

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

DANIELLI DUÓ

**ESTUDO DA ADERÊNCIA E DA ABSORÇÃO DE ÁGUA EM ARGAMASSAS DE
REVESTIMENTO COM AGREGADOS RECICLADOS DE PET EM SUBSTRATOS
DE BLOCOS CERÂMICOS**

**Alegrete
2017**

DANIELLI DUÓ

ESTUDO DA ADERÊNCIA E DA ABSORÇÃO DE ÁGUA EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO COM AGREGADOS RECICLADOS DE PET EM SUBSTRATOS DE BLOCOS CERÂMICOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Simone Venquiaruto

Coorientador: Aldo Leonel Temp

**Alegrete
2017**

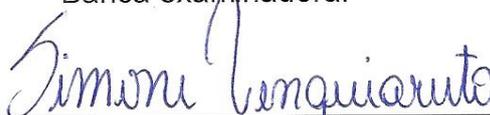
DANIELLI DUÓ

ESTUDO DA ADERÊNCIA E DA ABSORÇÃO DE ÁGUA EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO COM AGREGADOS RECICLADOS DE PET EM SUBSTRATOS DE BLOCOS CERÂMICOS

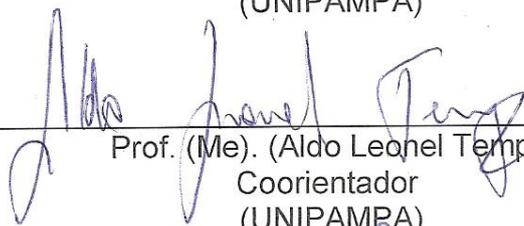
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 30/ 11 /2017.

Banca examinadora:



Prof. (Dra). (Simone D. Venquiaruto)
Orientadora
(UNIPAMPA)



Prof. (Me). (Aldo Leonel Temp)
Coorientador
(UNIPAMPA)



Prof. (Dr). (Ederli Marangon)
(UNIPAMPA)



Prof. (Me). (Marcelo de Jesus Dias de Oliveira)
(UNIPAMPA)

Dedico este trabalho ao apoio incondicional de minha família e amigos, principalmente pelo incentivo durante esta caminhada. Ao meu noivo pelo amor, carinho e dedicação. E por fim, mas não menos importante, a todos aqueles que tornaram possível a realização dessa pesquisa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela proteção ao longo desta jornada.

A minha família, pelo incentivo, paciência, carinho e apoio, mas principalmente por acreditarem no meu potencial.

Agradeço em especial a minha mãe, a qual é meu maior exemplo de determinação, tenho certeza que não teria alcançado meus objetivos sem a base e educação que me deste.

Ao meu noivo João Inácio, ao estímulo, amor e incentivo em todos os momentos que precisei, sem teu apoio não teria conseguido enfrentar todas as adversidades que surgiram em meu caminho.

As minhas amigas Lisiani e Rosiéli, pela amizade e ensinamentos, passamos por muitos momentos durante a graduação e juntas aprendi enfrentar muitos obstáculos.

Aos demais amigos e colegas, agradeço pelo companheirismo, estudos, conversas e apoio nos momentos que precisei.

Aos meus orientadores Prof^a. Dr. Simone Dornelles Venquiaruto e Prof. Me. Aldo Leonel Temp, agradeço pelos ensinamentos, orientação e todo auxílio dado para a realização desta pesquisa. A ajuda de ambos foi de extrema importância, agradeço por serem inspirações e exemplos de profissionais.

Ao Eng. Me. Marcelo e a Raquel, pelas orientações, palavras de estímulo, assistência e apoio no decorrer dos ensaios, sou muito grata pela ajuda de ambos.

Enfim, gostaria de expressar meu imenso agradecimento a todos aqueles que estiveram ao meu lado ao longo de minha trajetória acadêmica, a minha família, amigos e professores, todos aqueles que de alguma forma contribuíram para meu crescimento pessoal e profissional, meus mais sinceros muito obrigada!

“Falta de tempo é desculpa daqueles que
perdem tempo por falta de métodos”.

Albert Einstein

RESUMO

O presente trabalho, foi dividido em duas grandes etapas, a primeira correlacionada ao estudo das argamassas com substituição parcial de agregado miúdo natural por agregado reciclado de PET nas porcentagens de 5%, 15% e 30% em volume; e a segunda etapa ligada ao estudo da aderência dessas argamassas quando aplicadas em substratos de blocos cerâmicos. Durante a primeira etapa foram realizados os ensaios de absorção por capilaridade, resistência à tração e resistência à compressão axial, podendo constatar que: a absorção por capilaridade nas argamassas apresentaram uma diminuição considerável conforme o aumento de agregado reciclado de PET na matriz da argamassa. Já a análise de resistência à tração na flexão, bem como a resistência à compressão axial, apresentou melhora na capacidade de resistência aos esforços, ou seja, conforme o aumento de PET na mistura ocorreu o aumento de resistência do material. Para a segunda etapa do estudo, os diferentes traços estudados foram aplicados sobre um substrato de blocos cerâmicos, com a presença da camada de chapisco. Após a idade de cura do revestimento, de 28 dias, fez-se a realização do ensaio de resistência à tração do revestimento, o que permitiu através dos resultados médios obtidos nos ensaios de arrancamento, constatar que ambas argamassas atenderam os critérios normativos da NBR 13 749 (ABNT, 2013), apresentando um aumento de resistência nos traços de 15% e 30% de PET em relação aos demais. Com isso, foi possível comprovar a eficiência da utilização de agregados reciclados de PET em substituição parcial ao agregado natural sobre as matrizes das diferentes argamassas avaliadas, uma vez que a utilização dos diferentes teores de agregado reciclado de PET demonstrou ganhos satisfatórios nas propriedades das argamassas se comparada ao traço de referência estudado.

Palavras-Chave: agregado reciclado de PET, resistência à tração na flexão e compressão axial, aderência à tração do revestimento.

ABSTRACT

The present work was divided in two main stages, the first one correlated to the study of the mortars with partial replacement of natural small aggregate by recycled aggregate of PET in the percentages of 5%, 15% and 30% in volume; and the second step related to the study of adhesion of these mortars when applied to substrates of ceramic blocks. During the first stage, the capillary absorption, tensile strength and axial compression strength tests were performed. The absorption by capillarity in the mortars showed a considerable decrease as the increase of recycled PET aggregate in the mortar matrix. On the other hand, the analysis of tensile strength in flexion, as well as the axial compression strength, showed an improvement in the tensile strength, that is, as the increase of PET in the mixture occurred, the increase in strength of the material occurred. For the second stage of the study, the different traits studied were applied on a substrate of ceramic blocks, with the presence of the layer of chapisco. After the curing age of the coating, 28 days, the tensile strength test of the coating was carried out, which allowed, through the average results obtained in the pull-out tests, to verify that both mortars met the normative criteria of NBR 13 749 (ABNT, 2013), showing an increase of resistance in traces of 15% and 30% of PET in relation to the others. Thus, it was possible to prove the efficiency of the use of recycled aggregates of PET in partial substitution to the natural aggregate on the matrices of the different mortars evaluated, since the use of the different contents of recycled PET aggregate showed satisfactory gains in the properties of the mortars compared to the reference.

Keywords: recycled PET aggregate, flexural tensile strength and axial compression, adhesion to shear traction.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1- Sistema tradicional de revestimento argamassado | 21 |
| Figura 2- Tijolos cerâmicos | 22 |
| Figura 3- Blocos cerâmicos | 23 |
| Figura 4- Blocos de concreto..... | 24 |
| Figura 5- Alternativas de revestimentos para paredes | 26 |
| Figura 6 - Formas típicas de rupturas ocorridas em ensaio de aderência à tração...34 | |
| Figura 7- Representação de um meio poroso | 37 |
| Figura 8 - Fluxo de umidade ascendente em paredes de alvenaria | 39 |
| Figura 9 - Modos de ocorrência do fenômeno de condensação..... | 40 |
| Figura 10 - Representação do fenômeno de Capilaridade | 41 |
| Figura 11 - Porcentagem de material reciclado no Brasil | 47 |
| Figura 12 - Unidade estrutural de repetição do PET | 50 |
| Figura 13 - Fluxograma do programa experimental – Etapa I | 52 |
| Figura 14 - Bloco cerâmico estrutural utilizado na confecção das alvenaria | 53 |
| Figura 15 - Agregados miúdos destinados a produção das argamassas. | 56 |
| Figura 16 - Conjunto de peneiras para caracterização dos agregados miúdos..... | 57 |
| Figura 17 - Etapas de execução da produção das argamassas..... | 67 |
| Figura 18 - Preparação dos corpos-de-prova prismático..... | 68 |
| Figura 19 - Etapas de execução do índice de consistência das argamassas | 69 |
| Figura 20 - Etapas do ensaio de densidade de massa e teor de ar incorporado | 71 |
| Figura 21 - Etapas da execução do ensaio de absorção por capilaridade | 74 |
| Figura 22 - Prensa e dispositivo de carga utilizado para a realização do ensaio de resistência à tração na flexão..... | 75 |
| Figura 23 - Prensa e dispositivo de carga utilizado para a realização do ensaio de resistência à compressão axial | 76 |
| Figura 24 - Fluxograma do programa experimental – Etapa II | 77 |
| Figura 25 - Etapas de execução da alvenaria e revestimento | 78 |
| Figura 26 - Etapas de execução do ensaio de resistência a tração do revestimento | 80 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1- Espessuras admissíveis para revestimentos em argamassa | 28 |
| Tabela 2 - Limites mínimos de resistência de aderência ensaio à tração | 33 |
| Tabela 3 - Cimento Portland e respectivas porcentagens de adições..... | 43 |
| Tabela 4 - Tempo de decomposição de alguns materiais | 47 |
| Tabela 5 - Medições de m_s , m_u e AA do bloco cerâmico..... | 54 |
| Tabela 6 - Exigências físico-químicas e mecânicas do cimento Portland CPIV 32 ... | 54 |
| Tabela 7 – Composição granulométrica das amostras de agregado miúdo natural .. | 58 |
| Tabela 8 - Massa específica unitária e massa específica agregado miúdo natural... | 59 |
| Tabela 9 - Composição granulométrica das amostras de agregado reciclado de PET | 59 |
| Tabela 10 - Resultados obtidos de massa específica unitária e massa específica de três amostras de agregado reciclado de PET. | 61 |
| Tabela 11 – Composição Agregado Natural e substituição de 5% de PET | 62 |
| Tabela 12 – Composição Agregado Natural e substituição de 15% de PET | 63 |
| Tabela 13 – Composição Agregado Natural e substituição de 30% de PET | 64 |
| Tabela 14 - Traço em volume para argamassa dosagem 1:4 em volume | 67 |
| Tabela 15 - Índices de consistência das dosagens pesquisadas | 70 |
| Tabela 16 – Dados correspondente da Absorção por capilaridade da argamassa ... | 81 |
| Tabela 17 – Análise do Ensaio a Tração do Revestimento – Traço Referência..... | 85 |
| Tabela 18 - Análise do Ensaio a Tração do Revestimento – Traço 5% de PET..... | 88 |
| Tabela 19 - Análise do Ensaio a Tração do Revestimento – Traço 15% de PET..... | 89 |
| Tabela 20 - Análise do Ensaio a Tração do Revestimento – Traço 30% de PET..... | 92 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|--|----|
| Gráfico 1- Curva granulométrica do agregado miúdo natural..... | 58 |
| Gráfico 2 - Curva granulométrica do agregado reciclado de PET | 60 |
| Gráfico 3 – Composição granulométrica – Agregado Natural e 5% de PET | 62 |
| Gráfico 4 – Composição granulométrica – Agregado Natural e 15% de PET | 64 |
| Gráfico 5 – Composição granulométrica – Agregado Natural e 30% de PET | 65 |
| Gráfico 6 - Densidade de massa das amostras estudadas | 71 |
| Gráfico 7 – Teor de ar incorporado nas amostras estudadas..... | 72 |
| Gráfico 8 – Coeficiente de Capilaridade das amostras estudadas | 82 |
| Gráfico 9 – Tração na Flexão das amostras estudadas | 83 |
| Gráfico 10 – Compressão Axial das amostras estudadas | 84 |
| Gráfico 11 – Porcentagem e Análise da Forma de Ruptura – Traço Referência..... | 87 |
| Gráfico 12 – Porcentagem e Análise da Forma de Ruptura – Traço 5% de PET | 89 |
| Gráfico 13 – Porcentagem e Análise da Forma de Ruptura – Traço 15% de PET | 91 |
| Gráfico 14 - Porcentagem e Análise da Forma de Ruptura – Traço 30% de PET..... | 93 |
| Gráfico 15 – Tensão Média de Aderência à Tração do Revestimento e Índice de Vazios dos respectivos traços analisados | 94 |
| Gráfico 16 – Correlação entre os índices físicos – Absorção e índice de Vazios..... | 95 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1 - Características das argamassas de revestimento | 27 |
| Quadro 2 - Classificação dos Resíduos Sólidos NBR 10.004 (ABNT, 2004) | 46 |
| Quadro 3 - Nomenclaturas para a classificação do tipo de ruptura ocorrida no ensaio de resistência à tração do revestimento | 85 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA – Índice de Absorção de Água
ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland
ABIPET – Associação Brasileira da Indústria do PET
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
CP – Cimento Portland
CP I – Cimento Portland Comum
CP II – Cimento Portland Composto
CP III – Cimento Portland de Alto-forno
CP IV – Cimento Portland Pozolânico
DMT – Dimetil Tereftalato
EG – Etileno Glicol
IPEA – Instituto de Pesquisa de Estatística Aplicada
 M_s – Massa seca
 M_u – Massa úmida
NBR – Norma Brasileira Regulamentadora
PC – Policarbonato
PE – Polietileno
PET – Poli Etileno Tereftalato
PMMA – Poli Metilmetacrilato
PMS – Portaria do Ministério da Saúde
PP – Polipropileno
PS – Poliestireno
PTA – Ácido Tereftálico Purificado
PVC – Poli Cloreto de Vinila
RDM – Monocamada/Monocapa
 T_g – Temperatura de Transição Vítrea
 T_f – Temperatura de Fusão

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 17 |
| 1.1 | Contextualização do Tema e Problema de Pesquisa | 17 |
| 1.2 | Objetivos | 18 |
| 1.2.1 | Objetivo geral | 18 |
| 1.2.2 | Objetivos específicos | 19 |
| 1.3 | Justificativa | 19 |
| 1.4 | Estrutura da Pesquisa | 20 |
| 2 | REVISÃO DE LITERATURA | 21 |
| 2.1 | Estrutura Geral dos Revestimentos | 21 |
| 2.1.1 | Substrato | 22 |
| 2.1.2 | Tijolos | 22 |
| 2.1.3 | Blocos cerâmicos | 23 |
| 2.1.4 | Blocos de concreto | 24 |
| 2.2 | Propriedades da Argamassa | 28 |
| 2.2.1 | Propriedades da argamassa no estado fresco | 28 |
| 2.2.1.1 | Trabalhabilidade | 29 |
| 2.2.1.2 | Coesão | 29 |
| 2.2.1.3 | Adesão inicial | 30 |
| 2.2.1.4 | Retenção de água | 31 |
| 2.2.2 | Propriedades da argamassa no estado endurecido | 31 |
| 2.2.2.1 | Aderência | 31 |
| 2.2.2.2 | Resistência mecânica | 35 |
| 2.2.2.3 | Capacidade de absorver deformações | 35 |
| 2.2.2.4 | Durabilidade | 36 |
| 2.3 | Mecanismo de Transferência de Umidade entre os Materiais | 37 |
| 2.3.1 | Processo de Higroscopicidade | 38 |
| 2.3.2 | Processo de Condensação | 39 |
| 2.3.3 | Processo de Capilaridade | 40 |
| 2.4 | Materiais que Compõem as Argamassas de Revestimento | 42 |
| 2.4.1 | Cimento | 42 |
| 2.4.2 | Cal | 43 |
| 2.4.3 | Agregados | 44 |

| | |
|---|----|
| 2.4.4 Água | 45 |
| 2.5 Sustentabilidade Ambiental | 45 |
| 2.6 Polímeros | 48 |
| 2.6.1 Poli tereftalato de etileno (PET)..... | 49 |
| 2.6.2 Utilização da PET como Novo Insumo para a Construção Civil..... | 50 |
| 3 METODOLOGIA | 52 |
| 3.1 Programa Experimental | 52 |
| 3.1.1.1 Materiais e Métodos | 53 |
| 3.1.1.2 Alvenaria de blocos cerâmicos | 53 |
| 3.1.1.3 Ensaio de índice de absorção de água..... | 53 |
| 3.1.1.4 Cimento Portland..... | 54 |
| 3.1.1.5 Cal Hidratada | 55 |
| 3.1.1.6 Agregados miúdos | 55 |
| 3.1.1.6.1 Caracterização dos agregados miúdos | 56 |
| 3.1.1.6.2 Caracterização do agregado miúdo natural | 57 |
| 3.1.1.6.3 Caracterização do agregado reciclado de PET | 59 |
| 3.1.1.6.4 Caracterização da Composição Agregado Natural e Reciclado de PET | 61 |
| 3.1.1.7 Água | 65 |
| 3.1.1.8 Argamassa convencional | 66 |
| 3.1.1.9 Argamassa com substituição parcial de PET | 66 |
| 3.1.1.10 Caracterização das argamassas | 66 |
| 3.1.1.11 Dosagem das argamassas convencional e modificada..... | 66 |
| 3.1.1.11.1 Ensaio do índice de consistência | 68 |
| 3.1.1.11.2 Ensaio de densidade de massa e teor de ar incorporado..... | 70 |
| 3.1.1.11.3 Ensaio de absorção por capilaridade | 73 |
| 3.1.1.11.4 Ensaio de tração na flexão | 75 |
| 3.1.1.11.5 Ensaio de resistência à compressão axial | 75 |
| 2.1.2 Programa experimental – Etapa II | 76 |
| 3.2.1.1 Confeção da parede de blocos cerâmicos | 77 |
| 3.2.1.2 Ensaio de resistência à tração do revestimento..... | 79 |

| | |
|---|------------|
| 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS | 81 |
| 4.1 Absorção por Capilaridade de Água..... | 81 |
| 4.2 Resistência à Tração na Flexão | 82 |
| 4.3 Resistência à Compressão Axial | 83 |
| 4.4 Resistência a Tração do Revestimento | 85 |
| 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 96 |
| SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS | 97 |
| REFERÊNCIAS..... | 98 |
| ANEXOS..... | 103 |

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização do Tema e Problema de Pesquisa

O setor da construção civil passou por um elevado crescimento nas últimas décadas. Conforme a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2013) durante os anos de 2005 a 2012 o consumo de cimento Portland no país obteve um aumento considerável de 80%, sendo que no ano de 2006 o concreto apresentou um gasto de 7,2 % e em 2011 passou para 8,7 % em relação aos demais materiais utilizados por tal segmento.

De acordo com Pietrobelli (2010) a construção civil gera um consumo de 15 a 50% dos recursos naturais. A maior parte desses materiais são provenientes do processo de extração, o qual gera um grande impacto sobre o meio ambiente, por muitas vezes elevando o custo do insumo ocasionado pela falta do produto no mercado (CORÓ, 2002).

Segundo estudos de Valverde (2001) o consumo interno de areia apresenta-se dividido em duas grandes faixas de aplicação, onde cerca de 50% vêm sendo utilizado pelo setor de produção de concretos pré-fabricados, e os demais 50% utilizados pelo setor de produção de argamassas. Nota-se, devido a esse contexto, que a areia está passando por períodos de escassez em grandes centros urbanos. E esse fator ocorre exatamente pelo forte consumo das matérias primas nestas regiões, declara Pietrobelli (2010).

Por consequência, surge a necessidade de verificar novas técnicas e produtos que possibilitem o crescimento de forma econômica e sustentável, sem que as etapas dentro do processo construtivo, agridam de forma significativa o meio ambiente. Isso torna-se possível, através da utilização de resíduos reciclados como novo insumo na construção civil (CORÓ, 2002).

Segundo Correa (2015) o maior consumidor de resina polimérica é o setor alimentício, onde o polímero poli etileno tereftalato (PET) é amplamente utilizado no armazenamento de bebidas. As principais vantagens deste material pós-consumo estão relacionadas ao processo de reciclagem total e ao custo reduzido do produto (PIETROBELLI, 2010).

Entretanto para Canellas (2005), a prática de reciclagem da PET no Brasil, para o setor alimentício, apresenta-se de forma insuficiente em muitas cidades, pois o

material não passa por processos de reciclagem adequados, o que causa um grande problema ambiental devido ao descarte indevido desses produtos. Outra questão correlacionada é o reaproveitamento desse material pelo próprio setor alimentício, o que algumas vezes não é aplicável, devido à má armazenagem das embalagens, bem como a contaminação do produto pós consumo.

Conforme Coró (2002), o Brasil apresenta o PET como um dos materiais com maior índice de reciclagem, no entanto sua aplicação é pouco conhecida quanto ao desempenho nas propriedades de argamassas de revestimento.

De acordo com a Associação Empresarial Dedicada à Promoção de Reciclagem e Gestão Integrada do Lixo (CEMPRE, 2015), atualmente apenas 13% dos resíduos urbanos são reciclados, mas o potencial para reciclagem é muito maior.

Com base nesse contexto, torna-se evidente a necessidade de pesquisas que repense a reutilização do polímero poli etileno tereftalato (PET) pós-consumo. Dessa forma, propõem-se reutilizar o PET na produção de argamassas convencionais, buscando verificar a eficiência de sua aplicação na elaboração de novos materiais, contemplando a sustentabilidade ambiental.

O presente trabalho tem por intuito explorar os métodos de ensaio que avaliem o comportamento das propriedades mecânicas de argamassas de revestimento através da substituição parcial do agregado miúdo natural pelo agregado reciclado de PET, sendo as substituições em volume aplicadas de 5%, 15% e 30%.

1.2 Objetivos

Os objetivos geral e específicos desta pesquisa são apresentados na sequência, nos itens. 1.2.1 e 1.2.2, respectivamente.

1.2.1 Objetivo geral

Verificar a viabilidade da utilização do agregado reciclado de PET em substituição parcial ao agregado miúdo convencional em argamassas de revestimento.

1.2.2 Objetivos específicos

Os demais objetivos que norteiam esta pesquisa são:

- Avaliar o comportamento das argamassas com relação à absorção de água por capilaridade.
- Avaliar o desempenho mecânico das argamassas, convencional e composta por agregado reciclado de PET, através da análise de resistência à compressão axial e tração na flexão.
- Verificar o desempenho das argamassas com relação à aderência à tração, aos 28 dias, atendendo os requisitos da norma ABNT NBR 13.528 (2010), através da análise com aplicação de chapisco.
- Avaliar a eficiência mecânica do revestimento composto por agregado reciclado de PET, com relação ao revestimento convencional.

1.3 Justificativa

Nos últimos anos, houve um grande crescimento no setor da construção civil. Juntamente a isto, verificou-se a evolução de tecnologias e desenvolvimento de materiais. Dentre o destaque, pode-se citar a utilização de materiais reciclados, os quais trazem inúmeros benefícios econômicos e ambientais, pois os mesmos minimizam a extração de recursos naturais e a poluição sobre o meio ambiente.

De acordo com Associação Empresarial Dedicada à Promoção de Reciclagem e Gestão Integrada do Lixo (CEMPRE, 2015) atualmente apenas 13% dos resíduos urbanos são reciclados, mas o potencial para reciclagem é muito maior. Além de proporcionar o uso racional dos aspectos econômicos, a reciclagem economiza recursos naturais, como a água, o uso racional de energia e propicia a diminuição da emissão de gases do efeito estufa.

A utilização da areia de PET na produção de argamassas e concretos, pode trazer alguns benefícios, principalmente de ordem econômica e ambiental. O benefício econômico do uso da areia de PET justifica-se por ser um material de baixo custo, uma vez que é um material reciclado. Já em termos ambientais destaca-se a utilização do PET nas argamassas, pois o mesmo reduziria o consumo final de areia, minimizando conseqüentemente o impacto ambiental gerado pela etapa de extração

da mesma. Ainda referente ao contexto ambiental, com relação a reciclagem da garrafa PET, a utilização desta como novo produto, diminuiria o impacto ambiental gerado pelo descarte indevido deste sobre o meio ambiente, já que seu tempo de decomposição é elevado e o mesmo geraria grande poluição sobre o ecossistema. Com base neste contexto, o estudo do comportamento físico e mecânico de argamassas com materiais alternativos (areia de PET) justificam a relevância dessa pesquisa.

1.4 Estrutura da Pesquisa

O presente trabalho está dividido em cinco tópicos. O primeiro capítulo apresenta uma breve introdução sobre o problema levantado, os objetivos gerais e específicos e a justificativa, a qual a pesquisa tem como alicerce. O segundo capítulo apresenta a fundamentação teórica e aborda os conceitos gerais envolvidos ao longo do estudo.

No terceiro capítulo, serão descritos os procedimentos metodológicos, desde os materiais que foram utilizados no decorrer da investigação, até os procedimentos experimentais, os quais foram efetuados ao longo da análise.

O quarto capítulo, apresenta os resultados obtidos através da realização dos ensaios experimentais. Já o quinto capítulo apresenta todas as considerações e análises acerca dos resultados obtidos neste estudo.

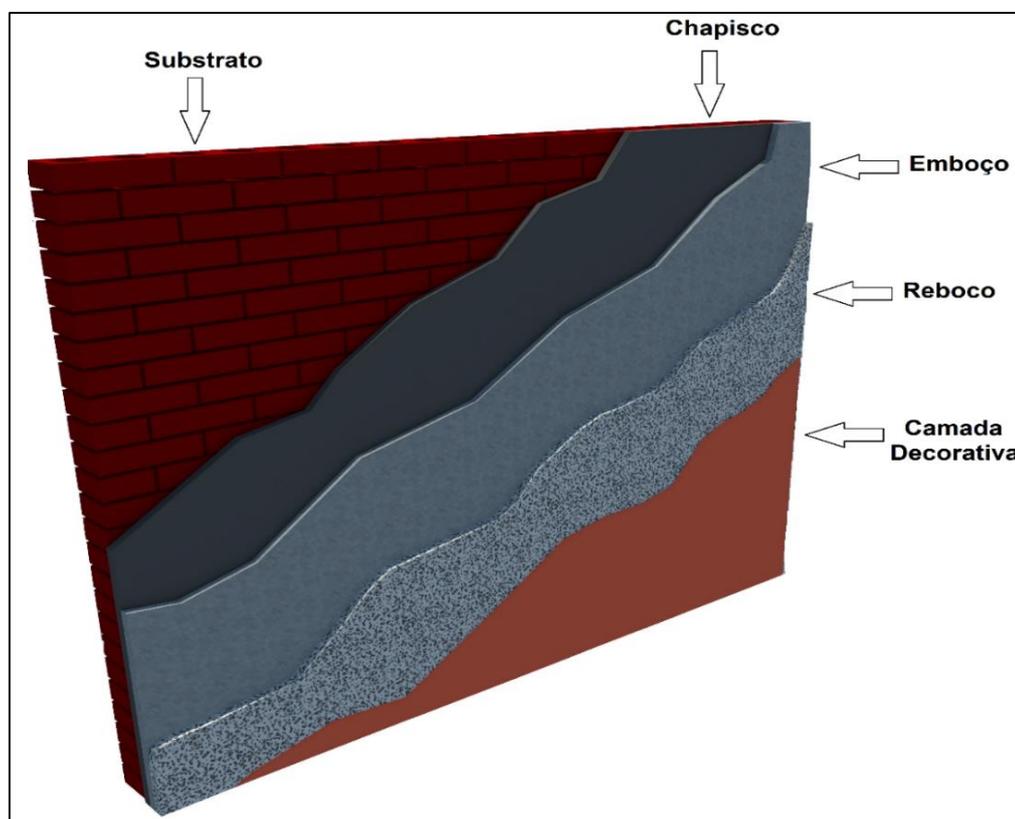
Além desses tópicos, os quais foram descritos, o presente trabalho apresenta as propostas a serem consideradas para a realização de trabalhos futuros ligados a esta temática.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Estrutura Geral dos Revestimentos

O revestimento argamassado, como pode ser observado na Figura 1, segundo a NBR 13755 (ABNT, 1996) constitui-se de diferentes camadas, onde cada uma delas apresentam características e funções específicas, em geral a estrutura de suporte é constituída pelas alvenarias, camadas sucessivas de argamassas e revestimento final.

Figura 1- Sistema tradicional de revestimento argamassado



Fonte: Adaptado de Bauer (1994)

Como pode ser observado acima e destacado por Carasek (2007), o sistema tradicional de revestimento argamassado é o constituído pelas camadas de substrato, chapisco, emboço, reboco e por fim o componente decorativo.

2.1.1 Substrato

Substrato é a base para a colocação das demais camadas de revestimento (SANTOS, 2008). Segundo Cortez (1999) e Santos (2008) os diferentes substratos podem ser diferenciados através de características do material de composição, funcionalidade (estrutural ou de vedação), porosidade, capacidade de absorção de água, aspecto (rígido e deformável) e característica da textura superficial (lisa ou nervurada).

Os principais substratos utilizados são: tijolos, blocos cerâmicos e blocos de concreto. Para a NBR 7200 (ABNT, 1998) as bases de revestimentos necessitam cumprir exigências de planicidade, prumo e nivelamento.

2.1.2 Tijolos

O tijolo cerâmico (Figura 2), segundo Pereira (2014), apresenta diferentes formas de acabamento, podendo apresentar face lisa ou ranhurada. A primeira é utilizada em paredes mais espessas, ideal para aplicação de gesso bem como arquitetura aparente. Já a segunda é aplicada em estruturas mais leves, sendo indicado para obras em que o acabamento utilizado é o revestimento tradicional.

Figura 2- Tijolos cerâmicos



Fonte: Adaptado Temp (2014)

Entre os modelos de tijolos cerâmicos mais utilizados destacam-se os tijolos maciços, os tijolos laminados maciços e os tijolos vazados (CORTEZ, 1999).

2.1.3 Blocos cerâmicos

Os blocos cerâmicos (Figura 3) são componentes construtivos muito utilizados na alvenaria de vedação, estrutural ou portante, segundo a NBR 15270-1 (ABNT, 2005a) o bloco cerâmico de vedação é considerado um elemento da alvenaria que possui orifícios prismáticos perpendiculares às faces dominantes.

Já a NBR 15270-2 (ABNT, 2005b) ressalta que os blocos cerâmicos destinados a paredes de vedação de alvenarias externas ou internas não possuem a funcionalidade de suportar outras cargas verticais, sendo assim, resiste apenas o peso próprio da alvenaria da qual integra.

Figura 3- Blocos cerâmicos



Fonte: Adaptado Temp (2014)

As principais características que necessitam ser cumpridas pelos blocos cerâmicos de vedação são descritas pela norma NBR 15270-1 (ABNT, 2005a) e reforçadas por Thomaz et al (2009). Os blocos devem apresentar qualidades visuais, não apresentando quebras, superfícies irregulares ou deformações. Devem possuir formato de prisma reto e cumprir os limites prescritos pela NBR 15 270-1 (ABNT,

2005a). Também devem atender o índice de absorção de água (AA), dentro dos limites de $8\% \leq AA \leq 22\%$.

2.1.4 Blocos de concreto

Os blocos de concreto (Figura 4) estão divididos em dois subgrupos: blocos de concreto para a alvenaria estrutural e blocos de concreto para as alvenarias de vedação. O primeiro serve como a estrutura principal da obra, dispensando a utilização de vigas e pilares. O segundo suporta apenas o seu peso próprio, necessitando de elementos construtivos para atenderem as solicitações da edificação (ARAÚJO NETO,2006).

Segundo Tauil e Nese (2010) os blocos de concreto podem ser classificados em quatro classes, sendo elas:

- Classe A - apresenta função estrutural, sendo utilizado em elementos de alvenaria acima ou abaixo do nível do solo;
- Classe B - apresenta função estrutural, sendo utilizado em elementos de alvenaria acima do nível do solo;
- Classe C - apresenta função estrutural, sendo utilizado em elementos de alvenaria acima do nível do solo;
- Classe D – não apresenta função estrutural, sendo utilizado em elementos de alvenaria acima do nível do solo.

Figura 4- Blocos de concreto



Fonte: Tauil e Nesse (2010)

A ABNT NBR 6136 (2014) estabelece os requisitos gerais e específicos para a fabricação dos blocos de concreto tanto ligados a alvenaria estrutural quanto a alvenaria de vedação. Segundo Ferreira (2010) o bloco de concreto apresenta maior rugosidade superficial do que os demais blocos, o que proporciona um aumento na área de contato com a argamassa, melhorando conseqüentemente características como a penetração da pasta aglomerante no interior do bloco, cooperando para o aumento da resistência de aderência do elemento.

2.1.5 Revestimentos argamassados

A argamassa é um dos materiais mais utilizados na construção civil, seus principais usos estão relacionados ao assentamento de alvenarias, revestimento de paredes e tetos, regularização de pisos e contra pisos (CARASEK, 2007).

De acordo com Bauer (2005) os materiais que constituem a mistura homogênea das argamassas são um ou mais aglomerantes inorgânicos, agregados miúdos, água e em casos opcionais os aditivos e adições minerais. Já para Petrucci (2007) a argamassa se caracteriza pela mistura da pasta junto ao agregado miúdo, sendo a pasta a mistura de aglomerante e água.

A argamassa de revestimento segundo Carasek (2007) são aquelas empregadas para revestir elementos construtivos como paredes, muros e tetos; e por fim recebem a pintura, pastilhas cerâmicas, laminados, entre outros, como forma de acabamento.

Para a ABNT NBR 13529 (1995) o sistema de revestimento é o conjunto de elementos compostos por revestimento argamassado e acabamento, sendo este ajustado à composição da base, forma de exposição (interno ou externo), tipo de acabamento e desempenho de projeto.

Conforme apresentado por Maciel et al. (1998) as principais características de um revestimento argamassado aplicado sobre paredes é a proteção dos elementos de vedação quando submetidos a ações de agentes agressivos, outros aspectos que prescrevem a funcionalidade deste material, diz respeito ao sistema de vedação dos edifícios, bem como o papel de regularização de pequenas imperfeições da superfície.

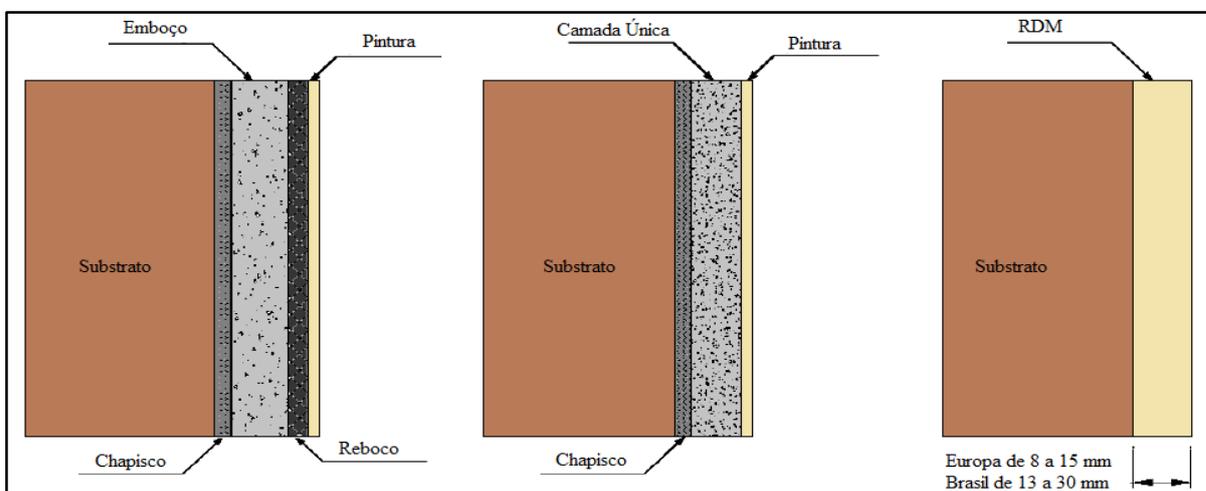
Tais conceitos ganham força através das definições conferidas por Carasek (2007, p. 32), a qual apresenta como principais funções de revestimentos argamassados as seguintes atribuições:

- a) Proteger a alvenaria e a estrutura contra a ação do intemperismo, no caso de revestimentos externos;
- b) Integrar o sistema de vedação dos edifícios, contribuindo com diversas funções, tais como: isolamento térmico (~30%), isolamento acústico (~50%), estanqueidade à água (~70 a 100%), segurança ao fogo e resistência ao desgastes e abalos superficiais;
- c) Regularizar a superfície dos elementos de vedação e servir como base para acabamentos decorativos, contribuindo para a estética da edificação.

Uma atitude muito decorrente na construção civil, no entanto de forma errônea, está ligada a dissimulação de imperfeições grosseiras da base através do revestimento argamassado. Maciel et al. (1998) ressalta que a correção inadequada de superfícies, o conhecido esconder na massa, compromete consideravelmente as reais funções do revestimento.

Existem cinco tipos de argamassas relacionadas ao revestimento de paredes e tetos, entre elas: de chapisco, emboço, reboco, camada única e revestimento decorativo monocamada (RDM), afirma Carasek (2007). Estas são melhor identificadas pela Figura 5, que destaca as camadas e os diferentes sistemas de revestimentos tradicionalmente mais empregados pela construção civil.

Figura 5- Alternativas de revestimentos para paredes



Fonte: Adaptado de Carasek (2007)

Primeiramente pode-se observar através da Figura 5 que o revestimento convencional composto pelas camadas de substrato-chapisco-emboço-reboco-pintura, posteriormente a representação da composição de substrato-chapisco-camada única -pintura bem como do substrato-monocamada (RDM). Cada uma destas argamassas apresentam uma forma adequada de aplicação e conseqüentemente apresenta uma dada funcionalidade como pode ser observado no Quadro 1.

Quadro 1 - Características das argamassas de revestimento

| Tipo | Característica |
|------------------------------------|--|
| Argamassa de chapisco | Camada de preparo da base, aplicada de forma contínua ou descontínua, com finalidade de uniformizar a superfície quanto à absorção e melhorar a aderência do revestimento. |
| Argamassa de emboço | Camada de revestimento executada para cobrir e regularizar a base, propiciando uma superfície que permita receber outra camada, de reboco ou de revestimento decorativo, como exemplo cerâmica. |
| Argamassa de reboco | Camada de revestimento utilizada para o cobrimento do emboço, propiciando uma superfície que permita receber o revestimento decorativo ou que se constitua no acabamento final. |
| Camada única | Revestimento de um único tipo de argamassa aplicado à base, sobre o qual é aplicada uma camada decorativa, a exemplo da pintura. Também é popularmente chamado como "massa única" ou "reboco paulista", uma das alternativas mais empregadas pela construção civil no Brasil. |
| Revestimento decorativo monocamada | Revestimento aplicado em uma única camada, o qual efetua de forma simultânea a regularização e a decoração da estrutura. Produto industrializado, não apresenta normas específicas no Brasil, apresenta composição variável de acordo com o fabricante, mas em geral possui: cimento branco, cal hidratada, agregados de diferentes naturezas, pigmentos inorgânicos, fungicidas e aditivos. |

Fonte: Carasek, (2007)

Os revestimentos abordados, fazem parte de um sistema de camadas, as quais apresentam diferentes espessuras de execução, conforme a NBR 13.749 (2013), descritos na Tabela 1.

Tabela 1- Espessuras admissíveis para revestimentos em argamassa

| Revestimento | Espessura (mm) |
|----------------|---------------------|
| Parede Interna | $5 \leq e \leq 20$ |
| Parede Externa | $20 \leq e \leq 30$ |
| Tetos | $e \leq 20$ |

Fonte: ABNT NBR 13.749 (2013)

A aplicação da argamassa sobre a superfície do substrato, de acordo com a ABCP (2004?), deve ocorrer através da projeção do material de forma enérgica, podendo esta dar-se de maneira manual ou mecânica, desde que não exceda aos 30 mm de espessura para o caso de paredes externas. Para revestimentos que apresentem espessuras superiores a 30 mm, a execução deve ocorrer em etapas. Onde para camadas entre 30 mm e 50 mm deve-se efetuar a aplicação em duas camadas, já para casos de espessuras entre 50 mm e 80 mm aplicar em três camadas, havendo a necessidade de empregar tela metálica.

2.2 Propriedades da Argamassa

As argamassas são materiais de extrema utilização na construção civil, as mesmas apresentam uma diversidade de propriedades, as quais lhe conferem características diferenciadas entre o estado fresco e endurecido.

2.2.1 Propriedades da argamassa no estado fresco

Estado fresco conforme considerado por Pereira (2014), compreende o estado em que o material se encontra com aspecto pastoso, particularidade apresentada logo após a dosagem do produto. Dentre as principais conveniências dentro deste estado do material, pode-se destacar: trabalhabilidade, coesão, adesão inicial e retenção de água, propriedades às quais são descritas nos próximos itens.

2.2.1.1 Trabalhabilidade

A trabalhabilidade das argamassas estão diretamente relacionadas com a coesão, consistência, plasticidade, viscosidade, adesividade e massa específica. Esta é considerada uma das propriedades mais relevantes durante o estado fresco, isto ocorre devido à relação direta com a aderência do revestimento.

Trabalhabilidade compreende uma importante característica das argamassas. Diz respeito a facilidade de manusear o produto pelos operários que efetuam a aplicação da argamassa, afirma Lourenci (2003).

Para Carasek (2007) esta propriedade está relacionada com a facilidade com que as argamassas podem ser misturadas, transportadas, aplicadas, consolidadas bem como acabadas, o que torna sua composição final homogênea.

A trabalhabilidade é uma característica resultante de diversas propriedades, o que a torna complexa, dentre as quais sobressaem a consistência, plasticidade, retenção de água, exsudação, densidade de massa e adesão inicial (SANTOS, 2008).

De acordo com Maciel et al. (1998) uma argamassa considera-se trabalhável quando sua penetração ocorre facilmente ao ser lançada através de uma colher de pedreiro sem que ela esteja fluida, a mesma deve manter-se coesa durante o transporte sem aderir a colher ao ser feito o lançamento, apresentar distribuição e preenchimento de modo satisfatório e não apresentar secagem acelerada após a aplicação.

Além destes aspectos, caso a argamassa não possua trabalhabilidade adequada, não garantindo sua aplicação de forma coerente, ocorrerá danos diretamente relacionados ao desempenho do revestimento, pois diversas propriedades serão prejudicadas durante o estado endurecido (CARASEK, 2007).

2.2.1.2 Coesão

A coesão refere-se as forças físicas de atração existentes em partículas sólidas da argamassa durante o estado fresco e as ligações químicas decorrentes da pasta aglomerante, afirma Lourenci (2003).

Silva (2010) destaca que as condições de coesão interna nas argamassas relaciona-se a influência da cal sobre as propriedades de consistência e

trabalhabilidade do material, isto ocorre devido a diminuição de tensão superficial sobre a pasta aglomerante e da adesão ao agregado.

2.2.1.3 Adesão inicial

A adesão inicial da argamassa está diretamente associada a outras propriedades do estado fresco, Carasek (2007) denomina a adesão inicial como sendo a “pegajosidade”, ou seja, a capacidade que a argamassa possui de aderir de forma inicial sobre a base.

Já para Santos (2008) tal característica diz respeito a capacidade que a argamassa demonstra sobre a superfície da base, a qual desenvolve uma ancoragem devido a penetração da pasta sobre os poros, reentrâncias e saliências seguidos da cura da pasta.

Segundo Maciel et al. (1998, p. 4) existem diversos fatores externos que influenciam no desempenho final desta propriedade, entre eles destacam-se:

“Propriedade relacionada ao fenômeno mecânico que ocorre em superfícies porosas, pela ancoragem da argamassa na base, através da entrada da pasta nos poros, reentrâncias e saliências, seguindo do endurecimento progressivo da pasta.

A aderência inicial depende das outras propriedades da argamassa no estado fresco; das características da base de aplicação, como a porosidade, rugosidade, condições de limpeza; da superfície de contato efetivo entre a argamassa e a base.

Para se obter uma adequada aderência inicial, a argamassa deve apresentar a trabalhabilidade e retenção de água adequadas à sucção da base e às condições de exposição. Deve, também, ser comprimida após a sua aplicação, para promover o maior contato com a base. Além disso, a base deve estar limpa, com rugosidade adequada e sem oleosidade.

Caso essas condições não sejam atendidas, pode haver problemas com a aderência, como a perda de aderência em função da entrada rápida da pasta nos poros da base, por exemplo. Isso acontece devido a sucção da base ser maior que a retenção de água da argamassa, causando a descontinuidade da camada de argamassa sobre a base”.

Esta propriedade está diretamente relacionada com as características reológicas da pasta aglomerante, afirma Carasek (2007), especificamente a sua tensão superficial. Onde a redução da tensão de forma superficial propicia o umedecimento do substrato, esse fenômeno possibilita um maior contato físico da pasta com os grãos dos agregados e bem como com sua base, aumentando por consequência a melhora na adesão final do conjunto.

2.2.1.4 Retenção de água

A retenção de água descreve a capacidade que a argamassa possui de reter a água de amassamento contra a sucção da base ou, também, contra a evaporação do conjunto. Onde a retenção propicia que as reações de endurecimento da argamassa se disponibilizem de forma mais gradativa, promovendo a hidratação do cimento de forma satisfatória e por consequência leva ao ganho de resistência (MACIEL et al., 1998).

Lourenci (2003) aponta a retenção de água como sendo a aptidão de uma argamassa hidráulica no estado fresco de acumular a água de amassadura, quando exposta à sucção do suporte, possibilitando o seu endurecimento normal.

A determinação da retenção de água pode ser avaliada pelo método da norma NBR 13277 (ABNT, 2005). Quando o elemento sofre a perda rápida de água, acaba comprometendo a capacidade de aderência, bem como a capacidade do elemento absorver as deformações, agindo diretamente na resistência mecânica, comprometendo a durabilidade, estanqueidade e vedação do revestimento, elementos como a cal tendem a melhorar essa propriedade das argamassas, afirma Pereira (2014).

2.2.2 Propriedades da argamassa no estado endurecido

A argamassa, enquadra-se no estado endurecido, no instante em que atinge propriedades de rigidez e consistência, após certo intervalo de tempo, afirma Pereira (2014). Certas propriedades são de extrema relevância para a otimização do desempenho de revestimentos, onde as principais delas são: aderência, resistência mecânica, capacidade de absorver tensões e durabilidade.

2.2.2.1 Aderência

A aderência é considerada um fator de elevada importância para o desempenho da argamassa, sendo ela fundamental entre as características do estado endurecido. Sem a mesma o revestimento não irá atender as principais funções do revestimento argamassado. Esta propriedade para Lourenci (2003) caracteriza-se pelo comportamento futuro do conjunto de suporte-argamassa e depende das

características de trabalhabilidade do material bem como da interação da porosidade e rugosidade do suporte onde a argamassa será aplicada.

Maciel et al. (1998) afirmam que a aderência é uma das características que o revestimento possui de manter-se fixado sobre o substrato, isto ocorre por meio da resistência às tensões normais e tangenciais que surgem na interface base-revestimento. A aderência, conforme Carasek (2007), compreende o conjunto de propriedades existentes entre a ligação substrato-argamassa. Elementos diretamente relacionados a esta composição são: resistência de aderência à tração, resistência de aderência ao cisalhamento e extensão de aderência.

Recena (2008) ressalta que a capacidade que a argamassa de revestimento possui de manter-se aderida ao substrato é a característica mais relevantes deste material, pois auxilia em casos de deslocamentos devidos a choques térmicos, impactos e demais solicitações da edificação. A aderência está relacionada a propriedades da argamassa no estado fresco, assim como os procedimentos de execução, natureza, características da base e limpeza superficial (SANTOS, 2008).

Carasek (2007) ressalta que esta propriedade apresentada pela argamassa endurecida sobre o substrato é um fenômeno mecânico essencial, pois dá-se pela penetração da pasta aglomerante ou da própria argamassa sobre os poros ou entre as rugosidades da base. A argamassa, durante o estado plástico, entra em contato com o substrato, onde parte da água de amassamento é absorvida através dos poros e cavidades do material. O interior dos poros possibilita a ocorrência do fenômeno de precipitação do cimento e da cal, os quais funcionam como produtos durante a hidratação, decorrido algum tempo, os precipitados intercapilares desempenham ação de ancoragem da argamassa sobre a base.

A ABNT NBR 13.528 (2010) indica as etapas a serem seguidas para a determinação adequada da resistência de aderência à tração de revestimentos argamassados de paredes (internas e externas) e tetos. Já os valores mínimos que devem ser atendidos (Tabela 2), são preestabelecidos pela ABNT NBR 13.749 (2013).

Tabela 2 - Limites mínimos de resistência de aderência ensaio à tração

| Local de Aplicação | Acabamento | Resistência de Aderência à Tração (MPa) |
|--------------------|-----------------------------|---|
| Parede Interna | Pintura ou base para reboco | $\geq 0,20$ |
| | Cerâmica ou laminados | $\geq 0,30$ |
| Parede Externa | Pintura ou base para reboco | $\geq 0,30$ |
| | Cerâmica ou laminados | $\geq 0,30$ |
| Teto | - | $\geq 0,20$ |

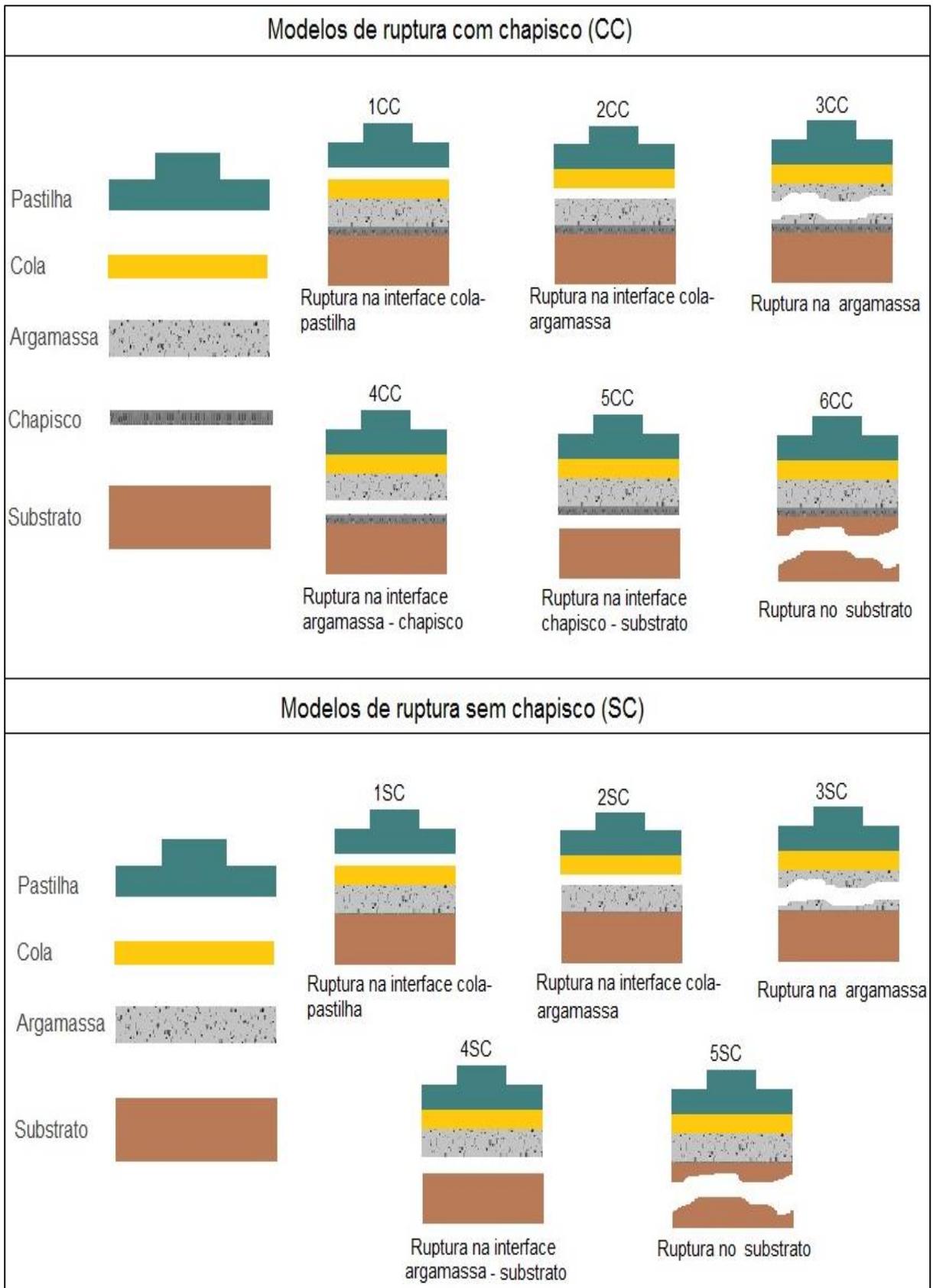
Fonte: NBR 13.749 (2013)

De acordo com Rosa (2014), dependendo da forma de ruptura apresentada pelo corpo de prova, pode advertir se a falha ou imperfeição foi gerada durante o processo construtivo. Em casos de diferentes formas de ruptura em uma mesma amostra deve-se observar a quantidade de área pertencentes a cada um dos contornos de ruptura.

Para Temp (2014) a análise sob os ensaios de aderência à tração deve ser efetuada de forma sensata, mantendo cautela em relação aos tipos de ruptura que por ventura venham a ocorrer no sistema de revestimentos argamassados. Para o mesmo, destacam-se duas formas de ruptura a coesiva e a adesiva; a primeira ocorre no interior da argamassa ou substrato, já a segunda na interface das camadas.

Algumas das formas possíveis de ocorrer a ruptura durante o ensaio de resistência a aderência em relação ao esforço de tração, são despostas na Figura 6.

Figura 6 - Formas típicas de rupturas ocorridas em ensaio de aderência à tração



Fonte: Adaptado Carasek (2007)

2.2.2.2 Resistência mecânica

A resistência mecânica é usualmente definida como a propriedade das argamassas de suportarem as ações de diferentes naturezas, a exemplo, as oriundas da abrasão superficial, do impacto e de movimentação higroscópica e/ou estrutural, onde a resistência à tração na flexão e à compressão axial são determinadas pela ABNT NBR 13279 (2005). Para Lourenci (2003) a característica está relacionada a capacidade da argamassa resistir a tensões de tração, compressão ou corte, sendo influenciada pelo endurecimento da argamassa.

De acordo com Carasek (2007), a resistência mecânica diz respeito à propriedade dos revestimentos de possuírem um estado de consolidação interna capaz de suportar esforços mecânicos das mais diversas origens e que se traduzem, em geral, por tensões simultâneas de tração, compressão e cisalhamento.

Segundo Pereira (2014), a resistência que atenda as solicitações deve ser verificada ainda na fase de projeto, antes que seja efetuada a execução dos elementos, pois dependendo dos esforços a que o material será submetido serão necessárias o uso de resistências mais elevadas.

Fatores que estão diretamente relacionados com os níveis de resistência, o qual o elemento deve atingir são apontados por Maciel et al. (1998) como sendo dependentes do consumo e natureza dos agregados e aglomerantes utilizados na mistura, outros fatores que influenciam são as técnicas de execução, conforme afirma o autor, a resistência mecânica aumenta consideravelmente com a redução da proporção agregado na argamassa variando de forma inversa com relação à água/cimento do material.

Destaca-se ainda que um dos principais prejuízos associados ao revestimento trata-se da baixa resistência superficial, a qual emite através da pulverulência, o que prejudica a fixação das camadas de acabamento final do conjunto (CARASEK, 2007).

2.2.2.3 Capacidade de absorver deformações

Maciel et al. (1998) afirmam que esta propriedade, pertencente ao revestimento, ocorre quando o mesmo é exposto a pequenas tensões, isto ocorre devido a capacidade de suporte por parte do revestimento sem que o mesmo

apresente rupturas ou deformações que leve ao comprometimento da estrutura, aderência, estanqueidade e durabilidade.

A capacidade de absorver deformações depende de fatores os quais são atribuídos por Santos (2008) entre eles destacam-se:

- Módulo de deformação da argamassa: quanto menor sua intensidade menor será o teor de cimento e por consequência maior a capacidade de absorver deformações.
- Espessura das camadas: espessuras maiores auxiliam na melhora dessa propriedade, entretanto, devem-se tomar cuidado para que não ocorra o uso de espessuras excessivas pois as mesmas poderão comprometer a aderência.
- Juntas de trabalho do revestimento: as juntas delimitam planos com dimensões menores, combinadas com as deformações, ajudando para a obtenção de um revestimento sem fissuras prejudiciais.
- Técnica de execução: a compressão após a aplicação da argamassa bem como, a compressão durante o acabamento superficial, quando iniciado no momento adequado, contribui para o não surgimento de fissuras.

Segundo Carasek (2007) as deformações podem apresentar-se com pequena ou grande intensidade, sendo o revestimento o responsável por absorver as pequenas deformações, a exemplo das variações de umidade e temperatura, e não responsável por absorver tensões de grande amplitude, a exemplo de recalques estruturais ou ação de esforços excessivos.

2.2.2.4 Durabilidade

É a propriedade que a argamassa possui de resistir ao ataque de elementos e agentes agressivos, sustentando suas características físicas e mecânicas de forma inalteradas com o decorrer do tempo e utilização. Alguns fatores prejudicam a durabilidade dos revestimentos, tais como: fissuração, espessura excessiva, cultura e proliferação de micro-organismos, qualidade das argamassas e a falta de manutenção (SANTOS, 2008; PEREIRA, 2014).

De acordo com Maciel et al. (1998), durabilidade é uma propriedade relacionada ao tempo de uso do revestimento no estado endurecido e reflete

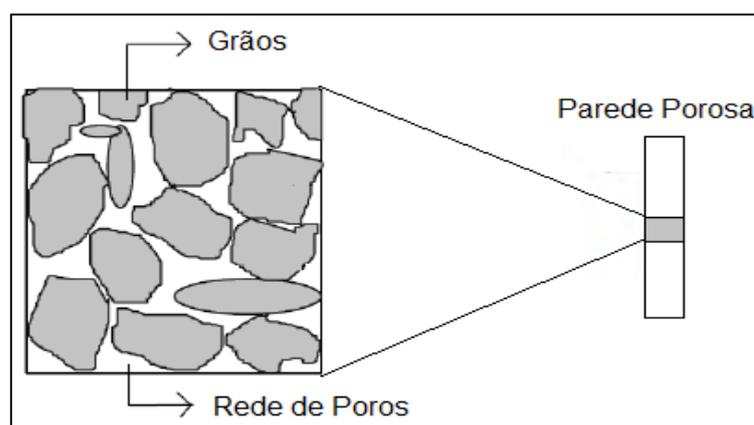
diretamente no desempenho do revestimento frente às ações do meio externo com o passar dos anos. Já para Lourenci (2003) trata-se da resistência da argamassa as condições químicas, mecânicas e climáticas, que se mantêm ao longo da vida útil do material.

2.3 Mecanismo de Transferência de Umidade entre os Materiais

A maneira que um material poroso varia a intensidade de umidade, estando ela diretamente ligada à variação da umidade relativa do ar, denomina o processo de absorção. Para Freitas, Torres e Guimarães (2008), a umidade ocasionada sobre as construções é proveniente de vários fatores, entre os principais fenômenos estão a higroscopicidade, condensação e capilaridade.

Segundo Temp (2014) a umidade pode ser um dos principais problemas de degradação de estruturas, principalmente quando a umidade se apresenta de forma exagerada, ou em limites inadequados. Os materiais porosos (Figura 7) estão presentes em diferentes elementos das construções entre eles nos tijolos, nas argamassas e nos concretos.

Figura 7- Representação de um meio poroso



Fonte: Adaptado de Temp (2014)

Rato (2006) destaca que os materiais porosos cumprem certos requisitos como: apresentar espaços intersticiais dentro dos elementos, os quais não estarão completados por material sólido. Em geral estes espaços são preenchidos por fluidos como o ar, a água e o vapor de água; o material deve ser permeável, possibilitando o

deslocamento de diferentes fluidos, adquirindo a característica principal dos materiais porosos permeáveis.

Existem duas descrições de porosidade a aberta e a fechada. Santos (2006) considera que a porosidade aberta é aquela que constitui poros que se comunicam entre si, ligando a ocorrência de um sistema contínuo de vazios. Já a porosidade fechada é constituída de poros e/ou aglomeração de poros, dispersos e isolados no interior do elemento (RATO, 2006).

A maioria dos materiais aplicados sobre as edificações apresentam porosidade aberta, o que possibilita aos materiais a fixação de umidade na forma líquida ou gasosa atuando sobre as redes de porosidade, o que leva a alteração das características físicas do elemento (SANTOS, 2006).

2.3.1 Processo de Higroscopicidade

Grande parte dos materiais utilizados pela construção civil, apresentam um comportamento hidrófilo, possuindo a tendência de atrair as partículas de água, as quais se arranjam ao longo da superfície dos materiais (CORREIA, 2013).

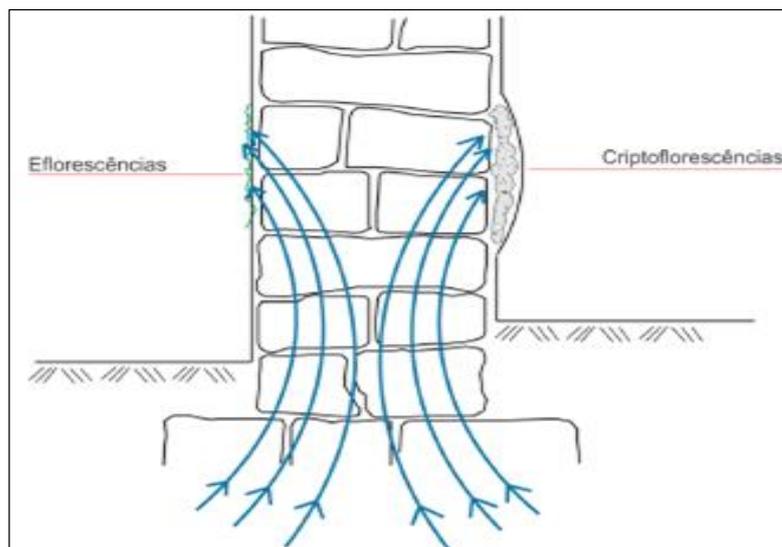
Conforme estudado por Lima (2013) a higroscopicidade é definida através da capacidade apresentada pelos materiais de absorver e eliminar o vapor da água, normalmente ocasionado pela variação do ambiente.

A região de higroscopicidade geralmente ocorre quando a umidade relativa se apresenta entre 0% e 95%, sendo esta zona limitada pelo teor de água crítica dos materiais, afirma Correia (2013).

Os materiais como argamassas e concretos, apresentam em sua composição sais solúveis em água. A ocorrência destes sais em paredes geralmente não apresenta nenhum risco, no entanto, caso ocorra a presença de umidade junto ao material, os sais podem ser transportados para a superfície juntamente com a água, gerando o processo de cristalização.

Para Henriques (2005) a cristalização pode ocorrer de duas formas sobre os elementos construtivos, sendo elas: a eflorescência e a criptoflorescência (Figura 8). Leal (2009) destaca que ambas são ocasionadas pela exsudação desses sais minerais, gerando uma aparência do revestimento ou da alvenaria de cor esbranquiçada e com elevações da superfície, modificando conseqüentemente o aspecto do material.

Figura 8 - Fluxo de umidade ascendente em paredes de alvenaria



Fonte: Temp (2014)

A maioria dos sais existentes nos materiais absorvem e liberam a umidade, cada sal apresenta uma temperatura que leva a umidade de equilíbrio, geralmente ela se encontra situada de 65% a 75%. Sendo assim, quando o ambiente apresenta parâmetros acima destes citados ocorre o processo de dissolução gerado pela evaporação da água junto aos sais; já quando a umidade está inferior ao padrão de equilíbrio a água evapora e o sal torna ao processo de cristalização (PIRES, 2013).

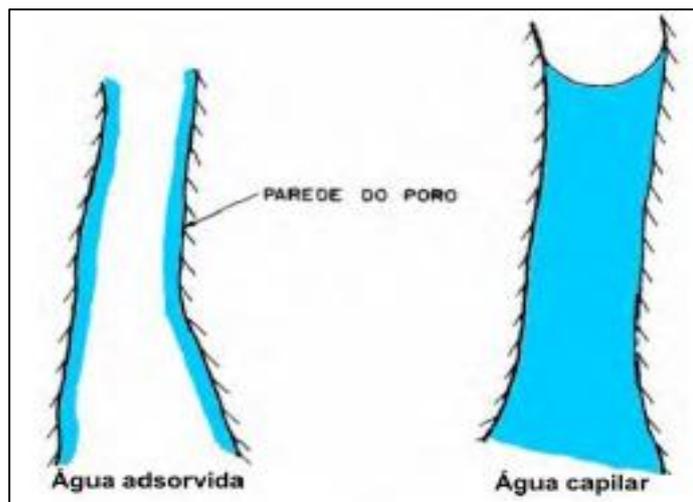
Henriques (2007) e Cabaça (2002) destacam que os principais sais associados aos fenômenos de degradação citados são: sulfatos, carbonatos, cloretos, nitritos e nitratos.

2.3.2 Processo de Condensação

Quando a pressão parcial do vapor de água atravessa a parede através do processo de difusão ocorre a igualdade entre a pressão de saturação e a temperatura no ponto, a este processo ocasionado no interior das paredes define-se o fenômeno de condensação (HENRIQUES, 2007).

A condensação, de acordo com Correia (2013), ocorre devido a união entre camadas de zonas opostas (Figura 9), gerando a formação de meniscos. O mesmo ressalta que o efeito produzido pela condensação é diretamente proporcional ao valor de umidade relativa, sendo assim quando maior for o teor desta umidade maior será o efeito causado por este fenômeno.

Figura 9 - Modos de ocorrência do fenômeno de condensação



Fonte: Temp (2014)

A condensação é decorrente de uma variação entre a temperatura superficial das paredes que atinge valores inferiores aos da temperatura do ar ambiente, o que ocasiona o aumento da umidade relativa sobre a camada que está em contato com a superfície do conjunto.

Segundo Henriques (2007) existem algumas ações que podem inibir ou evitar a ocorrência deste fenômeno, a exemplo: o controle sobre as condições de ocupação, as quais dependem diretamente da produção de vapor das construções; análise das aberturas e ventilação dos espaços; controle da temperatura nos ambientes da edificação, no que diz respeito aos locais internos e a verificação do aumento na temperatura superficial do conjunto construtivo, o qual é determinado pelo correto isolamento térmico das paredes quando em contato com espaços mais arejados.

2.3.3 Processo de Capilaridade

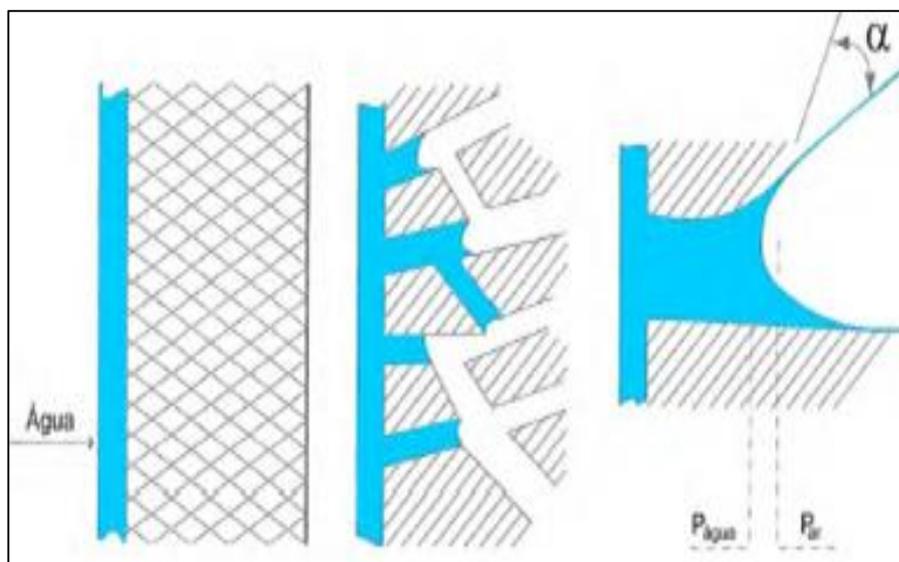
A ação gerada pelo fenômeno de capilaridade nos líquidos, ocorrem devido a tendência que estes fluidos possuem de ascender sobre as paredes de tubos capilares, consequência que se deve as tensões superficiais atuantes no material. Conforme Cabaça (2002, p. 6) a capilaridade pode ser descrita como:

“A capilaridade é um fenômeno que é posto bem em evidência quando se mergulha um tubo fino de vidro- designado por tubo capilar – num recipiente com água. Verifica-se que o nível da água sobe imediatamente no interior do tubo, destacando-se o nível da água do recipiente. Esta evidência mostra que deve existir necessariamente uma

força que, nas condições da experiência, se instala e produz o efeito observado. Esta força toma o nome de força capilar e a sua ação designa-se por capilaridade”.

Segundo Temp (2014) para que o fenômeno de capilaridade ocorra é necessário que a interação entre as moléculas do fluido, ou seja o líquido, ocorra com maior relevância do que a interação delas com a superfície sólida (grãos), fazendo com que ocorra a formação de redes junto a superfície oposta (Figura 10).

Figura 10 - Representação do fenômeno de Capilaridade



Fonte: Temp (2014)

A pressão capilar ocorre em função da temperatura e da umidade, já que a tensão superficial que ocorre no material apresenta variação de temperatura, e as inclinações dos raios de curvatura estão diretamente ligadas ao teor de umidade do elemento (FREITAS; TORRES e GUIMARÃES, 2008).

Em estudos de argamassas, o fenômeno de capilaridade apresenta uma grande relevância devido a ocorrência de penetração de umidade em revestimentos, que independente da origem apresenta como fase inicial a ação da capilaridade, seja sua atuação de forma isolada ou em conjunto com outras atuações (RATO, 2006).

2.4 Materiais que Compõem as Argamassas de Revestimento

2.4.1 Cimento

Cimento Portland é caracterizado pelo Boletim Técnico BT-106 (ABCP, 2002) como sendo um pó fino que apresenta propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, o qual sob a ação da água sofre o processo de endurecimento; e após endurecido não se descompõem caso submetido novamente a ação da água.

Para Metha e Monteiro (1994) os constituintes fundamentais do cimento Portland são a cal (CaO), a sílica (SiO₂), a alumina (Al₂O₃), o óxido de ferro (Fe₂O₃), certa grandeza de magnésia (MgO) e uma pequena quantidade de anidrido sulfúrico (SO₃), o mesmo é adicionado após o processo de calcinação gerando o efeito de retardamento do tempo de pega do produto.

Segundo Bauer (2000) a cal, sílica, alumina e óxido de ferro constituem praticamente 95% a 96% do total de óxidos presentes no cimento Portland. A magnésia apresenta-se na ordem de 2% a 3%, onde o máximo especificado para tal componente é de 6,4%. Os óxidos de menor proporção compreendem uma quantidade inferior a 1%, porém em casos excepcionais podem chegar até 2%.

O cimento Portland é o mais aplicado na produção de revestimentos argamassados no Brasil. Existem uma diversidade de modelos de cimento disponíveis no mercado da construção civil e também normalizados perante as recomendações da ABNT.

O primeiro cimento Portland lançado no mercado brasileiro foi o conhecido CP, correspondendo atualmente ao CP I, um tipo de cimento Portland comum, sem obter adições a não ser o gesso utilizado como retardador de pega. Atualmente os cimentos Portland compostos são os mais encontrados no mercado, correspondendo a aproximadamente 75% da produção industrial brasileira, ABCP (2002). Sendo eles:

- CP II-cimento Portland composto;
- CP III-cimento Portland de alto-forno;
- CP IV-cimento Portland pozolânico;
- CP V ARI - cimento Portland de Alta Resistência Inicial.

Os cimentos Portland descritos acima, apresentam várias subdivisões, isto se deve as diferentes composições geradas pelo uso de adições de alguns materiais (Tabela 3), a exemplo da escória, pozolana (argila) e filer.

Tabela 3 - Cimento Portland e respectivas porcentagens de adições

| Tipo de Cimento Portland | | Tipo de Adição | Porcentagem da Adição (%) |
|--------------------------|---|----------------|---------------------------|
| Classificação | Nomenclatura | | |
| CP II – E | Cimento Portland Composto com Escória | Escória | 6 a 34 |
| CP II – Z | Cimento Portland Composto com Pozolana | Argila | 6 a 14 |
| CP II – F | Cimento Portland Composto com Fíler | Calcário | 6 a 10 |
| CP III | Cimento Portland de Alto-forno | Escória | 35 a 70 |
| CP IV | Cimento Portland Pozolânico | Argila | 15 a 50 |
| CP V ARI | Cimento Portland Alta Resistência Inicial | Calcário | Até 5% |

Fonte: Elaboração própria

Em relação aos cuidados de armazenamento do material, recomenda-se que o local não apresente riscos para a ocorrência de hidratação do cimento. A embalagem do produto, por não garantir a impermeabilização necessária deve ser armazenada em local bem coberto e fechado, elevado em relação ao solo para que não ocorra a possibilidade de absorver umidade (BAUER, 2000). Para a produção de argamassas os cimentos mais utilizados são CP IV e CP II- Z.

2.4.2 Cal

Na construção civil a cal é aplicada principalmente no formato de cal hidratada, sendo um componente fundamental no preparo de argamassas de assentamento bem como de revestimento, pois auxilia na durabilidade e desempenho do material.

A cal é a nomenclatura convencional utilizada para um aglomerante simples, constituído pela calcinação de rochas calcárias. Paiva et al. (2007) destaca que a qualidade de uma cal está ligada ao processo de fabricação deste material, estando vinculada desde o controle de qualidade do minério até a forma de hidratação aplicada sobre o elemento.

Segundo a ABNT NBR 7.175 (2003) a cal hidratada caracteriza-se como um pó obtido pela hidratação da cal virgem, desenvolvido pela mistura de hidróxido de cálcio

e hidróxido de magnésio; também pode ser proveniente de uma mistura de hidróxido de cálcio, hidróxido de magnésio e óxido de magnésio.

Muitos estudos confirmam que de acordo com o aumento de hidróxido de magnésio sob a composição da cal em relação ao hidróxido de cálcio, ocorre o aumento em relação a aderência das argamassas, afirma Carasek (2007).

Para Bauer (2000) a cal hidratada oferece vantagens sobre a cal virgem, entre elas destacam-se a facilidade de manuseio, transporte e armazenamento. Onde seu produto pode ser imediatamente utilizado sem ser necessária a etapa de extinção e envelhecimento. Por apresentar-se como um material seco e pulverulento, possui maior aplicabilidade em misturas de argamassas se relacionada a pasta resultante da cal virgem.

2.4.3 Agregados

O agregado denomina-se como um material particulado, o qual faz parte da composição das argamassas bem como dos concretos. É considerado coesivos e com atividade química nula, sem forma ou volume definidos, apresenta uma grande variedade de dimensões e propriedades, as quais são adaptadas a diversas obras de Engenharia (BAUER, 2005).

Conforme descrito por Corrêa (2015), os agregados apresentam duas classificações, de acordo com sua origem, sendo ela natural ou artificial. Os agregados naturais são obtidos através de extrações de matéria prima em jazidas naturais ou retirados pelo método de dragagem dos leitos dos rios. Já os agregados artificiais são obtidos através de procedimentos gerados dentro de indústrias, a exemplo da britagem de rochas.

A ABNT NBR 7211 (1983), classifica como agregado miúdo, as areias de origem natural, artificial ou mistura de ambas, cujas dimensões passem pela peneira de 4,8 mm e fique retida na malha da peneira 0,075 mm.

A composição granulométrica do agregado gera influência sobre as propriedades das argamassas e concretos. Em geral quando a granulometria do agregado se apresenta de forma contínua, ou seja, de maneira bem graduada apresenta maior trabalhabilidade e diminui o consumo de cimento; em casos de distribuição granulométrica descontínua, ocorre aumento da resistência do material;

já quando a distribuição do material é uniforme interfere de forma direta no aumento de consumo de água.

Segundo a ABCP (2004?), a maneira correta de estocar este material, dá-se através do armazenamento em baias, onde os pisos devem ser preferencialmente cimentados e individualizados, evitando o contato entre outros materiais, minimizando a possibilidade de contaminação do material. Esta ação gera a proteção dos agregados frente as intempéries, permitindo um controle mais elevado sobre a umidade.

2.4.4 Água

A água utilizada na preparação de argamassas é conhecida como água de amassamento, a mesma deve estar livre de impurezas para que não tenha a possibilidade de ocorrer reações junto ao cimento. Em geral toda água potável considera-se apropriada para utilização durante a dosagem.

Para a PMS Resolução nº 518 (2004) a água potável é definida como a água para consumo humano, a qual cumpre os parâmetros microbiológicos, físicos, químicos e radioativos seguindo o padrão de potabilidade de modo a não oferecer riscos à saúde.

Segundo Itambé (2016) o emprego de água não potável pode influenciar no comportamento e propriedades dos concretos e argamassas, as consequências mais relevantes estão relacionadas a diminuição da resistência, alteração do tempo de pega, acontecimento da eflorescência, aparecimento de manchas e a possível corrosão de armaduras.

2.5 Sustentabilidade Ambiental

Sustentabilidade significa a possibilidade de obter condições iguais ou superiores de vida para um grupo de pessoas e seus sucessores em dado ecossistema (CAVALCANTI, 2003).

Já para o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2010) a sustentabilidade ambiental refere-se à capacidade de suporte, resiliência bem como resistência dos ecossistemas. O mesmo destaca que esta forma de sustentabilidade

deve ser caracterizada como uma nova oportunidade de desenvolvimento, o qual interliga aspectos econômicos, social e ambiental.

O avanço industrial aliado com o elevado crescimento populacional, gerou a produção descontrolada de resíduos sólidos. Minimizar a quantidade de resíduos industriais e domésticos, bem como encontrar novas soluções que sejam não prejudiciais ao meio ambiente, tornou-se indispensável.

Segundo a ABNT NBR 10.004 (2004) os resíduos sólidos são aqueles que:

“Resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções, técnica e economicamente, inviáveis em face à melhor tecnologia disponível” (ABNT, 2004, p.1).

A Lei Federal 12.305 apresenta os principais conceitos, objetivos e instrumentos da Política Nacional de Resíduos Sólidos. A mesma institui as diretrizes de gestão integrada e as etapas para a elaboração do gerenciamento de resíduos sólidos, determina e atribui às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis, incluindo os materiais perigosos.

A classificação segundo a periculosidade é normatizada pela NBR 10.004 (2004) como descrito no Quadro 2.

Quadro 2 - Classificação dos Resíduos Sólidos NBR 10.004 (ABNT, 2004)

| Classificação | Nomenclatura |
|---------------|-------------------------------|
| I | Perigosos |
| II | Não Perigosos |
| IIA | Não Perigosos e Não Inerentes |
| IIB | Não Perigosos e Inerentes |

Segundo Brasil (2010) a destinação correta do resíduo depende diretamente de sua classificação de periculosidade, para que não haja danos ao meio ambiente e a saúde do ser humano.

Muitos materiais são descartados de forma indevida no meio ambiente, gerando um grande impacto ambiental, pois a maioria destes materiais apresentam um tempo de decomposição elevado (Tabela 4). Medidas como o processo de

reciclagem, bem como novas empregabilidades tornando estes materiais novamente matéria-prima, torna-se uma das soluções viáveis para tal problemática.

Tabela 4 - Tempo de decomposição de alguns materiais

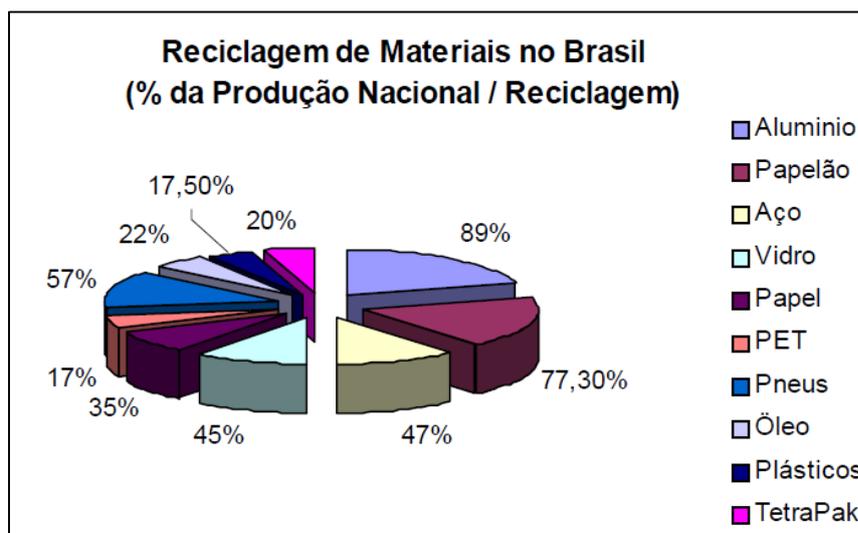
| Material | Quantidade (Kg) | Estimativa de tempo de decomposição |
|-----------|-----------------|-------------------------------------|
| Alumínio | 1000 | 100-500 anos |
| Papel | 1000 | 1 a 3 meses |
| Polímeros | 1000 | 200-450 anos |
| Vidro | 1000 | 400 anos |

Fonte: Adaptado de Espíndola (2004)

De acordo com Paes (2011) a execução de trabalhos com responsabilidade ambiental deve ser realizada através de ações que contribuam para o mundo mais sustentável, independente se esse serviço é realizado por pessoas ou empresas.

Muitas destas ações podem ganhar força através da reciclagem adequada dos materiais, atualmente no Brasil diversos materiais começaram a ser reciclados, entre eles destacam-se: alumínio, papelão, aço, vidro, papel, PET, pneus, entre outros como pode ser observado pela Figura 11.

Figura 11 - Porcentagem de material reciclado no Brasil



Fonte: Cempre (2016)

Segundo Espíndola (2004) durante o processo de reciclagem de materiais consegue-se evitar certos impactos sobre a natureza, o mesmo destaca a reciclagem

de 1.000 Kg de certos materiais a exemplo: o papel que pode evitar o corte de até 20 árvores, os polímeros que evitam a extração de milhares de litros de petróleo, o alumínio podendo evitar a extração de até 5.000 Kg de minério e o vidro que evita até 1.300 Kg de areia extraída.

Mano e Mendes (1998) salientam que existem diversos motivos para reciclar os plásticos, destacando-se: a conservação de energia, o aumento das possibilidades de gerenciar os rejeitos, a redução dos custos referente ao descarte e também a conservação dos recursos naturais.

Brasileiro e Matos (2015) destacam a necessidade do desenvolvimento de forma sustentável, onde a produção em larga escala utilize a menor quantidade de bens naturais e menor poluição possível. Sendo assim, o desenvolvimento deve tornar-se cada vez mais consciente, de modo a gerar o menor impacto possível sobre o meio ambiente.

2.6 Polímeros

Para os químicos os polímeros são materiais constituídos por substâncias orgânicas sintéticas, as quais podem ser modificadas através da aplicação de calor e pressão. Em geral estes materiais são macromoléculas constituídas por diversas unidades de repetição, os conhecidos meros. Estes possuem longas cadeias, estrutura químicas e interação intramolecular e intermolecular (MANO; MENDES, 1998).

A classificação dos polímeros pode ser de diferentes formas, na qual depende do sua aplicação. As mais usuais são: a partir da estrutura química, do método de preparação, das características tecnológicas e do comportamento mecânico (GORNÍ 2003).

De acordo com Mano e Mendes (1998), as características químicas apresentadas pelos polímeros determinam suas propriedades e aplicabilidade. Dentre as propriedades ocorre uma variação conforme a estrutura constituinte do monômeros, os quais são os grupos funcionais, cadeias carbônicas, estado físico, entre outras. Para a obtenção de um produto com as propriedades físicas, químicas e mecânicas almejadas, deve-se levar em consideração componentes como: temperatura de transição vítrea (T_g) e temperatura de fusão (T_f).

Segundo suas características tecnológicas os polímeros podem ser classificados em termoplásticos e termorrígidos (GORN, 2003), como segue:

- Polímeros Termoplásticos: fundem-se a baixas temperaturas, podendo ser moldados, após o resfriamento suas propriedades físicas são recuperadas. Como o processo envolvido em sua fabricação gera a possibilidade de repetições, o processo de reciclagem torna-se conseqüentemente mais simplificado e viabilizado.

Exemplos deste material para Callister (2008) destacam-se: o polietileno (PE), o polipropileno (PP), o tereftalato de etileno (PET), o policarbonato (PC), o poliestireno (PS), o poli cloreto de vinila (PVC) e o poli metilmetacrilato (PMMA).

- Polímeros Termofixos: são classificados como polímeros amorfos, pois não se fundem. Esta divisão de polímeros pode ser moldada apenas quando submetida a temperatura e pressão, possibilitando a ocorrência de ligações cruzadas.

Exemplos destes materiais segundo Coelho (2005) e Callister (2008) são: resinas fenólicas, epóxis, poliuretanos, poliésteres, entre outros.

2.6.1 Poli tereftalato de etileno (PET)

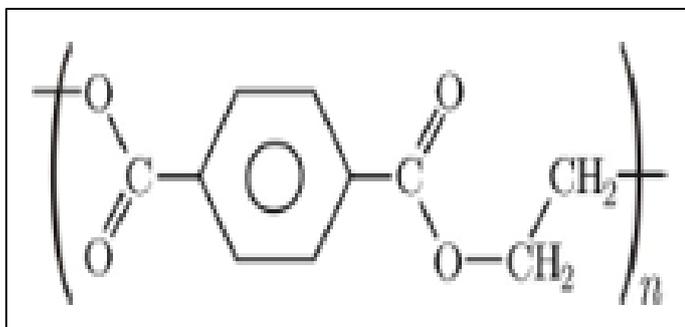
O poli tereftalato de etileno, o conhecido PET, foi desenvolvido pelos químicos ingleses Whinfield e Dickson no ano de 1941. Segundo Canellas (2005) este material é polimerizado de forma industrial, onde passa basicamente por duas etapas químicas de produção: a esterificação de forma direta entre o ácido tereftálico purificado (PTA) e o etileno Glicol (EG), e, a transesterificação entre o dimetil tereftalato (DMT) e o etileno glicol (EG).

Para Mano (2004) o PET possui diversas propriedades importantes como a resistência mecânica, resistência térmica, resistência à tração, resistência à gorduras, resistência à abrasão e resistência química, bem como leveza, transparência e brilho. Isoldi (2003) afirma que a alta resistência mecânica apresentada por este material é obtida através do anel aromático presente em sua cadeia estrutural.

Canellas (2005) destaca que as macromoléculas de PET, quando em estado puro (homopolímero), permite a repetição de moléculas mais simples de tereftalato de

etileno. Geralmente é aplicado de 130 a 155 unidades de repetições (Figura 12) sobre os polímeros comerciais.

Figura 12 - Unidade estrutural de repetição do PET



Fonte: Plasmold (2010)

A temperatura de fusão do polímero PET chega até 265°C, mantendo suas propriedades mecânicas até a temperatura de aproximadamente 175°C (ISOLDI, 2003). Canellas (2005) descreve que a resina de PET passa por transformações até gerar garrafas, potes e recipientes, entre as etapas do processo estão a secagem, alimentação, plastificação, injeção, condicionamento, sopro e ejeção do produto a qual o material se destina.

2.6.2 Utilização da PET como Novo Insumo para a Construção Civil

Atualmente os resíduos de garrafa PET ganharam grande destaque no meio científico, diversos estudos foram implementados com o intuito de descobrir novas empregabilidades para este material após sua utilização. Tais estudos buscam fazer com que a PET se torne uma nova matéria prima, ou seja um novo insumo do setor produtivo. A seguir são apresentados alguns dos autores que trabalharam em diferentes frentes de pesquisa relacionadas com a reutilização deste elemento de forma alternativa.

O estudo referente a utilização de flocos de PET reciclado como forma de substituição de agregados convencionais em argamassas, foi efetuada por Canellas (2005). Em sua análise o autor substituiu os agregados por areia de PET, onde as proporções utilizadas foram de 10%, 30% e 50%. Percebeu-se que a melhor composição foi a de 30% pois a mesma não proporcionou perdas significativas de

plasticidade e resistência à compressão e à tração, o que ocorreu nas demais substituições.

Silva (2010) verificou a viabilidade de fabricar telhas para a construção civil com adição de PET, o mesmo destacou que sua ideia seria uma alternativa ecológica para a substituição das telhas cerâmicas.

Pietrobelli (2010) analisou se a PET proveniente de reciclagem poderia ser utilizada como resina durante a fabricação de concreto polimérico e também verificou a possibilidade de utilizar este material como agregado leve, disposto na forma de flocos, para a produção de concreto convencional.

O estudo da utilização de garrafa PET como material de enchimento de um sistema de lajes nervuradas foi efetuado por Vargas (2013), o mesmo compreendeu que tais lajes proporcionam melhor eficiência estrutural, através de ganhos como: redução de seu peso próprio e melhora de isolamento térmico.

Teske (2014) verificou que as telhas de PET passam por processos de produção como a extrusão e injeção. Durante o estudo o autor verificou que o uso de tais telhas oferece vantagens para o meio ambiente bem como sobre as propriedades finais do material, a exemplo no ganho da durabilidade, que através da diminuição da porosidade trouxe por consequência a redução no acúmulo de umidade.

A análise comparativa da influência da adição de PET e PP pós-consumo na produção do concreto estrutural foi efetuada por Corrêa (2015). Através da pesquisa um dos principais resultados verificados foi sobre a amostra com adições acima de 10% de fibras poliméricas as quais minimizou em 20% a resistência à compressão da argamassa se comparado ao traço de referência, o qual não possuía substituição de material.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo é descrito de forma detalhada as etapas que foram desenvolvidas durante a pesquisa, apresentando de maneira objetiva os materiais empregados, o preparo da alvenaria, bem como os procedimentos experimentais adotados em cada um dos ensaios de caracterização dos materiais e do conjunto substrato/argamassa.

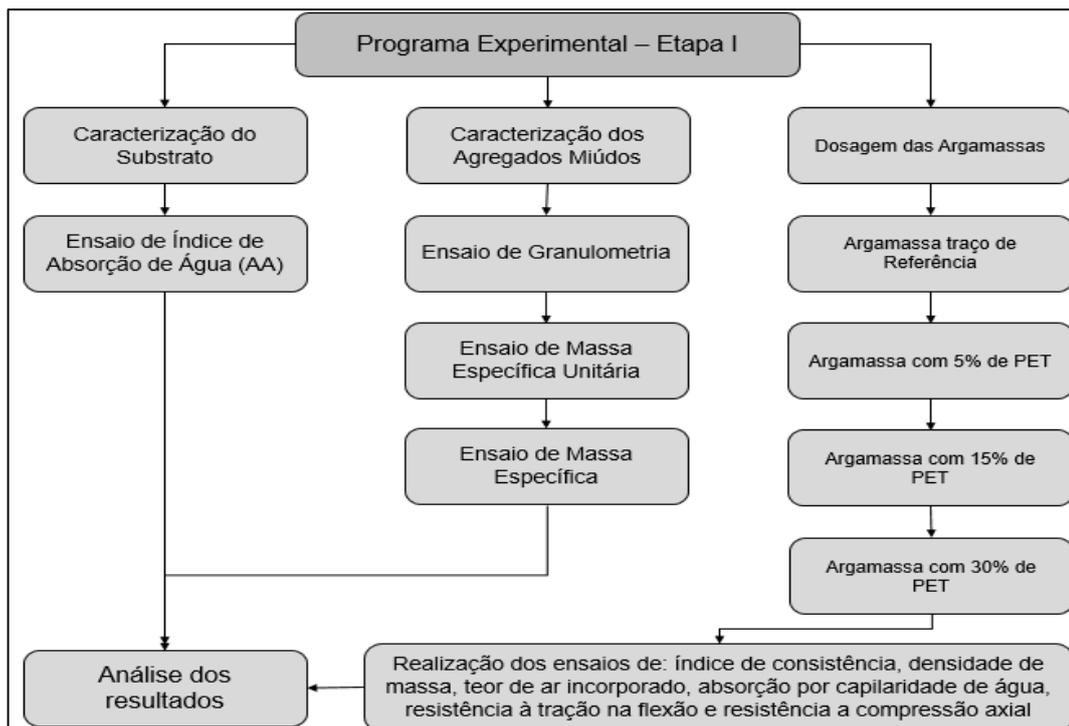
3.1 Programa Experimental

O programa experimental foi realizado em duas etapas distintas descritas a seguir através da etapa I e etapa II.

3.1.1 Programa experimental – Etapa I

A primeira etapa corresponde aos ensaios de caracterização das argamassas de revestimento e materiais utilizados. A Figura 13 apresenta o fluxograma do programa experimental correspondente a Etapa I.

Figura 13 - Fluxograma do programa experimental – Etapa I



Fonte: Elaboração própria.

3.1.1.1 Materiais e Métodos

Nesta seção são descritos os materiais e métodos utilizados na primeira etapa experimental. Dentre os materiais utilizados destacam-se: o substrato, representado pelo bloco cerâmico, o cimento Portland, a cal Hidratada e os agregados miúdos. Quanto aos métodos, ressalta-se a técnica utilizada para efetuar a dosagem das argamassas e as etapas construtivas da aplicação das argamassas sobre a alvenaria.

Os ensaios com substituição parcial de agregado reciclado de PET em volume levaram somente a fração retida na malha 1,18 mm, descartando os fragmentos maiores e o pó presente na areia de PET para a melhor condução das dosagens.

3.1.1.2 Alvenaria de blocos cerâmicos

Para a confecção da alvenaria adotou-se blocos cerâmicos (Figura 14), adquirido na cidade de Alegrete/RS.

Figura 14 - Bloco cerâmico estrutural utilizado na confecção das alvenaria



Fonte: Elaboração própria

3.1.1.3 Ensaio de índice de absorção de água

Para a caracterização do substrato, foi efetuado o ensaio de índice de absorção de água (AA) tendo como base a ABNT NBR 15 270 (2005).

Para a determinação do AA foram caracterizadas a massa seca (m_s) e massa úmida (m_u) do bloco cerâmico. Sendo os aparelhos utilizados para a execução do ensaio: balança com precisão de 0,1g e a estufa com temperatura ajustável de $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$. Os dados medidos de AA apresentam-se na Tabela 5, demonstrada abaixo.

Tabela 5 - Medições de m_s , m_u e AA do bloco cerâmico

| Dados | n° de medições | | | Valor médio | Índice de Absorção (%) |
|-----------------|----------------|--------|--------|-------------|------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | | |
| Massa seca (g) | 5900,1 | 5900 | 5899,9 | 5900 | 10,41 |
| Massa úmida (g) | 6514,1 | 6514,3 | 6514,2 | 6514,2 | |

Fonte: Elaboração própria

Como pode ser observado o valor final de índice de absorção que caracteriza o bloco cerâmico foi de 10,41%, estando dentro dos limites prescritos pela NBR 15 270-1 (ABNT, 2005^a) de $8\% \leq \text{AA} \leq 22\%$.

3.1.1.4 Cimento Portland

Como material aglomerante foi utilizado o cimento Portland CP IV – 32 adquirido no mercado local da cidade de Alegrete/RS. A caracterização físico-química e mecânica do material foi fornecida pelo fabricante do produto e são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Exigências físico-químicas e mecânicas do cimento Portland CPIV 32

| Finura | | | Tempo de Pega (min.) | | Resistência a Compressão (MPa) | | |
|-----------------------------|---------|--|----------------------|----------------------------|--------------------------------|--|---------|
| Blaine (cm ³ /g) | #200(%) | #325(%) | Início de Pega | Fim de Pega | 03 Dias | 07 Dias | 28 Dias |
| 4690 | 0,1 | - | 350 | 440 | 19,3 | 23,2 | 38,2 |
| MgO (%) | | SO3 Média (%) | | Perda ao Fogo (%) | | Resíduo Insolúvel (%) | |
| 4,4 | | 1,7 | | 2 | | 29,3 | |
| pH em solução Aquosa | | Massa Específica Absoluta (g/cm ³) | | Solubilidade em água (g/L) | | Massa Específica Aparente (g/cm ³) | |
| 12 ≤ pH ≤ 14 | | 2,7 ≤ Y_a ≤ 3,2 a 20°C | | Até 1,5 a 20°C | | 0,9 a 1,2 a 20°C | |

Fonte: Disponibilizado pelo Fabricante, em 21 de outubro de 2017

Para a verificação da massa específica do cimento Portland realizou-se o ensaio prescrito pela NM 23:2001. Onde a primeira leitura apresentou uma massa específica de 2,75 g/cm³ e a segunda de 2,76 g/cm³. Assim, apresentando uma média de massa específica do cimento Portland de aproximadamente 2,75 g/cm³.

Como pode ser observado pela Tabela 6 que apresenta os dados do fabricante e o valor obtido através dos ensaios, os dados se enquadram entre os limites estipulados pelo fabricante. Conforme Recena (2012) a massa específica do cimento Portland em média fica na faixa de 2,7 g/cm³, estando coerente com os valores encontrados nos ensaios realizados.

3.1.1.5 Cal Hidratada

A Cal Hidratada utilizada foi adquirida no mercado local da cidade de Alegrete/RS. A caracterização físico-química do material não foi fornecida pelo fabricante. Através da NM 23:2001, realizou-se o ensaio de determinação da massa específica desse material. Onde o primeira amostra apresentou uma massa específica de 2,49 g/cm³ e a segunda de 2,48 g/cm³, apresentando uma massa específica média de aproximadamente 2,48 g/cm³.

Para Recena (2012) a massa específica da cal encontra-se na faixa de 2,5 g/cm³. Sendo assim os valores obtidos através dos ensaios estão próximos aos citados pelo respectivo autor.

3.1.1.6 Agregados miúdos

Para a produção das argamassas foram utilizados como agregados miúdos areia natural e areia de resíduo de PET, apresentados na Figura 15.

Figura 15 - Agregados miúdos destinados a produção das argamassas.



Fonte: Elaboração própria

A areia natural será proveniente do Rio Ibicuí. Onde o processo de extração é realizado na cidade de Manoel Viana/RS. E o agregado reciclado de PET é oriundo da empresa Petceu Industria e Comércio de Reciclagem Plástica Ltda, localizada na cidade de Céu Azul pertencente ao estado do Paraná/PR.

3.1.1.6.1 Caracterização dos agregados miúdos

A coleta da areia natural e sua redução de amostra de campo para a amostra de laboratório, seguiram as prescrições das normas ABNT NBR NM 26 (2009) e NBR NM 27 (2001), respectivamente. O agregado reciclado de PET foi coletado pelo fabricante e encaminhado para o Laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA) – campus Alegrete/RS, onde a pesquisa foi desenvolvida.

Após a aquisição, os agregados foram ensaiados quanto as suas propriedades físicas, conforme apresentado na Tabela 6 no Laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade Federal do Pampa, UNIPAMPA- campus Alegrete/RS.

Tabela 6 – Ensaio e Normas utilizadas na caracterização física dos agregados

| Agregados | Ensaio | Normas Regulamentadoras |
|---|---------------------------|-------------------------|
| Agregado Miúdo Natural Agregado Reciclado de PET | Granulometria | NBR NM 248 (ABNT 2003) |
| | Massa Específica Unitária | NBR NM 45 (ABNT, 2006) |
| | Massa Específica | NBR 9776 (ABNT, 1987) |

Fonte: elaboração própria

A execução dos ensaios foram realizadas com o auxílio de peneiras de malha metálicas (determinada pela norma NM- ISO 3310-1 (2010)), balança com precisão de 0,1g, estufa com temperatura ajustável de $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$, bandejas e pincel de cerdas macias. A Figura 16 apresenta o conjunto de peneiras para o ensaio de composição granulométrica dos agregados miúdos.

Figura 16 - Conjunto de peneiras para caracterização dos agregados miúdos



Fonte: Elaboração própria

3.1.1.6.2 Caracterização do agregado miúdo natural

A composição granulométrica do material foi determinada a partir do ensaio de duas amostras. A Tabela 7 apresenta os resultados obtidos, onde A1 e A2 representam as amostras, % R corresponde a porcentagem retida, % RA porcentagem retida acumulada, % RMéd a porcentagem retida média e % RAMéd a porcentagem retida acumulada média.

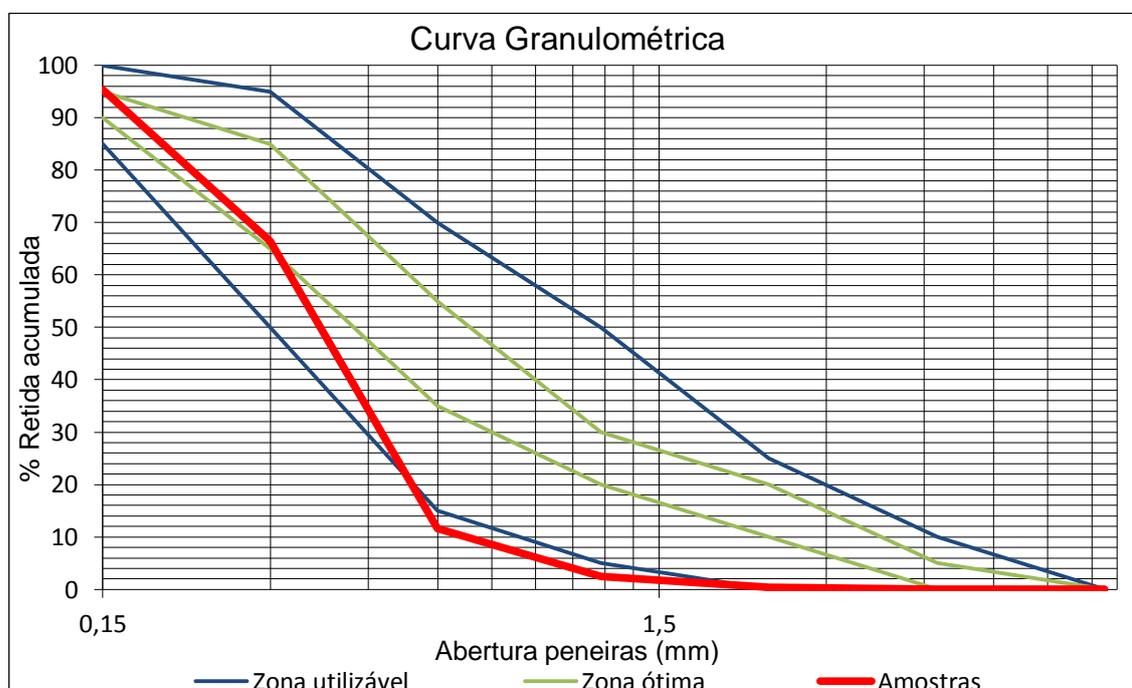
Tabela 7 – Composição granulométrica das amostras de agregado miúdo natural

| Peneiras | | A1 (g) | % R | % RA | A2 (g) | % R | % RA | % Rméd | % RAMéd |
|------------------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|---------|
| (mm) | Nº | | | | | | | | |
| 2,36 | Nº 8 | 2,43 | 0,49 | 0,49 | 2,16 | 0,43 | 0,43 | 0,46 | 0,46 |
| 1,18 | Nº 16 | 10,26 | 2,05 | 2,54 | 10,12 | 2,02 | 2,46 | 2,04 | 2,50 |
| 0,60 | Nº 30 | 44,97 | 8,99 | 11,53 | 46,26 | 9,25 | 11,71 | 9,12 | 11,62 |
| 0,30 | Nº 50 | 275,55 | 55,11 | 66,64 | 272,35 | 54,47 | 66,18 | 54,79 | 66,41 |
| 0,15 | Nº 100 | 142,96 | 28,59 | 95,23 | 145,94 | 29,19 | 95,37 | 28,89 | 95,30 |
| Fundo | | 23,83 | 4,77 | 100,00 | 23,17 | 4,63 | 100,00 | 4,70 | 100,00 |
| Total | | 500 | 100 | - | 500 | 100 | - | 100 | - |
| D máx (mm) | | | | | | | | 1,18 | |
| Módulo de Finura | | | | | | | | 1,76 | |

Fonte: Elaboração própria

O módulo de finura obtido para a amostra ensaiada do agregado miúdo natural foi de (1,76), indicando como areia de classificação fina, pois segundo Bauer (2008) o módulo de finura médio encontra-se entre os limites de 1,71 a 2,85. O Gráfico 1, apresenta a curva granulométrica média das amostras, juntamente representada com os limites normativos especificados pela NBR NM 7211 (ABNT, 2009).

Gráfico 1- Curva granulométrica do agregado miúdo natural



Fonte: Elaboração própria.

De acordo o Gráfico 1, observa-se que a curva granulométrica do agregado miúdo encontra-se próxima a zona utilizável inferior. Pode-se observar que nas

peneiras com abertura de malha de 1,18 mm a 0,6 mm a percentagem retida acumulada da amostra encontra-se abaixo dos limites normativos, ou seja, não atende os percentuais prescritos pela NBR NM 7211 (ABNT, 2009) a qual prescreve as constituintes deste sistema.

A Tabela 8 apresenta os resultados obtidos através dos ensaios de massa unitária NBR NM 45 (ABNT, 2006) e massa específica NBR 9776 (ABNT, 1987), respectivamente.

Tabela 8 - Massa específica unitária e massa específica agregado miúdo natural

| Ensaio | Amostra | | | Resultado Médio |
|--|---------|------|------|-----------------|
| | 1 | 2 | 3 | |
| Massa Específica Unitária (g/cm ³) | 1,62 | 1,61 | 1,62 | 1,62 |
| Massa Específica (g/cm ³) | 2,65 | 2,65 | 2,66 | 2,65 |

Fonte: Elaboração própria

3.1.1.6.3 Caracterização do agregado reciclado de PET

Para a determinação da composição granulométrica da areia de PET, utilizou-se o mesmo procedimento da areia natural. A Tabela 9 apresenta os dados obtidos, onde A1 e A2 representam as amostras, % R corresponde a percentagem retida, % RA percentagem retida acumulada, % RMéd a percentagem retida média e % RAMéd a percentagem retida acumulada média.

Tabela 9 - Composição granulométrica das amostras de agregado reciclado de PET

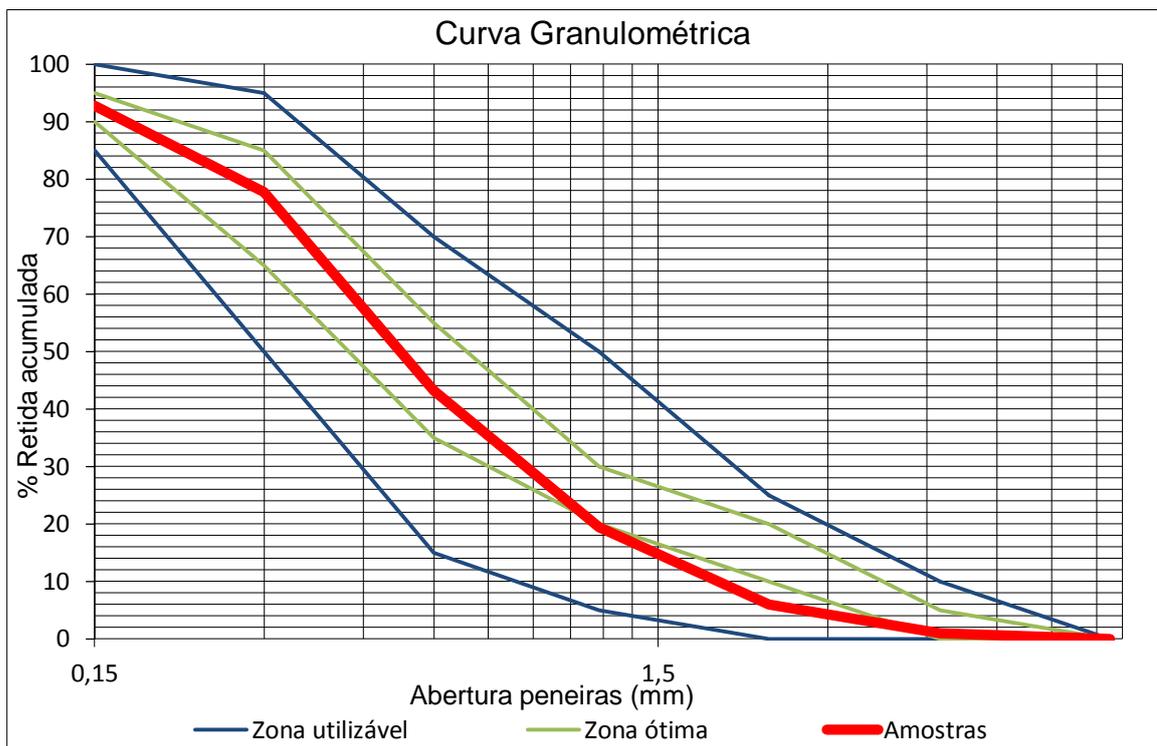
| Peneiras | | A1 (g) | % R | % RA | A2 (g) | % R | % RA | % RMéd | % RAMéd |
|------------------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|---------|
| (mm) | Nº | | | | | | | | |
| 4,75 | Nº 4 | 4,92 | 0,98 | 0,98 | 4,75 | 0,95 | 0,95 | 0,97 | 0,97 |
| 2,36 | Nº 8 | 24,91 | 4,98 | 5,97 | 25,25 | 5,05 | 6,00 | 5,02 | 5,98 |
| 1,18 | Nº 16 | 67,35 | 13,47 | 19,44 | 67,25 | 13,45 | 19,45 | 13,46 | 19,44 |
| 0,60 | Nº 30 | 117,77 | 23,55 | 42,99 | 119,59 | 23,92 | 43,37 | 23,74 | 43,18 |
| 0,30 | Nº 50 | 171,59 | 34,32 | 77,31 | 174,17 | 34,83 | 78,20 | 34,58 | 77,76 |
| 0,15 | Nº 100 | 77,78 | 15,56 | 92,86 | 72,10 | 14,42 | 92,62 | 14,99 | 92,74 |
| Fundo | | 35,68 | 7,14 | 100,00 | 36,89 | 7,38 | 100,00 | 7,26 | 100,00 |
| Total | | 500 | 100 | - | 500 | 100 | - | 100 | - |
| D máx (mm) | | | | | | | | 4,75 | |
| Módulo de Finura | | | | | | | | 2,40 | |

Fonte: Elaboração própria

O módulo de finura obtido para a amostra ensaiada do agregado reciclado de PET foi de (2,40), indicando como areia de classificação média, estando dentro da faixa considerada por Bauer (2008) de 1,71 a 2,85.

O Gráfico 2 apresenta a curva granulométrica média das amostras, juntamente representada com os limites normativos especificados pela NBR NM 7211 (ABNT, 2009).

Gráfico 2 - Curva granulométrica do agregado reciclado de PET



Fonte: Elaboração própria.

Observa-se com gráfico representado acima, que a curva granulométrica do agregado miúdo reciclado de PET encontra-se praticamente em sua totalidade dentro dos limites granulométricos da zona ótima de utilização, segundo a NBR NM 7211 (ABNT, 2009). Avaliando de forma técnica, os resultados permitem concluir que devido a granulometria entre o agregado natural e reciclado de PET serem de certa forma semelhantes, viabiliza a possibilidade do estudo de substituição parcial da areia natural pelo agregado reciclado de PET.

Para a obtenção da massa específica unitária e da massa específica, efetuou-se os respectivos ensaios descritos pelas normativas NBR NM 45 (ABNT, 2006) e NBR 9776 (ABNT, 1987). Onde a Tabela 10 descreve os respectivos resultados.

Tabela 10 - Resultados obtidos de massa específica unitária e massa específica de três amostras de agregado reciclado de PET.

| Ensaio | Amostra | | | Resultado Médio |
|--|---------|------|------|-----------------|
| | 1 | 2 | 3 | |
| Massa Específica Unitária (g/cm ³) | 0,28 | 0,29 | 0,28 | 0,28 |
| Massa Específica (g/cm ³) | 1,34 | 1,34 | - | 1,34 |

Fonte: Elaboração própria

O agregado de PET como pode-se observar na Tabela 10 apresentou massa específica unitária bem como massa específica inferiores ao agregado miúdo natural. Apresentando uma redução de 82,71% e 49,43% respectivamente. Sendo assim, os resultados demonstram que o agregado reciclado de PET possuiu uma leveza característica extremamente superior ao agregado natural, a qual é mais utilizada na produção argamassas dentro do setor da construção civil.

3.1.1.6.4 Caracterização da Composição Agregado Natural e Reciclado de PET

Visando avaliar a influência da substituição parcial de agregado miúdo reciclado de PET sob a granulometria do agregado miúdo natural, fez-se a realização de novos ensaios correlacionados as diferentes composições granulométricas utilizadas na realização das dosagens das argamassas (mistura de areia natural com substituição de agregado miúdo reciclado de PET em volume nos teores de 5%, 15% e 30%).

Como base normativa para a realização do ensaio utilizou-se a NBR NM 248 (ABNT,2003). A Tabela 11 apresenta a primeira composição avaliada, com substituição em volume de 5% de PET sobre o agregado miúdo natural.

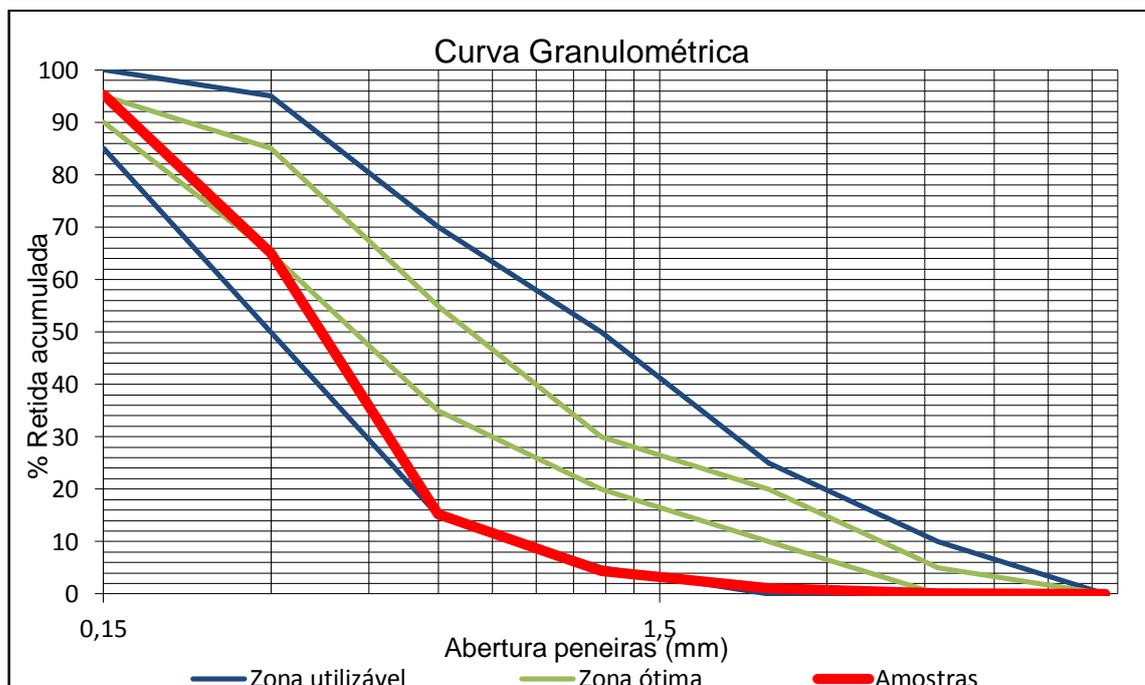
Tabela 11 – Composição Agregado Natural e substituição de 5% de PET

| Peneiras | | A1 (g) | % R | % RA | A2 (g) | % R | % RA | % Rméd | % RAMéd |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| (mm) | Nº | | | | | | | | |
| 9,50 | - | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 4,75 | Nº 4 | 0,70 | 0,15 | 0,15 | 0,90 | 0,19 | 0,19 | 0,17 | 0,17 |
| 2,36 | Nº 8 | 4,10 | 0,87 | 1,02 | 3,90 | 0,83 | 1,02 | 0,85 | 1,02 |
| 1,18 | Nº 16 | 12,40 | 2,64 | 3,66 | 14,10 | 3,00 | 4,02 | 2,82 | 3,84 |
| 0,60 | Nº 30 | 47,50 | 10,11 | 13,77 | 46,80 | 9,96 | 13,98 | 10,03 | 13,87 |
| 0,30 | Nº 50 | 224,60 | 47,79 | 61,55 | 221,90 | 47,21 | 61,19 | 47,50 | 61,37 |
| 0,15 | Nº 100 | 158,30 | 33,68 | 95,23 | 157,60 | 33,53 | 94,72 | 33,61 | 94,98 |
| Fundo | | 22,40 | 4,77 | 100,00 | 24,80 | 5,28 | 100,00 | 5,02 | 100,00 |
| Total | | 470,00 | 100,00 | - | 470,00 | 100,00 | - | 100,00 | - |
| D máx (mm) | | | | | | | | 2,36 | |
| Módulo de Finura | | | | | | | | 1,76 | |

Fonte: Elaboração própria

Os resultados descritos pela Tabela 11 demonstram que durante a substituição parcial de 5% de PET, caracteriza a composição ensaiada como fina, uma vez que o módulo de finura obtido encontrasse nas faixas de 1,71 a 2,85 definidas por Bauer (2008, p.80). O Gráfico 3 apresenta a curva granulométrica da mistura e os limites normativos pré-estabelecidos pela NBR NM 7211 (ABNT, 2009).

Gráfico 3 – Composição granulométrica – Agregado Natural e 5% de PET



Fonte: Elaboração própria

Como pode ser observado pelo Gráfico 3, a composição de agregado miúdo natural com substituição parcial de 5% de PET, apresenta-se na zona de utilizável a partir das peneiras com abertura de 9,5 mm. Pode-se observar através da inserção do agregado reciclado de PET uma pequena melhora na curva granulométrica, uma vez que em um determinado trecho (entre as peneiras 1,18 mm e 0,6 mm) a amostra praticamente alcança o limite normativo da zona utilizável.

A Tabela 12 apresenta a composição granulométrica de uma amostra composta por areia natural com substituição de 15% de agregado miúdo reciclado de PET em volume.

Tabela 12 – Composição Agregado Natural e substituição de 15% de PET

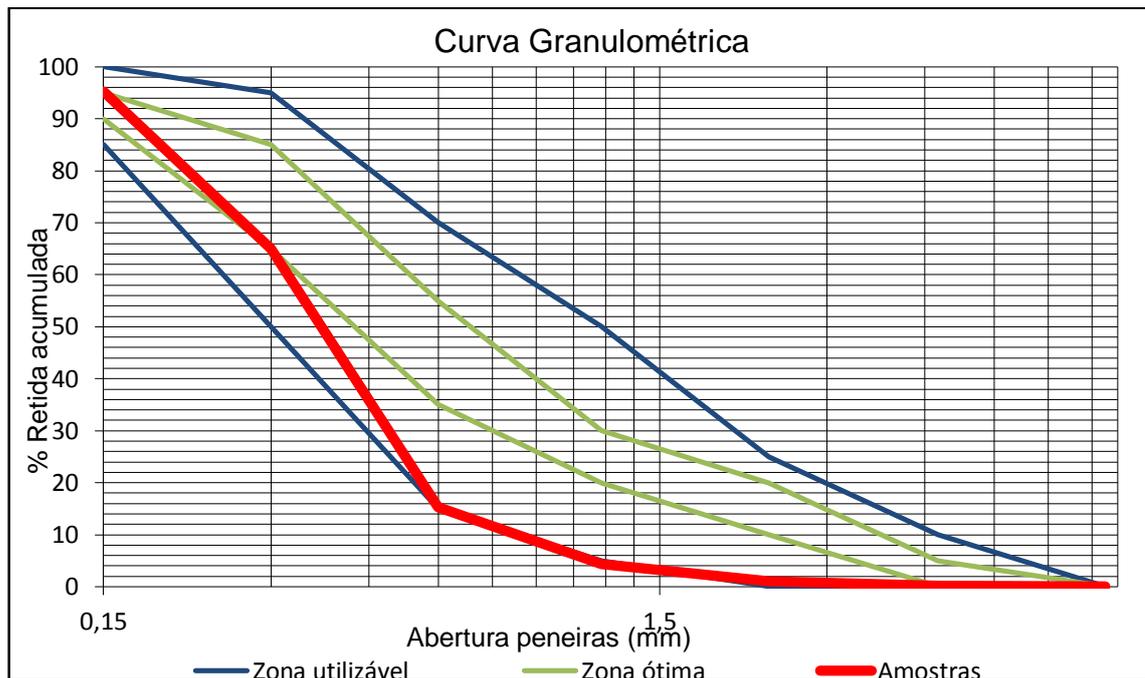
| Peneiras | | A1 (g) | % R | % RA | A2 (g) | % R | % RA | % Rméd | % RAMéd |
|------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| (mm) | Nº | | | | | | | | |
| 9,50 | - | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 4,75 | Nº 4 | 1,20 | 0,24 | 0,24 | 1,15 | 0,23 | 0,23 | 0,24 | 0,24 |
| 2,36 | Nº 8 | 3,40 | 0,68 | 0,92 | 3,60 | 0,72 | 0,95 | 0,70 | 0,94 |
| 1,18 | Nº 16 | 16,30 | 3,26 | 4,18 | 17,30 | 3,46 | 4,41 | 3,36 | 4,30 |
| 0,60 | Nº 30 | 49,20 | 9,84 | 14,02 | 48,60 | 9,72 | 14,13 | 9,78 | 14,08 |
| 0,30 | Nº50 | 223,20 | 44,64 | 58,66 | 217,45 | 43,49 | 57,62 | 44,07 | 58,14 |
| 0,15 | Nº100 | 185,10 | 37,02 | 95,68 | 193,50 | 38,70 | 96,32 | 37,86 | 96,00 |
| Fundo | | 21,60 | 4,32 | 100,00 | 18,40 | 3,68 | 100,00 | 4,00 | 100,00 |
| Total | | 500,00 | 100,00 | - | 500,00 | 100,00 | - | 100,00 | - |
| D máx (mm) | | | | | | | | 2,36 | |
| Módulo de Finura | | | | | | | | 1,78 | |

Fonte: Elaboração própria

Muito próximo ao observado na composição de 5% de PET, a composição de 15% de PET também alterou o módulo de finura do material. Onde a composição ensaiada (areia natural juntamente com a substituição parcial de 15% de PET) é considerada fina, estando dentro dos limites anteriormente citados e descritos por Bauer (2008, p.80).

O Gráfico 4 demonstra a curva granulométrica desta mistura ensaiada, descrita juntamente com os limites normativos determinados pela NBR NM 7211 (ABNT,2009).

Gráfico 4 – Composição granulométrica – Agregado Natural e 15% de PET



Fonte: Elaboração própria

Como pode ser observado pelo Gráfico 4, pode-se avaliar a semelhança ao descrito pelo traço anterior, onde a mistura ensaiada apresenta-se sobre a zona utilizável inferior. A Tabela 13 apresenta a composição granulométrica de uma amostra composta por areia natural com substituição de 30% de agregado miúdo reciclado de PET em volume.

Tabela 13 – Composição Agregado Natural e substituição de 30% de PET

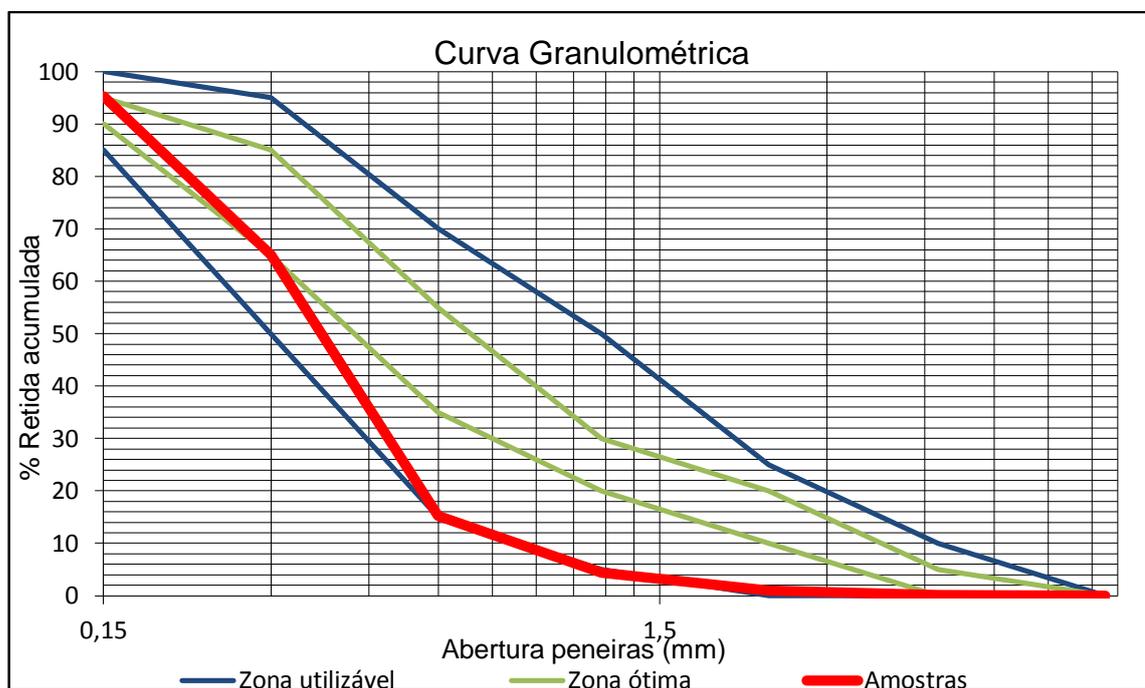
| Peneiras | | A1 (g) | % R | % RA | A2 (g) | % R | % RA | % Rméd | % RAMéd |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| (mm) | Nº | | | | | | | | |
| 9,50 | - | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 4,75 | Nº 4 | 0,70 | 0,13 | 0,13 | 0,90 | 0,17 | 0,17 | 0,15 | 0,15 |
| 2,36 | Nº 8 | 4,80 | 0,92 | 1,06 | 4,40 | 0,85 | 1,02 | 0,88 | 1,04 |
| 1,18 | Nº 16 | 16,70 | 3,21 | 4,27 | 18,20 | 3,50 | 4,52 | 3,36 | 4,39 |
| 0,60 | Nº 30 | 55,80 | 10,73 | 15,00 | 57,40 | 11,04 | 15,56 | 10,88 | 15,28 |
| 0,30 | Nº 50 | 262,30 | 50,44 | 65,44 | 255,40 | 49,12 | 64,67 | 49,78 | 65,06 |
| 0,15 | Nº 100 | 157,30 | 30,25 | 95,69 | 156,90 | 30,17 | 94,85 | 30,21 | 95,27 |
| Fundo | | 22,40 | 4,31 | 100,00 | 26,80 | 5,15 | 100,00 | 4,73 | 100,00 |
| Total | | 520,00 | 100,00 | - | 520,00 | 100,00 | - | 100,00 | - |
| D máx (mm) | | | | | | | | 2,36 | |
| Módulo de Finura | | | | | | | | 1,81 | |

Fonte: Elaboração própria

Semelhante as composições anteriores, a composição de 30% de PET também alterou o módulo de finura do material. Onde a composição ensaiada (areia natural juntamente com a substituição parcial de 30% de PET) é considerada fina, estando dentro dos limites anteriormente citados e descritos por Bauer (2008, p.80).

O Gráfico 5 demonstra a curva granulométrica desta mistura ensaiada, descrita juntamente com os limites normativos determinados pela NBR NM 7211 (ABNT,2009).

Gráfico 5 – Composição granulométrica – Agregado Natural e 30% de PET



Fonte: Elaboração própria

Como pode ser observado pelo Gráfico 5, pode-se avaliar a semelhança entre os três traços estudados, onde a mistura ensaiada apresenta-se sobre a zona utilizável inferior, assim como as anteriormente vistas,

Através da comparação entre os teores estudados, nota-se que ambos teores melhoram a caracterização da curva granulométrica se comparados ao traço de referência que utiliza apenas o agregado miúdo natural na mistura.

3.1.1.7 Água

Na produção das argamassas foi utilizada água potável proveniente do sistema de abastecimento de água da cidade de Alegrete/RS. A mesma apresentou isenção

de quaisquer impurezas não provocando quaisquer reações durante a dosagem das argamassas.

3.1.1.8 Argamassa convencional

A preparação da argamassa de revestimento tradicional, ocorrerá com proporção de 1:4 em volume (cimento, cal e areia). Esta será utilizada como traço padrão, a qual será readequada para posterior aplicação sobre as argamassas contendo substituição de agregado reciclado (areia de PET).

3.1.1.9 Argamassa com substituição parcial de PET

A preparação da argamassa de revestimento com substituição parcial de PET, ocorrerá com proporção de 1:4 em volume. Serão efetuados três traços com diferentes porcentagens de substituição da areia em volume, sendo elas: 5%, 15% e 30%.

3.1.1.10 Caracterização das argamassas

Entre os ensaios realizados na primeira etapa, destacam-se os ensaios de caracterização das argamassas de revestimento no estado fresco e no estado endurecido. No estado fresco, efetuaram-se os ensaios de índice de consistência, densidade de massa e teor de ar incorporado. E no estado endurecido, os ensaios de absorção por capilaridade de água, resistência a compressão axial e resistência a tração na flexão.

3.1.1.11 Dosagem das argamassas convencional e modificada

O método de dosagem utilizado, foi o CIENTIC, o qual foi proposto por Recena (2012). Para a realização dos ensaios, foram concretizadas 24 amostras, sendo 6 referentes a cada um dos traços estudados, referência, 5%, 15% e 30% de PET. Como descrito anteriormente os traços apresentaram uma relação 1:4 em volume, a relação dos traços desenvolvidos são descritos na Tabela 14.

Tabela 14 - Traço em volume para argamassa dosagem 1:4 em volume

| Amostra | Cimento | Cal | Areia | PET | Água |
|------------|---------|------|-------|-----|------|
| Referência | 0,75 | 0,25 | 4 | 0 | 1,29 |
| 5% de PET | 0,75 | 0,25 | 3,8 | 0,2 | 1,25 |
| 15% de PET | 0,75 | 0,25 | 3,4 | 0,6 | 1,17 |
| 30% de PET | 0,75 | 0,25 | 2,8 | 1,2 | 1,07 |

Fonte: Elaboração própria

Observa-se que conforme o aumento de porcentagem de agregado reciclado de PET na mistura ocorreu a diminuição da necessidade de água na mistura. As etapas de execução da produção das argamassas são representadas na Figura 17.

Figura 17 - Etapas de execução da produção das argamassas



Fonte: Elaboração própria

Após a confecção dos diferentes traços de argamassa, fez-se a confecção dos corpos-de-prova de moldes prismáticos com dimensões de 4x4x16cm, para posterior estudo de propriedades da argamassa em seu estado endurecido.

Para a preparação dos moldes utilizou-se: a mesa de adensamento, moldes prismáticos, régua metálica e espátula. A moldagem dos corpos-de-prova baseou-se na colocação da argamassa em cada compartimento do molde em duas camadas. Efetuando 30 (trinta) quedas na mesa de adensamento para cada uma das camadas, após a última queda fez-se o rasamento do molde com auxílio da régua metálica (Figura 18).

Figura 18 - Preparação dos corpos-de-prova prismático



Fonte: Elaboração própria

3.1.1.11.1 Ensaio do índice de consistência

Este ensaio será realizado através da norma ABNT NBR 13276 (2002). A execução do ensaio ocorrerá no ambiente de laboratório, o qual deverá apresentar temperatura e umidade relativa controladas, sendo elas respectivamente de $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ e $60\pm 5\%$.

Os materiais utilizados para a realização do ensaio são: balança com resolução de 0,1g, mesa de consistência, molde de tronco cônico, soquete metálico, trena e misturador mecânico.

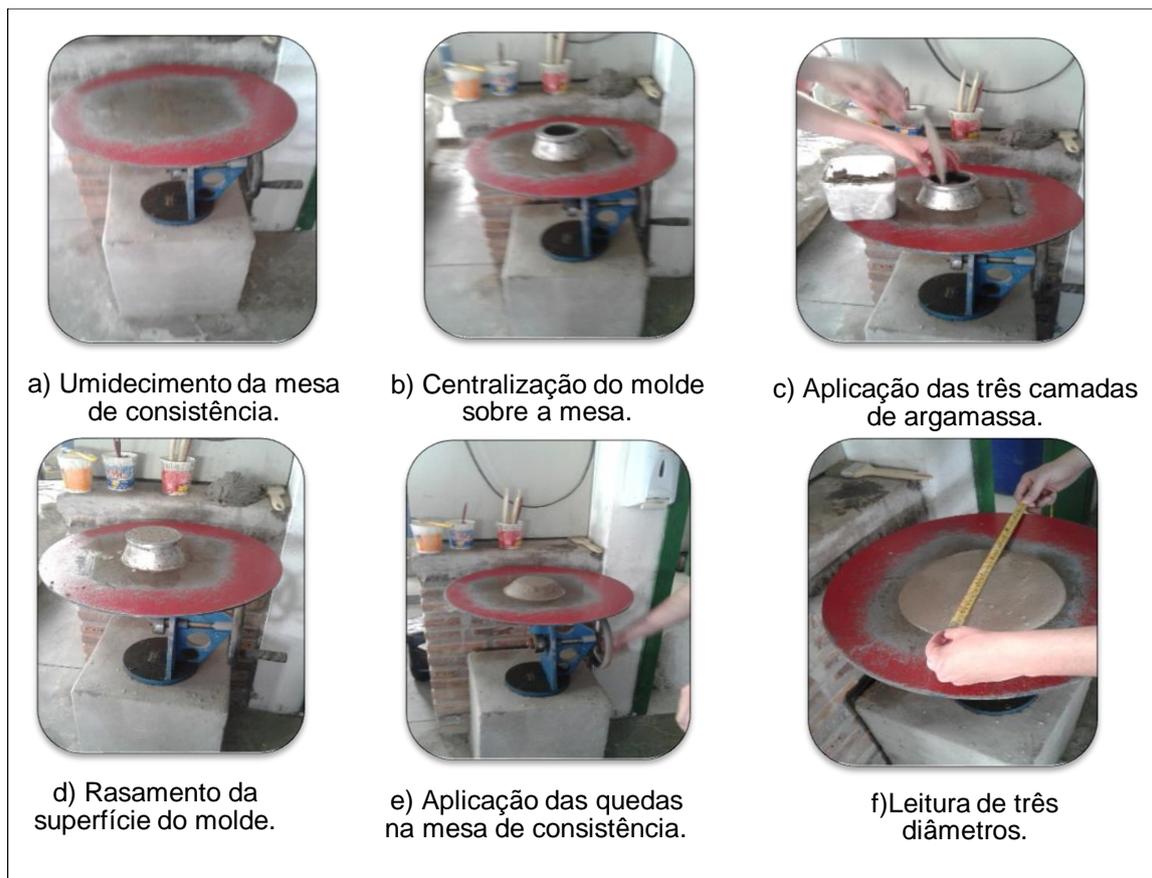
O procedimento inicial consiste em umedecer o tampo da mesa de consistência e as paredes do molde tronco cônico. A sequência do ensaio dá-se pela centralização do molde sobre a mesa. O ensaio determina o enchimento do material através de três

camadas de argamassa, aplicando em cada uma delas respectivamente 15 (quinze), 10 (dez) e 5 (cinco) golpes com o soquete.

Em caso de necessidade em relação ao preenchimento do molde recomenda-se completar o volume com mais argamassa efetuando na sequência o rasamento do molde, através do auxílio de uma régua e após retira-se o molde.

Por fim promove-se a queda da mesa de consistência durante 30 (trinta) vezes durante a faixa de tempo de 30 (trinta) segundos. Após a última queda, efetua-se a leitura do espalhamento da argamassa com a utilização da trena. Efetua-se este estudo para três medidas de diâmetro, onde a média entre elas, expressa em milímetros, indicando por fim o índice de consistência, todas as etapas efetuadas neste procedimento estão demonstradas na Figura 19.

Figura 19 - Etapas de execução do índice de consistência das argamassas



Fonte: Elaboração própria

Após a execução das etapas descritas acima, foram medidos os índices de consistência nos quatro traços confeccionados, onde propôs-se o índice ideal de 250 ± 30 mm, sendo eles descritos através da Tabela 15.

Tabela 15 - Índices de consistência das dosagens pesquisadas

| Traço Analisado | Consistência (mm) |
|-----------------|-------------------|
| Referência | 250 |
| 5% PET | 270 |
| 15% PET | 270 |
| 30% PET | 280 |

Fonte: Elaboração própria

A argamassa com composição de 30% de PET, como pode-se observar, apresentou um índice de consistência maior em relação aos demais traços, um dos motivos que pode ter ocasionado este fato dá-se pelo acréscimo de água na argamassa ser analisada de forma visual. Com a substituição de 5% de areia natural pela areia de PET, ocorreu uma redução de água de aproximadamente 3,1% em relação à argamassa de referência, com o traço de 15% de PET, a redução foi de 9,3% e com o traço de 30% de PET, 17,05% a menos de água em relação ao traço de referência.

3.1.1.11.2 Ensaio de densidade de massa e teor de ar incorporado

A determinação da densidade de massa e teor de ar incorporado será realizado de acordo com as diretrizes prescritas pela norma ABNT NBR 13.278 (2005) - argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos- determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado.

Utilizou-se na realização do ensaio um recipiente cilíndrico de aço inox com capacidade de 550ml, aplicando 20 (vinte) golpes sobre três camadas de argamassa, por fez-se o rasamento do recipiente e a pesagem do material, as etapas principais são demonstradas através da Figura 20.

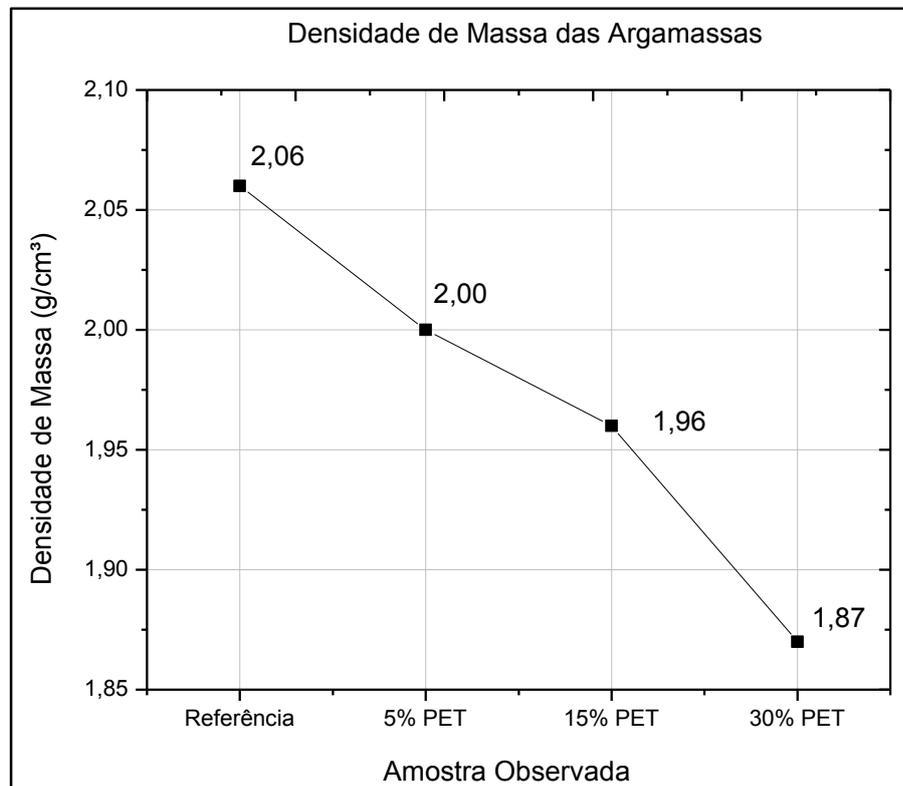
Figura 20 - Etapas do ensaio de densidade de massa e teor de ar incorporado



Fonte: Elaboração própria

Quanto aos valores obtidos de densidade de massa, foi plausível classificar as argamassas através da norma NBR 13281 (ABNT, 2005), onde foi constatado que as amostras analisadas enquadravam-se dentro da categoria D5 (densidade de massa classe 5), com densidade de $1,8 \text{ g/cm}^3$ a $2,2 \text{ g/cm}^3$, como pode ser observado através do Gráfico 6.

Gráfico 6 - Densidade de massa das amostras estudadas

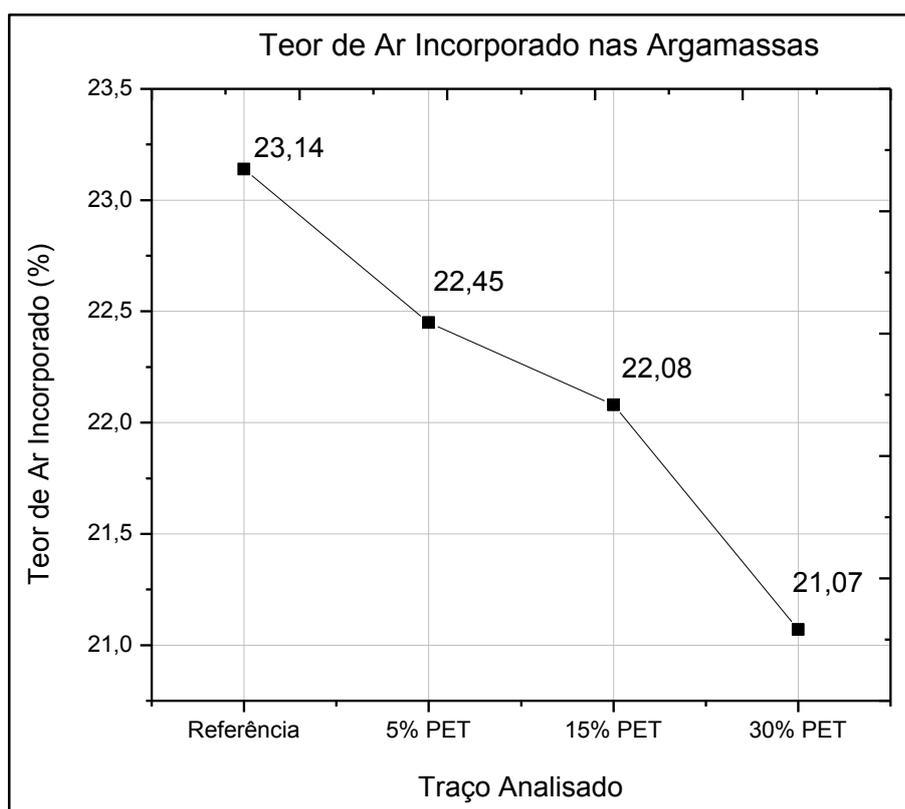


Fonte: Elaboração própria

Conforme os dados descritos acima, verificou-se que ocorreu redução na densidade de massa praticamente de forma linear. Onde observa-se que quanto maior a adição do agregado reciclado de PET sobre a mistura, menor a densidade de massa apresentada pela argamassa. Nota-se que os traços de 5% de PET, 15% de PET e 30% de PET, se comparados ao traço de referência apresentaram respectivamente uma redução de densidade de massa de: 2,95%, 4,47% e 8,81%.

Para Silva (2014) esta diminuição com relação a densidade de massa esta correlacionada a densidade individual de cada elemento, ou seja, da densidade do agregado reciclado de PET ser bem inferior ao da areia natural utilizada. O Gráfico 7 apresenta os dados correspondentes ao teor de ar incorporado nas diferentes misturas empregadas no presente estudo.

Gráfico 7 – Teor de ar incorporado nas amostras estudadas



Fonte: Elaboração própria

Segundo Vaz (2016), o teor de ar incorporado de uma mistura, corresponde aos vazios formados pela entrada de ar sob o interior da argamassa. Como pode ser percebido no Gráfico 7, conforme o aumento da quantidade de agregado plástico em

substituição ao agregado natural, ocorre o aumento do teor de ar incorporado na mistura.

Verifica-se que mesmo com o acréscimo do teor de ar em cada composição, essa não ocorre de forma impactante se comparadas entre si. Observando a variação entre o Traço com 30% de PET com relação ao Traço de Referência, a diferença entre as amostras é de cerca de 3%. Para Vaz (2016) as argamassas nesses mesmos teores apresentaram a mesma porcentagem de variação entre as misturas, não ocorrendo o acréscimo de teor de ar incorporado no conjunto de forma brusca.

3.1.1.11.3 Ensaio de absorção por capilaridade

A realização deste ensaio tem como base a ABNT NBR 15259 (2005), a qual especifica a determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Onde os equipamentos foram utilizados para a execução do ensaio: espátula metálica, recipiente apropriado com dispositivo que garanta nível constante de água, bases que mantenham os corpos-de-prova afastados do fundo do recipiente mas permitam contato de sua face inferior com a água e balança com resolução 0,1g.

O ensaio foi realizado aos 28 dias de idade para cada uma das 24 amostras. A primeira etapa do ensaio consistiu em aplicar uma resina acrílica nas faces laterais do corpo-de-prova, as quais não entraram em contato com a água, visando evitar a perda devido a fuga pelas paredes. A próxima etapa foi lixar a superfície do corpo-de-prova que entrou em contato com a água e em seguida efetuou-se a pesagem para a determinação de sua massa seca (m_o) antes da execução do ensaio. O recipiente do ensaio apresentou temperatura constante bem como sua umidade relativa, de respectivamente $23\pm 2^\circ\text{C}$ e $60 \pm 5\%$.

A massa saturada (m_t) dos corpos-de-prova é determinada durante os 10 (dez) minutos e 90 (noventa) minutos do ensaio. As etapas deste ensaio são detalhadamente apresentadas na Figura 21.

Figura 21 - Etapas da execução do ensaio de absorção por capilaridade



Fonte: Elaboração própria

A absorção de água por capilaridade é obtida pelo aumento de massa dos corpos-de-prova, os quais foram imersos de forma parcial na água, sua determinação dá-se pela equação:

$$A_t = \frac{m_t - m_o}{16} \quad \dots(1)$$

Onde os parâmetros determinantes são: A_t - absorção de água por capilaridade (g/cm^2), m_t - massa do corpo-de-prova durante o ensaio (g), t - corresponde aos tempos de 10 min e 90 min, m_o - massa do corpo-de-prova seco (g), 16- área da seção transversal (cm^2). Já o coeficiente de capilaridade (C) é calculado para cada corpo-de prova de acordo com a equação abaixo:

$$c = m_{90} - m_{10} \quad \dots(2)$$

Onde o coeficiente de capilaridade é expresso em $\text{g/dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$. A ABNT NBR 9 779 (2012) recomenda que a distribuição da água absorvida, deve ser desenhada, para verificar a altura da ascensão capilar interna do elemento.

3.1.1.11.4 Ensaio de tração na flexão

A determinação da resistência à tração na flexão, é efetuada através das diretrizes da norma NBR 13279 (ABNT, 2005). Porém neste caso o corpo-de-prova foi posicionado nos dispositivos de apoio do equipamento de ensaio de modo que a face rasada com a régua não ficasse em contato com os dispositivos de carga. Para a realização do ensaio utilizou-se a prensa modelo EMIC DL 20000 (Figura 22), com capacidade de carga de 200 KN, a velocidade empregada para a aplicação do carregamento foi de 3 mm/min, atendendo os padrões normativos.

Figura 22 - Prensa e dispositivo de carga utilizado para a realização do ensaio de resistência à tração na flexão



Fonte: Elaboração própria

3.1.1.11.5 Ensaio de resistência à compressão axial

O ensaio de resistência à compressão axial de argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos foi determinado de acordo com as diretrizes da

norma NBR 13279 (ABNT, 2005), foram efetuados os ensaios das 24 amostras aos 28 dias. Para a realização dos ensaios foi utilizada a prensa modelo EMIC DL 20000 (Figura 23), com capacidade de carga de 200 KN, a velocidade empregada para a aplicação do carregamento foi de 3 mm/min, atendendo os padrões normativos.

Figura 23 - Prensa e dispositivo de carga utilizado para a realização do ensaio de resistência à compressão axial



Fonte: Elaboração própria

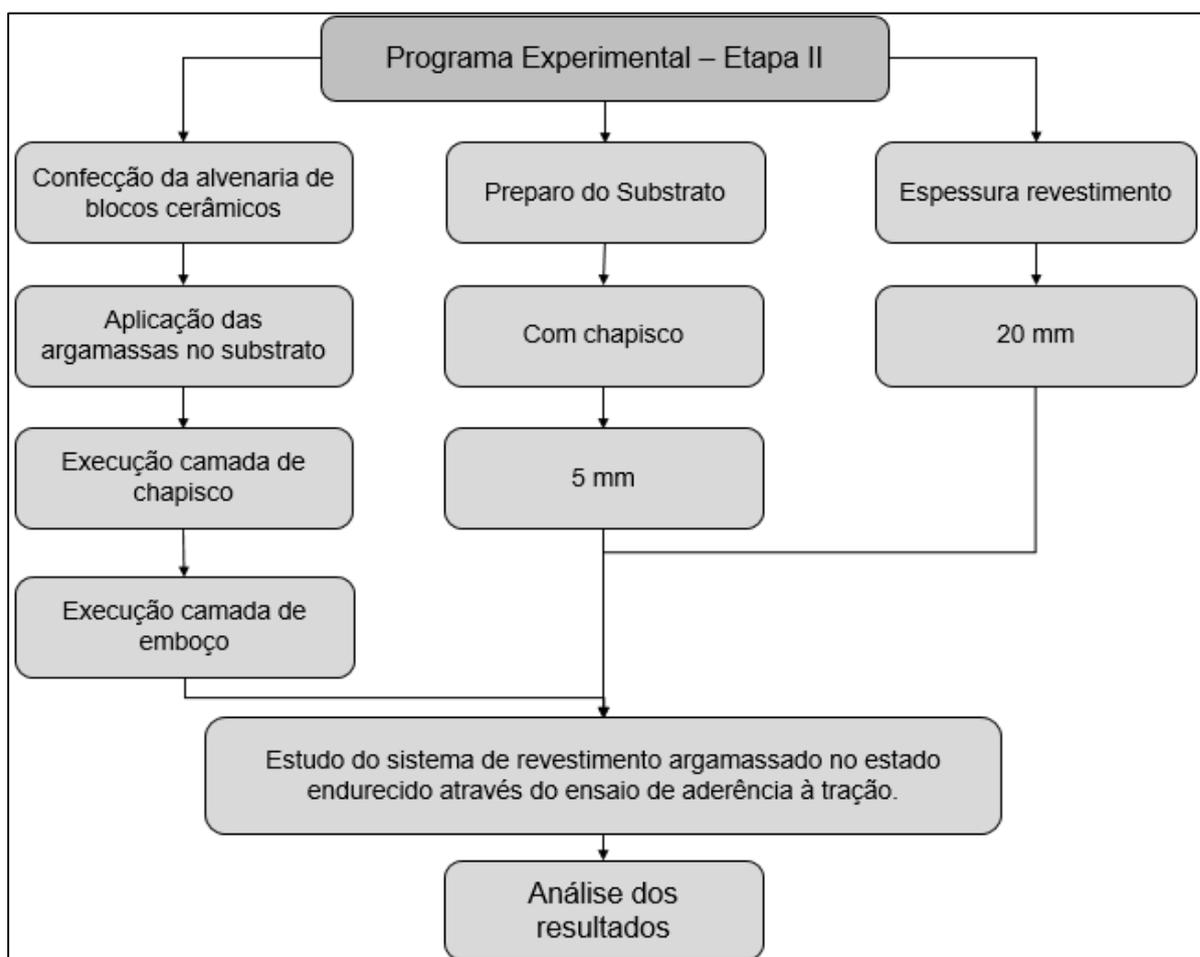
2.1.2 Programa experimental – Etapa II

A Etapa II do programa experimental deu-se através da confecção das alvenarias e aplicação das argamassas na parede de blocos cerâmicos. Após à espera do tempo de cura do chapisco, foi dado início a preparação da camada de emboço onde será efetuado o lançamento e nivelamento das argamassas. Após o termino da confecção da camada de emboço foi respeitado o tempo de cura de 28 dias.

Este procedimento de confecção do revestimento, foi efetuado para as quatro diferentes dosagens, sendo elas: argamassa de referência, argamassa com 5% de substituição de PET, argamassa com 15% de substituição de PET e argamassa com 30% de substituição de PET, como visto anteriormente. Entre os ensaios a serem realizados na segunda etapa desta pesquisa, destaca-se o ensaio de aderência do revestimento pela resistência à tração.

A Figura 24 apresenta o fluxograma com o desenvolvimento do programa experimental correspondente a Etapa II.

Figura 24 - Fluxograma do programa experimental – Etapa II



Fonte: Elaboração própria

O revestimento de argamassa tradicional será composto pelo traço 1:4 em volume em ambas composições, foi aplicado sob a alvenaria uma camada de chapisco e posteriormente a camada de emboço. Dentre os traços que caracterizam o revestimento cita-se: traço composto por argamassa tradicional, traço com substituição parcial de 5%, 15% e 30% de areia de PET.

3.2.1.1 Confeção da parede de blocos cerâmicos

A produção da alvenaria de blocos cerâmicos foi efetuada de acordo com recomendações normativas descritas pela ABNT NBR 7200 (1998). Foram efetuadas duas estruturas com dimensões de 0,9 x 0,8 m (largura e altura).

Para o assentamento dos blocos foi utilizada uma argamassa industrializada, onde a confecção da parede deu-se por um profissional da área, o qual respeitou o nível e o prumo da estrutura.

Após o assentamento da parede, foi respeitado o tempo de cura de 14 dias para a continuidade da aplicação das camadas do revestimento, cumprindo o tempo mínimo de cura, efetuou-se a limpeza da superfície da alvenaria para então aplicar a camada de chapisco, a qual apresenta espessura de 5mm. Após a aplicação enérgica da argamassa fluída de chapisco, através da utilização de aparelho mecânico, aguardou-se o tempo de cura de 03 dias. A última etapa de execução do revestimento da alvenaria de blocos cerâmicos, deu-se através da aplicação da camada de emboço com espessura de 20 mm, tais etapas estão dispostas através da Figura 25.

Figura 25 - Etapas de execução da alvenaria e revestimento



Fonte: Elaboração própria

3.2.1.2 Ensaio de resistência à tração do revestimento

A metodologia de determinação da resistência de aderência à tração de revestimento de paredes e tetos compostos por argamassa inorgânica é descrita pela ABNT NBR 13 528 (2010).

Este ensaio foi realizado atendendo o tempo mínimo de cura de 28 dias da argamassa de revestimento para cada uma das composições estudadas. Adotou-se para cada traço de revestimento a execução de 12 amostras, sendo o corpo-de-prova utilizado no formato circular.

A primeira fase do ensaio foi efetuar o corte dos corpos-de-prova sobre a parede, sendo este corte executado a seco. A furação não gerou qualquer comprometimento da estrutura, o afastamento entre amostras adotado foi de 5 (cinco) mm.

O preparo da superfície iniciou pela limpeza, provocando a higienização adequada da alvenaria, deixando a mesma livre de poeira e resíduos. A segunda fase do ensaio consistiu na colagem da pastilha sobre a superfície do revestimento argamassado, sendo esta etapa executada através da utilização de resina epóxi, a secagem da mesma deve ser de acordo com o fabricante do material, para que a fixação da pastilha seja da forma adequada.

A última etapa do ensaio consiste na aplicação do esforço de tração, onde o aparelho de arranchamento é fixado a pastilha, executando o esforço de tração de forma perpendicular à seção transversal do corpo-de-prova com taxa de carregamento a ser definida, até a ruptura da amostra. Por fim, será efetuado o cálculo de aderência a tração, o qual é expresso pela equação 3 demonstrada a seguir:

$$R_a = \frac{P}{A} \quad \dots(3)$$

Onde: R_a - resistência de aderência à tração (MPa), P - carga de ruptura (N) e A - área da pastilha (mm²). As etapas deste ensaio estão descritas através da Figura 26.

Figura 26 - Etapas de execução do ensaio de resistência a tração do revestimento



Fonte: Elaboração própria

Posterior a execução do ensaio, foi efetuado em cada uma das amostras, a verificação da tensão final de ruptura, através da equação 3 e a análise com relação ao tipo de ruptura ocasionada ao corpo-de-prova extraído.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os itens 4.1, 4.2 e 4.3 apresentam respectivamente os resultados da absorção por capilaridade de água, resistência à tração na flexão e resistência à compressão axial, sendo este estudo aplicado a argamassas no estado endurecido. Já o item 4.4 descreve os resultados da resistência de aderência a tração dos revestimentos de referência e modificados.

4.1 Absorção por Capilaridade de Água

A etapa de verificação da Absorção por capilaridade das amostras deu-se em duas leituras estipuladas pela NBR 15259 (ABNT, 2005), sendo elas aos 10 minutos iniciais (A10min) e posteriormente aos 90 minutos (A90min). Os dados médios obtidos durante a verificação das diferentes argamassas está demonstrada na Tabela 16.

Tabela 16 – Dados correspondente da Absorção por capilaridade da argamassa

| Traço Analisado | Absorção por Capilaridade (g/cm ²) | |
|-----------------|--|--------|
| | A10min | A90min |
| Referência | 0,79 | 2,24 |
| 5% PET | 0,76 | 2,20 |
| 15% PET | 0,50 | 1,26 |
| 30% PET | 0,34 | 1,16 |

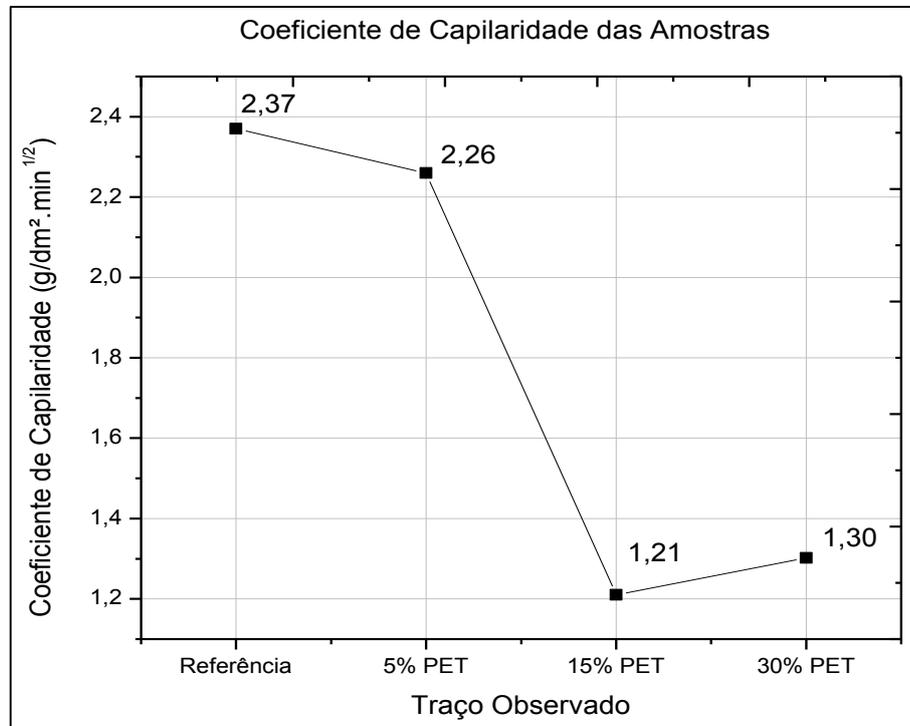
Fonte: Elaboração própria

Analisando os valores acima, é possível observar que a absorção capilar diminui de forma gradativa conforme o aumento de agregados reciclados de PET nas misturas, onde todos os traços com substituição parcial de agregado reciclado obtiveram absorção por capilaridade inferior ao traço de referência constituído apenas por agregado miúdo natural. A diferença percentual entre o traço de referência para o de 30% de substituição parcial de PET foi de aproximadamente 34% aos 10 minutos e 52% aos 90 minutos.

Os valores de coeficiente de capilaridade das amostras encontraram-se na faixa de 1,21 g/dm².min^{1/2} e 2,37 g/dm².min^{1/2} como pode-se observar no Gráfico 8, sendo assim os traços enquadram-se na zona de classificação da classe C2 (classe

de coeficiente de capilaridade dois) segundo a norma NBR 13281 (ABNT, 2005), a qual varia de $1 \text{ g/dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$ a $2,5 \text{ g/dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$.

Gráfico 8 – Coeficiente de Capilaridade das amostras estudadas



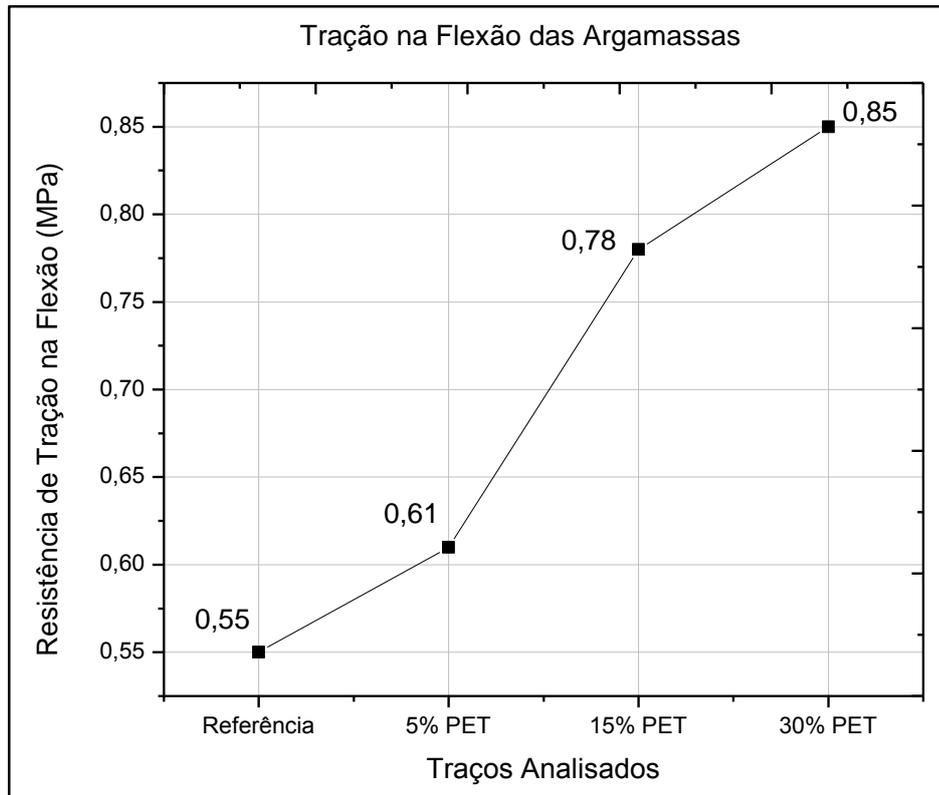
Fonte: Elaboração própria

O coeficiente de capilaridade, segundo Bauer (2013), deve ser encontrado dentro das classes C3 ($2,0 \text{ g/dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$ a $4,0 \text{ g/dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$), nos casos de aplicações gerais, e C1 ($\leq 1,5 \text{ g/dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$) ou C2 (1 a $2,5 \text{ g/dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$) para alvenarias que estejam em contato com a água da chuva.

4.2 Resistência à Tração na Flexão

O ensaio de Tração na Flexão, foi efetuado para todos os corpos-de-prova aos 28 dias e em conformidade com a NBR 13279 descrita anteriormente. O Gráfico 9 apresenta os resultados médios obtidos em cada um dos traços elaborados ao longo dessa pesquisa.

Gráfico 9 – Tração na Flexão das amostras estudadas



Fonte: Elaboração própria

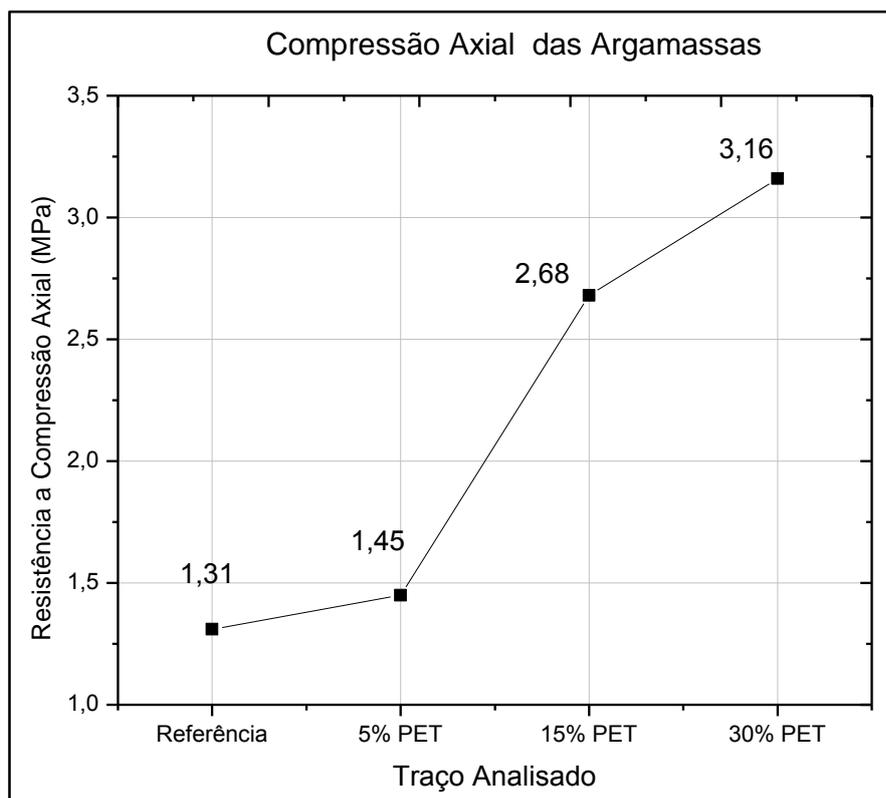
Nota-se que a resistência a tração das argamassas aumenta conforme o respectivo aumento de agregado reciclado de PET na mistura. Conforme a classificação da NBR 13281 (ABNT, 2005), todas as amostras ensaiadas enquadraram-se como classe de resistência a tração na flexão R1, com seus valores de resistência de tração na flexão menor e igual a 1,5 MPa.

4.3 Resistência à Compressão Axial

O ensaio de Resistência a Compressão Axial foi executado posteriormente ao ensaio de Tração na flexão, conforme a normativa NBR 13279 (ABNT, 2005). Os resultados obtidos são descritos pelo Gráfico 10. Nota-se que bem como o ensaio de resistência a Tração o ensaio de Resistência à Compressão Axial manteve o aumento da resistência das amostras conforme o aumento de agregado reciclado de PET nas misturas.

Apesar de Silva (2014), afirmar que os agregados plásticos por apresentarem superfície lisa e conseqüentemente serem impermeáveis, não ocorreu o comprometimento da ligação da matriz junto aos agregados.

Gráfico 10 – Compressão Axial das amostras estudadas



Fonte: Elaboração própria

De acordo com a NBR 13281 (ABNT, 2005) os traços de referência, 5% e 15% de PET são classificados como classe P2, permanecendo entre a faixa de resistência de 1,5 MPa a 3 MPa. Já o traço com 30% de PET, segundo a mesma normativa é classificado como classe P3, estando na faixa de resistência de 2,5 MPa a 4,5 MPa.

O aumento considerável da resistência tanto na Tração por Flexão quanto na Compressão Axial, pode estar interligada com dois fatores principais, o primeiro devido a melhora da composição granulométrica nas composições que contém agregado plástico e a segundo e provavelmente a mais considerável, a relação água cimento aplicada sobre as dosagens. Uma vez que conforme o aumento de agregado miúdo reciclado de PET nas misturas ocorreu a necessidade de diminuição de água nas misturas.

4.4 Resistência à Tração do Revestimento

A análise correspondente a aderência dos revestimentos foram efetuadas nas mesmas porcentagens anteriormente analisadas sobre as argamassas. Sendo essas os traços: referência, com 5% de PET, 15% de PET e 30% de PET.

Nesse estudo, conforme será observado nas análises, constatou-se índices do coeficiente de variação elevados, o que evidencia a similaridade com as bibliografias. Segundo Temp (2014), em geral a elevada dispersão desses resultados estão correlacionadas aos tipos de argamassas e substratos, sendo uma das formas de contornar o elevado índice de dispersão elaborar um número de corpos-de-prova adequados.

Com isso, para o presente estudo buscou-se avaliar ao menos 12 amostras para cada um dos diferentes traços, visando obter o menor coeficiente de variação possível entre as amostras. Após a realização do ensaio e levantamento das resistências de aderência do revestimento, efetuou-se a classificação das possíveis rupturas do conjunto através das nomenclaturas descritas no Quadro 3.

Quadro 3 - Nomenclaturas para a classificação do tipo de ruptura ocorrida no ensaio de resistência à tração do revestimento

| Tipos de Ruptura Ensaio de Tração do Revestimento Com Chapisco (CC) | |
|---|---|
| (1CC) | Ruptura na interface cola-pastilha |
| (2CC) | Ruptura na interface cola-argamassa |
| (3CC) | Ruptura na argamassa |
| (4CC) | Ruptura na interface argamassa-chapisco |
| (5CC) | Ruptura chapisco-substrato |
| (6CC) | Ruptura no substrato |

Fonte: Elaboração própria

Para a melhor avaliação dos dados obtidos, foram retirados os valores espórios, os quais sofreram erro de execução do ensaio bem como valor de resistência muito disperso das demais amostras. Para a verificação dos dados completos referentes aos ensaios verificar Tabelas em ANEXO.

A Tabela 17 apresenta os dados obtidos durante a realização do ensaio de resistência de aderência do revestimento correspondente ao traço de referência.

Nota-se que a média de resistência obtida foi de 0,22 MPa, observando um desvio padrão amostral de 0,04 e coeficiente de variação amostral de 20%.

Segundo a NBR 13 749 (ABNT, 2013) para substrato cerâmicos quando aplicado em superfície interna a resistência a aderência necessária é superior a 0,2 MPa e quando aplicada em ambiente externo a resistência a aderência necessária é superior a 0,3 MPa.

Sendo assim, observa-se que para o traço da argamassa de referência a aplicação ideal conforme a resistência obtida pelo traço, segundo a norma seria ambiente interno.

Tabela 17 – Análise do Ensaio à Tração do Revestimento – Traço Referência

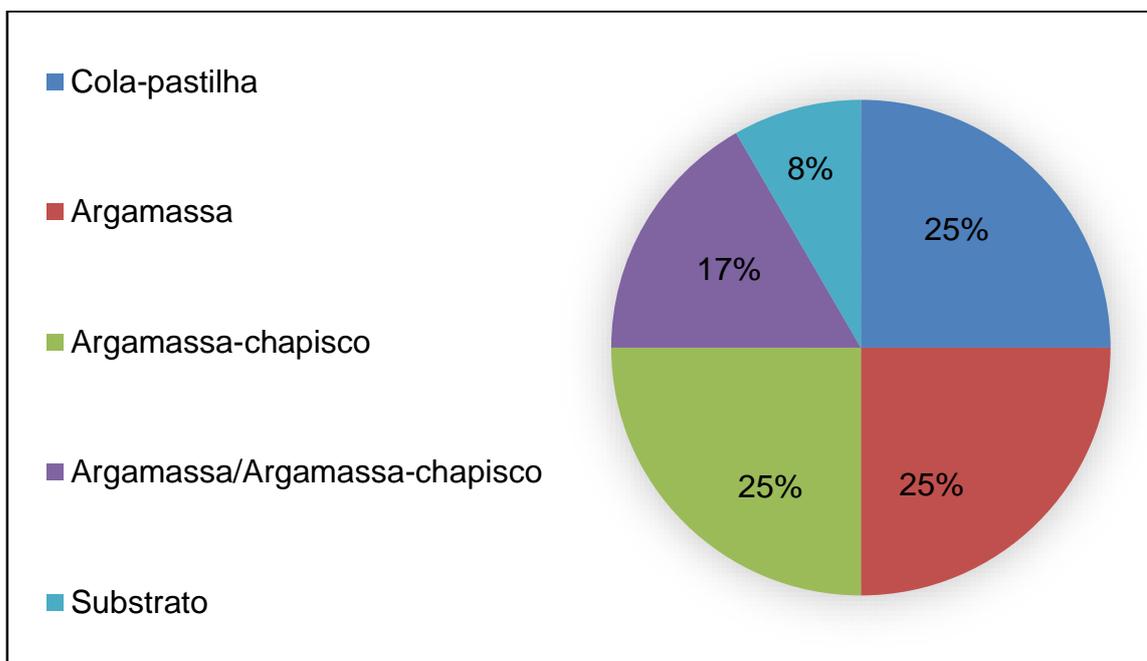
| Bloco Cerâmico- Argamassa Traço de Referência - Com Chapisco | | | | | | |
|--|----------------|--------------------------|-----------|--------------------------------|------------------|--|
| Tipo | Corpo de Prova | Seção (mm ²) | Carga (N) | Resistência de Aderência (MPa) | Forma de Ruptura | |
| Referência | 1 | 1452,2 | 340 | 0,23 | 2CC | |
| | 2 | 1486,2 | 240 | 0,16 | 4CC | |
| | 3 | 1497,6 | 390 | 0,26 | 4CC | |
| | 5 | 1525,1 | 360 | 0,24 | 4CC | |
| | 6 | 1452,2 | 340 | 0,23 | 2CC | |
| | 7 | 1522,8 | 390 | 0,26 | 6CC | |
| | 8 | 1486,2 | 290 | 0,20 | 3CC/4CC | |
| | 10 | 1520,5 | 260 | 0,17 | 2CC | |
| | 11 | 1520,5 | 260 | 0,17 | 3CC | |
| | 12 | 1509,0 | 290 | 0,19 | 3CC | |
| | 13 | 1518,2 | 470 | 0,31 | 3CC/4CC | |
| | 14 | 1515,9 | 330 | 0,22 | 3CC | |
| | Média | | | | 0,22 | |
| | Desvio-Padrão | | | | 0,04 | |
| Mediana | | | | 0,23 | | |
| Coeficiente de Variação | | | | 20% | | |

Fonte: Elaboração própria

As formas de ruptura foram basicamente de cinco formas, como pode ser observado no Gráfico 11. Nota-se que três delas apresentaram maior ocorrência ao

longo da realização dos ensaios, sendo essas: 25% da forma 4CC (interface argamassa-chapisco), 25% da forma 3CC (ruptura na argamassa) e 25% da forma 2CC (interface cola-argamassa).

Gráfico 11 – Porcentagem e Análise da Forma de Ruptura – Traço Referência



Fonte: Elaboração própria

Observando através do Gráfico 12, constata-se que o traço de referência não apresenta apenas uma forma de ruptura característica. A ocorrência de 25% das rupturas na interface cola-argamassa (2CC), pode ter sido em decorrência de erros durante a fixação das pastilhas.

A Tabela 18 apresenta os dados obtidos durante a realização do ensaio de resistência de aderência do revestimento correspondente ao traço de 5% de PET. Nota-se que a média de resistência obtida foi de 0,23 MPa, observando um desvio padrão amostral de 0,07 e coeficiente de variação amostral de 30%.

Observa-se que se comparado ao traço de referência sua resistência de Tração do Revestimento não obteve variação, porém a variação entre as amostras obteve um aumento de 10% em relação ao traço descrito anteriormente.

Efetuando a classificação do revestimento segundo a NBR 13 749 (ABNT, 2013), observa-se que para o traço da argamassa de 5% de PET o melhor ambiente para sua aplicação devido a sua resistência obtida, seria ambiente interno, já que o mesmo não ultrapassa os 0,3 MPa.

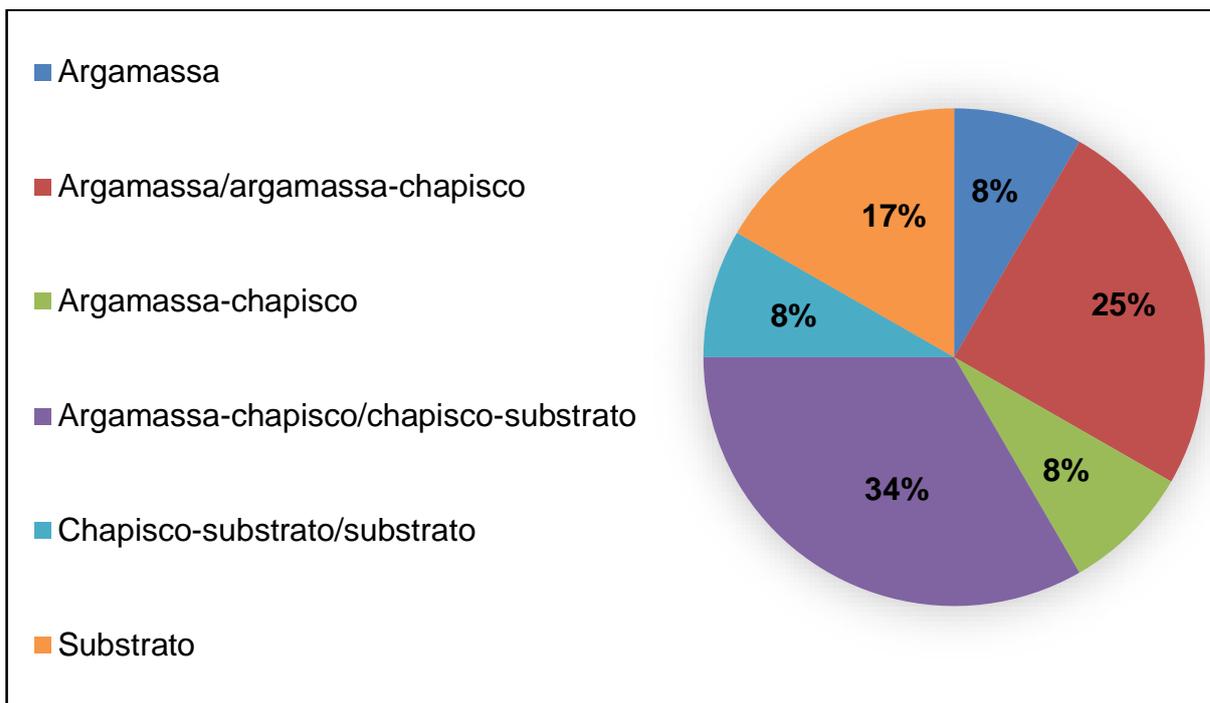
Tabela 18 - Análise do Ensaio a Tração do Revestimento – Traço 5% de PET

| Bloco Cerâmico - Argamassa Traço com 5% PET - Com Chapisco | | | | | |
|--|----------------|--------------------------|-----------|--------------------------------|------------------|
| Tipo | Corpo de Prova | Seção (mm ²) | Carga (N) | Resistência de Aderência (MPa) | Forma de Ruptura |
| 5% de PET | 1 | 1509,0 | 510 | 0,34 | 3CC/4CC |
| | 2 | 1497,6 | 280 | 0,19 | 5CC/6CC |
| | 3 | 1486,2 | 290 | 0,20 | 4CC/5CC |
| | 4 | 1452,2 | 360 | 0,25 | 3CC/4CC |
| | 5 | 1497,6 | 190 | 0,13 | 4CC |
| | 6 | 1497,6 | 440 | 0,29 | 4CC/5CC |
| | 7 | 1497,6 | 370 | 0,25 | 3CC |
| | 8 | 1486,2 | 210 | 0,14 | 6CC |
| | 9 | 1474,8 | 410 | 0,28 | 6CC |
| | 10 | 1497,6 | 420 | 0,28 | 4CC/5CC |
| | 11 | 1520,5 | 410 | 0,27 | 4CC/5CC |
| | 12 | 1497,6 | 210 | 0,14 | 3CC/4CC |
| Média | | | | 0,23 | |
| Desvio-Padrão | | | | 0,07 | |
| Mediana | | | | 0,25 | |
| Coeficiente de Variação | | | | 30% | |

Fonte: Elaboração própria

As formas de ruptura para o traço com substituição de 5% de PET, foram basicamente de seis formas, como pode ser observado no Gráfico 12. Nota-se que três delas apresentaram maior ocorrência ao longo da realização dos ensaios, sendo essas: 34% da forma 4CC/5CC (parcialmente na interface argamassa-chapisco/chapisco-substrato), 25% da forma 3CC/4CC (parcialmente ruptura na argamassa/interface argamassa-chapisco) e 17% da forma 6CC (ruptura no substrato).

Gráfico 12 – Porcentagem e Análise da Forma de Ruptura – Traço 5% de PET



Fonte: Elaboração própria

Observando através do Gráfico acima, constata-se que o traço com 5% de PET apresenta duas formas de ruptura característica. Sendo as rupturas nas formas 4CC/5CC (parcialmente na interface argamassa-chapisco/ chapisco-substrato), e 3CC/4CC (parcialmente ruptura na argamassa/ interface argamassa-chapisco).

A Tabela 19 apresenta os dados obtidos durante a realização do ensaio de resistência de aderência do revestimento correspondente ao traço de 15% de PET. Nota-se que a média de resistência obtida foi de 0,34 MPa, observando um desvio padrão amostral de 0,07 e coeficiente de variação amostral de 20%.

Observa-se que se comparado ao traço de referência, bem como o traço com 5% de PET sua resistência de Tração do Revestimento obteve um aumento de aproximadamente 64%, porém com relação a variação dos dados amostrais apresentou a mesma característica do traço de referência.

Efetuada a classificação do revestimento segundo a NBR 13 749 (ABNT, 2013), observa-se que para o traço da argamassa de 15% de PET o melhor ambiente para sua aplicação devido a sua resistência obtida, seria ambiente externo, já que o mesmo ultrapassa os 0,3 MPa estipulado pela norma.

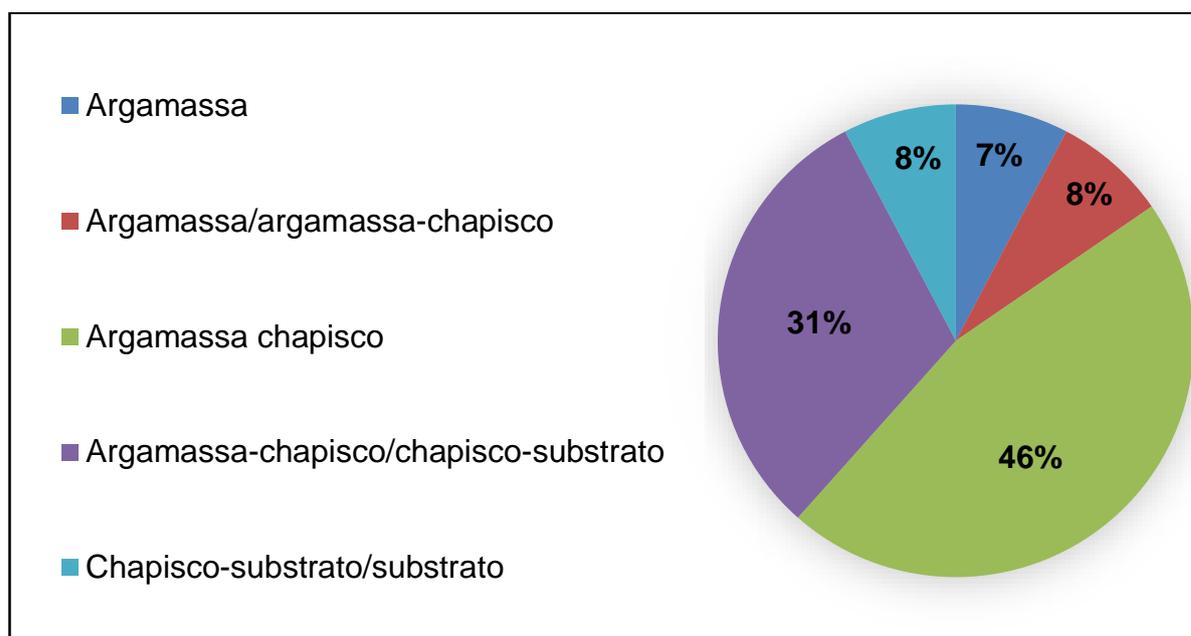
Tabela 19 - Análise do Ensaio a Tração do Revestimento – Traço 15% de PET

| Bloco Cerâmico - Argamassa Traço com 15% PET - Com Chapisco | | | | | |
|---|----------------|--------------------------|-----------|--------------------------------|------------------|
| Tipo | Corpo de Prova | Seção (mm ²) | Carga (N) | Resistência de Aderência (MPa) | Forma de Ruptura |
| 15% de PET | 1 | 1520,5 | 550 | 0,36 | 3CC |
| | 2 | 1497,6 | 380 | 0,25 | 4CC/5CC |
| | 3 | 1520,5 | 470 | 0,31 | 4CC |
| | 4 | 1543,7 | 570 | 0,37 | 4CC/5CC |
| | 5 | 1543,7 | 380 | 0,25 | 4CC |
| | 6 | 1543,7 | 460 | 0,30 | 4CC |
| | 7 | 1520,5 | 690 | 0,45 | 3CC/4CC |
| | 8 | 1520,5 | 460 | 0,30 | 4CC/5CC |
| | 9 | 1520,5 | 600 | 0,39 | 4CC |
| | 10 | 1543,7 | 580 | 0,38 | 4CC |
| | 11 | 1567,0 | 720 | 0,46 | 4CC/5CC |
| | 12 | 1497,6 | 470 | 0,31 | 5CC/6CC |
| | 13 | 1520,5 | 420 | 0,28 | 4CC |
| Média | | | | 0,34 | |
| Desvio-Padrão | | | | 0,07 | |
| Mediana | | | | 0,31 | |
| Coeficiente de Variação | | | | 20% | |

Fonte: Elaboração própria

As formas de ruptura para o traço com substituição de 15% de PET, foram basicamente de cinco formas, como pode ser observado no Gráfico 13. Nota-se que duas delas apresentaram maior ocorrência ao longo da realização dos ensaios, sendo essas: 46% da forma 4CC (parcialmente na interface argamassa-chapisco) e 31% da forma 3CC (ruptura na argamassa).

Gráfico 13 – Porcentagem e Análise da Forma de Ruptura – Traço 15% de PET



Fonte: Elaboração própria.

Observando através do Gráfico acima, constata-se que o traço com 15% de PET apresenta as duas formas de ruptura característica descritas anteriormente. Sendo as rupturas nas forma 4CC e 3CC. A forma de ruptura demonstra que a camada de chapisco efetuou de forma considerável a ligação entre o substrato e a camada de revestimento argamassado.

A Tabela 20 apresenta os dados obtidos durante a realização do ensaio de resistência de aderência do revestimento correspondente ao traço de 30% de PET. Nota-se que a média de resistência obtida foi de 0,32 MPa, observando um desvio padrão amostral de 0,06 e coeficiente de variação amostral de 17%.

Observa-se que se comparado ao traço de referência, bem como o traço com 5% de PET sua resistência de Tração do Revestimento obteve um aumento de considerável bem como o traço descrito anteriormente de 15% de PET.

Efetuando a classificação do revestimento segundo a NBR 13 749 (ABNT, 2013), observa-se que para o traço da argamassa de 30% de PET o melhor ambiente para sua aplicação devido a sua resistência obtida, seria ambiente externo, já que o mesmo ultrapassa os 0,3 MPa estipulado pela norma.

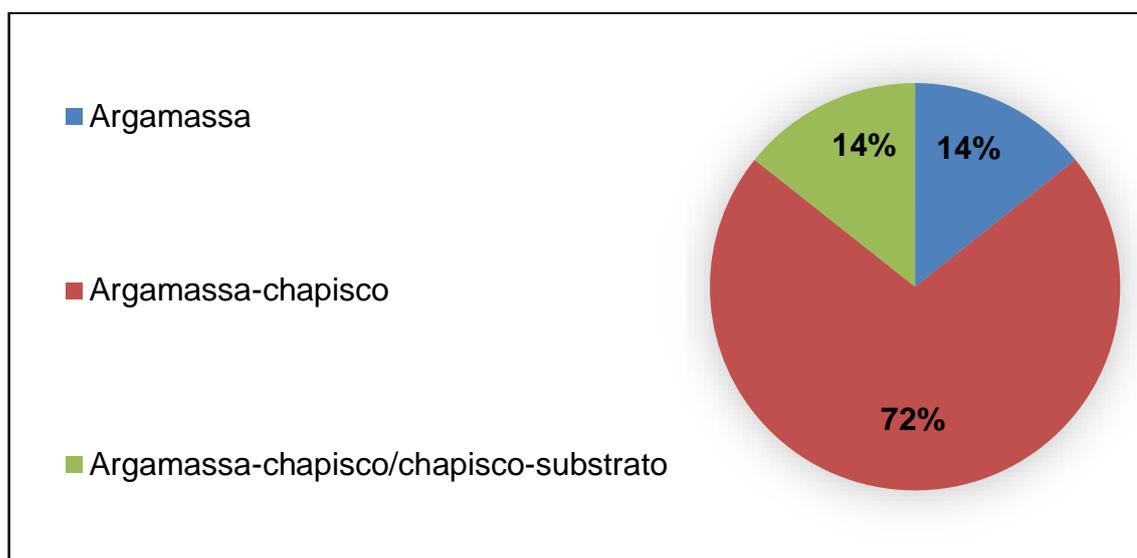
Tabela 20 - Análise do Ensaio a Tração do Revestimento – Traço 30% de PET

| Bloco Cerâmico - Argamassa Traço com 30% PET - Com Chapisco | | | | | |
|---|----------------|--------------------------|-----------|--------------------------------|------------------|
| Tipo | Corpo de Prova | Seção (mm ²) | Carga (N) | Resistência de Aderência (MPa) | Forma de Ruptura |
| 30% de PET | 1 | 1520,5 | 500 | 0,33 | 3CC |
| | 2 | 1520,5 | 410 | 0,27 | 3CC |
| | 3 | 1520,5 | 400 | 0,26 | 4CC/5CC |
| | 4 | 1520,5 | 410 | 0,27 | 4CC |
| | 5 | 1520,5 | 450 | 0,30 | 4CC |
| | 6 | 1520,5 | 490 | 0,32 | 4CC |
| | 7 | 1520,5 | 730 | 0,48 | 4CC/5CC |
| | 8 | 1497,6 | 510 | 0,34 | 4CC |
| | 9 | 1520,5 | 580 | 0,38 | 4CC |
| | 11 | 1520,5 | 460 | 0,30 | 4CC |
| | 12 | 1520,5 | 470 | 0,31 | 4CC |
| | 13 | 1520,5 | 510 | 0,34 | 4CC |
| | 14 | 1520,5 | 460 | 0,30 | 4CC |
| | 15 | 1520,5 | 520 | 0,34 | 4CC |
| | Média | | | | 0,32 |
| Desvio-Padrão | | | | 0,06 | |
| Mediana | | | | 0,32 | |
| Coeficiente de Variação | | | | 17% | |

Fonte: Elaboração própria

As formas de ruptura para o traço com substituição de 30% de PET, foram basicamente de uma forma, como pode ser observado no Gráfico 14. Pode-se destacar que a forma de ruptura 4CC (ruptura camada de argamassa-chapisco) caracteriza o traço com substituição de 30% de agregado reciclado de PET uma vez que o mesmo ocorre em 72% das amostras.

Gráfico 14 - Porcentagem e Análise da Forma de Ruptura – Traço 30% de PET



Fonte: Elaboração própria

Observando através do Gráfico acima, constata-se que o traço com 30% de PET apresenta como forma de ruptura característica a 4CC na interface argamassa-chapisco.

O Gráfico 15 apresenta os valores médios de resistência de aderência à tração nos diferentes traços estudados ao longo dessa pesquisa comparados aos seus respectivos índice de vazios na mistura.

Como pode ser observado, as resistências foram crescendo entre os traços de referência até o de 15% de substituição parcial de PET, já o traço com 30% de PET obteve uma pequena diminuição com relação ao traço de 15% de PET.

Uma questão importante de ser relatada, esta interligada ao último traço estudado (30% de PET), o qual durante a etapa de aplicação sobre a argamassa de chapisco apresentou baixa adesão inicial, o que dificultou o processo de aplicação, uma vez que a mesma não permanecia aderida a camada de chapisco.

O traço de referência, foi o que obteve os valores mais desfavoráveis com relação a aderência à tração do revestimento, assim como visto anteriormente nas resistência de tração na flexão e compressão axial. A granulometria do agregado natural pode ter influenciado em ambas verificações, uma vez que a distribuição e forma como o agregado se arranja na matriz final da argamassa influência nas propriedades de resistência do material.

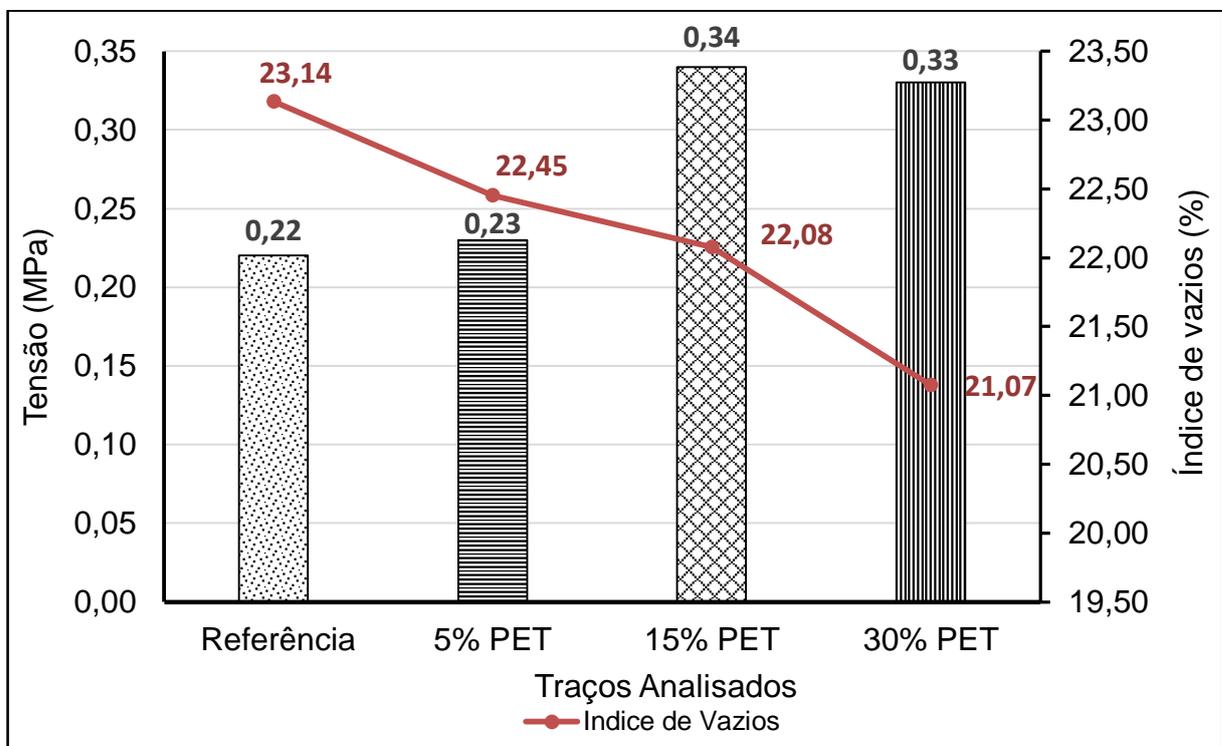
Para a aderência à tração do revestimento o traço com 15% de PET apresentou os melhores resultados, este fator pode estar diretamente interligado ao coeficiente

de capilaridade da mistura, que entre todos os traços analisados foi a que apresentou a menor relação, o que descreve a relação de baixa absorção de água da mistura.

Vale ressaltar que ambos os traços com substituição parcial de PET apresentaram aumento de resistência de aderência à tração, tração na flexão e compressão axial em relação ao traço de referência. Destacando que a aplicação desse material reciclável sobre a mistura pode ser efetuada sem trazer prejuízos ao material.

Pode-se avaliar segundo a NBR 13 749 (ABNT, 2013), que todos os traços obtiveram resistência de aderência à tração acima dos valores mínimos normativos (0,20 MPa). Onde os dois primeiros traços (referência e 5% de PET), poderiam ser aplicados em paredes internas com acabamento de pintura ou base para reboco e os dois últimos traços de 15% de PET e 30% de PET tanto em paredes internas quanto externas, a primeira com acabamentos de cerâmica ou laminado, já a última pode ser aplicada tanto para pintura ou base para reboco quanto para uso de cerâmicas.

Gráfico 15 – Tensão Média de Aderência à Tração do Revestimento e Índice de Vazios dos respectivos traços analisados



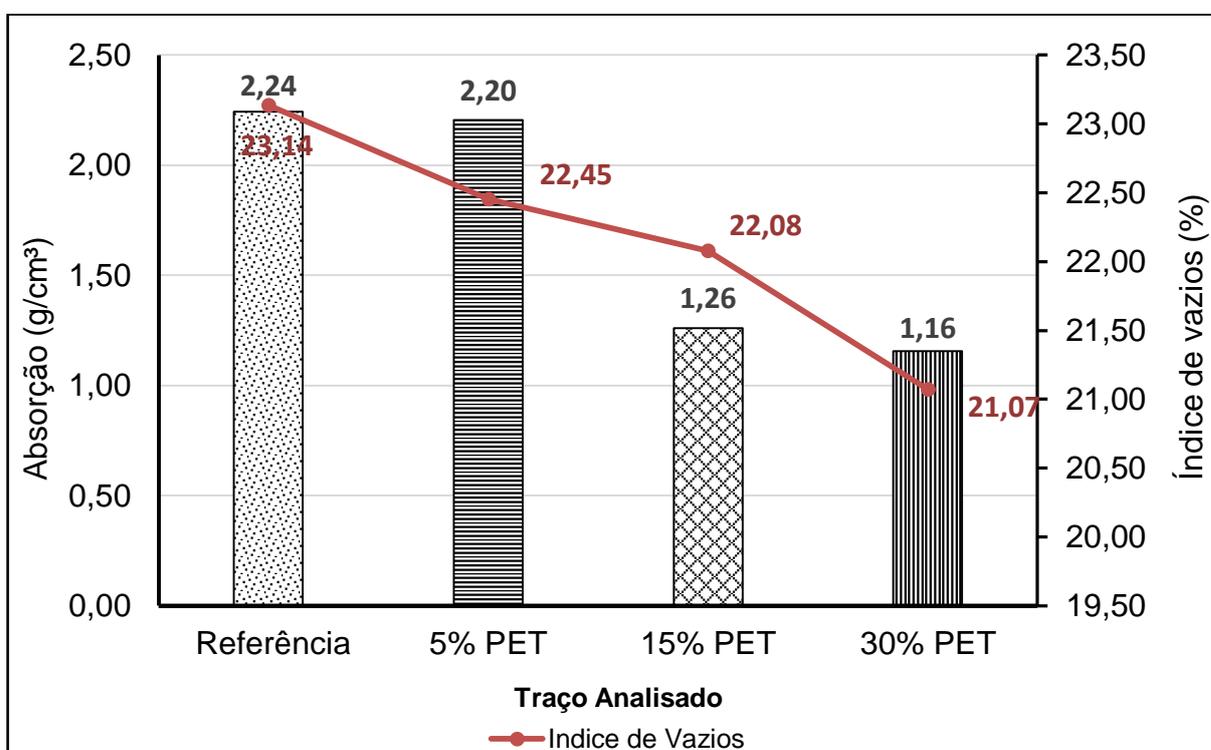
Fonte: Elaboração própria

Pode-se observar que as argamassas do traço de referência e 5% de PET, obtiveram as menores resistências a aderência à tração dos revestimentos e ao

mesmo tempo apresentaram os maiores índices de vazios na mistura, o que caracteriza uma maior porosidade na matriz da argamassa. Já os traços 15% de PET e 30% de PET, obtiveram as maiores tensões de resistência a tração do revestimento, juntamente com os menores índices de vazios das misturas, o que pode ter possibilitado uma maior suscetibilidade a resistir uma quantidade maior de esforços, uma vez que a porosidade da mistura diminuiu com o aumento da utilização de PET na mistura.

O Gráfico 16 efetua uma correlação entre os índices físicos de absorção e índice de vazios nas misturas.

Gráfico 16 – Correlação entre os índices físicos – Absorção e índice de Vazios



Fonte: Elaboração própria

Como pode ser observado a medida que cada mistura diminuiu a capacidade de absorção de sua matriz, ocorreu a correspondente diminuição no índice de vazios da mistura. Isso ocorre devido a diminuição da porosidade de cada um dos traços, uma vez que a medida que aumenta a presença de agregados reciclados de PET ocorre a melhora na granulometria das composição, o que permite um melhor arranjo das partículas na matriz.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho buscou avaliar a influência da utilização do agregado reciclado de PET em substituição parcial ao agregado miúdo convencional em argamassas de revestimento. Isso ocorreu através da análise dos índices físicos e mecânicos dos diferentes traços da argamassa, sendo eles o traço de referência, substituição parcial de 5%, 15% e 30% de PET. Com isso, foi possível chegar até as seguintes conclusões.

Com relação aos índices físicos das argamassas, pode-se concluir que a medida que ocorreu o aumento de presença do agregado reciclado de PET sobre a mistura ocorreu a diminuição da porosidade e teor de ar incorporado na mistura, bem como a diminuição da absorção de água. A consistência das argamassas aumentaram com a diminuição da relação água/cimento, mantendo uma boa trabalhabilidade nas diferentes misturas.

Para os resultados de resistência à tração na flexão bem como compressão axial, ocorreu o crescente aumento de resistência, do traço de referência até o traço de 30% de PET. Esse fator pode estar diretamente correlacionado com a diminuição da presença de água nas misturas com porcentagem de PET, uma vez que o agregado reciclado utilizado não absorve tanta quantidade de água se comparado ao agregado natural.

Quanto aos resultados de resistência de aderência à tração, foi possível demonstrar a eficiência do chapisco aplicado sobre o substrato, isso ocorreu devido a forma de aplicação da camada, a qual se deu de forma mecânica pelo aparelho de aplicação de chapisco, o que manteve a espessura e homogeneidade da camada sobre o substrato. Quanto a espessura do revestimento foi possível manter uma uniformidade devido as demarcações pelo uso das mestras (madeiramento), mantendo todos os corpos de prova com a mesma espessura padrão para a avaliação mais adequada das amostras.

Ainda, pode-se verificar que o uso das misturas com diferentes porcentagens de aplicação de PET melhorou a granulometria dos agregados sobre a matriz da argamassa, podendo contribuir com a capacidade de resistência aos esforços. A aderência à tração do revestimento comprovou a melhora das propriedades mecânicas das argamassas com aplicação de agregado reciclado de PET em relação

ao traço de referência, demonstrando que a reutilização deste resíduo pós-consumo traz melhoras em diversas características das argamassas.

Com isso, foi possível comprovar que a utilização de agregado miúdo reciclado de PET em substituição ao agregado natural como função de revestimento sobre blocos cerâmicos, apresenta boas melhorias nas características físicas e mecânicas das argamassas, uma vez que a mesma satisfaz os parâmetros impostos pela NBR 13749 (ABNT, 2013), quanto aos aspectos de resistência à tração do revestimento.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Efetuar este mesmo estudo para outros teores de substituição do agregado natural pelo reciclado de PET.
- Analisar o estudo de aderência à tração em revestimentos aplicando em diferentes sistemas de substratos, exemplo: bloco de concreto e bloco cerâmico convencional.
- Realizar esta pesquisa comparando a aplicação em um sistema com e sem chapisco.

REFERÊNCIAS

ABCP. Associação Brasileira de Cimento Portland. BT 106: **Guia Básico de Utilização do Cimento Portland**. São Paulo: ABCP, 2002.

ABCP. **Associação Brasileira de Cimento Portland** - <<http://www.abcp.org.br/cms/imprensa/noticias/pesquisa-inedita-e-exclusiva-revela-cenario-do-mercado-brasileiro-de-concreto/>>. Acesso: 04 de agosto de 2016.

ABCP. Associação Brasileira de Cimento Portland. **Manual de Revestimentos de Argamassa**. Data provável 2004?.

ABIPET. Associação Brasileira da Indústria do PET. **5º Censo da Reciclagem de PET no Brasil**. Brasília. 2008. 25 p.

ALMEIDA DIAS, L.; CARASEK, H. Avaliação da permeabilidade e absorção de água de revestimentos de argamassa pelo método do cachimbo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2003. São Paulo. **Anais**. São Paulo: USP, 2003. p. 519-531.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7200**: execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

_____ - ABNT. **NBR NM ISO 3310-1**: Peneiras de ensaio – requisitos técnicos e verificação. Parte 1: peneiras de ensaio com tela de tecido metálico. Rio de Janeiro, 2010.

_____ - ABNT. **NBR NM 26**: Agregados - Amostragem. Rio de Janeiro, 2009.

_____ - ABNT. **NBR NM 27**: Agregados – Redução da amostra de campo para ensaios de. Rio de Janeiro, 2001.

_____ - ABNT. **NBR NM 248**: Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

_____ - ABNT. **NBR 6136**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria -requisitos. Rio de Janeiro, 2016.

_____ - ABNT. **NBR 7175**: Cal hidratada para argamassas. Rio de Janeiro, 2003.

_____ - ABNT. **NBR NM 52**: Agregado miúdo - determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

_____ - ABNT. **NBR 7211**: Argamassa para concreto –especificação. Rio de Janeiro, 2009.

_____ - ABNT. **NBR 9779**: Argamassa e concreto endurecidos – determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 2012.

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

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

_____ - ABNT. **NBR 13528**: Revestimento de parede e tetos de argamassas inorgânicas – determinação da resistência da aderência à tração. Rio de Janeiro, 2010.

_____ - ABNT. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos –preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

_____ - ABNT. **NBR 13277**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da resistência a tração na flexão e a compressão– especificações. Rio de Janeiro, 2005.

_____ - ABNT. **NBR 13529**: Revestimento de parede e tetos de argamassas inorgânicas – terminologia. Rio de Janeiro, 2013.

_____ - ABNT. **NBR 13749**: Revestimento de parede e tetos de argamassas inorgânicas –especificações. Rio de Janeiro, 2013.

_____ - ABNT. **NBR 15259**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005.

_____ - ABNT. **NBR 15270-1**: Componentes cerâmicos parte 1: blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005a.

_____ - ABNT. **NBR 15270-2**: Componentes cerâmicos parte 2: blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005b.

ARAÚJO NETO, G.N. **Influência da argamassa de revestimento na resistência à compressão em prismas de alvenaria resistente de blocos de concreto**. 2006. Dissertação (Mestrado) – Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2006.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. 5° Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

BAUER, E. (Ed). **Revestimento de Argamassa: características e peculiaridades**. Brasília: LEM-uNb/Sinduscon-DF. 2005.

BRASIL. **Lei nº 12305**: Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, de 02 de agosto de 2010.

BRASILEIRO, L.L; MATOS, J. M. **Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil.** Cerâmica 61, 2015. 178-189.

CABAÇA, S. **Humidade Ascendente em Paredes de Edifícios Antigos: Processos de Reabilitação e Prevenção.** Construlink. 2002.

CALLISTER, W. D., **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução.** Ed. LTC, 2008.

CANELLAS, Susan Sales. **Reciclagem de PET, visando a substituição de agregado miúdo em argamassas.** Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais e Metalurgia), 2005, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

CARASEK, H. Argamassas. In: Isaia, G. C. (Org). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais.** São Paulo: Ibracon, 2007. P.863-904.

CAVALCANTI, C. **Desenvolvimento e Natureza: Estudos para uma sociedade sustentável.** In: CAVALCANTI, Clóvis (Org.). 5 ° Ed. Volume 1. São Paulo: Cortez, 2003.

CEMPRE. Associação Empresarial Dedicada à Promoção de Reciclagem e Gestão Integrada do Lixo. **Agora é Lei: Novos desafios para o poder público, empresas, catadores e população.** 2015. Disponível em: <<http://cempre.org.br/artigo-publicacao/artigos>>. Acesso em: 24 de agosto de 2016.

COELHO, R. T. **Contribuição ao Estudo da Aplicação de Materiais Alternativos nos Compósitos á Base de Cimento Portland: Uso de Grãos de Polipropileno Reciclado em Substituição aos Agregados do Concreto.** Dissertação de Mestrado, 2005.

CORÓ, Ângela. **Investigação das Propriedades Mecânicas de Concretos Reforçados com Fibra PET.** 2002. 64f. Monografia apresentada Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul para o grau de bacharel em Engenharia Civil.

CORREA, Priscila Marques. **Estudo comparativo da influência da adição de PET e PP pós-consumo na produção do concreto estrutural.** 2015. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio grande do Sul. Porto Alegre.

CORREIA, J. T. J. M. **Avaliação da Higroscopicidade da Materiais Correntes.** Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil. Universidade Nova de Lisboa – FCT. 2013.

CORTEZ, I.M.M. **Contribuição ao estudo dos sistemas de revestimento com incorporação de fibras sintéticas.** Brasília, 1999. Dissertação de mestrado. Universidade de Brasília – UnB.

ESPÍNDOLA, L. C. **Reciclagem de Plásticos Pós-consumo Misturados Não Reaproveitados pelos centros de Triagem de Porto Alegre.** 2004.

FREITAS, V. P.; TORRES, M. I.; GUIMARÃES, A. S. **Humidade Ascensional.** 1º Ed. Porto, FEUP, 2008.

FERREIRA, B. B. D. **Trificação de Patologias em Revestimentos Argamassados.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais. 2010.

GORNI, A. A. **Introdução aos Plásticos.** 2003. Disponível em: <<http://www.gorni.eng.br/intropol.html>>. Acesso em: 14 de setembro de 2016.

HENRIQUES, F. M. A. **Humidade em Paredes.** Laboratório Nacional de Engenharia Civil. LNEC. Lisboa, 2005.

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Sustentabilidade Ambiental no Brasil: biodiversidade, economia e bem estar humano.** Livro 7. Brasília 2010.

ISOLDI, A. B. G. **Estudo do Efeito da Dose de Radio Esterilização sobre as Propriedades do Poli(tereftalato de etileno) – PET Reciclado.** 2003.

ITAMBÉ: **Efeito da qualidade da água.** 2006. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/efeito-da-qualidade-da-agua-no-concreto/>>. Acesso em: 17 de setembro de 2016.

LEAL, A. B. C. **Argamassas Tradicionais de Revestimento de Paredes: fendilhação e sua reparação.** Dissertação de mestrado. Porto, 2009. Departamento de Engenharia Civil – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.

LIMA, J. **O Contributo das Argamassas de Barro para a Qualidade do Ambiente Interior dos Edifícios: o caso das argilas sotavento algarvio.** Laboratorio Nacional de Engenharia Civil. LNEC. Lisboa, 2013.

LOURENCI, S. **Caracterização de Argamassas de Revestimento Fabricadas com Materiais Alternativos.** Universidade do Estado de Santa Catarina- Centro de Ciências Tecnológicas, 2003. Dissertação de Mestrado.

MACIEL, L. L.; BARROS, M. M. S. B.; SABBATINI, F. H. **Recomendações para execução de revestimentos de argamassas para paredes de vedação internas e exteriores e tetos.** São Paulo: EPUSP, 1998.

MANO, B, Eloisa. **Polímeros como Materiais de Engenharia.** 2 ed. São Paulo: Edgard Blucher. 2004.

MANO, E. B.; MENDES, L. C. **Introdução a polímeros.** 2ª revista ampliada. São Paulo 1998, Editora Edgar Blücher LTDA.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: Estrutura, propriedades e materiais.** Ed. Pini, São Paulo, 1994.

PAES, J. **Estudo sobre Responsabilidade Ambiental**. 2011. Disponível em: <http://www.jurisway.org.br/v2/dhall.asp?id_dh=6273>. Acesso em: 19 de setembro de 2016.

PAIVA, S.C.; GOMES, E. A. O.; OLIVEIRA, R. A.de. Controle de qualidade da cal para argamassas- metodologias alternativas. **Revista Ciência e Tecnologia**. Julho/dezembro de 2007.

PEREIRA, L. J. **Revestimento Interno de Argamassa em Alvenaria com Blocos Cerâmicos: Verificação da Aderência Com e Sem o Uso de Chapisco**. 2014. 59 f. Monografia apresentada na Universidade Federal do Rio Grande do Sul para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de Cimento Portland**- São Paulo: Globo, 1998.

PIETROBELLI, R. E. **Estudo de viabilidade do Pet reciclado em concreto sob aspecto da resistência a compressão**. 2010. 71 f. Monografia apresentada Universidade Comunitária Regional de Chapecó para o grau de bacharel em Engenharia Civil.

PIRES, A. L. G. **Avaliação do Comportamento Higroscópico de Argamassas de Reboco**. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil. Faculdade de Ciência e Tecnologia- FCT- Universidade Nova de Lisboa. 2013.

PLASMOLD. **Unidade de Repetição do PET**. 2010. Disponível em: <<http://telhaspetplasmold.blogspot.com.br/2010/09/o-que-e-o-pet.html> >. Acesso: 20 setembro de 2016.

PMS. **Portaria do Ministério da Saúde. Resolução nº 518**. Vigilância da qualidade da água para consumo humano. 2004.

RATO, V. N. P. M. **Influência da Microestrutura Morfológica no Comportamento de Argamassas**. 2006. Tese de doutorado. Departamento de Engenharia Civil. Universidade de Lisboa.

RECENA, F. A. P. **Conhecendo Argamassa**. 1 ed. (1. Reimpressão). Porto Alegre: EDIPUCRS, 2008 (reimpressão 2011).

ROSA, F. R. **A Importância do Projeto em Revestimentos Cerâmicos de Fachada**. 2014. 91 f. Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil – Universidade de Santa Cruz do Sul.

VALVERDE, F. M., **Agregados para construção civil**, Balanço mineral Brasileiro 2001. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/publicacoes-economia-mineral/arquivos/agregados-para-contrucao-civil.pdf>>. Acesso: 09 de agosto de 2016.

VARGAS, A. **Análise Experimental de Lajes Pré-fabricadas**. Tese de Doutorado, 2013. Universidade do Extremo Sul Catarinense. Disponível em: <<http://dspace.unesc.net/handle/1/1662>>. Acesso 16 de setembro de 2016.

VAZ, C. E. **Avaliação de Desempenho de Argamassa Modificada: Com Fibra de PET.** 2016. Dissertação para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil. Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, Campus Alegrete. 2016.

SANTOS, H. B. **Ensaio de Aderência das Argamassas de Revestimento.** 2008. Monografia apresentada na Escola de Engenharia da Universidade Federal de Mato Grosso – UFMG.

SANTOS, F. I. G. **Avaliação de Propriedades Higrotérmicas das Argamassas: estudo de caso com as cinzas pesadas. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil.** 2006.

SILVA, L. J. D. Utilização de telhas de pet reciclado na construção civil- Campinas: **Revista Ciências do Ambiente**, 2010. – 1: Vol. VI.

TAUIL, C. A.; NESE, F. J. M. **Alvenaria Estrutural.** – São Paulo: Pini. 2010.

TEMP, A. L. **Avaliação de Revestimentos de Argamassa à Permeabilidade ao Vapor de Água.** 2014. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil.

TESKE, S. **Desenvolvimento de Telha Ecológica a partir de Resíduo de Gesso da Construção.** 2014.

THOMAZ, E.; MITIDIÉRI FILHO, C. V.; CLETO, F. R.; CARDOSO, F. F. **Alvenaria de Vedação em Blocos Cerâmicos.** São Paulo: IPT- Instituto de Pesquisa Tecnológicas, 2009. Código de Práticas n. 01.

YAZIGI, W. **A Técnica de Edificar.** Walid Yazigi. 7º Ed. São Paulo, PINI, 2006.

ANEXOS

Anexo A – Resultados Completos – Densidade de Massa das Argamassas

Tabela 21 – Dados completos – Densidade de Massa das Argamassas

| Traço Analisado | Recipiente cheio (g) | Recipiente vazio (g) | Volume recipiente (cm ³) | Densidade de Massa (g/cm ³) |
|-----------------|----------------------|----------------------|--------------------------------------|---|
| Referência | 1182,6 | 51,4 | 550 | 2,06 |
| 5% PET | 1147,9 | 50,1 | 550 | 2,00 |
| 15% PET | 1129,9 | 50,4 | 550 | 1,96 |
| 30% PET | 1081,8 | 51,4 | 550 | 1,87 |

Anexo B – Resultados Completos – Teor de Ar Incorporado

Tabela 22 – Dados completos – Teor de Ar Incorporado das Argamassas

| Traço Analisado | Densidade de Massa (g/cm ³) | Densidade de Massa Teórica sem vazios (g/cm ³) | Teor de Ar Incorporado (%) |
|-----------------|---|--|----------------------------|
| Referência | 2,06 | 8,89 | 23,14 |
| 5% PET | 2,00 | 8,89 | 22,45 |
| 15% PET | 1,96 | 8,89 | 22,08 |
| 30% PET | 1,87 | 8,89 | 21,07 |

Anexo C – Resultados Completos – Ensaio de Absorção por Capilaridade

Tabela 23 – Dados completos – Ensaio de Absorção por Capilaridade

| Corpo de Prova | Absorção por Capilaridade (g/cm ²) | | | | | | | |
|----------------|--|--------|-----------|--------|------------|--------|-------------|--------|
| | Referência | | 5% de PET | | 15% de PET | | 30 % de PET | |
| | A10min | A90min | A10min | A90min | A10min | A90min | A10min | A90min |
| 1 | 0,68 | 2,10 | 0,81 | 2,40 | 0,46 | 1,21 | 0,35 | 1,19 |
| 2 | 0,74 | 2,25 | 0,81 | 2,32 | 0,44 | 1,14 | 0,33 | 1,21 |
| 3 | 0,70 | 2,15 | 0,69 | 2,04 | 0,54 | 1,29 | 0,39 | 1,24 |
| 4 | 0,82 | 2,24 | 0,79 | 2,09 | 0,43 | 1,19 | 0,36 | 1,11 |
| 5 | 0,81 | 2,36 | 0,79 | 2,11 | 0,56 | 1,31 | 0,31 | 1,10 |
| 6 | 0,84 | 2,35 | 0,85 | 2,26 | 0,59 | 1,41 | 0,32 | 1,09 |
| Média | 0,78 | 2,25 | 0,80 | 2,18 | 0,50 | 1,25 | 0,34 | 1,15 |

Anexo D – Resultados Completos – Ensaio de Coeficiente de Capilaridade

Tabela 24 – Dados completos – Ensaio de Coeficiente de Capilaridade

| Coeficiente de Capilaridade (g/dm ² .min ^(1/2)) | | | | |
|--|------------|-----------|------------|-------------|
| Corpo de Prova | Referência | 5% de PET | 15% de PET | 30 % de PET |
| 1 | 22,8 | 25,4 | 12 | 13,5 |
| 2 | 24,1 | 24,1 | 11,3 | 14 |
| 3 | 23,2 | 21,6 | 12,1 | 13,5 |
| 4 | 22,8 | 20,9 | 12,2 | 12 |
| 5 | 24,8 | 21,2 | 11,9 | 12,7 |
| 6 | 24,2 | 22,5 | 13,22 | 12,4 |
| Média | 23,65 | 22,62 | 12,12 | 13,02 |

Anexo E – Resultados Completos – Ensaio de Tração na Flexão

Tabela 25 – Dados completos – Ensaio de Tração na Flexão

| Resistência à Tração na Flexão (MPa) | | | | |
|--------------------------------------|------------|-----------|------------|-------------|
| Corpo de Prova | Referência | 5% de PET | 15% de PET | 30 % de PET |
| 1 | 0,62 | 0,58 | 0,76 | 0,91 |
| 2 | 0,37 | 0,62 | 0,81 | 0,9 |
| 3 | 0,67 | 0,67 | 0,81 | 0,8 |
| 4 | 0,6 | 0,57 | 0,98 | 0,71 |
| 5 | 0,55 | 0,58 | 0,67 | 0,9 |
| 6 | 0,47 | 0,63 | 0,67 | 0,9 |
| Média | 0,55 | 0,61 | 0,78 | 0,85 |

Anexo F – Resultados Completos – Ensaio de Compressão Axial

Tabela 26 – Dados completos – Ensaio de Compressão Axial

| Resistência à Compressão Axial (MPa) | | | | |
|--------------------------------------|------------|-----------|------------|-------------|
| Corpo de Prova | Referência | 5% de PET | 15% de PET | 30 % de PET |
| 1 | 1,35 | 1,49 | 3,03 | 2,88 |
| 2 | 1,54 | 1,27 | 2,94 | 2,52 |
| 3 | 1,19 | 1,45 | 2,16 | 2,71 |
| 4 | 1,27 | 1,41 | 3,23 | 2,63 |
| 5 | 1,26 | 1,57 | 2,44 | 2,72 |
| 6 | 1,2 | 1,54 | 2,25 | 2,85 |
| 7 | 1,52 | 1,41 | 2,34 | 3,83 |
| 8 | 1,38 | 1,26 | 2,02 | 3,33 |
| 9 | 1,2 | 1,31 | 2,71 | 3,51 |
| 10 | 1,29 | 1,36 | 2,54 | 3,51 |
| 11 | 1,34 | 1,56 | 3,25 | 3,57 |
| 12 | 1,12 | 1,8 | 3,21 | 3,81 |
| Média | 1,31 | 1,45 | 2,68 | 3,16 |

Anexo G – Resultados Completos –Aderência à Tração - Traço Referência

Tabela 27 – Dados Completos – Ensaio de Aderência à Tração – Traço Referência

| Bloco Cerâmico Estrutural - Argamassa Tradicional - Com Chapisco | | | | | |
|--|----------------|--------------------------|-----------|--------------------------------|------------------|
| Tipo | Corpo de Prova | Seção (mm ²) | Carga (N) | Resistência de Aderência (MPa) | Forma de Ruptura |
| Referência | 1 | 1452,2 | 340 | 0,23 | 2CC |
| | 2 | 1486,2 | 240 | 0,16 | 4CC |
| | 3 | 1497,6 | 390 | 0,26 | 4CC |
| | 4 | 1520,5 | 270 | 0,18 | Erro no Ensaio |
| | 5 | 1525,1 | 360 | 0,24 | 4CC |
| | 6 | 1452,2 | 340 | 0,23 | 2CC |
| | 7 | 1522,8 | 390 | 0,26 | 6CC |
| | 8 | 1486,2 | 290 | 0,20 | 3CC/4CC |
| | 9 | - | - | - | Erro no Ensaio |
| | 10 | 1520,5 | 260 | 0,17 | 2CC |
| | 11 | 1520,5 | 260 | 0,17 | 3CC |
| | 12 | 1509,0 | 290 | 0,19 | 3CC |
| | 13 | 1518,2 | 470 | 0,31 | 3CC/4CC |
| | 14 | 1515,9 | 330 | 0,22 | 3CC |

Anexo H – Resultados Completos –Aderência à Tração - Traço 5% de PET

Tabela 28 – Dados completos – Ensaio de Aderência à Tração- Traço 5% de PET

| Bloco Cerâmico - Argamassa Traço com 5% PET - Com Chapisco | | | | | |
|--|----------------|--------------------------|-----------|--------------------------------|------------------|
| Tipo | Corpo de Prova | Seção (mm ²) | Carga (N) | Resistência de Aderência (MPa) | Forma de Ruptura |
| 5% de PET | 1 | 1509,0 | 510 | 0,34 | 3CC/4CC |
| | 2 | 1497,6 | 280 | 0,19 | 5CC/6CC |
| | 3 | 1486,2 | 290 | 0,20 | 4CC/5CC |
| | 4 | 1452,2 | 360 | 0,25 | 3CC/4CC |
| | 5 | 1497,6 | 190 | 0,13 | 4CC |
| | 6 | 1497,6 | 440 | 0,29 | 4CC/5CC |
| | 7 | 1497,6 | 370 | 0,25 | 3CC |
| | 8 | 1486,2 | 210 | 0,14 | 6CC |
| | 9 | 1474,8 | 410 | 0,28 | 6CC |
| | 10 | 1497,6 | 420 | 0,28 | 4CC/5CC |
| | 11 | 1520,5 | 410 | 0,27 | 4CC/5CC |
| | 12 | 1497,6 | 210 | 0,14 | 3CC/4CC |

Anexo I – Resultados Completos –Aderência à Tração - Traço 15% de PET

Tabela 29 – Dados completos – Ensaio de Aderência à Tração – Traço 15% de PET

| Bloco Cerâmico - Argamassa Traço com 15% PET - Com Chapisco | | | | | |
|---|----------------|--------------------------|-----------|--------------------------------|------------------|
| Tipo | Corpo de Prova | Seção (mm ²) | Carga (N) | Resistência de Aderência (MPa) | Forma de Ruptura |
| 15% de PET | 1 | 1520,5 | 550 | 0,36 | 3CC |
| | 2 | 1497,6 | 380 | 0,25 | 4CC/5CC |
| | 3 | 1520,5 | 470 | 0,31 | 4CC |
| | 4 | 1543,7 | 570 | 0,37 | 4CC/5CC |
| | 5 | 1543,7 | 380 | 0,25 | 4CC |
| | 6 | 1543,7 | 460 | 0,30 | 4CC |
| | 7 | 1520,5 | 690 | 0,45 | 3CC/4CC |
| | 8 | 1520,5 | 460 | 0,30 | 4CC/5CC |
| | 9 | 1520,5 | 600 | 0,39 | 4CC |
| | 10 | 1543,7 | 580 | 0,38 | 4CC |
| | 11 | 1567,0 | 720 | 0,46 | 4CC/5CC |
| | 12 | 1497,6 | 470 | 0,31 | 5CC/6CC |
| | 13 | 1520,5 | 420 | 0,28 | 4CC |

Anexo J – Resultados Completos –Aderência à Tração - Traço 30% de PET

Tabela 30 – Dados completos – Ensaio de Aderência à Tração – Traço 30% de PET

| Bloco Cerâmico - Argamassa Traço com 30% PET - Com Chapisco | | | | | |
|---|----------------|--------------------------|-----------|--------------------------------|------------------|
| Tipo | Corpo de Prova | Seção (mm ²) | Carga (N) | Resistência de Aderência (MPa) | Forma de Ruptura |
| 30% de PET | 1 | 1520,5 | 500 | 0,33 | 3CC |
| | 2 | 1520,5 | 410 | 0,27 | 3CC |
| | 3 | 1520,5 | 400 | 0,26 | 4CC/5CC |
| | 4 | 1520,5 | 410 | 0,27 | 4CC |
| | 5 | 1520,5 | 450 | 0,30 | 4CC |
| | 6 | 1520,5 | 490 | 0,32 | 4CC |
| | 7 | 1520,5 | 730 | 0,48 | 4CC/5CC |
| | 8 | 1497,6 | 510 | 0,34 | 4CC |
| | 9 | 1520,5 | 580 | 0,38 | 4CC |
| | 10 | 1520,5 | 620 | 0,41 | Erro no Ensaio |
| | 11 | 1520,5 | 460 | 0,30 | 4CC |
| | 12 | 1520,5 | 470 | 0,31 | 4CC |
| | 13 | 1520,5 | 510 | 0,34 | 4CC |
| | 14 | 1520,5 | 460 | 0,30 | 4CC |
| | 15 | 1520,5 | 520 | 0,34 | 4CC |