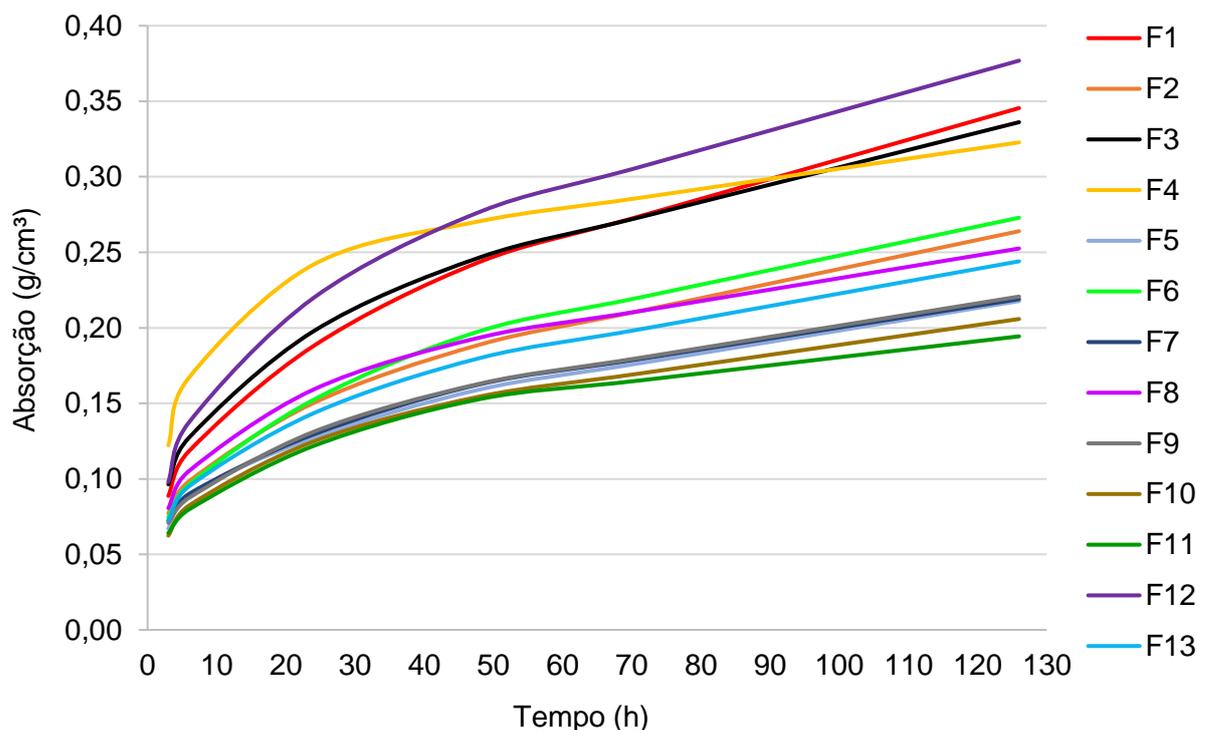
Portanto, a maior porcentagem de AGRR presente na formulação F12 pode ter contribuído para a maior absorção capilar de água após as 48 horas, pois de acordo com o resultado de massa específica saturada superfície seca e de porcentagem de absorção de água, o AGRR apresenta valores maiores comparado ao AGRN, podendo ser um material mais poroso.

O mesmo ocorre no estudo de Brasileiro e Silva (2020), Calcado *et al.* (2019) e Roque *et al.* (2020) ao compararem argamassas contendo agregado reciclado e agregado natural. Conclui-se que as argamassas com maiores porcentagens de agregado reciclado podem obter maiores absorções de água, possivelmente por apresentar maior porosidade em comparação ao agregado natural.

Tabela 15 - Resultados de absorção de água por capilaridade das trezes formulações.

Absorção de Água por Capilaridade (g/cm ³)						
Formulações	3 horas	6 horas	24 horas	48 horas	72 horas	126 horas
F1	0,09	0,12	0,19	0,24	0,28	0,35
F2	0,08	0,10	0,15	0,19	0,21	0,26
F3	0,10	0,13	0,20	0,25	0,27	0,34
F4	0,12	0,17	0,24	0,27	0,29	0,32
F5	0,07	0,09	0,13	0,16	0,18	0,22
F6	0,07	0,10	0,15	0,20	0,22	0,27
F7	0,07	0,09	0,13	0,16	0,18	0,22
F8	0,08	0,11	0,16	0,19	0,21	0,25
F9	0,07	0,09	0,13	0,16	0,18	0,22
F10	0,06	0,08	0,13	0,15	0,17	0,21
F11	0,06	0,08	0,12	0,15	0,17	0,19
F12	0,10	0,14	0,22	0,28	0,31	0,38
F13	0,07	0,10	0,14	0,18	0,20	0,24

Figura 21 - Gráfico de absorção de água por capilaridade das trezes formulações.



5.2.3.2. Variação Dimensional

A Tabela 16 e a Figura 22 apresentam os resultados da variação dimensional nas idades de 7, 14, 21 e 28 dias. O acompanhamento da variação dimensional sofreu um ajuste devido a pandemia não foi possível realizar a coleta de dados anterior a 7 dias, portanto foi adotada como data inicial a idade de 7 dias.

Um fator que influencia na variação das argamassas é a quantidade de finos presente nos agregados que apesar de reter água, causa a diminuição do diâmetro dos poros capilares gerando maior tensão durante a perda de água por evaporação da argamassa (BASTOS, 2001).

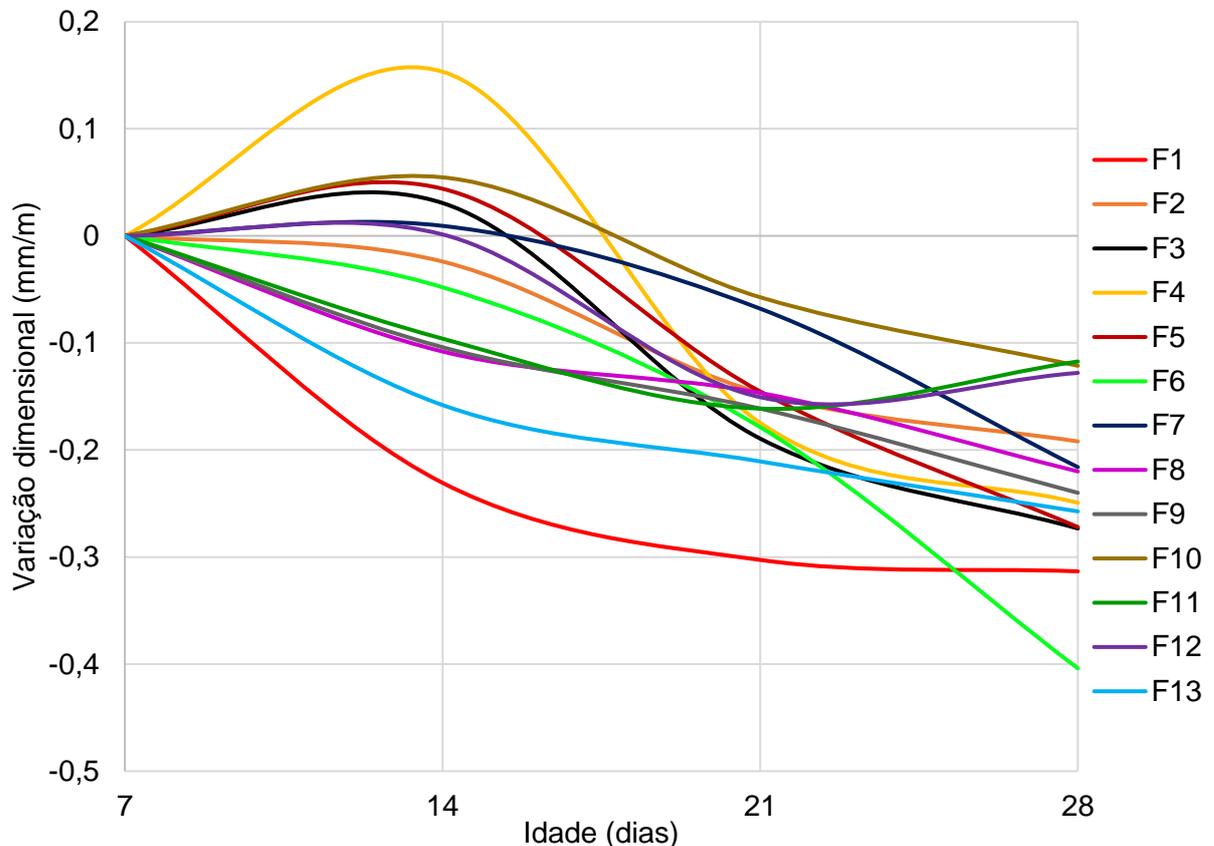
Observa-se que as formulações que obtiveram maiores variações aos 14 dias foram a F1 e a F4, portanto são formulações de argamassas que podem apresentar fissuras nos primeiros dias de idade. Essas formulações apresentam em sua composição baixo teor de cimento (19,35% e 14,90%, respectivamente) e alto teor de agregados, sendo 53,84% de AGRN e 26,81% de AGRR para o F1, e 72% de AGRN e 13,10% de AGRR. De acordo com a curva granulométrica apresentada no item 5.1.3 o AGRN apresenta granulometria mais fina comparada ao AGRR, isso pode ter influenciado na variação dimensional dessas formulações com maiores teores de AGRN.

As formulações F7 e F12 obtiveram as menores variações dimensionais aos 14 dias e são as formulações com maiores porcentagens de AGRR em suas composições, sendo ambas de 75%, portanto o AGRR provavelmente contribuiu para a diminuição da variação dimensional das argamassas.

Tabela 16 - Variação dimensional das formulações de argamassas

Formulações	Variação dimensional (mm/m)			
	7 dias	14 dias	21 dias	28 dias
F1	0,000	-0,231 ± 0,033	-0,303 ± 0,025	-0,313 ± 0,033
F2	0,000	-0,024 ± 0,020	-0,147 ± 0,010	-0,192 ± 0,009
F3	0,000	0,031 ± 0,031	-0,189 ± 0,005	-0,273 ± 0,013
F4	0,000	0,153 ± 0,038	-0,175 ± 0,033	-0,249 ± 0,030
F5	0,000	0,044 ± 0,069	-0,145 ± 0,135	-0,272 ± 0,083
F6	0,000	-0,048 ± 0,009	-0,179 ± 0,016	-0,404 ± 0,004
F7	0,000	0,009 ± 0,022	-0,068 ± 0,018	-0,216 ± 0,018
F8	0,000	-0,108 ± 0,024	-0,147 ± 0,018	-0,220 ± 0,023
F9	0,000	-0,104 ± 0,082	-0,161 ± 0,062	-0,240 ± 0,062
F10	0,000	0,055 ± 0,041	-0,057 ± 0,012	-0,121 ± 0,015
F11	0,000	-0,096 ± 0,094	-0,161 ± 0,002	-0,117 ± 0,123
F12	0,000	0,001 ± 0,012	-0,151 ± 0,018	-0,128 ± 0,110
F13	0,000	-0,158 ± 0,006	-0,211 ± 0,034	-0,257 ± 0,029

Figura 22 - Gráfico de variação dimensional



5.2.4. Análise Estatística das Propriedades das Formulações de Argamassa

A Tabela 17 e a Tabela 18 apresentam os resultados das propriedades de absorção de água (ABS), índice de vazios (IDV), aderência à tração (ADR), velocidade de propagação de onda ultrassônica (US), resistências à flexo tração e à compressão, e seus respectivos desvios padrão.

Tabela 17 - Resultados das propriedades das formulações das argamassas.

Formulações	ABS (%)	IDV (%)	ADR (MPa)	US (mm/μs)		
				7 dias	14 dias	28 dias
F1	5,37 ± 0,12	10,37 ± 0,19	0,14 ± 0,02	3,21 ± 0,01	3,29 ± 0,02	3,34 ± 0,01
F2	4,38 ± 0,05	8,71 ± 0,08	0,33 ± 0,04	2,90 ± 0,01	3,48 ± 0,03	3,61 ± 0,01
F3	5,96 ± 0,23	11,07 ± 0,42	0,27 ± 0,05	2,67 ± 0,07	3,17 ± 0,08	3,23 ± 0,01
F4	7,34 ± 1,30	13,91 ± 5,25	0,14 ± 0,01	2,49 ± 0,10	2,44 ± 0,03	3,11 ± 0,01
F5	4,14 ± 0,04	8,07 ± 0,06	0,50 ± 0,06	3,21 ± 0,02	3,72 ± 0,03	3,78 ± 0,02
F6	5,05 ± 0,22	9,75 ± 0,39	0,32 ± 0,14	3,03 ± 0,03	3,52 ± 0,00	3,51 ± 0,02
F7	3,45 ± 0,13	6,68 ± 0,20	0,39 ± 0,02	3,00 ± 0,01	3,58 ± 0,02	3,59 ± 0,01
F8	4,28 ± 0,37	8,35 ± 0,69	0,35 ± 0,09	3,34 ± 0,02	3,04 ± 0,02	3,50 ± 0,02
F9	3,98 ± 0,25	7,66 ± 0,44	0,37 ± 0,05	3,58 ± 0,02	3,17 ± 0,01	3,61 ± 0,02
F10	3,38 ± 0,04	6,91 ± 0,09	0,40 ± 0,01	3,35 ± 0,02	3,04 ± 0,01	3,62 ± 0,03
F11	3,49 ± 0,08	7,10 ± 0,16	0,44 ± 0,04	3,73 ± 0,05	3,27 ± 0,03	3,76 ± 0,04
F12	6,99 ± 1,02	12,28 ± 1,66	0,21 ± 0,05	2,78 ± 0,03	2,62 ± 0,03	2,95 ± 0,03
F13	4,04 ± 0,27	7,82 ± 0,50	0,35 ± 0,06	3,47 ± 0,01	3,01 ± 0,01	3,47 ± 0,01

Tabela 18 - Continuação dos resultados das propriedades das formulações das argamassas.

Formulações	Resistência à Compressão (MPa)			Resistência Flexo-Tração (MPa)		
	7 dias	14 dias	28 dias	7 dias	14 dias	28 dias
F1	7,67 ± 0,26	12,41 ± 0,24	13,11 ± 0,29	2,98 ± 0,16	3,16 ± 0,20	3,65 ± 0,09
F2	14,49 ± 0,17	18,07 ± 0,32	23,60 ± 0,29	4,30 ± 0,07	4,07 ± 0,20	4,39 ± 0,05
F3	9,62 ± 0,19	11,90 ± 0,20	12,76 ± 0,23	3,15 ± 0,09	2,90 ± 0,23	3,16 ± 0,08
F4	4,14 ± 0,22	5,46 ± 0,21	7,81 ± 0,26	1,60 ± 0,16	1,88 ± 0,03	2,55 ± 0,20
F5	26,71 ± 0,34	26,62 ± 0,29	31,26 ± 0,29	4,78 ± 0,57	5,16 ± 0,33	6,02 ± 0,21
F6	15,08 ± 0,29	16,78 ± 0,23	18,69 ± 0,23	3,69 ± 0,21	4,71 ± 0,02	4,93 ± 0,22
F7	16,12 ± 0,29	18,63 ± 0,26	23,88 ± 0,37	4,12 ± 0,20	4,21 ± 0,25	5,50 ± 0,10
F8	12,60 ± 0,24	17,02 ± 0,42	16,53 ± 0,27	3,00 ± 0,19	3,47 ± 0,25	4,65 ± 0,01
F9	18,59 ± 0,14	24,72 ± 0,38	23,73 ± 0,23	3,62 ± 0,05	5,03 ± 0,05	5,42 ± 0,25
F10	11,95 ± 0,24	15,73 ± 0,26	15,67 ± 0,35	3,29 ± 0,09	3,99 ± 0,08	4,50 ± 0,14
F11	21,34 ± 0,37	25,46 ± 0,36	26,48 ± 0,26	4,98 ± 0,26	5,91 ± 0,09	5,52 ± 0,56
F12	4,85 ± 0,37	7,18 ± 0,30	6,91 ± 0,22	1,95 ± 0,16	2,39 ± 0,20	2,84 ± 0,15
F13	12,86 ± 0,29	18,29 ± 0,45	18,49 ± 0,29	3,92 ± 0,17	4,36 ± 0,13	5,13 ± 0,14

Através dos resultados das propriedades de cada formulação foi possível obter os modelos de regressão, as equações de regressão, a análise de variância e os gráficos de resíduos do modelo ajustado utilizando o programa *Minitab Statistical Software*. Como parâmetros estatísticos, o nível de significância adotado foi de 5,0% com intervalo de confiança de 95,0%.

5.2.4.1. Absorção de água (ABS)

A Tabela 19 apresenta o sumário do modelo de regressão selecionado. O valor de R^2 ajustado (coeficiente de determinação ajustado) deve ser o mais próximo possível do intervalo de confiança, no caso o R^2 ajustado foi de 92,89%, o que falta para 100% é considerado resíduo. Portanto, foi selecionado o modelo Quadrático como o mais adequado para a propriedade analisada.

Tabela 19 - Sumário do modelo de absorção de água (ABS).

Modelo	S*	R ² *	R ² (aj)*	PRESQ*	R ² (pred)*
Quadrático	0,349505	95,85%	92,89%	3,99835	80,60%

*S: desvio padrão da distância entre os valores dos dados e os valores ajustados;

*R²: porcentagem de variação na resposta que é explicada pelo modelo;

*R² (aj): porcentagem de variação na resposta que é aplicada pelo modelo, usado para comparar modelos que têm diferentes números de preditores.

*PRESQ: soma dos quadrados predita é a medida do desvio entre os valores ajustados e os valores observados.

*R²(pred): R² predito é usado para determinar o quão bem o modelo prediz as respostas para novas observações (<https://support.minitab.com/>).

A Tabela 20 apresenta a análise de variância do modelo de regressão para a propriedade de absorção de água (ABS). O Valor-P confirma que o ajuste do modelo Quadrático é o adequado para a propriedade analisada, pois apresenta valores menores que o nível de significância (5,0%).

Além disso, a Tabela 20 também apresenta os valores para Valor-F ou Teste-F. Esse valor é uma razão entre duas variâncias que é usada como uma medida de dispersão, portanto valores maiores apresentam maior dispersão da média global dos valores da propriedade analisada. Portanto, de acordo com o Valor F de ABS o modelo que mais adequado é o quadrático.

Tabela 20 - Análise de variância para absorção de água (ABS) (proporções de componentes).

Fonte	GL*	SQ Seq*	SQ (Aj.)*	QM (Aj.)*	Valor F	Valor-P
Regressão	5	19,7592	19,7592	3,9518	32,35	0,000
Linear	2	12,2244	5,4324	2,7162	22,24	0,001
Quadrático	3	7,5348	7,5348	2,5116	20,56	0,001
CI*AGRN	1	0,0711	7,1762	7,1762	58,75	0,000
CI*AGRR	1	4,3940	7,0285	7,0285	57,54	0,000
AGRN*AGRR	1	3,0698	3,0698	3,0698	25,13	0,002
Erro de Resíduos	7	0,8551	0,8551	0,1222		
Ajuste Total	12	20,6143				

*GL: Graus de Liberdade;
 *SQ Seq: Soma dos quadrados sequenciais;
 *SQ (Aj.): Soma dos quadrados ajustados;
 *QM (Aj.): Quadrados médios ajustados (<https://support.minitab.com/>);

Através da Tabela 21, também obtida pelo *Minitab Statistical Software*, pode-se obter a equação 13 que representa o modelo de regressão para a propriedade analisada, sendo x_1 , x_2 e x_3 representando os componentes, respectivamente, o cimento, o agregado natural e o agregado reciclado.

Tabela 21 - Coeficientes de Regressão Estimados para absorção de água (ABS) (proporções do Componente);

Termo	Variáveis	Coef	EP de Coef*	Valor-T*	Valor-P*	VIF*
CI	X_1	129,5	17,9	*	*	2050,09
AGRN	X_2	20,05	1,81	*	*	66,29
AGRR	X_3	19,27	1,74	*	*	71,40
CI*AGRN	X_1X_2	-241,4	31,5	-7,66	0,000	1082,44
CI*AGRR	X_1X_3	-232,9	30,7	-7,59	0,000	1337,36
AGRN*AGRR	X_2X_3	13,24	2,64	5,01	0,002	7,22

*EP de Coef: erro padrão do coeficiente;

*Valor-T: tamanho da diferença em relação à variação nos dados amostrais;

*Valor-P: probabilidade de obter um efeito tão extremo quanto dos dados amostrais, assumindo que a hipótese nula é verdadeira;

*VIF: fatores de inflação de variância medem o quanto a variância de um coeficiente de regressão estimado aumenta se seus preditores estão correlacionados (<https://support.minitab.com/>).

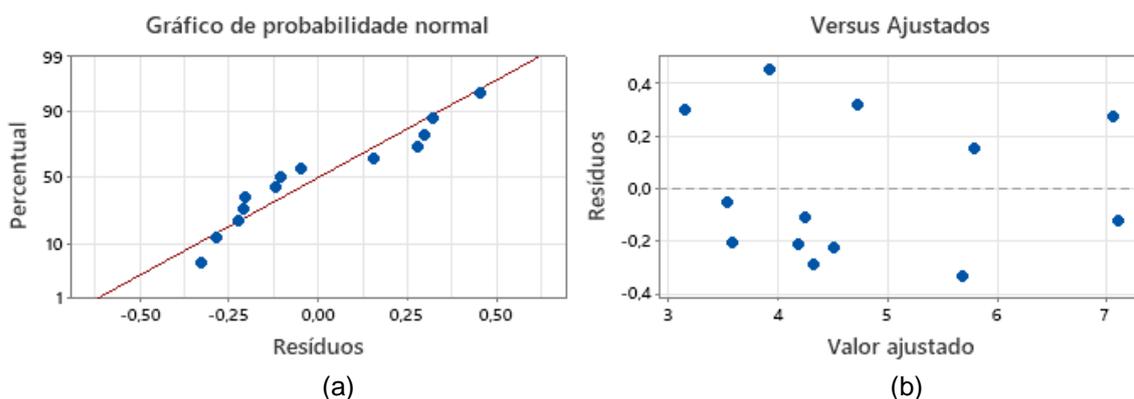
$$\text{ABS} = 129,5x_1 + 20,05x_2 + 19,27x_3 - 241,4x_1x_2 - 232,9x_1x_3 + 13,24x_2x_3 \quad (\text{Eq. 18})$$

Ao analisar a Equação (18), observa-se que os coeficientes individuais e a última combinação binária apresentam um efeito positivo no produto da ABS, então, os componentes de CI, AGRN e AGRR sozinhos e a combinação de AGRN e AGRR são favoráveis no aumento do resultado da ABS. Já as combinações binárias de CI com AGRN e CI com AGRR apresentam um efeito negativo ajudando a minimizar o resultado da ABS.

Os gráficos de resíduos avaliam a qualidade de ajuste do modelo selecionado, pois quanto menores os resíduos melhor é o ajuste do modelo (KNISS, 2005). O valor máximo que o R^2 ajustado pode apresentar é de 100%, assim não havendo nenhum resíduo. O modelo quadrático definido para esta propriedade (ABS) foi de 92,89%, portanto o valor de resíduo é de 7,11%.

A Figura 23 apresenta os gráficos de resíduos da propriedade de absorção de água (ABS), sendo (a) gráfico de probabilidade normal relacionando os resíduos com os valores normais previstos, mostrando que apenas alguns pontos ficaram fora da curva normal. O gráfico (b) de Versus Ajustados mostra que os erros estão aleatoriamente distribuídos em torno de um valor médio igual a zero.

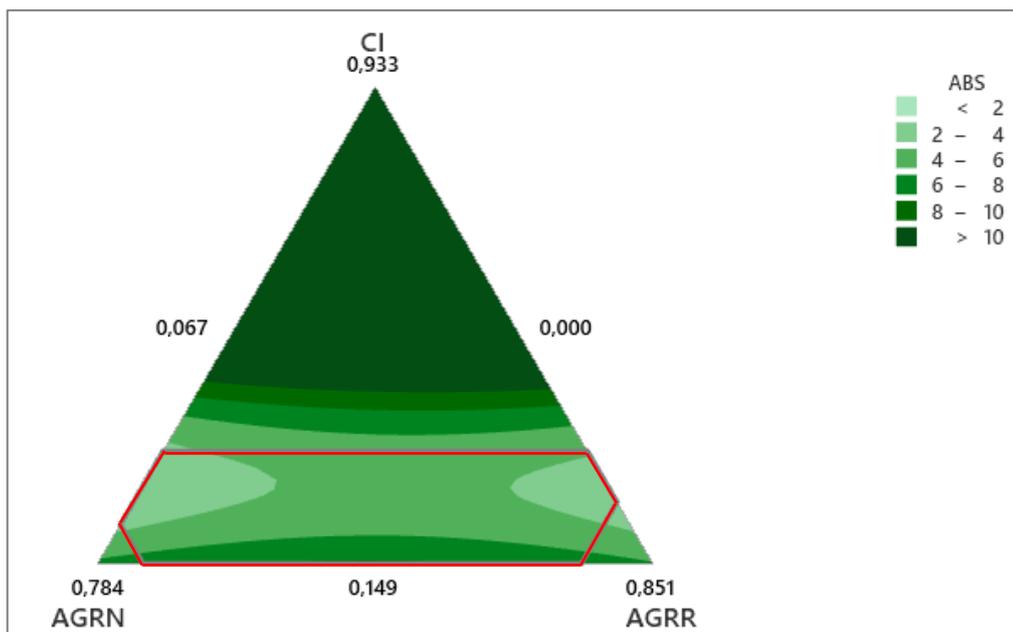
Figura 23 - Gráfico de resíduo de absorção de água (ABS).



A Figura 24 mostra o gráfico de contorno de superfície de resposta dos resultados de absorção de água (ABS), calculado utilizando o modelo quadrático e de acordo com os Pseudocomponentes. A área contornada de vermelho na base do gráfico é onde se encontram os pontos das treze formulações de argamassas que foram produzidas.

Observa-se que os maiores valores de absorção de água (ABS) se encontram próximos do vértice de cimento (CI) e as menores absorções de água se encontram próximas aos vértices de agregado natural (AGN) e do agregado reciclado (AGR), ou seja, os menores valores de ABS estão nas faixas mais claras do gráfico. Portanto, para obter uma argamassa com baixa absorção de água o valor de sua formulação se encontra dentro dessa faixa mais clara do gráfico, sendo de 2% a 6% de ABS.

Figura 24 - Gráfico de Contorno de Mistura para a propriedade absorção de água (ABS).



Para obter uma conclusão quanto ao uso do agregado reciclado nas formulações de argamassas pode-se observar os valores da Tabela 13 de composição das formulações e da Tabela 17 com os valores das propriedades.

Ao analisar as formulações de F5 e F11, percebe-se que são formulações que apresentam a mesma quantidade de materiais secos em seu traço, mesma quantidade de cimento e valores de *a/c* parecidos entre si. Porém, o F5 tem o percentual total de agregado composto por agregado reciclado (AGRR), já o F11 apresenta apenas 10% de seu agregado composto por agregado reciclado (AGRR).

Levando em conta que o F5 (C33,33 N0,00 R66,67) tem 4,14% de ABS e que a F11 (C33,33 N60,00 R6,67) tem 3,49% de ABS, percebe-se que o agregado reciclado (AGRR) influenciou nesta propriedade da argamassa, fazendo com que o valor de ABS aumente. O mesmo ocorre no trabalho de Ferreira *et al.* (2016) ao aumentar a porcentagem de substituição de agregado natural por agregado reciclado a porcentagem de absorção de água passa a ser maior.

5.2.4.2. Índice de vazios

A Tabela 22 apresenta o sumário do modelo do índice de vazios (IDV). O modelo mais adequado para esta propriedade também foi o quadrático, pois o valor de R^2 (ajustado) mais próximo possível do intervalo de confiança foi de 90,63%.

Tabela 22 - Sumário do modelo índice de vazios (IDV)

Modelo	S	R²	R² (aj)	PRESQ	R²(pred)
Quadrático	0,680371	94,53%	90,63%	16,2730	72,54%

A Tabela 23 apresenta a análise de variância do modelo de regressão adotado, sendo que o Valor-P confirma que o ajuste do modelo Quadrático é o adequado para a propriedade analisada, pois apresenta valores menores que o nível de significância de 5,0%, e o Valor-F confirma que o modelo mais adequado é realmente o quadrático por apresentar o menor valor.

Tabela 23 - Análise de variância para índice de vazios (IDV) (proporções de componentes)

Fonte	GL	SQ Seq	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
Regressão	5	56,0250	56,025	11,2050	24,21	0,000
Linear	2	33,3879	16,468	8,2339	17,79	0,002
Quadrático	3	22,6372	22,637	7,5457	16,30	0,002
CI*AGRN	1	0,7253	21,349	21,3495	46,12	0,000
CI*AGRR	1	11,9545	20,151	20,1509	43,53	0,000
AGRN*AGRR	1	9,9573	9,957	9,9573	21,51	0,002
Erro de Resíduos	7	3,2403	3,240	0,4629		
Total	12	59,2654				

Através da Tabela 24, é possível extrair a equação que representa o modelo de regressão para a propriedade analisada, sendo x_1 , x_2 e x_3 representando, respectivamente, o cimento (CI), o agregado natural (AGRN) e o agregado reciclado (AGRR).

Tabela 24 - Coeficientes de regressão estimados para índice de vazios (IDV) (proporções de componentes).

Termo	Variáveis	Coef	EP de Coef	Valor-T	Valor-P	VIF
CI	x ₁	223,2	34,9	*	*	2050,09
AGRN	x ₂	36,11	3,53	*	*	66,29
AGRR	x ₃	32,26	3,38	*	*	71,40
CI*AGRN	x ₁ x ₂	-416,4	61,3	-6,79	0,000	1082,44
CI*AGRR	x ₁ x ₃	-394,4	59,8	-6,60	0,000	1337,36
AGRN*AGRR	x ₂ x ₃	23,85	5,14	4,64	0,002	7,22

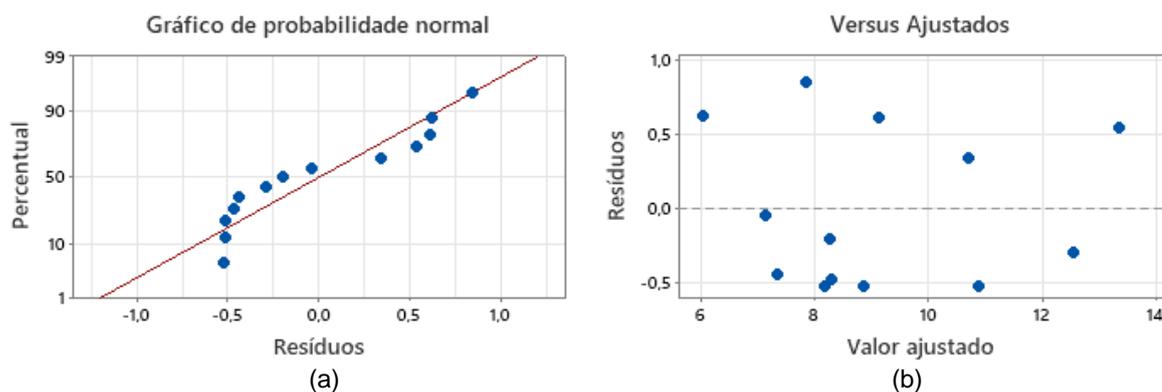
$$\text{IDV} = 223,2x_1 + 36,11x_2 + 32,26x_3 - 416,4x_1x_2 - 394,4x_1x_3 + 23,85x_2x_3 \quad (\text{Eq. 19})$$

A Equação (19) mostra que os coeficientes individuais de x₁, x₂ e x₃ (CI, AGRN e AGRR) e a última combinação binária de x₂x₃ (AGRN e AGRR) apresentam um efeito positivo na equação ajudando no aumento do resultado de IDV, e as combinações binárias de x₁x₂ (CI e AGRN) e x₁x₃ (CI e AGRR) apresentam um efeito negativo na equação fazendo com que haja uma diminuição no resultado de IDV.

Através do modelo quadrático que representa esta propriedade, obteve-se um valor para o R² ajustado que não foi de 100%, ou seja, há um resíduo de 9,37% de ajuste do modelo.

Os gráficos de resíduos dos resultados do índice de vazios (IDV) estão apresentados na Figura 25, sendo (a) o gráfico de probabilidade normal relacionando os resíduos com os valores normais previstos, mostrando que os pontos estão bem próximos da curva normal; e o gráfico (b) de Versus Ajustados mostrando que os erros estão aleatoriamente distribuídos em torno de um valor médio igual a zero e variam de -0,5 a 1,0.

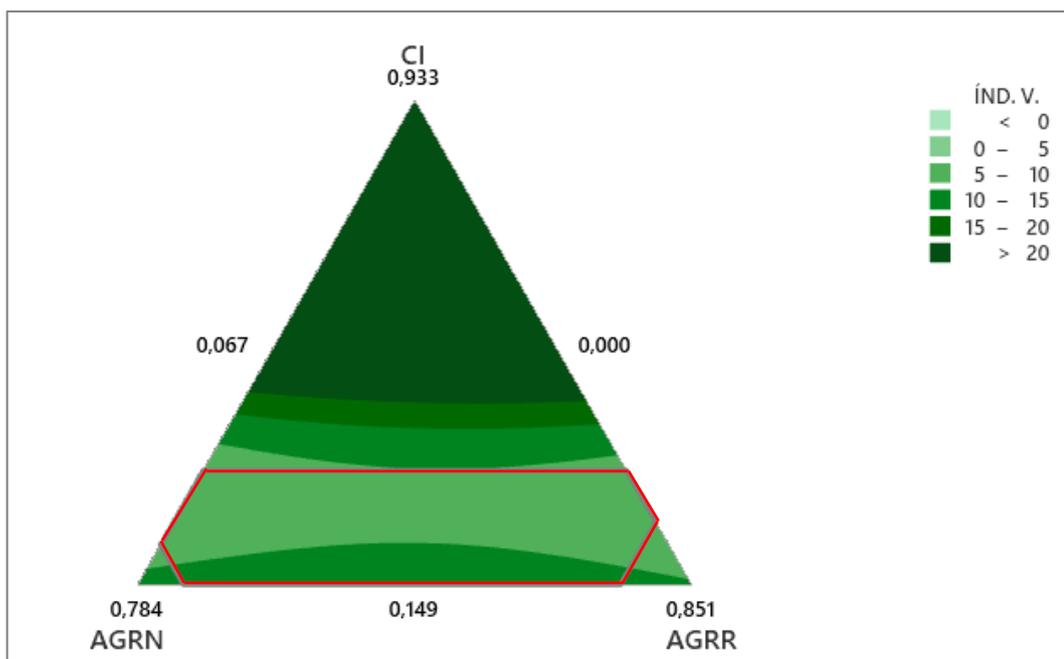
Figura 25 - Gráfico de resíduo de índice de vazios (IDV).



A Figura 26 mostra o gráfico de contorno de superfície de resposta dos resultados de índice de vazios (IDV), utilizando o modelo quadrático e de acordo com os Pseudocomponentes . A área contornada de vermelho no gráfico é onde se encontram os treze pontos das formulações que geraram os valores das propriedades.

Assim como o gráfico de contorno de absorção de água (ABS), o gráfico de IDV apresenta maiores valores de índice de vazios (IDV) próximos ao vértice de cimento (CI) e os menores valores estão dentro da faixa central da região dos pontos das formulações, ou seja, para que uma argamassa tenha um valor baixo de absorção de água (ABS) e baixo índice de vazios (IDV) sua formulação deve estar próxima ao centro da faixa analisada das treze formulações.

Figura 26 - Gráfico de Contorno de Mistura de índice de vazios (IDV).



Ao analisar a região onde se encontram os pontos das treze formulações (região contornada em vermelho) pode-se perceber que quanto menor quantidade de cimento maior é o índice de vazios. O cimento é um material com grãos mais finos que os agregador, por tanto pode preencher os espaços vazios na argamassa diminuindo a quantidade de poros (SILVA; BUEST; CAMPITELI, 2005).

Em relação aos resultados das treze formulações, observando as mesmas formulações que foram analisadas absorção de água (ABS), F5 e F11, por apresentarem a mesma quantidade de materiais secos e relações a/c bem próximas.

De acordo com a Tabela 17, o F5 obteve valor de índice de vazios (IDV) de $8,07 \pm 0,06\%$ e o F11 obteve o valor de $7,10 \pm 0,16\%$. Sendo que, o F5 apresenta 66,67% de agregado reciclado (AGRR) em sua formulação, já o F11 apresenta apenas 6,67%.

O mesmo comportamento é observado entre as formulações F1 (C19,3 N53,84 R26,81) e F3 (C19,35 N22,89 R57,76) que apresentam valores de IDV, respectivamente, de $10,37 \pm 0,19\%$ e $11,07 \pm 0,42\%$. O F1 é composto por 26,81% de AGRR e o F3 é composto por 57,76%, ou seja, o AGRR fez com que o IDV tenha um leve aumento nas formulações de argamassa. Isso pode ter ocorrido, pois como pode ser observado na Figura 18, o AGRR apresenta menores porcentagens de materiais passantes em sua curva granulométrica comparado ao AGRN.

5.2.4.3. Resistência de Aderência à Tração

Na Tabela 25 pode-se observar que o modelo adotado para a propriedade de aderência à tração (ADR) também foi o quadrático, pois o valor de R^2 (ajustado) mais próximo possível do intervalo de confiança foi de 74,77%.

Tabela 25 - Sumário do modelo resistência de aderência à tração (ADR).

Modelo	S	R²	R² (aj)	PRESQ	R²(pred)
Quadrático	0,0543490	85,28%	74,77%	0,109501	22,06%

A Tabela 26 apresenta a análise de variância do modelo de regressão adotado, apesar de o Valor-P está acima de 5,0%, este modelo ainda é o mais adequado para esta propriedade por conta do valor de R^2 ajustado. Em relação ao Valor-F o modelo mais adequado seria o linear por apresentar o menor valor, porém, esse modelo apresentaria o valor de R^2 ajustado muito abaixo comparado ao modelo quadrático, portando o modelo adotado para esta propriedade continua sendo o quadrático.

Tabela 26 - Análise de variância para resistência de aderência à tração (ADR) (proporções de componentes).

Fonte	GL	SQ Seq	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
Regressão	5	0,119809	0,119809	0,023962	8,11	0,008
Linear	2	0,101156	0,004371	0,002186	0,74	0,511
Quadrático	3	0,018653	0,018653	0,006218	2,11	0,188
CI*AGRN	1	0,000013	0,008607	0,008607	2,91	0,132
CI*AGRR	1	0,001390	0,008270	0,008270	2,80	0,138
AGRN*AGRR	1	0,017250	0,017250	0,017250	5,84	0,046
Erro de Resíduos	7	0,020677	0,020677	0,002954		
Total	12	0,140486				

Através da Tabela 27, é possível extrair a equação que representa o modelo de regressão para a resistência à aderência (ADR), sendo x_1 , x_2 e x_3 representando, respectivamente, o cimento (CI), o agregado natural (AGN) e o agregado reciclado (AGRR).

Tabela 27 - Coeficientes de regressão estimados para resistência de aderência à tração (ADR) (proporções de componentes)

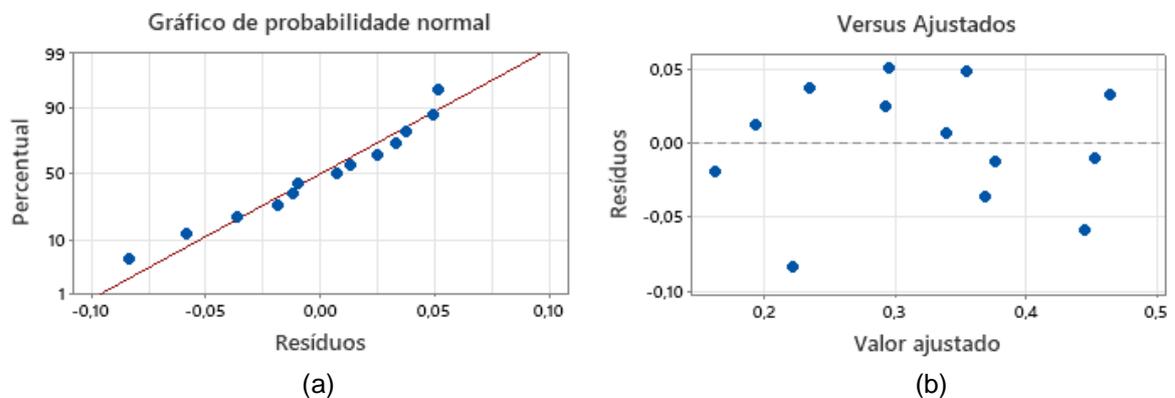
Termo		Coef	EP de Coef	Valor-T	Valor-P	VIF
CI	x_1	-3,37	2,79	*	*	2050,09
AGRN	x_2	-0,358	0,282	*	*	66,29
AGRR	x_3	-0,281	0,270	*	*	71,40
CI*AGRN	x_1x_2	8,36	4,90	1,71	0,132	1082,44
CI*AGRR	x_1x_3	7,99	4,77	1,67	0,138	1337,36
AGRN*AGRR	x_2x_3	-0,993	0,411	-2,42	0,046	7,22

$$\mathbf{ADR} = - 3,37x_1 - 0,358x_2 - 0,281x_3 + 8,36x_1x_2 + 7,99x_1x_3 - 0,993x_2x_3 \quad (\text{Eq. 20})$$

Ao observar a Equação (20), pode-se ver que os três coeficientes individuais e a última combinação binária apresentam um efeito negativo para a ADR, ou seja, os componentes de CI, AGRN e AGRR sozinhos ou a combinação entre os dois agregados foram desfavoráveis para a equação diminuindo o resultado de ADR. Já as combinações binárias de x_1x_2 (CI*AGRN) e x_1x_3 (CI*AGRR) apresentam um efeito positivo na equação, ou seja, ambas combinações de cimento com agregado natural ou com agregado reciclado ajudaram no aumento do resultado da ADR.

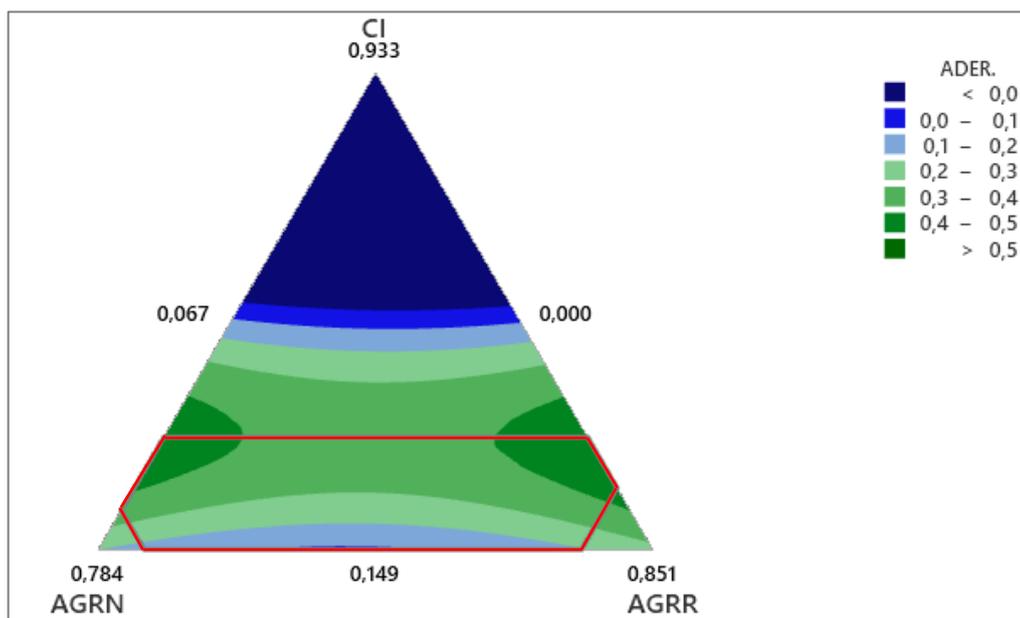
Através do modelo quadrático que representa esta propriedade, obteve-se um valor para o R^2 ajustado que foi de 74,77%, ou seja, falta 25,23% para completar 100%. Portanto, utilizando este modelo para a ADR há um resíduo de 25,23% de ajuste. Este resíduo de ajuste é explicado nos gráficos da Figura 27, sendo o gráfico (a) de probabilidade normal relacionando os resíduos com os valores normais previstos, mostrando que os pontos estão bem próximos da curva normal; e o gráfico (b) de Versus Ajustados mostrando que os erros estão aleatoriamente distribuídos em torno de um valor médio igual a zero com maior dispersão por conta do resíduo de ajuste.

Figura 27 - Gráfico de resíduo de resistência de aderência à tração (ADR).



A Figura 28 apresenta o gráfico de contorno de superfície de resposta dos resultados de resistência potencial à aderência (ADR), utilizando o modelo quadrático estando de acordo com os Pseudocomponentes. Sendo que a região contornada de vermelho no gráfico é onde se encontra a área estudada com os treze pontos das formulações de argamassas geradas.

Figura 28 - Gráfico de contorno de mistura de resistência de aderência à tração (ADR)



Um dos requisitos exigidos pela norma NBR 13281 (ABNT, 2005b) é que a argamassa deve apresentar resistência potencial de aderência à tração acima de 0,20 MPa. Conforme os dados apresentados na Tabela 18, percebe-se que apenas as formulações de F1 (C19,3 N53,84 R26,81) e F4 (C14,90 N72,00 R13,10) não atendem a esse requisito por ambos apresentarem valor de aderência à tração de 0,14 MPa, isso pode estar associado ao baixo teor de cimento presente nessas formulações. Contrapondo esses valores de resistência de aderência à tração, as formulações de F5 (C33,33 N0,00 R66,67) e F11 (C33,33 N60,00 R6,67) foram as que apresentaram maiores resistências, sendo 0,50 MPa e 0,44 MPa respectivamente, essas duas formulações apresentam em suas composições o teor mais alto de cimento, sendo argamassas mais ricas, reiterando a afirmação da influência do teor de cimento presente nas formulações.

A relação a/c pode ter influenciado nos valores baixos de ADR, pois ao aumentar a quantidade de água o volume de pasta também aumenta e o excesso de água prejudica assim a ADR das argamassas. Isso pode ser observado nas formulações que obtiveram valores de ADR baixas como F1 com a/c de 1,03, F4 com a/c de 1,40 e F12 com a/c de 1,23. Outro fator que pode prejudicar é o processo de moldagem das placas, que podem gerar bolhas de ar diminuindo o contato da argamassa ao substrato (RECENA, 2011).

Os dados também mostram a influência da adição de agregado reciclado (AGRR) nas formulações. Pois, comparando formulações com o mesmo teor de

cimento e com relações a/c próximas entre si nota-se que as que apresentam maiores porcentagens de agregado reciclado (AGRR) em comparação as porcentagens de agregado natural (AGRN) há um aumento na resistência de aderência à tração. Por exemplo, ao comparar as formulações F1 e F3 pode-se observar que o F1 é composto por 26,81% de agregado reciclado (AGRR) e obteve uma baixa resistência de aderência à tração (0,14 MPa) e o F3 é composto por 57,76% de agregado reciclado (AGRR) obteve uma resistência de 0,27 MPa.

5.2.4.4. Velocidade de Onda Ultrassônica

A Tabela 28 apresenta o sumário do modelo adotado para a propriedade de velocidade de onda ultrassônica de 7, 14 e 28 dias. Pode-se observar que para a idade de 7 dias o modelo adotado foi o Linear com apenas 35,57% de R² ajustado (coeficiente de determinação ajustado), ou seja, o valor mais alto para 7 dias. Já para as idades de 14 e 28 dias o modelo mais adequado foi o Cúbico Especial com valores de R² ajustado de 57,94% e 98,12% respectivamente.

Tabela 28 - Sumário do modelo velocidade de onda ultrassônica (US).

Idade (dias)	Modelo	S	R ²	R ² (aj)	PRESQ	R ² (pred)
7	Linear	0,292597	46,31%	35,57%	1,44403	9,44%
14	Cúbico Especial	0,236856	78,97%	57,94%	1,67943	0,00%
28	Cúbico Especial	0,033758	99,06%	98,12%	0,087001	88,03%

A Tabela 29 mostra a análise de variância de do modelo de regressão utilizado para as idades de 7, 14 e 28 dias. O Valor-P para esta propriedade com idade de 7 dia está abaixo de do nível de significância que é de 5%, e apesar do Valor-P está acima de 14 e 28 dias estarem acima de 5% para o modelo Cúbico Especial, esse modelo foi o adotado para esta propriedade por apresentarem o maior valor de R² ajustado dentre os outros modelos.

Tabela 29 - Análise de variância para velocidade de onda ultrassônica (US) (proporções de componentes).

Idade (dias)	Fonte	GL	SQ Seq	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
7	Regressão	2	0,7385	0,7385	0,36925	4,31	0,045
	Linear	2	0,7385	0,7385	0,36925	4,31	0,045
	Erro de Resíduos	10	0,8561	0,8561	0,08561		
	Total	12	1,5946				
14	Regressão	6	1,26385	1,2639	0,21064	3,75	0,066
	Linear	2	0,93898	0,1555	0,07776	1,39	0,320
	Quadrático	3	0,18370	0,3028	0,10092	1,80	0,247
	CI*AGRN	1	0,00691	0,2488	0,24882	4,44	0,080
	CI*AGRR	1	0,17646	0,2697	0,26974	4,81	0,071
	AGRN*AGRR	1	0,00033	0,1390	0,13897	2,48	0,167
	Cúbico Especial	1	0,14117	0,1412	0,14117	2,52	0,164
	CI*AGRN*AGRR	1	0,14117	0,1412	0,14117	2,52	0,164
	Erro de Resíduos	6	0,33660	0,3366	0,05610		
Total	12	1,60046					
28	Regressão	6	0,72006	0,72006	0,12001	105,31	0,000
	Linear	2	0,62754	0,06185	0,03093	27,14	0,001
	Quadrático	3	0,09031	0,08942	0,02981	26,16	0,001
	CI*AGRN	1	0,01214	0,05107	0,05107	44,81	0,001
	CI*AGRR	1	0,05095	0,06311	0,06311	55,38	0,000
	AGRN*AGRR	1	0,02723	0,00027	0,00027	0,23	0,647
	Cúbico Especial	1	0,00221	0,00221	0,00221	1,94	0,214
	CI*AGRN*AGRR	1	0,00221	0,00221	0,00221	1,94	0,214
	Erro de Resíduos	6	0,00684	0,00684	0,00114		
Total	12	0,72689					

A Tabela 30 mostra os coeficientes de regressão para a velocidade de onda ultrassônica (US) nas idades de 7, 14 e 28 dias em que é possível extrair a equação que representa o modelo para esta propriedade, sendo x_1 , x_2 e x_3 representando, respectivamente, o cimento (CI), o agregado natural (AGN) e o agregado reciclado (AGR).

Tabela 30 - Coeficientes de regressão estimados para velocidade de onda ultrassônica (US) (proporções de componentes).

Idade (dias)	Termo	Variante	Coef	EP de Coef	Valor-T	Valor-P	VIF
7	CI	x ₁	6,26	1,08	*	*	10,63
	AGRN	x ₂	2,304	0,371	*	*	3,94
	AGRR	x ₃	2,034	0,396	*	*	5,31
14	CI	x ₁	-22,80	14,1	*	*	2744,40
	AGRN	x ₂	-2,32	2,15	*	*	201,93
	AGRR	x ₃	-1,8	1,78	*	*	163,62
	CI*AGRN	x ₁ x ₂	57,3	27,2	2,11	0,080	1761,59
	CI*AGRR	x ₁ x ₃	56,10	25,6	2,19	0,071	2018,79
	AGRN*AGRR	x ₂ x ₃	15,54	9,87	1,57	0,167	219,63
	CI*AGRN*AGRR	x ₁ x ₂ x ₃	-65,6	41,3	-1,59	0,164	196,95
28	CI	x ₁	-8,63	2,00	*	*	2744,40
	AGRN	x ₂	1,447	0,306	*	*	201,93
	AGRR	x ₃	0,918	0,254	*	*	163,62
	CI*AGRN	x ₁ x ₂	25,98	3,88	6,69	0,001	1761,59
	CI*AGRR	x ₁ x ₃	27,12	3,64	7,44	0,000	2018,79
	AGRN*AGRR	x ₂ x ₃	0,68	1,41	0,48	0,647	219,63
	CI*AGRN*AGRR	x ₁ x ₂ x ₃	-8,20	5,89	-1,39	0,214	196,95

$$US_{7d} = 6,26x_1 + 2,304x_2 + 2,034x_3 \quad (\text{Eq. 21})$$

$$US_{14d} = -22,8x_1 - 2,32x_2 - 1,80x_3 + 57,3x_1x_2 + 56,10x_1x_3 + 15,54x_2x_3 - 65,60x_1x_2x_3 \quad (\text{Eq. 22})$$

$$US_{28d} = -8,63x_1 + 1,447x_2 + 0,918x_3 + 25,98x_1x_2 + 27,12x_1x_3 + 0,68x_2x_3 - 8,20x_1x_2x_3 \quad (\text{Eq. 23})$$

A Equação (21) é uma equação linear com todos os coeficientes individuais apresentando um efeito positivo para a US de 7 dias, ou seja, todos os componentes CI, AGRN e AGRR sozinhos ajudam no aumento da US na idade de 7 dias, porém por apresentar um R² ajustado muito baixo não é uma equação muito precisa.

A Equação (22) é Cúbica Especial apresentando os três coeficientes individuais e a última combinação ternárias com efeito negativo na equação, ou seja, os

componentes de CI, AGRN e AGRR individualmente ajudam na diminuição do resultado da US aos 14 dias. Já as três combinações binárias de x_1x_2 (CI*AGRN), x_1x_3 (CI*AGRR) e x_2x_3 (AGRN*AGRR) apresentam efeito positivo fazendo com que o resultado da US com 14 dias aumente.

Já a Equação (23), também é Cúbica Especial, porém apresenta apenas o primeiro coeficiente individual e a última combinação ternária como negativos, ou seja, o componente do x_1 (CI) e a combinação de dos três $x_1x_2x_3$ (CI*AGRN*AGRR) fazem com que o resultado da US com 28 dias diminua, e os outros dois coeficientes individuais de x_2 (AGRN) e x_3 (AGRR) e as três combinações binárias entre os três componentes de CI, AGRN e AGRR são positivos fazendo com que haja um aumento no resultado da US com idade de 28 dias.

As Figura 29, Figura 30 e Figura 31 apresentam os gráficos de resíduos para a velocidade de onda ultrassônica (US) de 7, 14 e 28 dias, respectivamente. Nas três figuras são apresentados (a) gráfico de probabilidade normal relacionando os resíduos com os valores normais previstos, mostrando que os pontos estão próximos da curva normal com apenas alguns pontos um pouco afastados da curva e (b) Versus Ajustados mostrando a aleatoriedade da distribuição dos pontos em torno de um valor médio igual a zero.

Figura 29 - Gráficos de resíduos de velocidade de onda ultrassônica (US) com 7 dias.

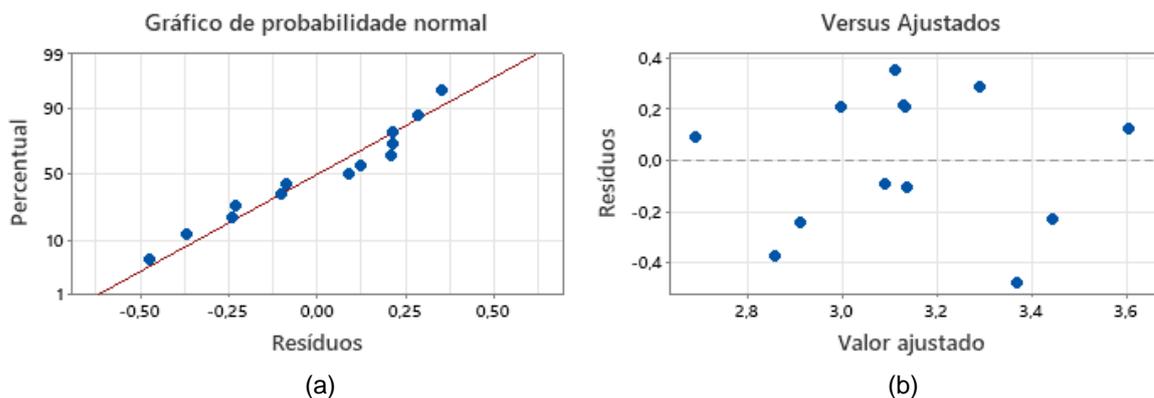


Figura 30 - Gráficos de resíduos de velocidade de onda ultrassônica (US) com 14 dias.

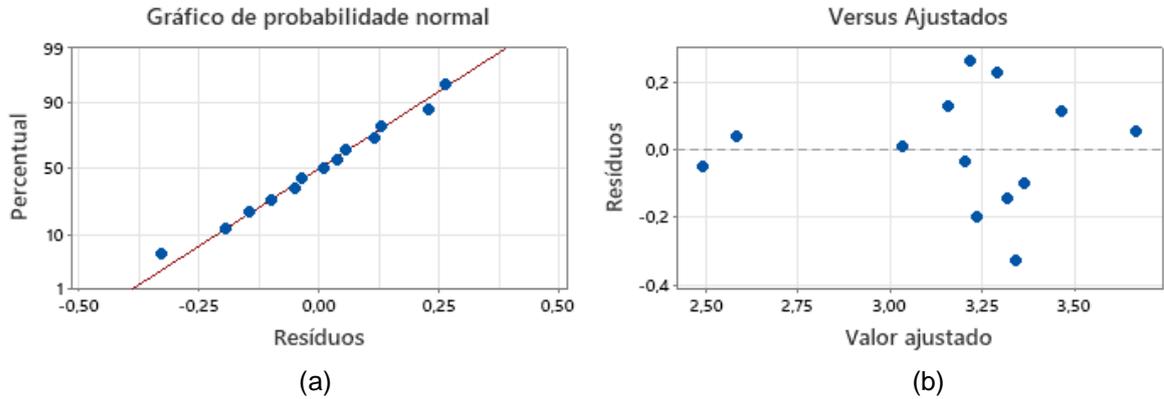
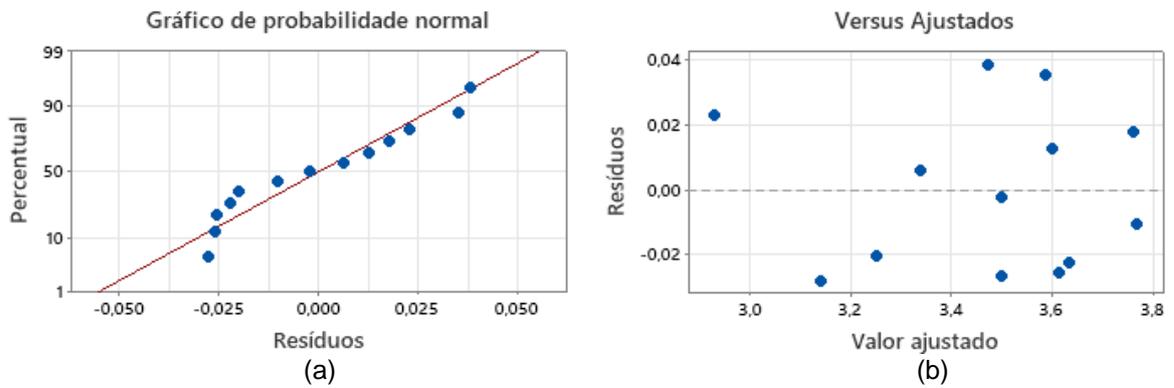


Figura 31 - Gráficos de resíduos de velocidade de onda ultrassônica (US) com 28 dias.



As Figura 32, Figura 33 e Figura 34 apresentam os gráficos de contorno de superfície de resposta dos resultados velocidade de onda ultrassônica (US) de 7, 14 e 18 dias que foi extraído do *Minitab Statistical Software*. A região contornada de vermelho nos gráficos é onde se encontra a área estudada com os treze pontos das formulações de argamassas.

Figura 32 - Gráfico de contorno de mistura velocidade de onda ultrassônica (US) 7 dias.

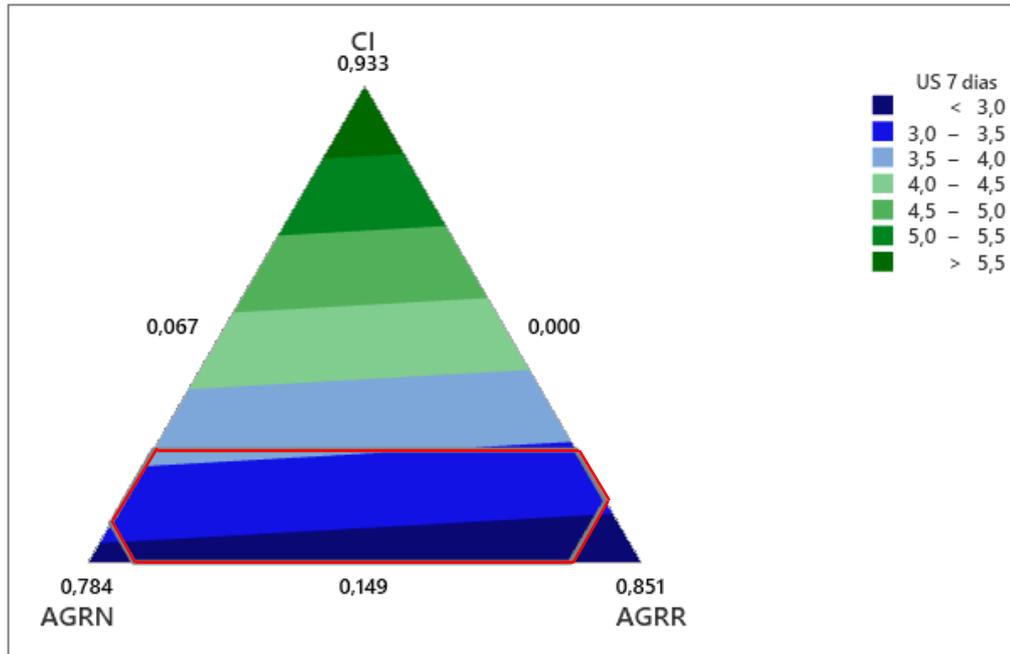


Figura 33 - Gráfico de contorno de mistura velocidade de onda ultrassônica (US) 14 dias.

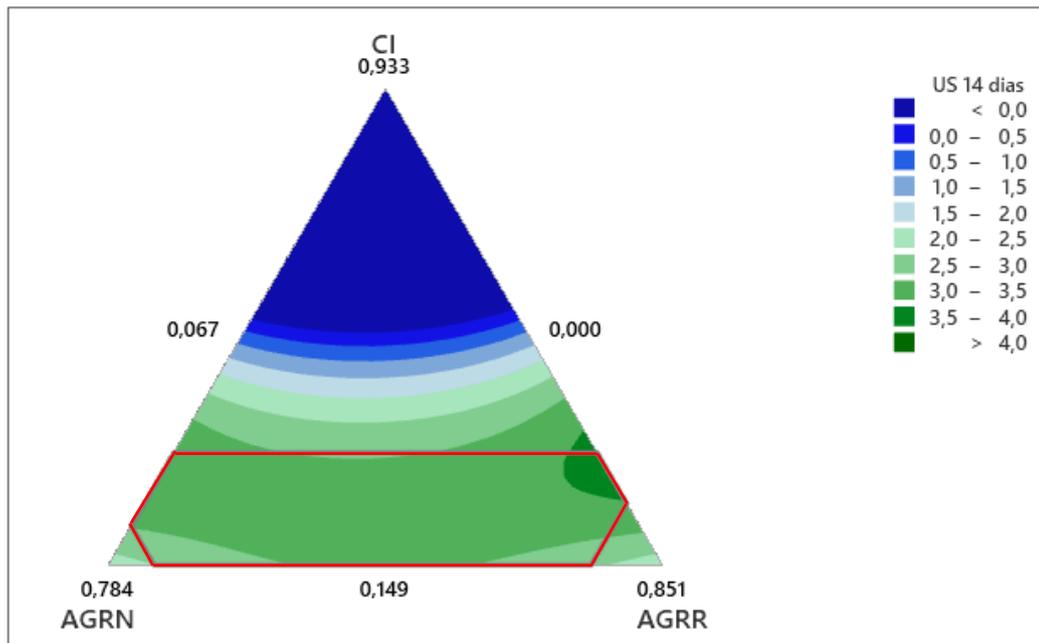
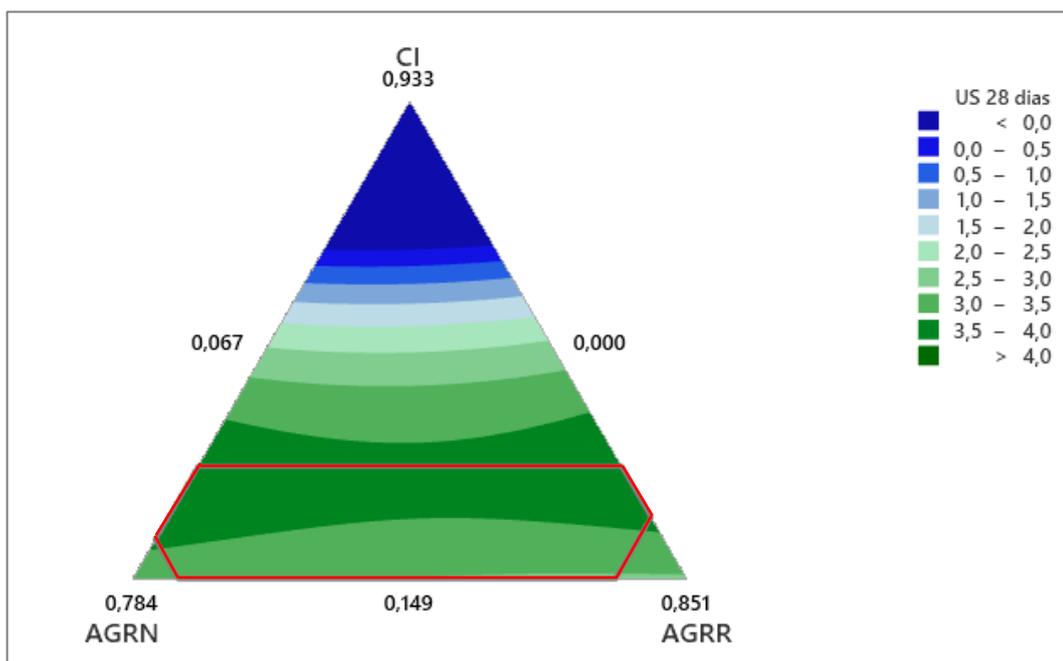


Figura 34 - Gráfico de contorno de mistura velocidade de onda ultrassônica (US) 28 dias.



A velocidade de onda ultrassônica (US) é a distância percorrida por um determinado tempo que detecta o quão homogêneo o material é. Caso o material apresente falhas internas ou poros, a velocidade de propagação de onda ultrassônica reduz, pois a velocidade das ondas sonoras é menor no ar (poros) do que no sólido (BARBOSA; SANTOS; SOUZA, 2013; GODINHO *et al.*, 2020).

Ao analisar as três Figura 32, Figura 33 e Figura 34 na região estudada, percebe-se que quanto menor o teor de cimento menor é a velocidade de onda ultrassônica (US). Isso pode ser observado também na Tabela 17, pois a formulação F5 é composta pelo maior teor de cimento (CI), sendo de 33,33%, apresentando valor de US de 3,72 mm/μs e 3,78 mm/μs para as idades de 14 e 28 dias, respectivamente.

Além disso, a formulação F5 teve baixa ABS, tem baixa relação a/c, sendo de 0,62, e é composta por 66,67% de agregado reciclado (AGRR) que apresenta maior porcentagem de teor de material pulverulento comparado ao agregado natural (ARGN) ajudando assim na diminuição da quantidade de poros na argamassa e aumentando o valor da velocidade de onda ultrassônica (US).

Observa-se que o agregado reciclado (AGRR) não chegou a ter uma grande influência nas formulações aos 28 dias, pois as formulações de F5 e F11 apresentam os mesmos teores de cimento (CI), porém o F5 apresenta 66,67% de agregado reciclado (AGRR) e o F11 apresenta apenas 6,67%, e as duas formulações obtiveram valores de US de 3,78 mm/μs e 3,76 mm/μs, respectivamente.

5.2.4.5. Resistência à Tração na Flexão

A Tabela 31 apresenta o sumário do modelo adotado para a propriedade de resistência à tração na flexão de 7, 14 e 28 dias. Pode-se observar que para as três idades os valores de R² foram altos, sendo que para a idade de 7 dias o melhor modelo foi o Cúbico Especial com valor de 95,88% para o R² ajustado, para 14 e 28 dias o modelo mais adequado foi o Quadrático com valor de 82,32% e 86,19%, respectivamente.

Tabela 31 - Sumário do modelo Flexo-tração.

Idade (dias)	Modelo	S	R ²	R ² (aj)	PRESQ	R ² (pred)
7	Cúbico Especial	0,283805	95,88%	91,77%	1,50180	87,21%
14	Quadrático	0,484758	89,69%	82,32%	5,42210	66,00%
28	Quadrático	0,414087	91,94%	86,19%	3,74581	74,85%

A Tabela 32 a análise de variância para os modelos utilizados para as idades de 7, 14 e 28 dias. Apesar do Valor-P estar acima do nível de significância de 5% e o Valor-F não ser exatamente o menor valor, foi decidido continuar com os modelos apresentados na Tabela 31 por apresentarem valor de R² considerados mais adequados.

Tabela 32 - Análise de variância para Flexo-tração (proporções de componentes).

(Continua)

Idade (dias)	Fonte	GL	SQ Seq	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
7	Regressão	6	11,2543	11,2543	1,87571	23,29	0,001
	Linear	2	10,4509	0,4960	0,24802	3,08	0,120
	Quadrático	3	0,5095	0,8023	0,26743	3,32	0,098
	CI*AGRN	1	0,1397	0,7389	0,73886	9,17	0,023
	CI*AGRR	1	0,2694	0,6524	0,65236	8,10	0,029
	AGRN*AGRR	1	0,1005	0,2262	0,22625	2,81	0,145
	Cúbico Especial	1	0,2939	0,2939	0,29389	3,65	0,105
	CI*AGRN*AGRR	1	0,2939	0,2939	0,29389	3,65	0,105
	Erro de Resíduos	6	0,4833	0,4833	0,08055		
	Total	12	11,7375				

(Conclusão)

Idade (dias)	Fonte	GL	SQ Seq	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
14	Regressão	5	14,3036	14,3036	2,86072	12,17	0,002
	Linear	2	13,7863	0,2084	0,10419	0,44	0,659
	Quadrático	3	0,5173	0,5173	0,17244	0,73	0,564
	CI*AGRN	1	0,2046	0,4029	0,40290	1,71	0,232
	CI*AGRR	1	0,2477	0,3126	0,31263	1,33	0,287
	AGRN*AGRR	1	0,0651	0,0651	0,06510	0,28	0,615
	Erro de Resíduos	7	1,6449	1,6449	0,23499		
	Total	12	15,9485				
28	Regressão	5	13,6955	13,6955	2,7391	15,97	0,001
	Linear	2	12,0122	0,7995	0,3998	2,33	0,168
	Quadrático	3	1,6834	1,6834	0,5611	3,27	0,089
	CI*AGRN	1	0,1079	1,3435	1,3435	7,84	0,027
	CI*AGRR	1	1,0305	1,5269	1,5269	8,90	0,020
	AGRN*AGRR	1	0,5450	0,5450	0,5450	3,18	0,118
	Erro de Resíduos	7	1,2003	1,2003	0,1715		
	Total	12	14,8958				

A Tabela 33 mostra os coeficientes de regressão estimados para a resistência de tração na flexão nas idades de 7, 14 e 28 dias, sendo possível extrair a equação que representa o modelo para esta propriedade, com x_1 , x_2 e x_3 representando, respectivamente, o cimento (CI), o agregado natural (AGN) e o agregado reciclado (AGR).

Tabela 33 - Coeficientes de regressão estimados para Flexo-tração (proporções de componentes).

Idade (dias)	Termo	Variante	Coef	EP de Coef	Valor-T	Valor-P	VIF
7	CI	X ₁	-33,6	16,8	*	*	2744,40
	AGRN	X ₂	-7,81	2,57	*	*	201,93
	AGRR	X ₃	-5,12	2,13	*	*	163,62
	CI*AGRN	X ₁ X ₂	98,8	32,6	3,03	0,023	1761,59
	CI*AGRR	X ₁ X ₃	87,2	30,6	2,85	0,029	2018,79
	AGRN*AGRR	X ₂ X ₃	19,8	11,8	1,68	0,145	219,63
	CI*AGRN*AGRR	X ₁ X ₂ X ₃	-94,6	49,5	-1,91	0,105	196,95
14	CI	X ₁	-13,0	24,9	*	*	2050,09
	AGRN	X ₂	-3,82	2,52	*	*	66,29
	AGRR	X ₃	-2,06	2,41	*	*	71,40
	CI*AGRN	X ₁ X ₂	57,2	43,7	1,31	0,232	1082,44
	CI*AGRR	X ₁ X ₃	49,1	42,6	1,15	0,287	1337,36
	AGRN*AGRR	X ₂ X ₃	-1,93	3,66	-0,53	0,615	7,22
28	CI	X ₁	-45,1	21,2	*	*	2050,09
	AGRN	X ₂	-3,97	2,15	*	*	66,29
	AGRR	X ₃	-4,62	2,06	*	*	71,40
	CI*AGRN	X ₁ X ₂	104,5	37,3	2,80	0,027	1082,44
	CI*AGRR	X ₁ X ₃	108,6	36,4	2,98	0,020	1337,36
	AGRN*AGRR	X ₂ X ₃	-5,58	3,13	-1,78	0,118	7,22

$$FT_{7d} = - 33,6X_1 - 7,81X_2 - 5,12X_3 + 98,8X_1X_2 + 87,2X_1X_3 + 19,8X_2X_3 - 94,6X_1X_2X_3 \quad (\text{Eq. 24})$$

$$FT_{14d} = - 13,0X_1 - 3,82X_2 - 2,06X_3 + 57,2X_1X_2 + 49,1X_1X_3 - 1,93X_2X_3 \quad (\text{Eq. 25})$$

$$FT_{28d} = - 45,1X_1 - 3,97X_2 - 4,62X_3 + 104,5X_1X_2 + 108,6X_1X_3 - 5,58X_2X_3 \quad (\text{Eq. 26})$$

A Equação (24) é uma equação cúbica com todos os coeficientes individuais e a combinação ternária apresentando um efeito negativo na equação e as três combinações binárias de CI*AGRN, CI*AGRR e AGRN*AGRR apresentam um efeito

positivo na equação, ou seja, ajudam no aumento do resultado da FT com idade de 7 dias.

A Equação (25) é quadrática e apresenta os três coeficientes individuais e a última combinação binária negativos, ou seja, os componentes de CI, AGRN, AGRR e a combinação de AGRN*AGRR fazem com que os resultados de FT com idade de 14 dias diminuam. Porém, as combinações binárias dos componentes CI*AGRN e CI*AGRR são positivas na equação, assim ajudando com que o resultado da FT com 14 dias aumente.

A Equação (26) também é quadrática e apresenta os três coeficientes individuais e a última combinação binária com efeito negativo diminuindo um pouco o valor do resultado da FT com 28 dias. Já as combinações binárias de CI*AGRN e CI*AGRR são combinações positivas e com coeficientes mais altos comparados aos negativos, assim, ajudando com que haja um efeito positivo no resultado da FT com idade de 28 dias.

As Figura 35, Figura 36 e Figura 37 mostram os gráficos de resíduos para a resistência de tração na flexão de 7, 14 e 28 dias, respectivamente. Nas três figuras é apresentado o (a) gráfico de probabilidade normal relacionando os resíduos com os valores normais previstos, mostrando que os pontos estão próximos da curva normal com apenas alguns pontos um pouco afastados da curva principalmente para o de 7 dias e o (b) Versus Ajustados mostrando a aleatoriedade da distribuição dos pontos em torno de um valor médio igual a zero.

Figura 35 - Gráficos de resíduos de Flexo-tração de 7 dias.

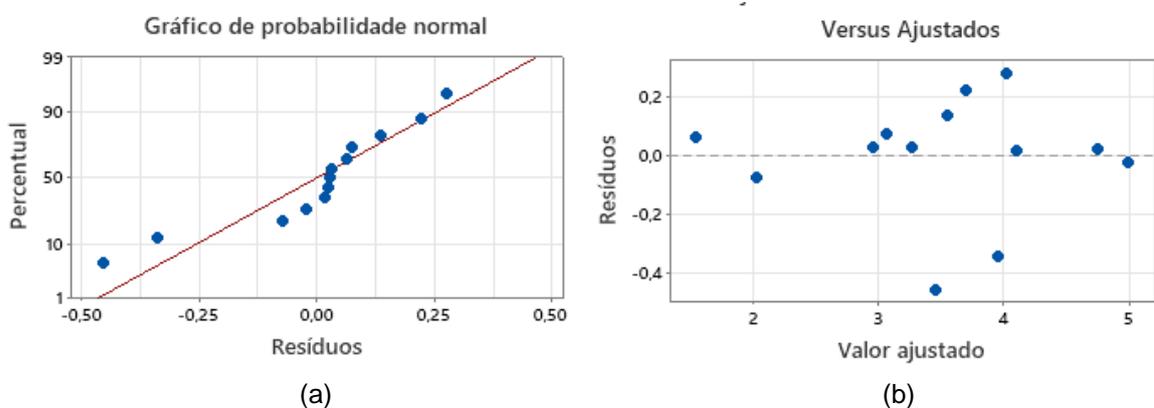


Figura 36 - Gráficos de resíduos de Flexo-tração de 14 dias.

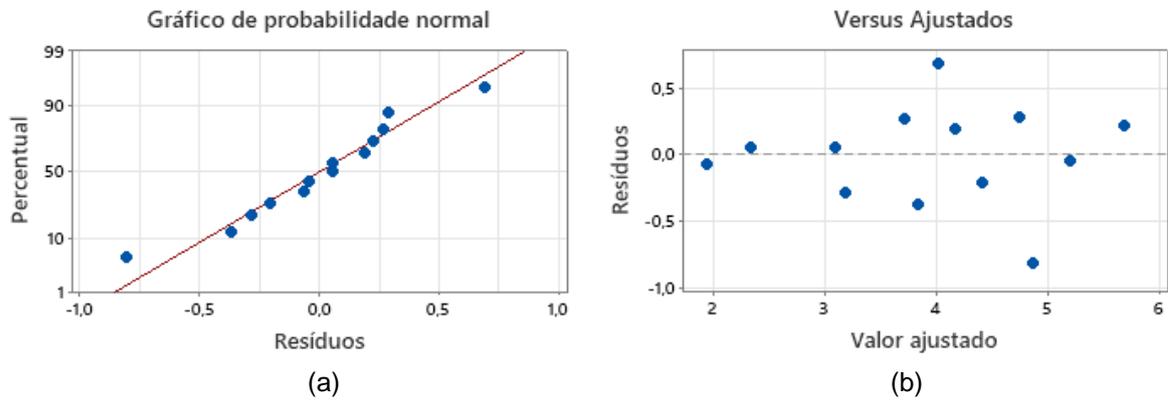
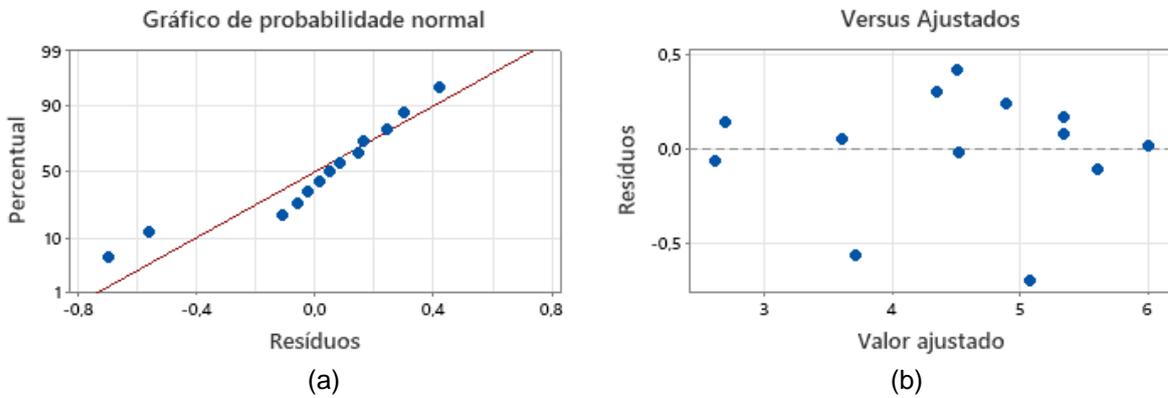


Figura 37 - Gráficos de resíduos de Flexo-tração de 28 dias.



As Figura 38, Figura 39 e Figura 40 apresentam os gráficos de contorno de superfície de resposta dos resultados de resistência de tração na flexão para as idades de 7, 14 e 18 dias.. A região contornada de cinza nos gráficos é onde se encontra a área estudada com os treze pontos das formulações de argamassas.

Figura 38 - Gráfico de contorno de mistura Flexo-tração de 7 dias.

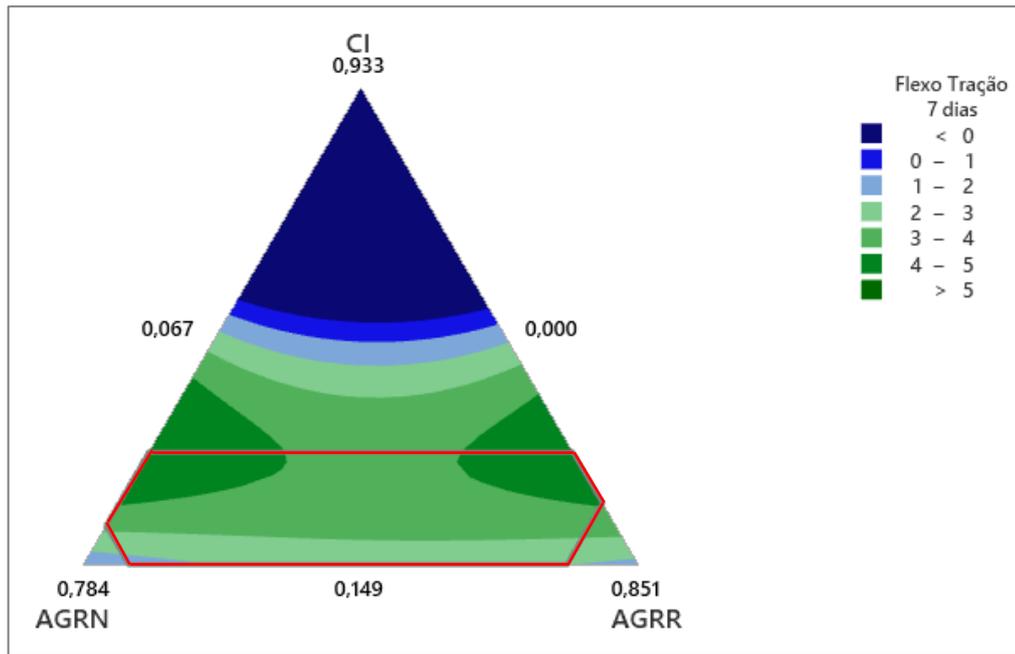


Figura 39 - Gráfico de contorno de mistura Flexo-tração de 14 dias.

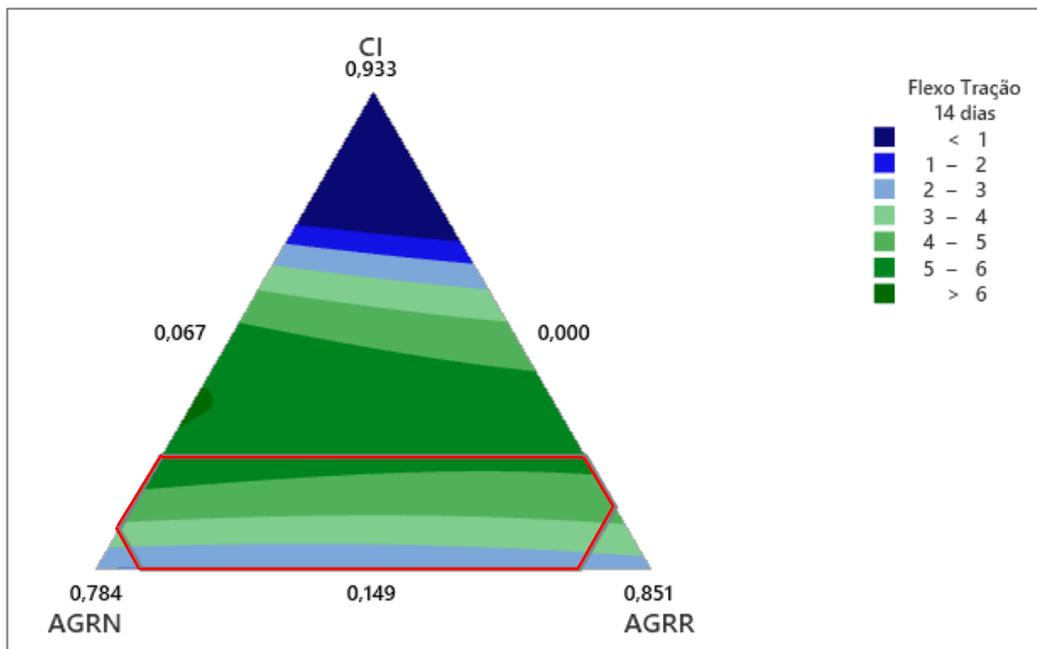
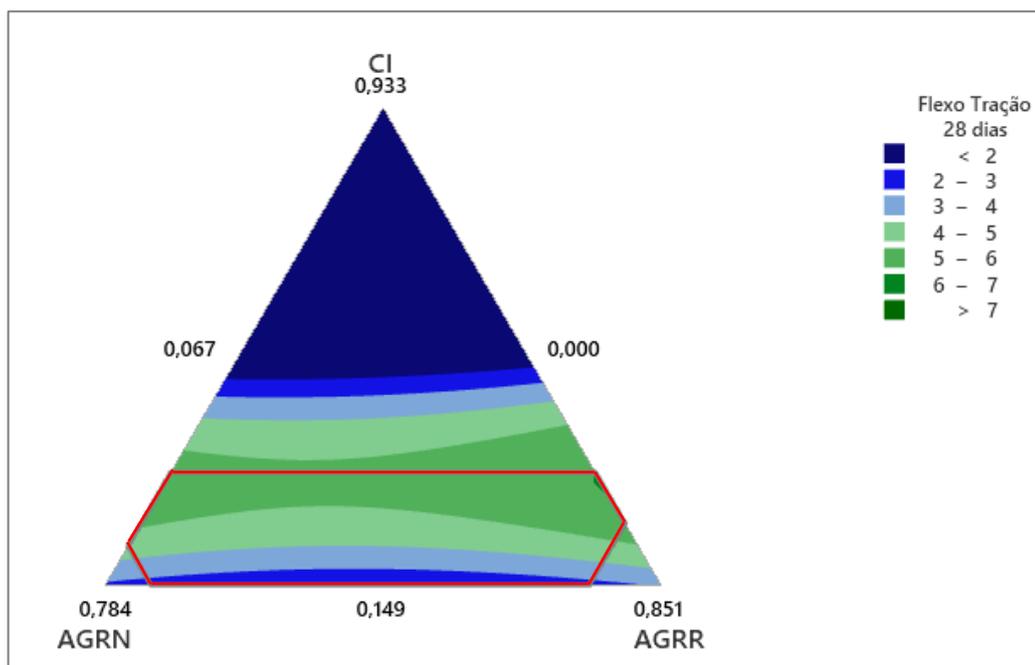


Figura 40 - Gráfico de contorno de mistura Flexo-tração de 28 dias.



Ao analisar as três Figura 38, Figura 39 e Figura 40 na região estudada (região contornada de vermelho), percebe-se que quanto menor o teor de cimento menor é a resistência de tração na flexão. Isso também pode ser observado na Tabela 18, pois a formulação de F5 e F11 que apresenta maior teor de cimento (CI) sendo de 33,33% para as três idades apresentaram valores de resistência mais altos, sendo de 6,02 MPa para o F5 e 5,52 MPa para o F11 com 28 dias.

Em relação ao agregado reciclado (AGRR) percebe-se que teve uma influência nas formulações aos 28 dias, pois o F1 e F3 obtiveram valores de resistência de tração na flexão de 3,65 MPa e 3,16 MPa, respectivamente, e apresentam os mesmos teores de cimento (CI), porém são compostos por 26,81% de AGRR no F1 e 57,76% de AGRR no F3, ou seja, o AGRR influenciou em um pequeno acréscimo de resistência nas argamassas.

Além disso, a norma NBR 13281 (ABNT, 2005b) apresenta como um requisito que as argamassas tenham no mínimo resistência de tração na flexão de 1,5 MPa e todas as formulações estão de acordo com esse requisito, pois a menor resistência aos 28 dias foi do F4 com 2,55 MPa.

5.2.4.6. Resistência à Compressão

A Tabela 34 apresenta o sumário do modelo adotado para a propriedade de resistência à compressão de 7, 14 e 28 dias. Pode-se observar que assim como para a tração na flexão os valores de R^2 foram altos para as três idades, sendo que para a idade de 7 dias o melhor modelo foi o Cúbico Especial com valor de 93,10% de R^2 ajustado, para 14 e 28 dias o melhor modelo foi o Quadrático com valor de 91,84% e 98,53%, respectivamente.

Tabela 34 - Sumário do modelo Compressão.

Idade (dias)	Modelo	S	R^2	R^2 (aj)	PRESQ	R^2(pred)
7	Cúbico Especial	1,67396	96,55%	93,10%	79,7332	83,63%
14	Quadrático	1,85608	95,24%	91,84%	84,6879	83,29%
28	Quadrático	0,878807	99,14%	98,53%	19,5509	96,90%

A Tabela 35 mostra a análise de variância para os modelos utilizados para as idades de 7, 14 e 28 dias. Apesar do Valor-P estar acima do nível de significância de 5% e o Valor-F não ser exatamente o menor valor, foi decidido continuar com os modelos apresentados na Tabela 34 por apresentarem valor de R^2 considerados mais adequados.

Tabela 35 - Análise de variância para Compressão (proporções de componentes).

Idade (dias)	Fonte	GL	SQ Seq	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
7	Regressão	6	470,387	470,387	78,3978	27,98	0,000
	Linear	2	456,037	1,383	0,6915	0,25	0,789
	Quadrático	3	11,095	8,172	2,7239	0,97	0,465
	CI*AGRN	1	8,631	1,045	1,0446	0,37	0,564
	CI*AGRR	1	0,108	1,832	1,8319	0,65	0,450
	AGRN*AGRR	1	2,355	2,239	2,2387	0,80	0,406
	Cúbico Especial	1	3,256	3,256	3,2559	1,16	0,322
	CI*AGRN*AGRR	1	3,256	3,256	3,2559	1,16	0,322
	Erro de Resíduos	6	16,813	16,813	2,8021		
	Total	12	487,200				
14	Regressão	5	482,713	482,713	96,5425	28,02	0,000
	Linear	2	475,156	0,233	0,1167	0,03	0,967
	Quadrático	3	7,557	7,557	2,5190	0,73	0,565
	CI*AGRN	1	0,480	5,993	5,9932	1,74	0,229
	CI*AGRR	1	6,303	6,983	6,9833	2,03	0,198
	AGRN*AGRR	1	0,774	0,774	0,7743	0,22	0,650
	Erro de Resíduos	7	24,115	24,115	3,4450		
	Total	12	506,828				
28	Regressão	5	625,553	625,553	125,111	162,00	0,000
	Linear	2	607,602	3,901	1,950	2,53	0,149
	Quadrático	3	17,951	17,951	5,984	7,75	0,013
	CI*AGRN	1	8,814	4,874	4,874	6,31	0,040
	CI*AGRR	1	3,873	7,689	7,689	9,96	0,016
	AGRN*AGRR	1	5,265	5,265	5,265	6,82	0,035
	Erro de Resíduos	7	5,406	5,406	0,772		
	Total	12	630,959				

A Tabela 36 mostra os coeficientes de regressão estimados para a resistência à compressão nas idades de 7, 14 e 28 dias, sendo possível extrair a equação que representa o modelo para esta propriedade, com x_1 , x_2 e x_3 representando,

respectivamente, o cimento (CI), o agregado natural (AGN) e o agregado reciclado (AGR).

Tabela 36 - Coeficientes de regressão estimados para Compressão (proporções de componentes).

Idade (dias)	Termo	Variante	Coef	EP de Coef	Valor-T	Valor-P	VIF
7	CI	X ₁	26,7	99,3	*	*	2744,40
	AGRN	X ₂	-18,4	15,2	*	*	201,93
	AGRR	X ₃	-22,8	12,6	*	*	163,62
	CI*AGRN	X ₁ X ₂	118	192	0,61	0,564	1761,59
	CI*AGRR	X ₁ X ₃	146	181	0,81	0,450	2018,79
	AGRN*AGRR	X ₂ X ₃	62,4	69,8	0,89	0,406	219,63
	CI*AGRN*AGRR	X ₁ X ₂ X ₃	-315	292	-1,08	0,322	196,95
14	CI	X ₁	-35,1	95,2	*	*	2050,09
	AGRN	X ₂	-18,55	9,64	*	*	66,29
	AGRR	X ₃	-19,90	9,21	*	*	71,40
	CI*AGRN	X ₁ X ₂	221	167	1,32	0,229	1082,44
	CI*AGRR	X ₁ X ₃	232	163	1,42	0,198	1337,36
	AGRN*AGRR	X ₂ X ₃	-6,7	14,0	-0,47	0,650	7,22
28	CI	X ₁	-23,5	45,1	*	*	2050,09
	AGRN	X ₂	-14,31	4,56	*	*	66,29
	AGRR	X ₃	-22,58	4,36	*	*	71,40
	CI*AGRN	X ₁ X ₂	198,9	79,2	2,51	0,040	1082,44
	CI*AGRR	X ₁ X ₃	243,6	77,2	3,16	0,016	1337,36
	AGRN*AGRR	X ₂ X ₃	-17,34	6,64	-2,61	0,035	7,22

$$\text{COMP}_{7d} = 26,7x_1 - 18,4x_2 - 22,8x_3 + 118x_1x_2 + 146x_1x_3 + 62,4x_2x_3 - 315x_1x_2x_3 \quad (\text{Eq. 27})$$

$$\text{COMP}_{14d} = -35,1x_1 - 18,55x_2 - 19,90x_3 + 221x_1x_2 + 232x_1x_3 - 6,7x_2x_3 \quad (\text{Eq. 28})$$

$$\text{COMP}_{28d} = -23,5x_1 - 14,31x_2 - 22,58x_3 + 198,9x_1x_2 + 243,6x_1x_3 - 17,34x_2x_3 \quad (\text{Eq. 29})$$

A Equação (27) é cúbica com os dois coeficientes individuais das variantes x_2 (AGRN) e x_3 (AGRR) e a combinação ternária das variantes $x_1x_2x_3$ (CI*AGRN*AGRR) com efeitos negativos para a equação fazendo com que haja uma diminuição no resultado da COMP. Já o coeficiente individual de x_1 (CI) e as três combinações binárias de x_1x_2 (CI*AGRN), x_1x_3 (CI*AGRR) e x_2x_3 (AGRN*AGRR) atuam com um efeito positivo no resultado da COMP com idade de 7 dias.

As Equações (28) e (29) são equações quadráticas, sendo que ambas apresentam os três coeficientes individuais de x_1 (CI), x_2 (AGRN) e x_3 (AGRR) e a última combinação binária de x_2x_3 (AGRN*AGRR) com efeito negativo nas equações, fazendo com que haja uma diminuição no resultado da COMP. Porém, as outras duas combinações binárias de x_1x_2 (CI*AGRN) e x_1x_3 (CI*AGRR) apresentam um efeito positivo para a COMP com idade de 14 dias e 28 dias.

As Figura 41, Figura 42 e Figura 43 mostram os gráficos de resíduos para a resistência à compressão (COMP) de 7, 14 e 28 dias, respectivamente. Nas três figuras é apresentado o (a) gráfico de probabilidade normal relacionando os resíduos com os valores normais previstos, mostrando que os pontos estão próximos da curva normal com apenas alguns pontos um pouco afastados da curva principalmente para o de 7 dias e o (b) Versus Ajustados mostrando a aleatoriedade da distribuição dos pontos em torno de um valor médio igual a zero.

Figura 41 - Gráficos de resíduos Compressão de 7 dias.

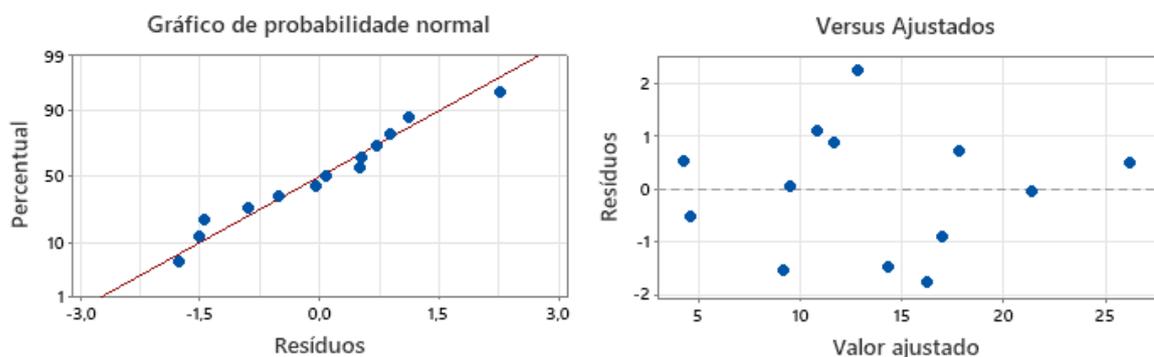


Figura 42 - Gráficos de resíduos Compressão de 14 dias.

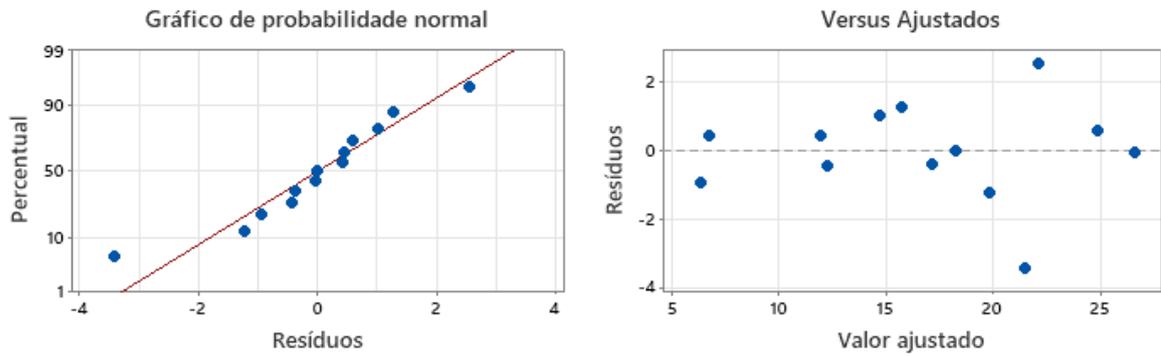
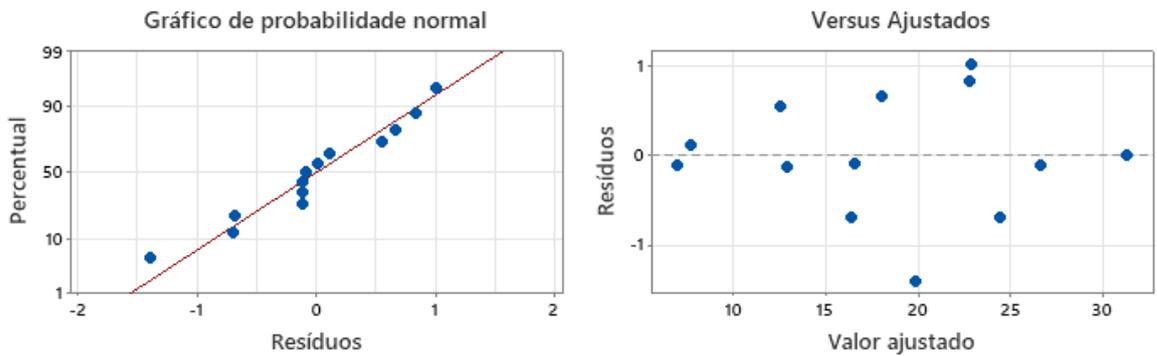


Figura 43 - Gráficos de resíduos Compressão de 28 dias.



As Figura 44, Figura 45 e Figura 46 apresentam os gráficos de contorno de superfície de resposta dos resultados de resistência à compressão (COMP) para as idades de 7, 14 e 18 dias que foram extraídos do *Minitab Statistical Software*. A região contornada de cinza nos gráficos é onde se encontra a área estudada com os treze pontos das formulações de argamassas.

Figura 44 - Gráfico de contorno de mistura Compressão de 7 dias.

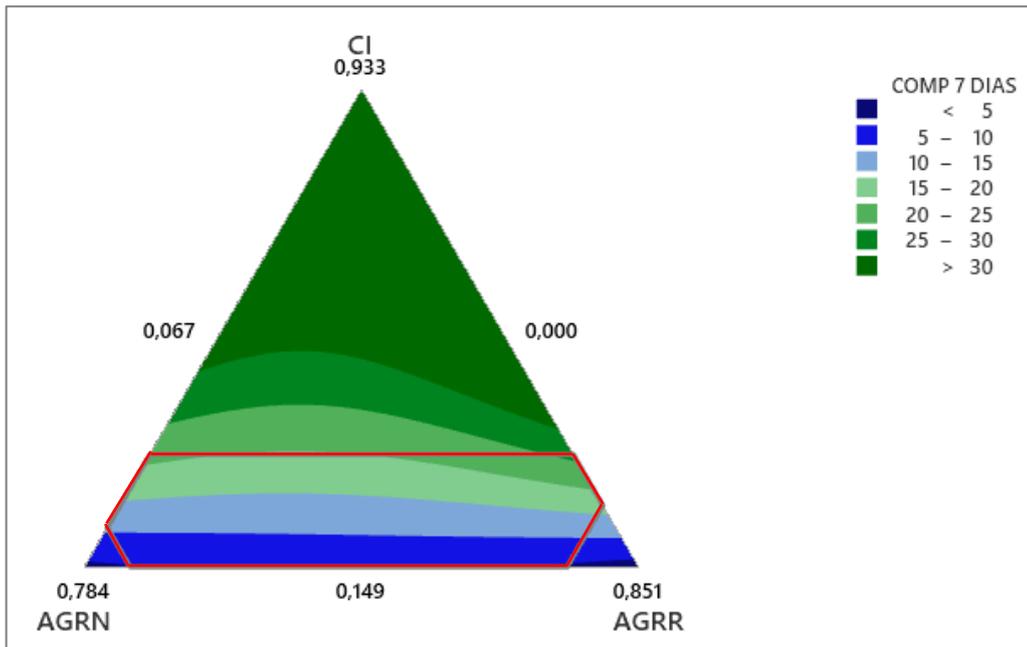


Figura 45 - Gráfico de contorno de mistura Compressão de 14 dias.

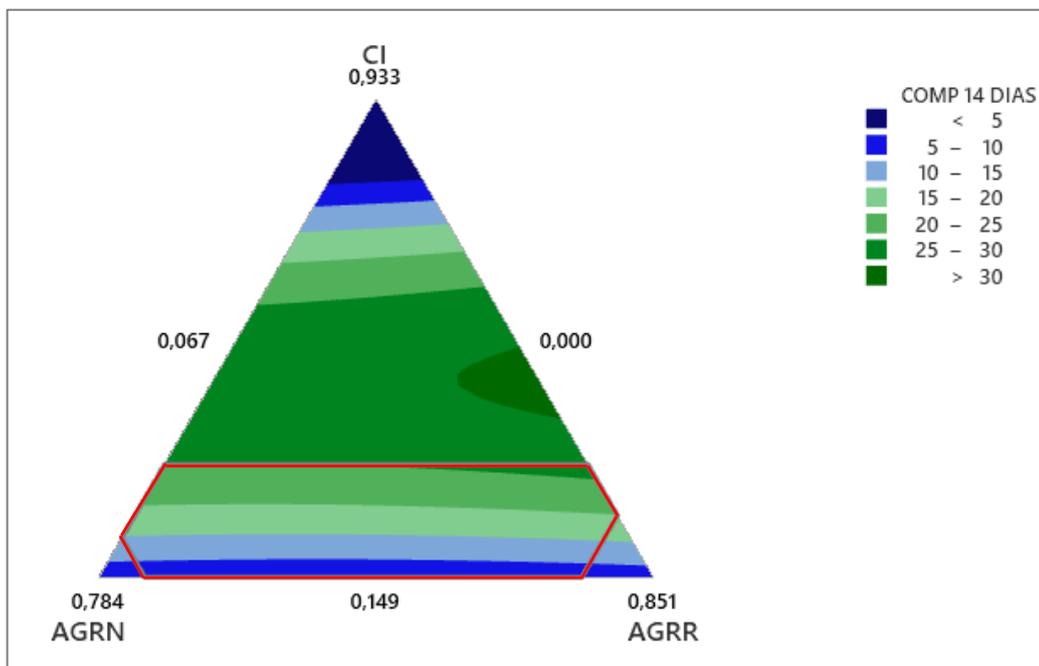
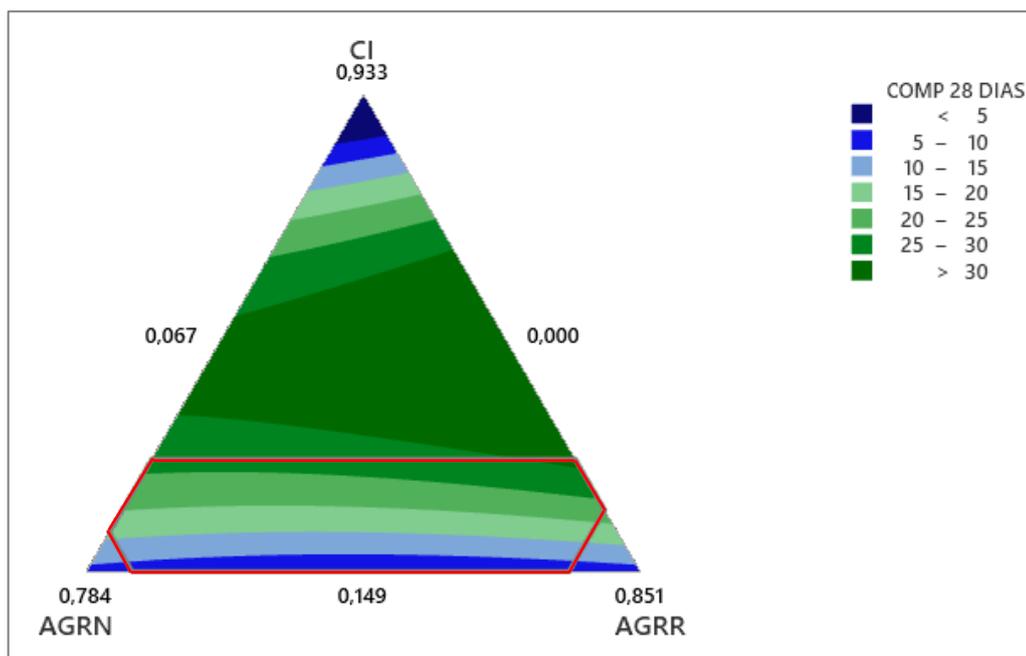


Figura 46 - Gráfico de contorno de mistura Compressão de 28 dias.



Ao analisar as três Figura 44, Figura 45 e Figura 46 na região estudada, percebe-se que quanto menor o teor de cimento menor é a resistência à compressão (COMP). Isso também pode ser observado na Tabela 18, pois a formulação de F5 e F11 que apresenta maior teor de cimento (CI) sendo de 33,33% para as três idades apresentaram valores de resistência à compressão (COMP) mais altos, sendo de 31,26 MPa para o F5 e 26,48 MPa para o F11 com 28 dias.

Em relação ao agregado reciclado (AGRR) percebe-se que teve influência nas formulações, pois analisando as mesmas formulações de F5 e F11 que apresentam os mesmos teores de cimento (CI) são compostos por 66,67% de AGRR par o F5 e 6,67% para o F11, obtiveram valores de resistência à compressão (COMP) de 31,26 MPa e 26,48 MPa, respectivamente, ou seja, o AGRR influenciou no aumento da resistência à compressão. Isso pode ter ocorrido pelo fato de o AGRR ser possivelmente composto principalmente por materiais cimentícios que obtiveram IDV e ABS menores. A diminuição do Índice de Vazios (IDV) e da absorção de água (ABS) podem contribuir para o aumento da resistência à tração na flexão e à compressão (MACEDO *et al.*, 2019) .

Além disso, a norma NBR 13281 (ABNT, 2005b) apresenta como requisito que as argamassas tenham no mínimo resistência à compressão de 2,0 MPa e todas as formulações estão de acordo com esse requisito, pois a menor resistência aos 28 dias foi do F12 com 6,91 MPa.

Diante disso, ao observar todas as propriedades analisadas percebe-se que o uso do delineamento de misturas para a geração das formulações contribuiu positivamente, pois foi possível produzir argamassas com diversas porcentagens de matérias-primas e analisar os resultados de cada propriedade através do *Minitab Statistical Software*. Com isso, foram geradas equações para cada propriedade, sendo possível aplicar diferentes porcentagens de materiais na equação e obter o valor da propriedade correspondente, sem a necessidade de produzir argamassas para saber suas propriedades.

Dentre as treze formulações as que obtiveram os melhores resultados de suas propriedades foram a F5, F7 e F11, por apresentarem baixa absorção de água, baixo índice de vazios, a resistência a aderência foi acima do que é exigido por norma e obtiveram as maiores resistências de flexo-tração e compressão aos 28 dias. Sendo que o F5 tem em sua composição aproximadamente 67% de AGRR e 0% de AGRN, o F7 tem 75% de AGRR e 0% de AGRN e o F11 tem aproximadamente 7% de AGRR e 60% de AGRN.

5.3. Análise Preliminar da Viabilidade Econômica

Nesta parte do trabalho, pretende-se apresentar uma análise preliminar da viabilidade econômica de cada uma das matérias-primas utilizadas para a produção das formulações, inclusive do RCD como matéria-prima alternativa na produção de argamassa de revestimento. O levantamento dos preços foi obtido através de três empresas (A, B e C) apresentadas na Tabela 37.

O agregado reciclado utilizado para a produção das treze formulações de argamassas foi vendido pela empresa Rafa Entulhos pelo valor de R\$ 2,85 por saco de 20 kg.

A Tabela 38 apresenta a composição de valores das matérias-primas para cada formulação de acordo com a quantidade em massa por m³. A formulação com menor preço final foi a F12 com um total de R\$ 585,65 por m³, que apesar de ter uma das maiores quantidades de agregado natural, é a que apresenta um dos menores consumos de cimento (223,62 kg/m³). Enquanto a formulação F11 foi a que obteve maior preço final de R\$ 1.030,93 por m³, pois é a formulação com maior consumo de cimento (466,19 kg/m³). Porém o consumo de cimento não é o único fator que acrescenta valor na formulação, pois ao analisar as formulações F5 e F7 que contêm

em sua composição apenas agregado reciclado, apresentaram valores finais inferiores ao F11.

Tabela 37 - Preço do saco de 20 kg de agregado natural.

Empresas	Cimento CP III – 40 RS (CSN) 50 kg (R\$/saco)	Cal Hidratada CH-III ITAÚ (Votorantim) 20 kg (R\$/saco)	Agregado Natural (Areia Média) 20 kg (R\$/saco)	Agregado Reciclado (Areia Média) 20 kg (R\$/saco)
A	32,60	15,99	4,19	
B	33,00	13,29	4,99	2,85
C	37,73	12,90	5,90	
Média	34,44	14,06	5,03	2,85

Tabela 38 - Preços das matérias primas de acordo com as formulações.

Form.	Quantidades em kg/m³				Preço (R\$/m³)				Preço Total (R\$/m³)
	CI	CAL	AGRN	AGRR	CI	CAL	AGRN	AGRR	
F1	280,80	112,32	781,36	389,06	406,96	78,96	196,36	55,44	737,71
F2	405,89	162,36	679,82	335,27	588,25	114,14	170,84	47,78	921,00
F3	285,59	114,24	337,88	852,51	413,90	80,31	84,91	121,48	700,60
F4	212,80	85,12	1028,31	187,10	308,41	59,84	258,41	26,66	653,32
F5	483,05	193,22	0,00	966,25	700,07	135,83	0,00	137,69	973,60
F6	346,35	138,54	519,32	589,68	501,96	97,39	130,51	84,03	813,88
F7	372,17	148,87	0,00	1116,52	539,38	104,66	0,00	159,10	803,14
F8	322,67	129,07	769,94	337,40	467,64	90,74	193,49	48,08	799,94
F9	414,26	165,70	258,75	777,27	600,38	116,49	65,02	110,76	892,65
F10	305,48	122,19	1031,16	95,53	442,72	85,90	259,13	13,61	801,37
F11	466,19	186,48	839,23	93,29	675,64	131,10	210,90	13,29	1030,93
F12	223,69	89,48	151,63	1125,95	324,19	62,90	38,10	160,45	585,65
F13	361,80	144,72	264,56	856,47	524,35	101,74	66,48	122,05	814,62

Tabela 39 - Preço da argamassa industrializada.

Argamassa Industrializada	R\$ por m³
A	1521,50
B	1104,15
C	1266,50
Média	1297,38

Portanto, em se tratando de viabilidade econômica preliminar, o uso do agregado reciclado do tipo areia média para argamassas de revestimentos é viável, pois o preço do agregado reciclado é aproximadamente 43% menor do que o agregado natural vendidos em sacos de 20 kg, isso levando em conta o momento em que o setor da construção civil se encontra, pois quando esse setor está em crise o custo das matérias-primas tendem a aumentarem.

De acordo com a Tabela 39, ao comparar o preço das argamassas geradas pelas formulações com as argamassas industrializadas percebe-se que a argamassa da F11 (a mais cara) se torna mais barata que a industrializada que tem uma média de R\$ 1.297,38, portanto as formulações tornam-se viáveis.

O frete das matérias-primas não foi considerado, pois depende da empresa que fornecerá o material e a distância do percurso para a entrega em um mesmo local.

Outro aspecto a ser considerado está relacionado à disponibilidade das matérias-primas na região a ser produzida a argamassa, pois algumas matérias-primas (tipo de cimento, de agregado natural e agregado reciclado) acarretam um valor agregado para venda, superior ou inferior, dependendo dos custos indiretos para o fornecedor. Por exemplo, o fornecedor do agregado reciclado utilizado neste estudo atende apenas a região metropolitana de São Paulo, porém de acordo com a ABRECON (2019) existem outras usinas em outras regiões do Brasil que podem disponibilizar esse tipo de material.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1. Contribuição Social

Desde o século XX a preocupação com o consumo de recursos naturais e a geração de resíduos vem aumentando, assim, várias ações foram realizadas com o intuito de mitigar os efeitos negativos causados ao meio ambiente, em consonância com projetos que possam ajudar o planeta e dar melhor qualidade de vida à população.

Em função disso, a gestão dos bens que são extraídos da natureza de forma direta ou indireta e a redução dos impactos ambientais para um modelo de desenvolvimento sustentável se traduz neste momento com os compromissos da Agenda 2030, expressos nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

A construção civil é um dos setores que mais consome recursos naturais e gera resíduos e conseqüentemente causa um impacto significativo ao meio ambiente. Uma solução para este problema é a reciclagem dos resíduos de construção e demolição (RCD). Para isso, a obtenção de conhecimento é indispensável, porém, atualmente existe uma grande quantidade de conhecimento e informação que não agregam valores econômicos.

Esta pesquisa contribui de forma assertiva para o alcance de alguns Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), como os ODS 9, 11 e 12. Explicitando, o ODS 9, tem como objetivo desenvolver infraestrutura de qualidade e sustentável, além disso fortalecer a pesquisa científica através de trabalhos que desenvolvam novas aplicações de um determinado produto ou processo. O ODS 11 tem como objetivo tornar as cidades e comunidades mais sustentáveis como reduzir os impactos ambientais negativos per capita das cidades. O ODS 12 tem como objetivo a produção e o consumo sustentáveis como reduzir a escassez de recursos naturais (onde se enquadra o cimento, a areia e minerais presentes em argamassa tradicional).

6.2. Contribuição Acadêmica

Uma fonte de conhecimento são as invenções descritas nos documentos de patentes, pois apresentam de forma descritiva uma determinada invenção (produto ou processo) podendo ajudar nos custos de atividades P&D e serem aproveitadas por pesquisadores. Portanto, esta pesquisa propõe o uso de resíduos de construção e

demolição (RCD) como agregado reciclado em argamassas de revestimento em uma perspectiva contributiva para a inovação sustentável.

Através da pesquisa patentária foi possível obter informações de tecnologias que utilizam resíduos de construção e demolição em argamassas. Foi possível perceber que o Brasil se destacou em relação aos depósitos de patentes, podendo estar ligado ao tipo de construção comumente empregado no país que é o uso de alvenarias a base de tijolos e argamassas. Assim sendo, o Brasil vem aumentando o número de pesquisas e de possíveis aplicações de tecnologias quanto ao uso de resíduos de construção e demolição.

A pesquisa patentária também contribuiu para determinação da rota tecnológica para a produção das argamassas utilizando o resíduo de construção e demolição (RCD) como agregado reciclado, assim como é apresentado na patente BR102016022643A2 (2016).

O delineamento de misturas por vértices extremos, realizado através do programa *Minitab Statistical Software*, foi de suma importância no planejamento e análise das formulações, pois além dos gráficos de resíduos e de contornos gerados foram determinadas as equações para cada propriedade de caracterização das argamassas. Com isso é possível determinar o valor de uma determinada propriedade ao definir-se as porcentagens de cimento, agregado natural e agregado reciclado.

6.3. Contribuição Tecnológica

Esta pesquisa encontrou alguns resultados promissores:

- Quanto maior o teor de cimento na mistura (região estudada), maior resistência à compressão, à flexo-tração e à aderência à tração;
- Existem maiores resistências mecânicas em misturas com maior quantidade de agregado reciclado em contextos de um mesmo teor de cimento na formulação;
- As misturas com agregados utilizadas neste estudo (todas as formulações) atendem a norma ABNT NBR 13281 em relação às resistências à flexo-tração e à compressão, mas em relação à resistência à aderência apenas as formulações F1 e F4 estão abaixo do estipulado pela norma;
- A formulações com maior potencial de uso são: F5, F7 e F11 apresentando aderência e resistência acima da norma;

- Existe viabilidade econômica no uso de agregados de RCD para argamassas.

Os resultados das caracterizações das argamassas indicaram que o uso do agregado reciclado aumentou a absorção capilar de água, a porcentagem de absorção por imersão e de índices de vazios. Porém, o agregado reciclado contribuiu positivamente para as formulações de argamassas, pois foi possível observar que as argamassas com maiores porcentagens de agregado reciclado resultaram no ganho das resistências mecânicas. A aderência à tração na flexão chegou a até 50 MPa para a formulação F5 que apresenta em sua composição 66,67% de agregado reciclado e 0% de agregado natural.

Para as caracterizações de tração na flexão e compressão todas as formulações apresentaram resistências acima do mínimo exigido por norma e houve um aumento nas formulações com maiores porcentagens de agregado reciclado aos 28 dias como a F5, F7 e F11, sendo que o agregado reciclado utilizado era composto principalmente por materiais cimentícios. Em relação à resistência de aderência à tração apenas duas formulações apresentaram valores inferiores do mínimo exigido por norma (F1 e F4) podendo estar relacionado à alta relação a/c dessas formulações. O agregado reciclado contribuiu para o aumento da aderência à tração.

Outro fator importante analisado foi a viabilidade econômica, os agregados reciclados apresentaram menores valores de compra em relação ao agregado natural, sendo que esse valor é o preço final para o consumidor. As formulações com maiores quantidades de agregados naturais apresentaram valores maiores comparados às formulações com maiores quantidades de agregados reciclados.

Finalmente. este trabalho mostra alternativas viáveis para ampliar a sustentabilidade no setor da construção civil, pois o uso de argamassas com resíduos de construção e demolição (RCD) como agregado reciclado contribuem para a redução do uso de matérias-primas provenientes de jazidas e para o aumento da vida útil dos aterros sanitários

6.4. Proposta para trabalhos futuros

Apresenta-se a seguir algumas sugestões para a realização de futuros trabalhos, considerando a pesquisa realizada:

- a) Diminuir a quantidade de cal utilizada nas formulações de argamassas e estudar a influência deste parâmetro;
- b) Realizar nova pesquisa atualizada nas bases de informações patentárias ;
- c) Realizar misturas sem agregado reciclado em suas composições para efeito de comparação;
- d) Produzir uma cartilha com informações de forma didática, para a sociedade de um modo geral, de como gerenciar o RCD para reciclagem e para a fabricação de agregados e argamassas;
- e) Realizar uma análise de viabilidade econômica de utilização de RCD em argamassas de revestimento considerando o todas as operações e parâmetros do processo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Manual de Revestimentos de Argamassa**. 2002.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248** - Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

_____. **NBR 10005** - Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004a.

_____. **NBR 10004** - Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004b.

_____. **NBR 10006** - Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004c.

_____. **NBR 13281** - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2005a.

_____. **NBR 13278** - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro: ABNT, 2005b.

_____. **NBR 13279** - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2005c.

_____. **NBR 15261** - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear). Rio de Janeiro: ABNT, 2005d.

_____. **NBR 15630** - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultra-sônica. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

_____. **NBR 9778** - Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____. **NBR 13529** - Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2013a.

_____. **NBR 9779** - Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro: ABNT, 2013b.

_____. **Introdução à ABNT NBR ISO 14001**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015a.

_____. **NBR ISO 14001** - Sistemas de gestão ambiental - Requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro: [s.n.].

_____. **NBR 13276** - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2016a.

_____. **NBR 13276** - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2016b. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=361653>>. Acesso em: 13 set. 2020.

_____. **NBR 16605** - Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

_____. **NBR 16697** - Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

_____. **NBR 16738** - Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro: ABNT, 2019a.

_____. **NBR 13528-1** - Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2019b.

_____. **NBR 16915** - Agregados - Amostragem. Rio de Janeiro: ABNT, 2021a.

_____. **NBR 16916** - Agregado miúdo - Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2021b.

_____. **NBR 16972** - Agregados - Determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2021c.

_____. **NBR 16973** - Agregados - Determinação do material fino que passa pela peneira de 75 µm por lavagem. Rio de Janeiro: ABNT, 2021d.

_____. **NBR 15258** - Argamassa para revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência potencial de aderência à tração. Rio de Janeiro: ABNT, 2021e.

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

ABRECON. **Relatório de Pesquisa Setorial - 2017/2018.** , 2019.

ABRECON. **Mercado – Abrecon.** , 2021. Disponível em: <<https://abrecon.org.br/entulho/mercado/>>. Acesso em: 25 jul. 2021

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2021.** , 2021.

ALGARVIO, D. A. N. **Reciclagem de resíduos de construção e demolição: contribuição para controlo do processo.** Dissertação de Mestrado—Lisboa: Universidade de Nova Lisboa, 2009.

ALVES, G. B. **Processo de produção de mistura tipo argamassa aplicável à fabricação de produtos destinados à construção civil.** , 13 dez. 2016.

ANGULO, S. C. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos.** Tese de Doutorado - São Paulo - SP: Universidade de São Paulo, 2005.

ARTUSO, F.; LUKIANTCHUKI, J. A. Evaluation of the self-cemeting effect of Construction and Demotion Waste (CDW) on mechanical performance over time for pavement support layers purpose. **Ambiente Construído**, v. 19, p. 59–77, 2019.

ASSUNÇÃO, L. T.; CARVALHO, G. F.; BARATA, M. S. Avaliação das propriedades das argamassas de revestimento produzidas com resíduos da construção e demolição como agregado. **São Paulo**, v. 5, n. 2, p. 9, dez. 2007.

ATAÍDES, F. DE O.; SILVA, L. F. R. DA; ROSA, B. B. B. DA. A importância da Gestão Ambiental para a engenharia civil. **Educação Ambiental (Brasil)**, v. 1, n. 3, 19 dez. 2020.

BARBIERI, J. C. *et al.* Inovação e sustentabilidade: novos modelos e proposições. **Revista de Administração de Empresas**, v. 50, n. 2, p. 146–154, jun. 2010.

BARBOSA, M.; SANTOS, W.; SOUZA, P. **Correlação entre métodos destrutivos e não destrutivos empregados na análise da qualidade de argamassas**. IX Congreso Internacional sobre Patología y Recuperación de Estructuras. **Anais...** Em: CINPAR. João Pessoa - PB: 10 jun. 2013.

BARROS-NETO, B.; SCARMINIO, I. E.; BRUNS, R. E. **Planejamento e otimização de experimentos**. 2. ed. Campinas: Editora Unicamp, 1996.

BASTOS, P. K. X. **Retração e desenvolvimento de propriedades mecânicas de argamassas mistas de revestimento**. Tese de Doutorado—São Paulo - SP: Universidade de São Paulo, 2001.

BAVASTRI, E.; RUDNITSKI, J.; MOHAMAD, G. Avaliação de Resíduo de Construção e Demolição de Cor Cinza e Vermelho em Argamassa de Revestimento. p. 11, 2014.

BISH, D. L.; POST, J. E. **Modern Powder Diffraction**. [s.l.] Walter de Gruyter GmbH & Co KG, 2018.

BRASIL. **Lei n. 9279, de 14 de maio de 1996**. Regula direitos e obrigações relativos à propriedade industrial. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9279.htm>. Acesso em: 11 nov. 2020.

BRASIL. 12.305. Lei N° 12.305. Brasília - DF. 2 ago. 2010.

BRASILEIRO, G. A. M.; SILVA, F. F. C. RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO SUBSTITUINDO PARCIALMENTE O AGREGADO MIÚDO PARA

PRODUÇÃO DE ARGAMASSA. **Anais Semana Nacional de Ciência e Tecnologia (SNCT)**, v. 2, n. 1, p. 442–447, 2020.

CALCADO, G. *et al.* Construction and demolition waste aggregates: analysis of the physical and mechanical properties of mortars. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 652, n. 1, p. 012016, out. 2019.

CAMPOS, V. R.; MATOS, N. S.; BERTINI, A. A. Sustentabilidade e gestão ambiental na construção civil: análise dos sistemas de certificação LEED e ISO 14001. **Revista Eletrônica Gestão e Saúde**, n. Extra 2, p. 1304–1318, 2015.

CIC, C. DA I. DA C. **Guia de Sustentabilidade na Construção**. Belo Horizonte: FIEMG, 2008.

COMITÊ NACIONAL DE ORGANIZAÇÃO RIO+20. **Sobre a Rio+20 — Rio + 20**. Disponível em: <http://www.rio20.gov.br/sobre_a_rio_mais_20.html>. Acesso em: 19 jul. 2021.

CONAMA. 307. Resolução CONAMA nº 307. **Diário Oficial da União** Brasília - DF. 17 jul. 2002.

_____. 348. Resolução CONAMA nº 348. Brasília - DF. 17 ago. 2004.

_____. 431. Resolução CONAMA nº 431. Brasília - DF. 25 maio 2011.

_____. 448. Resolução CONAMA nº 448. Brasília - DF. 18 jan. 2012.

_____. 469. Resolução CONAMA nº 469. Brasília - DF. 29 jul. 2015.

CORNELL, J. A. **Experiments with Mixtures: Designs, Models, and the Analysis of Mixture Data**. [s.l.] John Wiley & Sons, 2011.

COSTA, J. E. M. **Sistemas Construtivos Industrializados Utilizados no Brasil: Uma Revisão Sistemática da Literatura**. 5º Encontro em Engenharia de Edificações e Ambiental. **Anais...** Em: 5º ENCONTRO EM ENGENHARIA DE EDIFICAÇÕES E AMBIENTAL. 16 nov. 2017. Disponível em: <<https://eventosacademicos.ufmt.br/index.php/eeea/eeea2017/paper/view/5824>>. Acesso em: 23 jul. 2021

CSN - COMPANHIA SIDERÚRGICA NACIONAL. **Apostila de Cimentos**. , 13 maio 2021.

DARKO, A. *et al.* Drivers for implementing green building technologies: An international survey of experts. **Journal of Cleaner Production**, v. 145, p. 386–394, 1 mar. 2017.

DEGANI, C. M. **Sistemas de gestão ambiental em empresas construtoras de edifícios**. Dissertação de Mestrado—São Paulo - SP: Universidade de São Paulo, 2003.

DENARI, G. B.; CAVALHEIRO, É. T. G. **Princípios e Aplicações de Análise Térmica**. São Carlos - SP: IQSC, 2012.

ELKINGTON, J. Partnerships from Cannibals with forks: The Triple Bottle Line of 21st - century business. **Environmental Quality Management**, v. 8, n. 1, p. 37–51, 1998.

ESPAENET. **Espacenet - Pesquisa por Classificação**. Disponível em: <https://lp.espacenet.com/classification?locale=pt_LP>. Acesso em: 20 jul. 2021.

EUROPEAN PATENT OFFICE. **Espacenet: patent database with over 120 million documents**. Disponível em: <<https://www.epo.org/searching-for-patents/technical/espacenet.html>>. Acesso em: 19 jul. 2021.

FERRAZ, R. R. N. *et al.* Example of open-source OPS (Open Patent Services) for patent education and information using the computational tool Patent2Net. **World Patent Information**, v. 46, p. 21–31, 1 set. 2016.

FERREIRA, L. C.; BERTEQUINI, A. B. T. O USO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA PAVIMENTAÇÃO. 2018.

FERREIRA, R. L. S. **Efeitos da incorporação de areia reciclada de resíduos de construção e demolição (RCD) em argamassas mistas de revestimento**. Dissertação de Mestrado - Natal - RN: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2017.

FERREIRA, R. *et al.* **Caracterização e estudo comparativo entre dosagens de argamassas para revestimento, utilizando resíduos da construção civil (RCC) oriundos da Grande Natal/RN.** 3 set. 2016.

FERREIRA, R. L. DA S. **Efeitos da incorporação de areia reciclada de resíduos de construção e demolição (RCD) em argamassas mistas de revestimento.** Natal/RN: Brasil, 31 mar. 2017.

GODINHO, J. P. *et al.* Fatores de influência na velocidade de pulso ultrassônico no concreto. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 13, p. 222–247, 1 jun. 2020.

GOOGLE. **About Google Patents.** Disponível em: <https://support.google.com/faqs/answer/7049585?hl=pt-BR&ref_topic=6390989>. Acesso em: 19 jul. 2021.

HAASE, H.; ARAÚJO, E. C.; DIAS, J. Inovações Vistas pelas Patentes: Exigências Frente às Novas Funções das Universidades. **Revista Brasileira de Inovação**, v. 4, n. 2, p. 329–362, 2005.

HIRATA, D. *et al.* O uso de informações patentárias para a valorização de resíduos industriais: o caso do lodo de tratamento de esgoto doméstico. **Revista de Ciências da Administração**, p. 55–71, 16 dez. 2015.

INPI. **Inovação e Propriedade Intelectual: guia para o docente.** Brasília: IEL, SENAI, INPI, 2010.

ISHIKURA, J. T.; MOLINA, J. C.; BÔAS, D. V. Sistema de construção japonês em madeira. **Engevista**, v. 19, n. 4, p. 819–838, out. 2017.

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

JIMÉNEZ, A. M. G. **Estudo experimental de um resíduo de construção e demolição (RCD) para utilização em pavimentação.** Dissertação de Mestrado—Brasília-DF: Universidade de Brasília, 2011.

JOCHEM, L. F. **Estudo das argamassas de revestimento com agregados reciclados de RCD: características físicas e propriedades da microestrutura.** Dissertação de Mestrado—Florianópolis - SC: Universidade Federal de Santa Catarina, 2012.

KARPINSKI, L. A. *et al.* **Gestão diferenciada de resíduos da construção civil : uma abordagem ambiental.** Porto Alegre: EDIPUCRS, 2009.

KNISS, C. T. **Desenvolvimento e Caracterização de Materiais Cerâmicos com Adição de Cinzas Pesadas de Carvão Mineral.** Florianópolis - SC: Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

LEITE, M.; COSTA, J. Estudo da influência do agregado reciclado de concreto de pré-moldados na resistência do concreto. **XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, p. 2643–2652, 2014.

LIMA, A. B. **Processo Produtivo do Cimento Portland.** Monografia—Belo Horizonte, MG: Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.

LIMA, D. A. D. *et al.* **Desenvolvimento de argamassas de revestimento captoras de CO₂ pelo uso de resíduos de construção como agregados.** 62º Congresso Brasileiro do Concreto. **Anais...** Em: IBRACON 2020. Florianópolis - SC: 2020.

MACEDO, A. *et al.* **Influência da Incorporação de RCD em Argamassas.** ABM Week 2019. **Anais...** Em: 74º CONGRESSO ANUAL DA ABM. São Paulo - SP: 1 dez. 2019.

MACHADO, M. E. S. **Análise Térmica Diferencial e Termogravimétrica.** 2008. Disponível em: <http://www.academia.edu/7599003/ANÁLISE_TÉRMICA_DIFERENCIAL_E_TERM_OGRAVIMÉTRICA>. Acesso em: 02 fev. 2022.

MMA, M. DO M. A. **Construção Sustentável.** Disponível em: <<https://antigo.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/planejamento-ambiental-e-territorial-urbano/urbanismo-sustentavel/constru%C3%A7%C3%A3o-sustent%C3%A1vel.html>>. Acesso em: 9 maio. 2021.

MONTE, R.; BARROS, M. M. S. B.; FIGUEIREDO, A. D. Evaluation of early age cracking in rendering mortars with polypropylene fibers. **Ambiente Construído**, v. 18, n. 2, p. 21–32, jun. 2018.

MORALES, B. R. DA S. C. **Avaliação da influência das frações de agregado reciclado nas propriedades das argamassas de revestimento**. Mestrado—Florianópolis - SC: Universidade Federal de Santa Catarina, 2015.

MUÑOZ RUIPÉREZ, C. *et al.* **Mortero estructural aligerado con arcilla expandida y agregados con áridos reciclados**. Universidade de Burgos, 4 fev. 2016.

NASCIMENTO, C. S. *et al.* **Análise do Descarte Inadequado de Resíduos da Construção Civil e Demolição em Terrenos Baldios no Município de Alagoinhas - BA**. **Atena Editora**, v. 2, p. 1-388–416, 2019.

NASCIMENTO-DIAS, B. L. DO; OLIVEIRA, D. F.; ANJOS, M. J. DOS. A utilização e a relevância multidisciplinar da fluorescência de raios X. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 39, 29 maio 2017.

NATIONS, U. **Conferences | Environment and sustainable development**. Disponível em: <<https://www.un.org/en/conferences/environment>>. Acesso em: 21 maio. 2021a.

NATIONS, U. **Special Session of the UN General Assembly to Review and Appraise the Implementation of Agenda 21, New York, 23-27 June 1997**. Disponível em: <<https://www.un.org/en/conferences/environment/newyork1997>>. Acesso em: 24 maio. 2021b.

NETO, G. AL. DA S. *et al.* **Influência do uso de aditivo redutor de água no comportamento de argamassas com agregado miúdo reciclado cerâmico**. . Em: VI CONGRESSO DE ENGENHARIA CIVIL. Juiz de Fora: maio 2019.

NETO, J. C. M. *et al.* **Impactos Causados Pelos Resíduos de Construção e Demolição no Meio Ambiente Urbano**. ICTR 2004. **Anais...** Em: ICTR 2004 - CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM RESÍDUOS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. Florianópolis - SC: 2004.

NETO, J. C. M.; GONÇALVES, G. H. V.; CÓRDOBA, R. E. **Gestão de resíduos da construção civil: Soluções para municípios de pequeno porte.** . Em: 1º SIMPÓSIO BRASILEIRO CIDADES + RESILIENTES. 2020.

OCDE. Manual de Oslo - Proposta de Diretrizes para Coleta e Interpretação de Dados sobre Inovação Tecnológica. p. 136, 2007.

OCDE. **Sustainable Manufacturing and Eco-Innovation - Framework, Practices and Measurement.** , 2009.

OLIVEIRA, M. E. D. DE. Agregado reciclado de construção e demolição: influência em propriedades de argamassas para revestimento. 19 set. 2012.

OLIVEIRA, M. E. D.; CABRAL, A. E. B. Argamassa de revestimento produzidas com agregado reciclado de Fortaleza/CE, Brasil. **Engenharia Civil . UM**, 41. p. 14, 2011.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA PROPRIEDADE INTELECTUAL. **WIPO Patent Drafting Manual.** Disponível em: <<https://www.wipo.int/publications/en/details.jsp?id=297>>. Acesso em: 11 nov. 2020.

ORTEGA, S. G. Sustentabilidade na Construção Civil: significados, práticas e ideologia. **Organizações e Sustentabilidade**, v. 2, n. 1, p. 112–137, 13 out. 2014.

PARANHOS, R.; RIBEIRO, N. IMPORTÂNCIA DA PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA EM BASE EM PATENTES E SEUS OBJETIVOS DA BUSCA. **Cadernos de Prospecção**, v. 11, n. 5, p. 1274, 10 dez. 2018.

PEDROZO, R. F. E. **Influência da Substituição do Agregado Miúdo Natural por Agregado Reciclado Fino em Propriedades de Argamassas e Concretos.** Dissertação de Mestrado—Florianópolis - SC: Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.

PINTO, J. C.; SILVA, A. R. DA; SILVA, T. G. DA. O USO DE PATENTES COMO INSTRUMENTO METODOLÓGICO PARA O ENSINO MULTIDISCIPLINAR DAS INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS. **Encontro Internacional de Formação de Professores e Fórum Permanente de Inovação Educacional**, v. 10, n. 1, 29 jun. 2017.

QUINTELLA, C. M. *et al.* Busca de Anterioridade. Em: **Prospecção Tecnológica**. Salvador - BA: IFBA/FORTEC, 2018. v. 1p. 109–140.

QUONIAM, L.; KNISS, C. T.; MAZIERI, M. R. A patente como objeto de pesquisa em Ciências da Informação e Comunicação. **Encontros Bibli: revista eletrônica de biblioteconomia e ciência da informação**, v. 19, n. 39, p. 243–268, abr. 2014.

RECENA, F. A. P. **Conhecendo argamassa**. 1. ed. Porto Alegre - RS: EDIPUCRS, 2011.

REYMOND, D.; DEMATRAZ, J. Using networks in patent exploration: application in patent analysis: the democratization of 3D printing. **Encontros Bibli: revista eletrônica de biblioteconomia e ciência da informação**, v. 19, n. 40, p. 117–144, 2 ago. 2014.

ROCHA, M. S. F. DA *et al.* PRODUÇÃO E DESCARTE DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA FORMA DE COMBATE AO Aedes Aegypti. **Caderno de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas - UNIT - ALAGOAS**, v. 3, n. 3, p. 185–196, 2016.

ROQUE, R. A. L.; PIERRI, A. C. Uso inteligente de recursos naturais e sustentabilidade na construção civil. **Research, Society and Development**, v. 8, n. 2, p. e3482703–e3482703, 1 jan. 2019.

ROQUE, S. *et al.* Concrete-Based and Mixed Waste Aggregates in Rendering Mortars. **Materials**, v. 13, n. 8, p. 1976, jan. 2020.

RUBIO DE HITA, P. *et al.* **Procedimiento para la fabricación de morteros con residuos cerámicos y su aplicación en una pieza de entrevigado para forjado con vigas de madera**. Universidade de Sevilla, 15 nov. 2016.

SANTANA, H. A. **Avaliação de desempenho de argamassas geopoliméricas autoadensáveis dosadas pelo delineamento estatístico de misturas e reforçadas por malhas poliméricas 3D impressas**. Mestrado—Salvador - BA: Universidade Federal da Bahia, 2020.

SANTOS, C. M. S.; CORBARI, J. C. **Processo para obtenção de agregados reciclados na obra de construção civil e argamassa obtida a partir desses agregados.** , 27 set. 2011.

SCRIVENER, K.; SNELLINGS, R.; LOTHENBACH, B. **A Practical Guide to Microstructural Analysis of Cementitious Materials.** 1. ed. Nova York - EUA: [s.n.].

SENTENA, J. A. A.; KAZMIERCZAK, C. DE S.; KREIN, L. A. Degradação de revestimentos de argamassa com finos de resíduos de concreto por ciclos térmicos. **Ambiente Construído**, v. 18, n. 1, p. 211–224, mar. 2018.

SILVA, A. J. L. *et al.* Sistemas de Gestão Ambiental na Construção Civil. **PROJECTUS**, v. 1, n. 2, p. 36–40, jun. 2016.

SILVA, M. W. M. DA *et al.* Absorção de água em argamassa leve com a incorporação de poliestireno expandido. **Scientia Plena**, v. 16, n. 2, 18 mar. 2020.

SILVA, N. G.; BUEST, G.; CAMPITELI, V. C. **ARGAMASSAS COM AREIA BRITADA: INFLUÊNCIA DOS FINOS E DA FORMA DAS PARTÍCULAS.** VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas. **Anais...** Em: VISBTA. Florianópolis - SC: 2005.

SILVA, O. H. D. *et al.* Etapas do gerenciamento de resíduos da construção civil. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, p. 39–48, 2015.

SNEE, R.; MARQUARDT, D. Extreme Vertices Designs for Linear Mixture Models. **Technometrics**, v. 16, p. 399–408, 1 ago. 1974.

SOLTANI, F. *et al.* Relationship between ultrasonic Rayleigh wave propagation and capillary porosity in cement paste with variable water content. **NDT & E International**, v. 54, p. 75–83, 1 mar. 2013.

SOUSA, R. G. U. **Quantificação das emissões de CO₂ dos materiais de construção, aço, areia, brita, cerâmica vermelha e cimento: estudo de caso em Empreendimento Habitacional de interesse social.** Trabalho de Conclusão de Curso—Cruz das Almas - BA: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2013.

SOUZA, C. M.; LIMA, D. AP. D.; SOUZA, L. M. **Captação de CO2 a partir de argamassa com incorporação de resíduos de construção e demolição (RCD)**. Trabalho de Conclusão de Curso—São Paulo - SP: Universidade São Judas Tadeu, 2019.

SPADOTTO, A. *et al.* Impactos ambientais causados pela construção civil. **Unoesc & Ciência - ACSA**, v. 2, n. 2, p. 173–180, 2011.

TIDD, J.; BESSANT, J. **Gestão da Inovação**. 5. ed. Porto Alegre - RS: Bookman Editora, 2015.

UN. **United Nations Conference on Environment & Development - Agenda 21**. , 1992. Disponível em: <<https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/Agenda21.pdf>>. Acesso em: 23 maio. 2021

UN. **Report of the World Summit on Sustainable Development**. , 4 set. 2002. Disponível em: <<https://undocs.org/en/A/CONF.199/20>>. Acesso em: 23 maio. 2021

UN. **The Millennium Development Goals Report**. , 2008. Disponível em: <http://mdgs.un.org/unsd/mdg/Resources/Static/Products/Progress2008/MDG_Report_2008_En.pdf>. Acesso em: 23 maio. 2021

UN. **United Nations Summit on Sustainable Development**. United Nations, , 2015. Disponível em: <<https://www.un.org/en/conferences/environment/newyork2015>>. Acesso em: 19 jul. 2021

VARGAS, A. S. DE; MOURA, A. B. D.; RAMOS, F. V. **Composição de argamassa à base de resíduos granulados de carvão vegetal e processo de obtenção de argamassa à base de resíduos de carvão vegetal**. , 29 set. 2016.

VOTORANTIM. **Ficha de informações de segurança de produtos químicos - FISPQ. Produto: Cal Hidratada ITAÚ**. , 1 fev. 2018. . Acesso em: 12 mar. 2022

WIPO. **WIPO Intellectual Property Handbook**. Genebra: [s.n.].

WORLD INTELLECTUAL PROPERTY ORGANIZATION. **WIPO**. Disponível em: <<https://www.wipo.int/about-wipo/en/index.html>>. Acesso em: 19 jul. 2021.

APÊNDICE I – PARTICIPAÇÃO EM EVENTOS E ARTIGO PUBLICADO

A seguir estão apresentadas as referências às publicações derivadas desta pesquisa:

LIMA, D. A. D. *et al.* **Contribuição das Informações Patentárias para Obtenção de Argamassas com Resíduo de Construção e Demolição (RCD) como Agregado Reciclado.** 1ª Conferência Brasileira de Planejamento Experimental e Análise de Dados. Anais... In: 1ª CONFERÊNCIA BRASILEIRA DE PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE DE DADOS. Evento Virtual: ConBraPA, 23 a 25 nov. 2020.

LIMA, D. A. D. *et al.* Contribution of Patent Information for Obtaining Mortars with Construction and Demolition Waste (CDW) as Recycled Aggregate. **Brazilian Journal of Experimental Design, Data Analysis and Inferential Statistics.** v. 1, n. Special Edition (2), p. 9, 2021.

APÊNDICE II – TABELA DE PATENTES

Título Inglês	Título Português	Inventores	Escritório/país	Número da Patente	Data de depósito	Resumo	Plataforma
Mortar coating from construction and demolition waste	Revestimento de argamassa de resíduos de construção e demolição	Sanchez Cristhian David Acevedo; Torres Hernan Sanchez	Colômbia	CO7560098	23/09/2015	Argamassa de revestimento de agregado reciclado, parede interna e externa de edifícios. Resíduo: cerâmica, argamassa, cimento Portland, sulfato de cálcio hemihidratado, polímero em pó éter celulose, polímero em pó redispersível.	Google Patents
Construction method and non-reinforced concrete blocks for building arch-shaped civil engineering structures	Método e blocos de betão não armado para construção de obras de arte em arco	AMORIM VARUM, Humberto Salazar; LOBATO DE SOUZA MONTEIRO DE MORAIS, Miguel Nuno; COELHO ALMEIDA SANTOS, Pedro Miguel	WIPO	WO2010076716	10/12/2009	Novo método de construção de pontes, túneis e galerias, passagens inferiores ou superiores, passagens hidráulicas e passagens agrícolas, em arco usando a alvearia como sistema estrutural e o betão como seu material constituinte	Google Patents / Espacenet
Method for producing mortars with ceramic waste and use thereof in a beam fill piece for slabs with timber beams	Método para a produção de argamassas com resíduos cerâmicos e sua aplicação em uma peça de enchimento de viga para lajes com vigas de madeira	RUBIO DE HITA, Paloma; PÉREZ GÁLVEZ, Filomena; MORALES CONDE, Maria Jesús.	WIPO	WO2018/091755	15/11/2017	Método de preparação de resíduos cerâmicos para mistura, misturar resíduos cerâmicos com cimento e agregado comercial de dimensão máxima de 8 mm para obter uma argamassa; e confecção de uma peça de enchimento de viga para lajes de arco maciço com vigas de madeira, utilizando a	Google Patents / Espacenet

						argamassa de resíduos cerâmicos em diferentes proporções.	
Asbestos-free fiber cement wave plates.	Placas onduladas de fibrocimento sem amianto	Boer Gert Jacobud Jan Koos Wessels	Países Baixos	NL1039136	27/10/2011	Refere-se ao reaproveitamento de resíduos de construção e demolição na produção de chapas onduladas de fibrocimento sem amianto e na preparação de concreto	Google Patents
Low environmental impact pozzolanic cement production plant, obtained from mixed construction and demolition waste (rcd), and resulting products for construction	Unidade de produção de cimento pozolânico de baixo impacto ambiental, obtido por resíduo misto de construção e demolição (RCD) e produtos resultantes para a construção civil	Mario Sérgio Guilge, Sérgio Cireli Ângulo, Valdecir Angelo Quarcioni	Brasil	BR102013030 981	02/12/2013	O invento trata de planta de reciclagem, fixa ou móvel, de resíduos mistos de construção e demolição (RCD), que combina britagem separada dos RCD's de naturezas diferentes. Resíduos cinza (materiais cimentícios), vermelho (materiais cerâmicos) e misto (mistura das duas classes) são estocados em silos de armazenagem.	Google Patents / Espacenet
Process for obtaining recycled aggregates in the construction	Processo para obtenção de agregados reciclados na obra de construção civil e	Claudio Manoel Santos; José Carlos Corbari	Brasil	BRPI1000223	09/02/2010	Dois processos, o primeiro utiliza os resíduos ou sobras de obras seguindo etapas de simples execução gerando matéria prima para a fabricação	Google Patents

work and arms obtained from these aggregates	argamassa obtida a partir desses agregados					de argamassas produzidas e aplicadas na própria obra	
Concrete composites based on concrete construction and demolition wastes and lime production wastes	Compósitos de concreto a base de resíduos de construção e demolição de concreto e resíduos de produção de cal	Vsevolod Mymrine	Brasil	BRPI0500826	26/01/2005	Refere-se a composições e tecnologias de fabricação para aplicação na construção civil, à base de resíduos de produção ou de demolição de argamassa ou de concreto. Podendo ser preparado através da utilização de matérias primas à base dos seguintes resíduos industriais: resíduos de Concreto, de Argamassa, de cal ou cimento Portland.	Google Patents / Espacenet
Method for obtaining recycled aggregates, materials and products for construction by recycling construction and demolition waste	Método de obtenção de agregados, materiais e produtos reciclados para construção por meio da reciclagem de resíduos de construção e demolição	Walter Aurelio Mori Pérez; Roger Walter Mori Pizzino	WIPO	WO2019132675	27/12/2017	Método para obtenção de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição, como entulho, tijolos, telhas, pedras, estuques, cerâmicas e resíduos produzidos durante a limpeza da betoneira, revestimentos rodoviários e formulação dos referidos agregados e a produtos de construção obtidos por meio dos mesmos.	Google Patents / Patentscope / Espacenet

Mortar mixture production process applicable to the manufacture of products for the construction industry	Processo de produção de mistura tipo argamassa aplicável à fabricação de produtos destinados à construção civil	Geneci Borges Alves	Brasil	BRPI0305617	15/08/2003	Processo de produção de argamassa, equipamento de prensagem e extração, produtos resultantes e método construtivo. Que utiliza RCD de origem pozolâmica, rejeitos industriais (lodo de insuatria calçadista, têxtil, etc) com adição de cimento em proporções estabelecidas.	Google Patents
Construction units in form of bricks, blocks or tiles made from recyclable materials and by-products, method of making the construction units and their use	Unidades de construção em forma de tijolos, blocos ou telhas feitas de materiais recicláveis e subprodutos, método de fazer as unidades de construção e sua utilização	Gabriela Medero; Samuel Chapman	Canadá	CA3005406	18/11/2016	A invenção refere-se a uma unidade de construção feita a partir de vários materiais recicláveis, por exemplo, a partir de resíduos reciclados de gesso cartonado da indústria de construção ou gesso de gás de combustão que é um subproduto de usinas de energia fóssil. As unidades de construção são feitas a partir de uma mistura bruta composta por gesso, argila e agregados e métodos de fabricação das unidades de construção.	Google Patents / Espacenet
Concrete, a dry mix for the preparation of this concrete, and a method for the preparation of this concrete	Concreto, uma mistura seca para a preparação deste concreto e um método para a preparação deste concreto	Polak, Frantisek	Japão	JP2020512268	26/03/2018	Para preparar o concreto da invenção, é possível utilizar vários processos diferentes, que juntos constituem um único conceito inventivo, em que o processo envolve a reciclagem utilizada. Apenas diferem entre si pelo tipo e quantidade específica de matéria-prima.	Google Patents / Espacenet

Class A construction and demolition waste composite and pet bottles	Compósito a base de resíduos de construção e demolição classe A e de garrafas pet	Cássia Jayne Santos do Nascimento, Valdeir da Silva Santos	Brasil	BR102018015806	02/08/2018	Compósito produzido a partir da mistura de fibras de garrafas pet no estado líquido e de resíduos de construção e demolição classe A triturado. As fibras de pet atuarão no compósito proporcionando leveza e resistência mecânica, além de proporcionar a redução dos espaços vazios, e, conseqüentemente a diminuição do índice de absorção de água pelo produto final. A invenção utiliza esses dois produtos, alvos de preocupação ambiental, para produzir um compósito líquido que, devido às características do pet, alcança rápido o endurecimento.	Google Patents
Lightweight heat-insulating building material having frost resistance	Material de construção de isolamento térmico leve com resistência à geada	Noriyasu Akaishi	Estados Unidos	US6642164B2 / US20020142911	21/11/2001	Material de construção leve e isolante com resistência ao gelo. O vidro espumoso é usado como materiais internos, materiais externos e paredes de alojamentos e edifícios devido ao seu isolamento térmico e propriedades de absorção de som.	Google Patents / Patentscope / Espacenet
Design methodology of concrete properties with recycled aggregates	Metodologia de estimativa das propriedades de concreto com agregados reciclados	Osaka Noriyasu Akaishi	Portugal	PT103756	20/07/2007	Aplica-se no setor da construção, permitindo a preconização em projetos e em obra da aplicação de betões fabricados com agregados reciclados de qualquer	Google Patents / Espacenet

						proveniência, numa perspectiva de construção sustentável.	
System for forecasting demolition waste generation of building using CHAID algorithm and method for forecasting demolition waste generation of building using same	Sistema para previsão de geração de resíduos de demolição de construção usando o algoritmo CHAID e método para previsão de geração de resíduos de demolição de construção usando o mesmo	차기욱문현준홍 원화김영찬	Corea	KR201900948 14	06/02/2018	Sistema e método para prever a quantidade de resíduos gerados durante a desmontagem de edifícios e, mais particularmente, para prever a quantidade de resíduos gerados durante a desmontagem de edifícios usando o algoritmo CHAID.	Google Patents / Espacenet
process for obtaining polymer mortar and aggregates and product thus obtained	processo de obtenção de argamassa de polímero e agregados e produto assim obtido	Rosana Vilarim da Silva; Desilvia Machado Louzada, Geórgia Serafim araujo; Nicholas Henrique dos Santos Rupp; Ecio Bosi Junior; Camila Cimon Christ, Thiago de Almeida; Victor de Brito Oliveira	Brasil	BR102018011 471	06/06/2018	Processo de produção para obtenção de material formado por resíduos granulares, e polímero atuante como ligante, em substituição ao cimento, onde a mistura do resíduo granular e polímero fundido resulta em uma argamassa.	Google Patents

Cement-sand mortar	Argamassa de cimento e areia	Jan Valentin, Pavel Tesárek, Zdeněk Prosek, Jaroslav Topic, George Karra'A	República Tcheca	CZ29828	05/08/2016	O concreto reciclado micro-fresado mecanicamente ativado tem a função de um filler ativo fino e substitutos parciais do ligante e elimina a necessidade de aditivos químicos, mantendo as propriedades funcionais necessárias. Como resíduo, o custo de produção da mistura de argamassa é reduzido.	Google Patents
Obtaining a bituminous mixture	Procedimento de btenção de uma mistura betuminosa	Ignacio Pérez; Ana Rodríguez Pasandin	Espanha	ES2425302	09/04/2012	Processo de fabricação de misturas betuminosas quentes compreendendo agregado natural e agregado reciclado de resíduos de construção e demolição (RCD) do tipo concreto.	Google Patents / Espacenet
Method of stabilization of liquid mercury by polymeric sulfur cement, through mercury sulfide	Método de estabilização de mercúrio líquido por cimento de enxofre polimérico, por meio de sulfeto de mercúrio	Felix Antonio Lopez Gomez; Aurora Lopez Delgado; Francisco Jose Alguacil Priego; Manuel Alonso Gamez	Espanha	ES2703424T3	17/03/2011	Refere-se a um método para estabilizar o mercúrio líquido usando cimentos poliméricos de azufre, e transformando predominantemente o mercúrio líquido em sulfeto de mercúrio	Google Patents / Espacenet
Concrete, a dry mix for preparing concrete, and a method for preparing this concrete	Concreto, uma mistura seca para preparar concreto e um método para preparar este concreto	František Polák	República Tcheca	CZ2018141	21/03/2018	Refere-se ao concreto fresco e uma mistura seca para a sua preparação, elemento de construção de concreto ou peça pré-fabricada com este tipo de concreto.	Google Patents

Method for reusing construction waste in construction of concrete	Método de reaproveitamento de resíduos de construção na construção de concreto	Boer Gert Jacobus Jan Koos Wessels	Países Baixos	NL1039027C2	08/09/2011	Refere-se à reutilização de resíduos de construção e resíduos de demolição na preparação de concreto.	Google Patents
Composition of granulated charcoal waste mortar and process of obtaining charcoal waste mortar	Composição da argamassa de resíduo de carvão vegetal granulado e processo de obtenção de argamassa de resíduo de carvão vegetal	Alexandre Silva De Vargas; Angela Beatrice Dewes Moura; Fernando Volpatto Ramos	Brasil	BR102016022643	29/09/2016	Refere-se a uma composição de argamassa à base de resíduos granulados de carvão vegetal (RCV) e seu respectivo processo de obtenção. A argamassa verde proposta substitui o agregado miúdo (areia), comumente utilizado na fabricação de argamassas, em partes de volume por partículas de RCV	Google Patents
ecologically sound concrete mass	massa de concreto ecologicamente correta	José Augusto Coimbra Louro	Brasil	BRPI0902843A2	18/08/2009	Refere a um composto produzido a partir de rejeitos triturados de entulho de construção e demolição, exceto gesso, derivados de petróleo e celulose decomposta.	Google Patents / Espacenet
Process of treating and re-utilizing assorted wastes and polymers, and construction element made thereby	Processo de tratamento e reutilização de resíduos e polímeros variados e elemento de construção feito desse modo	Rahul NAGPAUL	EPO	EP2861398A2	12/04/2013	Refere-se ao enfrentamento de sérios riscos na Terra e o Meio Ambiente devido à rápida produção e acúmulo de Resíduos e Plásticos Diversos (AWP), contendo resíduos principalmente de carros usados, pneus, plásticos, RSU, indústria doméstica e muitos outros. Os métodos atuais de reciclagem ou descarte são caros e inadequados.	Google Patents / Espacenet

Concrete, a dry mix for the preparation of concrete, and a method preparing of this concrete	Concreto, uma mistura seca para a preparação do concreto e um método de preparação deste concreto	František Polák	República Tcheca	CZ307741B6	31/03/2017	A invenção se refere a um processo para a preparação de 1 concreto fresco usando material reciclado de resíduos de demolição de construção inerte.	Google Patents / Patentscope
Cement-lime mortar	Argamassa de cimento-cal	Jan Valentin; Pavel Tesárek; Zdeněk Prošek; Jaroslav Topič; George Karra'Á	República Tcheca	CZ29827U1	05/08/2016	As argamassas de cimento-cal são amplamente utilizadas na construção. A produção de areia está associada à produção de argamassa. A mineração extensiva de areia tem um impacto negativo na paisagem. Hoje, portanto, existe um esforço para que a extração de areia seja feita de forma menos intensiva e suave.	Google Patents
Thin-layer cement-lime mortar	Argamassa de cimento-cal de camada fina	Jan Valentin; Pavel Tesárek; Zdeněk Prošek; Jaroslav Topič; Josef Fládr; Karel Šeps	República Tcheca	CZ29826	05/08/2016	A argamassa de gesso em camada fina de cal e cimento contendo farinha reciclada de concreto moído de alta velocidade é adequada para gesso em camada fina com espessura de camada de até 3 mm para blocos de precisão à base de silicato de gás ou concreto aerado. Recomenda-se o uso de uma malha de reforço comumente conhecida como perlinka. Dependendo do método de tratamento de superfície, a argamassa pode servir de base para o gesso	Google Patents

						final ou ela mesma pode formar a camada final de gesso. A argamassa é destinada principalmente para novas construções, mas também pode ser usada para reparar o gesso existente.	
Cementing material from mixtures of waste and / or industrial subproducts and manufacturing procedure	Material de cimentação de misturas de resíduos e / ou subprodutos industriais e procedimento de fabricação	Mónica RODRÍGUEZ GALÁN Benito Navarrete Rubia Luis Francisco Vilches Arenas Carlos LEIVA FERNÁNDEZ Juan Manuel PICÓN BOLAÑOS María Aranzazu DÍAZ BAUTISTA	Espanha	ES2592953	29/05/2015	insere-se no campo da tecnologia química no setor da construção e diz respeito a materiais com propriedades de cimentação ou materiais de adição de cimento, obtidos a partir da fusão e subsequente resfriamento de certas misturas de resíduos e / ou subprodutos industriais.	Google Patents
Geomass mediated carbon sequestration material production methods and systems for practicing the same	Métodos e sistemas de produção de material de sequestro de carbono mediado por geomassa para praticar o mesmo	Quynh Nguyen Brent R. Constantz Jacob Schneider Seung-Hee Kang	WIPO	WO2020047243	29/08/2019	Métodos e sistemas de sequestro de dióxido de carbono (CO ₂) mediado por "geomass" são fornecidos. Aspectos dos métodos incluem o contato de uma fonte gasosa de CO ₂ e uma captura de amônia aquosa para produzir um produto sequestrante de CO ₂ e um sal de amônio	Google Patents / Patentscope / Espacenet

						aquoso e, em seguida, o contato do sal de amônio aquoso líquido com uma "geomass".	
Spray lance of a granular wet mortar device comprising same and projection method using the lance and / or the device	Lança de pulverização de um dispositivo de argamassa úmida granular compreendendo o mesmo e método de projeção usando a lança e / ou o dispositivo	Anne Daubresse; Eric Sanchez	França	FR3084897A1	10/08/2018	Refere-se a um sistema de projeção de matrizes pastosas granulares sobre suportes, em particular sobre estruturas de concreto armado ou alvenaria, tais como edifícios, construções de engenharia civil (pontes, túneis, tubos etc.).	Google Patents
Process for producing daily cover for dumps and a dump of solid waste	Processo de produção de cobertura diária para lixões e lixão de resíduos sólidos	Robert Paul Michael Irwin Price	República Tcheca	CZ259494A3	16/04/1993	Método de reciclagem de entulho de construção e demolição produz um produto útil em aplicações de engenharia de terra, incluindo aterros, estabilização de solo e leitos de estradas	Google Patents
Thin-layer cement mortar	Argamassa de cimento de camada fina	Jan Valentin; Pavel Tesárek; Zdeněk Prošek; Jaroslav Topič; Martin Lidmila	República Tcheca	CZ29872U1	05/08/2016	Propõe-se uma argamassa de cimento de camada fina na qual contenha 0,1 a 0,9% em peso em mistura seca. O concreto reciclado micronizado mecanicamente ativado é obtido a partir de uma fração fina de concreto reciclado com um tamanho de partícula de até 1 mm, que é tratado por moagem de alta velocidade,	Google Patents

						por exemplo, em equipamentos de acordo com CZ 27279 U.	
Compacted modular brick of inert construction and demolition residues	Tijolo modular compactado de resíduo de construção e demolição inertes	LOURENÇO ESMERALDO FRANCISCO BRITES	Portugal	PT11093T	10/11/2014	Refere-se a um tijolo modular obtido por prensagem e estabilização e cura de uma mistura homogênea de resíduos de construção e demolição inertes, saibro, cimento e água.	Google Patents / Espacenet
Automatic separation of ore or construction and demolition waste (recycled aggregates), using the content of humidity as discriminating property	Separação automática de minérios ou resíduos de construção e demolição (agregados reciclados), utilizando o teor de umidade como propriedade discriminativa	Régis Sebben Paranhos	Brasil	BR102017008 183A2	20/04/2017	A concentração mineral está baseada na separação em duas ou mais frações de minério, utilizando sempre uma característica física ou química que permita uma eficiente separação. O beneficiamento gravimétrico (ou gravítico) utiliza a densidade dos minerais como característica básica para possibilitar a separação. A flotação, por sua vez, utiliza a hidrofobicidade dos minerais como característica básica para permitir uma separação. A forma e o tamanho dos minerais também podem ser utilizados para a separação, como ocorre com a hidrociclonagem.	Google Patents

Structural mortar lightened with expanded clay and aggregates with recycled aggregates	Argamassa estrutural aligeirada com argila expandida e agregados reciclados	Carmelo Muñoz Ruipérez; Ángel Rodríguez Sáiz; Verónica Calderón Carpintero; Francisco Fiol Oliván; Jesús Gadea Sáinz; Carlos Junco Petrement	Espanha	ES2629064B 2	04/02/2016	Processo de obtenção de argamassas estruturais leves com propriedades estruturais feitas de agregados finos reciclados de concreto e entulho misto, onde percentuais de até 100% do agregado natural são substituídos por concreto reciclado e agregados mistos. Simultâneo, incluindo argilas de diferentes naturezas.	Google Patents / Espacenet
An element for masonry made of recycled materials	Um elemento para alvenaria feito de materiais reciclados	Tereza Pavlu; Michal Zenísek; Ktistina Fortová; Petr Hájek; Jan Otýs	República Tcheca	CZ31755U1	07/12/2017	Elemento de construção de alvenaria de concreto reciclado com alto teor de materiais reciclados. Componente de concreto reciclado, em que o concreto reciclado é uma mistura de agregado de tijolo reciclado e poliestireno expandido reciclado de resíduos de construção e demolição, onde os materiais reciclados representam pelo menos 70% em volume;	Google Patents / Espacenet
Plná betonová tvarovka	Encaixe de concreto completo	Jan Valentin; Pavel Tesárek; Zdeněk Prošek; Jaroslav Topič; George Karra'a; Martin Lidmila	República Tcheca	CZ29873U1	05/08/2016	De acordo com a presente solução técnica, propõe-se um encaixe de concreto maciço para alvenaria em mistura seca, consistindo em que contenha 0,40 a 0,8% em peso. Acessórios de concreto sólido contendo farinha de concreto reciclado e de moagem em alta velocidade são, de acordo com a solução técnica proposta,	Google Patents

						adequados para alvenaria total para estruturas portantes e não portantes, devido à maior densidade aparente, as estruturas desses acessórios serão alcançar boas propriedades acústicas	
Fresh stain cleaning procedure due to fluid spillage	Procedimento de limpeza de manchas frescas devido ao derramamento de fluido	Ignacio Pérez; Breixo Gómez Meijide; Ana María Rodríguez Pasandín	Espanha	ES2582498B1	13/03/2015	A presente invenção descreve um método de limpeza de manchas recentes por derramamento de fluidos, que compreende a aplicação de agregados reciclados de RCDs, com um teor superior a 90% de argamassa ou concreto e tamanho de partícula inferior a 0,250 mm.	Google Patents
Method of utilizing construction and demolition waste	Método de utilização de resíduos de construção e demolição	Wei; Qi Wang	Estados Unidos	US10695806 B2	22/08/2017		Google Patents
Method of utilizing construction and demolition waste	Método de utilização de resíduos de construção e demolição	Wei; Qi Wang	Estados Unidos	US201800563 44A1	22/08/2017	O método compreende o pré-tratamento dos resíduos de construção e demolição em partículas com uma faixa de tamanho predeterminada; e obtenção de carbonato de cálcio a partir das partículas. O método da presente invenção permite reciclar uma ampla gama de resíduos de construção e demolição, além disso, pode converter esses	Google Patents / Patentscope / Espacenet

						resíduos em carbonato de cálcio de alta pureza que pode ser amplamente utilizado em muitas aplicações	
Process of obtaining mortar with recycled eps	Processo de obtenção de argamassa com EPS reciclado	Vanessa Creto Bellato; Tiago Tozi; Alessandra Savazzini dos Reis; Geórgia Serafim Araujo; Karla Fadini Fiorot Bussular; Bruno da Silva Assis	Brasil	BR102014023529A2	23/09/2014	Refere-se ao processo de beneficiamento de resíduo de eps para incorporação em argamassa cimentícia em substituição parcial da areia.	Google Patents
Hydraulic binder for construction materials	Aglutinante hidráulico para materiais de construção	Andrés Seco Meneses; Pablo Urmeneta Ibáñez García; Luis Miqueleiz Jiménez, Nicolás Manuel Gangutia Pepin	Espanha	ES2588392A1	29/04/2015	Ligante hidráulico para materiais de construção compreendendo: um ativador fornecido com óxido e/ou hidróxido de magnésio e um material pozolânico e óxidos de cálcio, silício e alumínio; em que o ativador tem um tamanho de partícula inferior a 150 µm, um teor de óxido e/ou hidróxido de magnésio entre 60 e 77%, um teor de óxido e/ou hidróxido de cálcio de até 15% e uma proporção de óxido de magnésio e/ou hidróxido/óxido de cálcio e/ou hidróxido maior ou igual a 4:1; e em que o material pozolânico tem um tamanho de partícula inferior a 50 µm, além disso, pelo menos	Google Patents

						60% das partículas de material pozolânico tendo uma faixa de tamanho entre 3 e 30 µm.	
The process of production of the aggregate for concrete and mortar	O processo de produção do agregado para concreto e argamassa	Pavel Martauz; Branislav Cvopa; Helena Habánková; Silvia Srámeková; Katarína Martauzová; ferdinand Gach; Ivan Tiso	EPO	EP3476812A 1	29/03/2018	Processo de produção do agregado para concreto e argamassa, em que os materiais com propriedades cimentícias, sendo matérias-primas, subprodutos ou resíduos industriais, ou materiais reciclados são processados a frio em concreto comum ou frações de agregado de argamassa, ou argila, marga ou sua mistura são processados em processo a quente compreendendo a queima, para concreto comum ou frações de agregados de argamassa. O agregado assim produzido influencia a zona de transição interfacial, para concreto e argamassa com maior durabilidade.	Google Patents / Patentscope / Espacenet
BUILDING SYSTEM OF CONSTRUCTION ELEMENTS, WITH MONITORING MEANS OF MASS	SISTEMA DE EDIFÍCIO DE ELEMENTOS DE CONSTRUÇÃO, COM MEIOS DE MONITORAMENTO DO CONTEÚDO DE ÁGUA DE	Veja Daniel Ferrandez; Fernandez Carlos Moron, Alvarez Engerst Yedra; Martinez Pablo Saiz	Espanha	ES274581A1	28/11/2019	Sistema de cofragem para elementos de construção, com meios de monitorização do teor de água de amassamento, constituído por: uma fôrma de cofragem para alvenaria de argamassa; contra-moldes em dois lados opostos do molde e meios de monitoramento providos com um sensor	Google Patents / Espacenet

WATER CONTENT	AMASSAMENTO					capacitivo com duas placas condutoras planas alojadas nos contra-moldes; um circuito de corrente alternada com um elemento resistivo e um elemento indutivo; meios de medição da frequência de ressonância do referido circuito e meios de processamento.	
Process for treating recycled aggregates, and use of aggregates thus processed	Processo para tratamento de agregados reciclados e uso de agregados assim processados	Assia Djerbi, Aiman Yacoub	França	FR3085678A1	10/09/2018	Processo para o tratamento de agregados reciclados que compreende: a) secar os referidos agregados; b) impregnar os agregados secos com um composto escolhido de: um agente repelente de água à base de resina de silicone e, opcionalmente, silano e / ou siloxano, e um agente repelente de água à base de silano e siloxano; silicato de sódio; sílica coloidal; e um álcali baseado em (OH); c) secagem dos agregados impregnados.	Google Patents / Espacenet

Composition for floors returned to paving and/or services from reverse logistics of possible waste and/or residual residues, process of obtaining and applying the floor	Composição para pisos voltados à pavimentação e/ou serviços oriundos da logística reversa de resíduos de pós-consumo e/ou de resíduos de pós-venda, processo de obtenção e aplicação do piso	Eduardo Hoppe	Brasil	BR102016014509A2	20/06/2016	Invenção de pisos para pavimentação de quadras poliesportivas, pistas de corrida e/ou caminhada, passeios públicos (calçadas), retenção de águas pluviais, estacionamentos, pisos de academia, praças, parques e afins. a invenção se destina ao uso preferencial como pavimento para a prática de esportes, compreendendo uma composição que compõe uma manta monolítica com espessura variável entre 2 mm e 500 mm, obtida a composição final a partir da mistura de cinco grupos de matérias-primas, formado pela mistura de grânulos e partículas de material reciclado, oriundos de resíduos de pós-consumo e de pós-venda	Google Patents
Sustainable soil-polymeric composite for manufacturing a set of structural and interlocked blocks for use in civil construction	Compósito solo-polimérico sustentável para fabricação de um conjunto de blocos estruturais e intertravados para uso na construção civil	ART. 6o § 4o DA LPI E ITEM 1.1 DO ATO NORMATIVO N° 127/97; ART. 6o § 4o DA LPI E ITEM 1.1 DO ATO NORMATIVO N° 127/97.	Brasil	BR102017007316A2	09/04/2020	Composite Solo- polimérico Sustentável de Alto Desempenho caracterizado por mistura dos resíduos do solo com resíduos plásticos (aglutinantes), gerando uma liga que, após injetada ou prensada gera o bloco de baixo custo, alta resistência à tração, à compressão e à flexão. Tem por objetivo também um Conjunto de Blocos Estruturais,	Google Patents

						Intertravados de Alta Resistência, caracterizado por dez blocos para construção usando o composite solo-polimérico acima citado, possuindo design exclusivo que reduz até 90% o tempo de uma construção	
Mortar with recycled EPS	Argamassa com EPS reciclado	Vanessa Creto Bellato; Tiago Tozi; Alessandra Savazzini dos Reis; Geórgia Serafim Araujo; Karla Fadini Fiorot Bussular; Bruno da Silva Assis	Brasil	BR102014023 527A2	23/09/2014	Refere-se ao desenvolvimento de uma nova argamassa de cimento e areia com substituição de parte da areia por poliestireno expandido – eps (mais conhecido por sua marca comercial isopor®) reciclado de embalagens de eletroeletrônicos.	Google Patents
Alkali-activated cement produced with waste from polishing ceramic plates and processing of obtaining	Cimento álcali-ativado produzido com resíduo do polimento de placas cerâmicas e processo de obtenção	Fernando Pelisser; Giovanni Antonio Ramos; Manuela Hoffmann Menger	Brasil	BR102018072 854A2	07/11/2018	Trata-se de cimento do tipo álcali-ativado ou geopolimérico, com argilominerais, composto com resíduo de polimento de placas cerâmicas que pode ser utilizado em diversas aplicações na construção civil, como material estrutural, placas de revestimento e como filtro em sistemas de tratamento	Google Patents

<p>Solid soil-cement brick with scheelite extraction mineral waste for use in interlocking pavement</p>	<p>Tijolo maciço de solo-cimento com rejeito mineral da extração das scheelita para uso em pavimento intertravado</p>	<p>João Victor da Cunha Oliveira; Frankslale Fabian Diniz de Andrade Meira; Túlio César Spares dos Santos André; Yokiny Chanti Cordeiro Pesssoa</p>	<p>Brasil</p>	<p>BR102018074 471A2</p>	<p>27/11/2018</p>	<p>Obtido através da técnica de solo-cimento para uso e aplicação em pavimentos intertravados de ambientes externos, com limites de resistências de até 8 MPa para circulação de pedestres. Abrange em sua composição o cimento, que se classifica em CP II-Z 32 (cimento Portland composto com adição de pozolana), o solo, que é de classe areno-argiloso (60-70% de areia e 20-30% de argila), e rejeito da obtenção da scheelita.</p>	<p>Google Patents</p>
<p>Light self-concrete concrete with recycled aggregates</p>	<p>Concreto autoadensavel leve com agregados reciclados</p>	<p>Paulo César Correia Gomes; Sílvia Beatriz Beger Uchôa; Karoline Alves de Melo Moraes; Tassyano Feitosa de Amorim; Priscila Duarte de Oliveira; Raísa Oliveira de Melo; Natalia Vieira da Silva; José Wilson dos Santos; Lucas Oliveira Correia Silva</p>	<p>Brasil</p>	<p>BR102017027 894A2</p>	<p>22/12/2017</p>	<p>Trata-se de uma composição de materiais para a confecção de concreto autoadensável leve com agregados reciclados, denominado de CALAR. O CALAR foi desenvolvido para aplicação em painéis de vedação ou outras peças, pré-moldadas ou não, sem fins estruturais. O agregado reciclado utilizado é classificado como Classe A, oriundo de demolição de edificações e de pré-moldados ou pré-fabricados, como blocos de concreto, bem como corpos de prova de concreto moldados para a realização de controle tecnológico, entre outros</p>	<p>Google Patents</p>

<p>Industrial process plan for integrated recycling and recovery of inputs from solid waste</p>	<p>Planta de processo industrial de reciclagem integrada e recuperação de insumos a partir de resíduos sólidos</p>	<p>Flavio Pietrobon Costa</p>	<p>Brasil</p>	<p>BR102018013 098A2</p>	<p>26/06/2018</p>	<p>Caracteriza um processo industrial integrado por subprocessos, na forma de etapas ou estações de processamento, que funcionam de forma integrada, transferindo entre sí materiais a serem processados, na forma de resíduos sólidos urbanos, RSU, ou resíduos sólidos industriais, RSI, ou resíduos sólidos rurais, RSR, recebidos em estação de separação, e destinados a uma linha de recepção, tratamento e préprocessamento, destes resíduos, limpando-os, selecionando-os e agrupados por tipos de resíduos, recebem cada um destes tipos de resíduos (e-lixo, pneus, papéis e celulósicos, vidros e silicoderivados, orgânicos, resíduos de construção e demolição, e metais).</p>	<p>Google Patents</p>
<p>Modular traveling production complex</p>	<p>Complexo Modular de produção itinerante</p>	<p>Castanheira Murillo Jacobs; Luiz Henrique Prestes; Castanheira Guilherme Prochoroff</p>	<p>Brasil</p>	<p>BRPI1003550 A2</p>	<p>17/05/2010</p>	<p>Compreendido por um container do tipo exportação ou similar, ou até mesmo um caminhão baú, que terá em seu interior uma linha de produção instalada, composta por um misturador de concreto, uma linha com roletes e mesa vibratória, mini laboratório para controle de qualidade,</p>	<p>Google Patents</p>

						compressor para limpeza de formas e aplicação de produtos de maneira mais econômica.	
Added concrete of agate stone benefit waste and manufacturing processes	Concreto adicionado de resíduos do beneficiamento de pedra ágata e seus processos de fabricação	Graeff Goldoni Alessandro; Dalla Rosa Francisco; Donato Maciel; Dutra Tonello Rafael; Aita Artusi Raul	Brasil	BR102016016526A2	15/07/2016	Refere-se, mais especificamente, a um concreto adicionado de mineral composto de resíduos oriundos do beneficiamento da pedra ágata e o respectivo processo de fabricação de concreto contendo dito adição.	Google Patents
VIBRATING SYSTEM FOR CONSTRUCTION CONGLOMERATING MATERIALS	SISTEMA VIBRATÓRIO PARA MATERIAIS CONGLOMERANTES DE CONSTRUÇÃO	Vega Daniel Ferrandez; Fernandez Carlos Moron, Barrios Alberto Moron; Martinez Pablo Saiz	Espanha	ES2736158A1	14/06/2019	Sistema de vibração para materiais de ligação de construção compreendendo: um molde de cofragem configurado para acomodar o material de ligação de construção; meios de deslocamento, configurados para permitir que o molde de cofragem se mova ao longo de uma direção horizontal: e dois dispositivos vibratórios; em que cada um dos dispositivos de vibração está conectado a uma extremidade do molde de cofragem e em que os dois dispositivos de vibração estão deslocados 90 ° um do outro.	Google Patents / Espacenet

Obtaining a bituminous mixture	Obtenção de uma mistura betuminosa	Ignacio Pérez; Ana Rodríguez Pasandin	Espanha	ES2425301A 1	09/04/2012	A presente invenção é um processo para a obtenção de uma mistura betuminosa que compreende a manutenção em estufa da referida mistura a uma temperatura entre 165°C e 180°C durante pelo menos 4 h. O processo a quente compreende uma combinação de agregado natural e agregado reciclado de resíduos de construção e demolição (rcd) do tipo concreto, ligante e pó mineral.	Google Patents / Espacenet
Sintered geopolymer compositions and articles	Composições e artigos de geopolímero sinterizado	Ahmed Redha Saleem Graytee	WIPO	WO20200564 7A1	23/09/2019	A invenção fornece um processo de produção de um artigo de geopolímero sinterizado tendo uma matriz contendo composição de geopolímero sinterizado, o referido processo compreendendo de algumas etapas	Google Patents / Patentscope / Espacenet
Procedure for the use of rejection material of the construction and demolition industry	Procedimento para o uso de material de rejeição da indústria de construção e demolição	María Natividad Antón Iglesias; Julen Miguel Caballero Valdizán	Espanha	ES2657076B 1	29/08/2016	A presente invenção se refere a um processo para reutilizar material da indústria de construção e demolição que compreende uma etapa que seleciona um pó de tamanho inferior a 250 {my} m. O produto (peça) obtido por meio do referido procedimento pode ser utilizado como elemento estrutural, isolante acústico e / ou ornamental.	Google Patents / Espacenet

Alternative hydraulic agglomerant based on calcary and red ceramic wastes	Aglomerante hidráulico alternativo com base em resíduos de cerâmica vermelha e calcária	Barbosa da Silva Rogério; Neves Junior Alex	Brasil	BR102016006 236A2	22/03/2016	Método para a obtenção de aglomerante hidráulico alternativo, semelhante ao cimento portland convencional, produzido a partir de calcário, mas com a troca da argila comum extraída da natureza, por resíduos de cerâmica vermelha calcinada de qualquer natureza.	Google Patents
High-performance concrete made with no natural aggregates and its preparation	Concreto de alto desempenho realizado sem agregados naturais e sua preparação	Diogo André Gomes Pedro; Jorge Manuel Caliço Lopes de Brito; Luís Manuel Faria da Rocha Evangelista	WIPO	WO20170827 47A1	14/11/2016	Concreto de alto desempenho sem qualquer incorporação de agregados naturais. O termo "alto desempenho" baseia-se na quantificação de algumas das propriedades de acordo com a revisão da literatura. Nesse contexto, existem na literatura requisitos de 76-124 MPa e de 33-44 GPa. Esses concretos são produzidos com cimento Portland e cinza volante (ligante), agregados de concreto reciclado (ACR), superplastificantes e possivelmente sílica ativa.	Google Patents / Espacenet
Light aggregated production process recycled wet-blue leather waste incorporated in	Processo de produção de agregado leve reciclado de resíduo de couro wet-blue incorporado em polipropileno e preparo de	Ptrice Monteiro de Aquim; Vanessa Scheffler Silveira; Alexandre Silva de Vargas; Luiz Carlos Robinson	Brasil	BR102019003 043A2	14/02/2019	Refere-se, mais especificamente, ao processo de produção de agregado leve reciclado (alr) produzido a partir de resíduos de couro wet-blue (wb) incorporados em polipropileno (pp) e o preparo de matrizes cimentícias utilizando o alr. A matriz	Google Patents

polypropylene and preparation of light aggregated matrices	matrizes cimentícias com o agregado leve					cimentícia proposta substituí, de forma parcial, o agregado natural miúdo (areia), pelo alr.	
Dry concrete mix	Mistura de concreto seco	Tereza Pavlu; Petr Hájek; Karel Seps; Iva Broukalová; Jan Otýs	República Tcheca	CZ32449U1	23/11/2018	A solução técnica refere-se à mistura de concreto seco com agregado reciclado destinado a diversas aplicações. A mistura de concreto seco consiste em um ligante, que é cimento e cargas, que é agregado de concreto reciclado e aditivo que é gerado como pó na trituração de resíduos de concreto e que pode cumprir parcialmente a função de um ligante	Google Patents / Espacenet
Disalt as a robust primary surfactant for calcium sulfate mixtures containing recycled gypsum		Uwe Gehrig; Fabian Niedermair; Joachim Dengler; Georg Daxenberger	WIPO	WO2019081344A1	18/10/2018	Composição de gesso contendo gesso reciclado e um agente de formação de espuma, o referido agente de formação de espuma compreendendo pelo menos um dissal de ácido alfa-sulfofatty, a um método para a sua produção e a um artigo contendo a composição de gesso de acordo com a invenção.	Google Patents / Patentscope

Method of processing plasterboards	Método de processamento de placas de gesso	Peter Kruspan; Konrad Stemmler; Ludger Dagge; Melanie Langanke	WIPO	WO20191502 51A1	29/01/2019	Método de processamento de placas de gesso ou gesso para recuperar uma fonte de sulfato de cálcio para a produção de um ligante hidráulico, compreende as etapas de trituração de placas de gesso ou uma fração de gesso, de modo a obter partículas de gesso cartonado e, posteriormente, sujeitar as partículas de gesso a um tratamento térmico em uma temperatura elevada para volatilizar e/ou decompor componentes orgânicos presentes nas partículas de gesso cartonado.	Google Patents / Espacenet
Road biding agent	Agente de ligação rodoviária	Jan Valentin; Pavel Tesárek; Jan Suda; Jakub Sedina, George KarráA	República Tcheca	CZ29910U1	05/08/2016	Refere-se a um ligante rodoviário com um lento aumento da resistência inicial e sem a necessidade do uso de quaisquer outros aditivos químicos que afetariam a trabalhabilidade ou o tempo de cura do ligante, ao invés disso é baseado no uso de concreto reciclado e cimento com a possível adição de pó de calcário. Em 2012, a República Tcheca produziu 37% de resíduos do total de resíduos da UE.	Google Patents

System and Method for Processing Concrete	Sistema e método para processamento de concreto	Markus Leer	Estados Unidos	US20130276768A1	17/04/2013	Dispositivo e sistema para processamento de concreto. Certas modalidades podem incluir uma correia transportadora, conjuntos de fresagem, planejamento e modelagem, conjuntos de serração especializados e um conjunto de acabamento. A fresagem ou montagem de moldagem pode ser implementada durante diferentes fases do processo.	Google Patents / Espacenet
Date palm ash based cement compositions	Dados de composições de cimento à base de cinza de palma	Walid Al-Kutti; A. B. M. Saiful Islam; Muhammad Nasir	Estados Unidos	US20190062214	30/08/2017	Composição de concreto ou argamassa incluindo um material aglutinante cimentício que contém cimento Portland e 1-50% em peso de cinza de tamareira em relação ao peso total do material aglutinante cimentício, um agregado grosso, um agregado fino e água, em que o material aglutinante de cimento está presente em 200-500 kg por m ³ da composição de concreto ou argamassa.	Patentscope

Explosively - split fragments obtained by water-vapor explosion of wooden source materials, wooden material containing such fragments as its aggregate, their manufacturing methods and machines	Explosivamente - fragmentos de divisão obtidos por explosão de vapor de água de materiais de origem de madeira, materiais de madeira contendo fragmentos como seu agregado, seus métodos de fabricação e máquinas	Fujii Tsuyoshi	EPO	EP1033212	10/08/1999		Patentscope
Vegetable Oil Based Construction Materials	Materiais de construção à base de óleo vegetal	Forth John Paul; Zoorob Salah	Estados Unidos	US20130160677	08/10/2012	Fornecer uma composição para uso na produção de um elemento de construção, a referida composição compreendendo um óleo vegetal e um agregado graduado com um tamanho de partícula agregado máximo de cerca de 15 mm e / ou uma porosidade agregada superior a 5%.	Patentscope

Construction Materials	Materiais de construção	Forth John Paul	WIPO	WO2010035005	28/09/2009	Fornecer uma composição para uso na produção de um elemento de construção, compreendendo um agregado e um aglutinante de glicerol. Elementos de construção produzidos usando a composição são descritos. É fornecido um elemento estrutural compreendendo glicerol e um agregado. Um método para produzir um elemento de construção, compreendendo a mistura de glicerol com um agregado na presença de um meio aquoso e, em seguida, a cura do referido glicerol dentro da referida mistura. Além disso, o óleo vegetal pode estar incluído na composição.	Patentscope
------------------------	-------------------------	-----------------	------	--------------	------------	---	-------------

