



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

**ESTUDO DA DURABILIDADE DA ARGAMASSA
PRODUZIDA COM AGREGADO RECICLADO**

Carlos Eduardo Silva Lacerda

Orientadora: PhD. Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça.

Campina Grande-PB, 19/Novembro/2020

**ESTUDO DA DURABILIDADE DA ARGAMASSA
PRODUZIDA COM AGREGADO RECICLADO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Campina Grande-PB, Novembro/2020

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL**

Carlos Eduardo Silva Lacerda

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Universidade Federal
de Campina Grande como requisito
para obtenção do grau de bacharel
em Engenharia Civil.

Área de habilitação: Estruturas.

Orientador: PhD. Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça

CAMPINA GRANDE – PB

Novembro/2020

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer aos meus pais pelo suporte em todas minhas decisões, por sempre acreditarem em mim, não seria o que eu sou hoje graças a eles, sempre serão os meus maiores exemplos.

Agradeço a todos os professores que foram que participaram da minha formação acadêmica e moldaram muito do meu caráter profissional, em especial a minha professora e orientadora Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça pela dedicação e empenho com o desenvolvimento da pesquisa. Quero agradecer também a professora Solange e ao engenheiro Ricardo por me ajudarem bastante nos experimentos, me auxiliaram de uma forma única e sanar minhas dúvidas durante o processo.

Agradeço a minha namorada Mariana pelo suporte durante boa parte da minha vida acadêmica, sempre estando ao meu lado e me apoiando bastante nessa reta final do curso.

Aos meus amigos que fiz pela minha trajetória universitária e que daqui a pouco serão amigos de profissão pelo resto da vida.

DEDICATÓRIA

Dedico aos meus pais, que sempre me apoiaram nas minhas escolhas e dedico também aos meus amigos que me ajudaram durante a graduação.

EPÍGRAFE

“Sonhos determinam o que você quer. Ação determina o que você conquista.”

(Aldo Novak)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Consumo de cimento no Brasil.	1
Figura 2: Camadas de revestimento de argamassa e suas funções.....	11
Figura 3: Fatores de degradação.	13
Figura 4: Fluxograma para a etapa dos ensaios nas argamassas no estado fresco e endurecido.....	16
Figura 5: Manifestações do ataque por sulfatos.....	18
Figura 6: Manifestações do ataque por sulfatos.....	18
Figura 7: Modelo de ataque em material de base cimentícia por sulfato de sódio.	21
Figura 8: Mineral etringita encontrado em Ettigen, na Alemanha.....	24
Figura 9: DEF devido ao ataque por sulfatos de origem externa.	25
Figura 10: DEF devido ao ataque por sulfatos de origem interna.	26
Figura 11: Evolução da Reciclagem do PET no Brasil.....	29
Figura 12: Propriedades do concreto com adição de agregado leve.	30
Figura 13: Fluxograma das etapas da pesquisa.	32
Figura 14: Localização das linhas de referência para medições dos corpos de prova.....	35
Figura 15: Localização das linhas de referências utilizadas no experimento.	36
Figura 16: Corpos de prova imersos em água.	36
Figura 17: Corpos de prova imerso em solução de sulfato.	37
Figura 18: Expansão resultante, aos 42 dias, das argamassas contendo adições minerais na composição do material ligante, conforme	

recomendações da NBR 13.583, e limite de expansão resultante proposto por Marciano. 39

Figura 19: Expansão resultante das argamassas submetidas à cura úmida e ao 40

Figura 20: Diferença entre as expansões dimensionais ao longo dos 42 dias de imersão entre os corpos de prova imerso na solução de sulfato de sódio e a solução d'água com cal do traço 1:1:6. 40

Figura 21: Variação dimensional do 42º dia. 41

LISTA DE TABELA

Tabela 1: Classificação das argamassas segundo as suas funções na construção.	4
Tabela 2: Classificação das argamassas por meio da resistência de aderência à tração.	8
Tabela 3: Exigências mecânicas e reológicas para argamassas.	9
Tabela 4: Características dos principais tipos de sais selenitosos.	16
Tabela 5: Pesquisas brasileiras: dosagem, cura e tipo de ataque por sulfatos.	21
Tabela 6: Pesquisas brasileiras: ensaios para avaliação da durabilidade frente ao ataque de sulfatos.	23
Tabela 7: Formação da etringita tardia pelo ataque de sulfatos externos e internos.	25
Tabela 8: Tabela resumo com os corpos de provas.	34
Tabela 9: Resumo da expansão resultante dos do traço ao longo dos 42 dias	38

LISTA DE SIMBOLOS E ABREVIATURAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland.

ABIPET - Associação Brasileira da Indústria Pet.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ASTM - American Society for Testing and Materials.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente.

C-S-H - Silicatos de cálcio hidratado.

CRF - Concreto Reforçado com Fibras.

DEF - Delayed Ettringite Formation.

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.

DNIT- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes.

ME – Método de Ensaio.

NBR – Normas Brasileiras.

PB – Paraíba.

PET - Politereftalato de etileno.

RCD - Resíduo de Construção e Demolição.

UFCG – Universidade Federal de Campina Grande.

RESUMO

No Brasil o sistema construtivo mais utilizado é o que faz uso de paredes de alvenaria revestidas com camadas argamassadas, sejam chapisco, emboço e reboco, interna e externamente as edificações. Esse tipo de revestimento ocorre mais comumente em habitações para pessoas de baixa e média renda, no qual as placas à base de cimento e agregados minerais apresentam um custo reduzido. Deste modo, a busca por produtos que sejam eficientes, apresentem custos reduzidos e causem pouco ou nenhum dano ao meio ambiente vem incentivando cada vez mais pesquisas sobre produtos oriundos de fontes renováveis e cuja exploração gere benefícios à sociedade que os explore. A utilização de resíduos tem se mostrado uma boa alternativa na redução do impacto causado pelo consumo desordenado de matéria prima e pela redução das áreas de disposição, considerando o crescente volume de resíduos descartados a cada ano em todo o mundo. Este estudo tem como objetivo estudar a durabilidade de argamassas incorporadas com Politereftalato de etileno nos teores de 5,10,15,20 e 25% através de ensaio resistência ao ataque por sulfatos. Foram moldados corpos de prova nas dimensões de 5 x 10 (cm) e avaliada a durabilidade para as idades de 7,14, 21, 28, 35 e 42 dias, para a argamassa de referência e para a argamassa com substituição do agregado natural por agregado reciclado. Os resultados indicaram que os ensaios realizados com as argamassas dentre todas as porcentagens nenhuma delas foi capaz de ser eficaz no combate a expansão causa pelo ataque da solução de sulfato.

Palavras-chave: Argamassa; propriedades; reciclagem.

ABSTRACT

In Brazil, the most widely used building system is the use of masonry walls lined with mortar layers, such as chapisco, plaster and plaster, inside and outside the buildings. This type of flooring most commonly occurs in low- and middle-income housing, where cement-based slabs and mineral aggregates are cost-effective. Thus, the search for products that are efficient, have low costs and cause little or no damage to the environment has been encouraging more research on products from renewable sources and whose exploitation benefits the society that exploits them. The use of waste has been shown to be a good alternative in reducing the impact caused by the disordered consumption of raw materials and the reduction of disposal areas, considering the increasing volume of waste disposed of each year worldwide. This study aims to study the durability of mortars incorporated with Polyethylene Terephthalate in contents of 5,10,15,20 and 25% by resistance to sulfate attack. Specimens will be molded in the dimensions of 5 x 10 (cm) and durability will be evaluated for ages 7,14, 21, 28, 35 and 42 days, for the reference mortar and for the mortar with replacement of natural aggregate by recycled aggregate. The results indicated that the tests carried out with mortars of all percentages, none of them was able to be effective in combating the expansion caused by the attack of the sulfate solution.

Key-words: Mortar; properties; recycling.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 JUSTIFICATIVA.....	2
1.2 OBJETIVOS.....	3
1.2.1 Objetivo Geral.....	3
1.2.2 Objetivos Específicos	3
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	3
2.1 Propriedades da Argamassa	5
2.1.1 Estado Fresco	5
2.1.1.1 Trabalhabilidade.....	5
2.1.1.2 Consistência.....	6
2.1.1.3 Plasticidade.....	6
2.1.1.4 Aderência	6
2.1.1.5 Retenção da água.....	7
2.1.2 Estado Endurecido	7
2.1.2.1 Aderência	7
2.1.2.2 Retração	8
2.1.2.3 Resistencia mecânica – a compressão e a tração na flexão	8
2.1.2.4 Capacidade de resistência a deformação	9
2.2 Tipos de Argamassa de acordo com as Normas Brasileiras	10
2.3 Estudo da Durabilidade.....	12
2.3.1 Durabilidade ao ataque por sulfatos:.....	15
2.3.1.1 Fatores que influenciam no ataque de sulfato.....	19
2.3.1.2 Sulfato de sódio	19
2.3.1.3 Estudo do Ataque por sulfato no brasil	21

2.3.1	Etringita	23
2.3.1.1	Formação da etringita primaria.	24
2.3.1.2	Formação da etringita tardia.	24
2.4	Materiais recicláveis na construção civil	27
2.5	Produção e aplicação do Politereftalato de etileno - PET.....	27
2.6	Reciclagem de PET.....	28
2.7	Resina PET.....	29
2.8	Aplicação do PET na construção civil.....	29
3.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	30
3.1	Materiais	30
3.2	Métodos.....	31
3.2.1	Caracterização física dos Agregados e do Cimento.....	31
3.2.1.1	Análise granulométrica.....	31
3.2.1.2	Determinação da massa específica	31
3.2.1.3	Determinação da massa unitária.....	31
3.2.1.4	Caracterização do Cimento.....	32
3.2.1.5	Fluxograma	32
3.2.2	Estudo da Dosagem das argamassas.....	33
3.2.3	Moldagem dos corpos de prova	33
3.2.4	Determinação da Durabilidade	35
3.2.4.1	Avaliação da resistência ao ataque por sulfatos	35
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
4.1	Variação dimensional ao ataque externo de sulfato	38
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
5.1	Sugestões para Pesquisas Futuras	42
NOTA.....	43

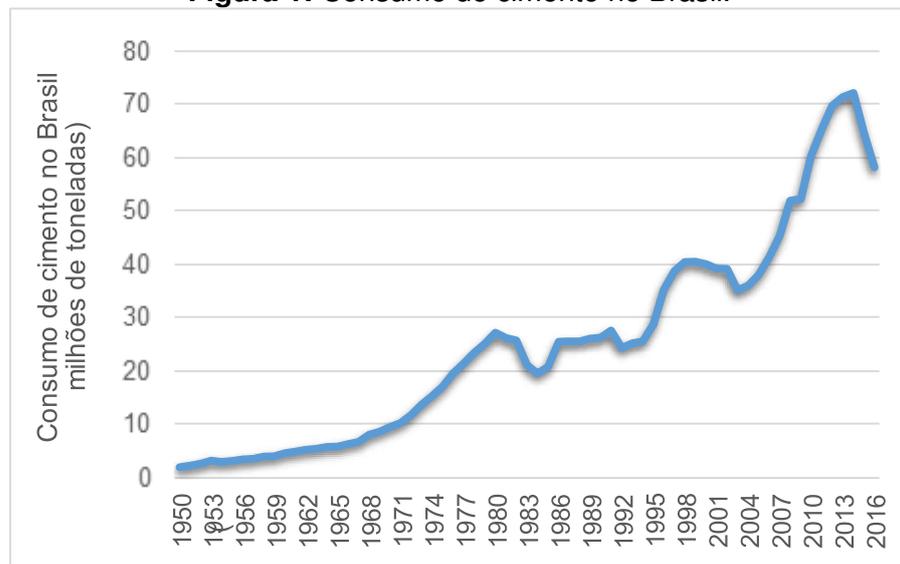
6. REFERÊNCIAS	44
APÊNDICES	49

1. INTRODUÇÃO

De acordo com os autores Hedre (2010) e Lintz (2012) a construção civil é considerada uma das atividades mais antigas que se tem conhecimento e desde da antiguidade foi executada de forma artesanal, gerando como subproduto, grande quantidade de resíduos de diversas naturezas. É também responsável pelo consumo excessivo de recursos naturais provenientes de fontes não-renováveis.

O concreto é o material de construção mais consumido na atualidade, cerca de 19 bilhões de toneladas métricas ao ano, segundo Mehta e Monteiro (2014). Ao reparar ou reconstruir edificações que sofreram degradação contribui-se para o aumento do consumo de cimento e, conseqüentemente, para a emissão de CO₂ no meio ambiente. O gráfico da figura abaixo mostra consumo de cimento no Brasil, de 1950 a 2016.

Figura 1: Consumo de cimento no Brasil.



Fonte: Sindicato Nacional das Indústrias de Cimento.

Sendo assim, um dos grandes desafios mundiais para o século XXI é a eliminação de resíduos provenientes de qualquer tipo de industrialização. Pesquisas sobre reciclagem de resíduos vêm sendo desenvolvidas no mundo, com grande intensidade desde a década de 50 (SOUZA, 2008). Segundo Jonh (2000), as razões que motivam esses estudos, em geral, são: esgotamento das matérias-primas não renováveis, redução do consumo de energia, menores emissões de

poluentes, redução de custos, melhoria na saúde e segurança da população. Com isso o aproveitamento de resíduos na construção é bastante pesquisado. Com estudos apresentando materiais para serem utilizados em sua constituição sejam eles, por exemplo, como agregados.

Assim, o desenvolvimento de tecnologias para reciclagem de resíduos ambientalmente eficientes e seguras, que resultem em produtos com desempenho técnico adequado e que sejam economicamente competitivas nos diferentes mercados, é um desafio técnico importante, inclusive, do ponto de vista metodológico (JOHN, 2000).

Com o crescimento dos resíduos plásticos na sociedade aumentando cada vez mais, conseqüentemente, acaba gerando um interesse na procura de novos métodos para resolver a eliminação de resíduos da indústria, sendo um deles sua utilização no setor da construção civil.

Segundo a ABIPET (Associação Brasileira da Indústria Pet) a reciclagem de garrafa pet no Brasil é uma das mais desenvolvidas no mundo, e conta com alto índice de reciclagem e uma enorme gama de aplicações para o material, porem de acordo com Mello (2011), sua aplicação é pouco conhecida quanto ao desempenho nas propriedades da argamassa.

Diante do contexto apresentado, este trabalho tem por objetivo verificar a durabilidade de uma argamassa modificada utilizando Politereftalato de etileno-PET e os resultados desses estudos devem ser comparados a especificações técnicas recomendadas pelas Normas Brasileiras.

1.1 JUSTIFICATIVA

O grande avanço da escassez dos recursos naturais tem desencadeado a incessante busca por materiais alternativos ecologicamente corretos principalmente no ramo da construção civil. Estes novos materiais vêm sendo estudados, com o intuito de verificar sua potencialidade e atender as condições de redução de custos, melhoria nas propriedades mecânicas e durabilidade, além do que, estudos são necessários para que estes sejam utilizados de maneira adequada.

Na construção civil, a busca por materiais alternativos vem se tornando cada vez mais constante. A grande preocupação acerca do desenvolvimento

destes novos materiais exige investigações quanto à durabilidade, qualidade e viabilidade de utilização. Estes são aspectos cruciais para produtos da construção civil, pois deve ser considerada, a complexidade dos mecanismos de degradação, a prolongada vida útil destes produtos e o elevado custo das obras de construção civil.

Devido à grande quantidade e variedade das aplicações dos polímeros e o seu tempo de degradação relativamente longo, eles são considerados os grandes vilões ambientais por ocuparem uma boa parte do volume dos aterros sanitários. No entanto, os problemas ambientais não são causados pelos polímeros e sim pelo seu descarte de forma inadequada. Assim, a reciclagem sistemática deste material, e a utilização como material alternativo para uso em componentes da construção civil é uma solução para minimizar o impacto ambiental e consequentemente reduzir a extração e consumo de matérias-primas convencionais.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo principal avaliar a durabilidade de argamassas produzidas com agregado reciclado.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Analisar a resistência da argamassa de referência ao desgaste quando submetida ao ensaio de ataque por sulfato;
- Estudar a durabilidade das argamassas produzidas com agregado reciclado frente ao ataque por sulfato.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Desde a antiguidade o homem empregava materiais que tivessem a finalidade de unir elementos de vários tipos nas construções de edificações. Há relatos que no antigo Egito um aglomerante natural oriundo das minas de cobre que existiam no monte Sinai, era misturado com outro aglomerante constituído por gesso impuro calcinado e então eles foram usados para a fabricação dos imensos

blocos que construíram as pirâmides, que na realidade eram blocos de argamassa fundidos no local (RECENA, 2008).

A argamassa são materiais bastante utilizado na construção civil, e para se obter esse material é necessária uma mistura homogênea de um ou mais aglomerantes (cimento ou cal), agregado miúdo (areia) e água. Podem ainda ser adicionados alguns produtos especiais como aditivos e adições de minerais.

A argamassa é um material muito importante em qualquer construção feita com pedras, tijolos ou blocos cerâmicos, pois tem a função de juntar as diversas unidades desses materiais entre si. A outra função básica das argamassas é o revestimento, de modo a propiciar uma maior proteção aos vários elementos construtivos, conseqüentemente, uma boa argamassa tem grande parcela de colaboração na durabilidade das edificações (SANTIAGO, 2007).

As argamassas podem ser classificadas com relação a vários critérios, quanto ao tipo de aglomerante, plasticidade e consistência ou quanto à forma de preparo e fornecimento (PCZIECZEK, 2017).

Tabela 1: Classificação das argamassas segundo as suas funções na construção.

Função	Tipos
Para construção de alvenarias	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Argamassa de assentamento (elevação da alvenaria) ➤ Argamassa de fixação (ou encunhamento) – alvenaria de vedação
Para revestimento de paredes e tetos	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Argamassa de chapisco ➤ Argamassa de emboço ➤ Argamassa de reboco ➤ Argamassa de camada única ➤ Argamassa para revestimento decorativo monocamada
Para revestimento de pisos	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Argamassa de contrapiso

	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Argamassa de alta resistência para piso
Para revestimentos cerâmicos (paredes/pisos)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Argamassa de assentamento de peças cerâmicas – colante ➤ Argamassa de rejuntamento
Para recuperação de estruturas	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Argamassa de reparo

Fonte: Carasek (2010)

Segundo Ottoni (2017) as argamassas não possuem métodos consagrados em nível nacional diferente do que ocorre com o concreto que possui métodos de dosagens racionais. Isso faz com que seja normalmente durante o preparo da argamassa de revestimento como também a de assentamento sejam utilizados dosagens baseadas em documentos elaborados por instituições técnicas e normas.

2.1 Propriedades da Argamassa

As propriedades das argamassas são estudadas em dois estados basicamente, são eles o estado fresco e o outro é o estado endurecido.

2.1.1 Estado Fresco

No estado fresco da argamassa que corresponde ao período do preparo até o tempo de fim de pega, serão comentadas algumas propriedades.

2.1.1.1 Trabalhabilidade

A trabalhabilidade significa facilidade de manuseio e está relacionada principalmente à consistência e à aplicação que será praticada. Pode-se dizer que uma argamassa é trabalhável, de um modo geral, não segrega ao ser transportada, quando ela se distribui facilmente ao ser assentada, não adere na ferramenta quando está sendo aplicada, permanece plástica por tempo suficiente para que a operação seja completada e não endurece em contato com superfícies absorptivas (SABBATINI, 1984). De acordo com ABCP (2002) ter uma trabalhabilidade

adequada, permite que a argamassa possa apresentar maior contato com a base, devido ao melhor espalhamento.

2.1.1.2 Consistência

Para SILVA (2006) a consistência é determinada pela quantidade de água e por fatores como relação aglomerante/areia, água/aglomerante qualidade dos aglomerantes, a granulometria da areia e natureza. Já para CINCOTTO et al. (1995) a consistência é a propriedade no qual a argamassa tende a resistir a deformação no estado fresco. Porém existe autores como CARASEK (2007) que clássica a argamassa de acordo com esta propriedade, em argamassa seca (quando os vazios entre grãos são preenchidos pela pasta), argamassa fluída (quando os grãos ficam imersos na pasta) e argamassa plástica (quando é formado uma película fina servindo como lubrificante na superfície dos grãos).

A consistência pode ser influenciada pelo tipo, forma e características texturais do agregado, apesar de não haver trabalhos conclusivos que quantifiquem tal influência (ARAÚJO, 2001 apud SILVA, 2006).

2.1.1.3 Plasticidade

É uma propriedade da argamassa de manter a deformação que foi causada por uma ação de forças externas, mesmo depois de cessadas essas cargas, sem ocorrência de ruptura (RILEM- MR-13, 1982).

De acordo com DO Ó (2004) tanto a propriedade de consistência como a de plasticidade são influenciadas pelo teor de ar incorporado, teor de água, natureza e teor do aglomerante e intensidade de mistura da argamassa. Ainda segundo ao autor essas duas são propriedades reológicas básicas que devem ser avaliadas de forma sinérgica, por que agem e influenciam simultaneamente a propriedade de trabalhabilidade.

2.1.1.4 Aderência

A aderência no estado fresco, pode ser definida como a propriedade da argamassa de ancorar no substrato a qual está sendo aplicada. Portanto, as condições de porosidade, limpeza superficial da base e rugosidade, podem interferir na aderência inicial (BAÍA E SABBATINI, 2000)

2.1.1.5 Retenção da água

É a capacidade da argamassa de reter a água de amassamento, diminuindo assim a perda por sucção do substrato, evaporação ou reações de hidratação. Segundo DO Ó (2004) a retenção da água é uma propriedade que confere a argamassa a capacidade de não modificar o comportamento reológico, conseqüentemente contribuindo para que a propriedade de trabalhabilidade não seja prejudicada.

Carneiro (1999) comenta que a areia não influencia nas reações químicas do endurecimento da argamassa, porem sua composição granulométrica pode influenciar no estado fresco, pois o formato dos grãos interfere na trabalhabilidade e na retenção de água, nas resistências mecânicas, na capacidade de deformação, na permeabilidade.

2.1.2 Estado Endurecido

De acordo com AZEREDO (2012) e COSTA (2019) as propriedades nesse estado correspondem as propriedades da argamassa após o período de fim de pega, elas estão relacionadas diretamente com seu desempenho já depois de aplicadas, como por exemplo, resistir aos esforços e deformações que já estão atuando.

2.1.2.1 Aderência

Segundo definição da NBR 13528 (ABNT, 2014), a resistência de aderência à tração consiste na tensão máxima suportada por uma área limitada de revestimento, ou seja, quando submetido a um esforço normal de tração.

De acordo com Carasek (2010), a aderência está diretamente relacionada com a trabalhabilidade da argamassa, com a energia de impacto no processo de execução, além das características e propriedades do substrato e de fatores externos. Argamassas contendo elevado teor de cimento apresentam alta resistência de aderência, mas podem ser menos duráveis por possuir maior tendência ao desenvolvimento de fissuras. Em contrapartida, argamassas contendo cal possuem maior extensão de aderência, pois preenchem mais facilmente e de maneira mais completa toda a superfície do substrato. Por isso,

para garantir uma boa aderência, procura-se utilizar argamassas mistas de cimento e cal.

Tabela 2: Classificação das argamassas por meio da resistência de aderência à tração.

Classe	Resistência potencial de aderência à tração (MPa)
A1	< 0,20
A2	≥ 0,20
A3	≥ 0,30

Fonte: NBR 13281 (ABNT, 2005a).

2.1.2.2 Retração

A retração está ligada à variação de volume da pasta do aglomerante e esta variação é dada devido à perda de água ou as reações de carbonatação e hidratação do aglomerante. A retração é uma das causas do aparecimento das fissuras nas argamassas e estas são prejudiciais ao revestimento, visto que o mesmo fica sujeito a ação das intemperes que podem influenciar na durabilidade 22 do mesmo (MACIEL et al., 1998).

2.1.2.3 Resistência mecânica – a compressão e a tração na flexão

Dois autores Tristão (1995) e Carneiro (1999) perceberam que uma distribuição granulométrica bem-feita, ou seja, apresentando continuidade da curva de distribuição granulométrica aumenta consequentemente a resistência à compressão, devido ao melhor empacotamento dos grãos do agregado.

Essa propriedade está relacionada à capacidade da argamassa em resistir aos esforços de compressão, tração ou cisalhamento, proveniente de cargas dinâmicas ou elásticas atuantes das edificações ou de efeitos das condições ambientais (NAKAKURA, 2003).

Tabela 3: Exigências mecânicas e reológicas para argamassas.

Características	Identificação	Limites
Resistência à compressão aos 28 dias (MPa)	I	$\geq 0,1$ e $< 4,0$
	II	$\geq 4,1$ e $\leq 8,0$
	III	$> 8,0$
Capacidade de retenção de água (%)	Normal	≥ 80 e ≤ 90
	Alta	> 90
Teor de ar incorporado	A	< 8
	B	≥ 8 e ≤ 18
	C	> 18

Fonte: NBR 13281 (ABNT, 2005a)

2.1.2.4 Capacidade de resistência a deformação

Segundo Carasek (2010, p. 903), “o revestimento de argamassa deve apresentar capacidade de absorver pequenas deformações, para se deformar sem ruptura ou por meio de microfissuras, de maneira a não comprometer a sua aderência, estanqueidade e durabilidade”. Tanto o módulo de elasticidade como a de resistência mecânica das argamassas estão associados a essa propriedade, podendo influenciar na fissuração e na aderência dos revestimentos. A resistência mecânica e a capacidade de resistência a deformações são inversamente proporcionais, pois a deformabilidade do material para um mesmo carregamento é tanto menor quanto maior for a sua capacidade de resistência.

De acordo os autores (MACIEL, BARROS, SABBATINI, 1998), eles afirmam que o revestimento tem apenas a responsabilidade de absorver as pequenas deformações que são causadas devido a ação da umidade ou da temperatura e não as grandes deformações que são provenientes de outros fatores, como deformações estruturais.

2.2 Tipos de Argamassa de acordo com as Normas Brasileiras

De acordo com a NBR 13281:2005, as argamassas podem ser classificadas em:

Argamassa para assentamento

- Argamassa para assentamento em alvenaria de vedação: Argamassa indicada para ligação de componentes de vedação (como blocos e tijolos) no assentamento em alvenaria, com função de vedação.
- Argamassa para assentamento em alvenaria de estrutural: Argamassa indicada para ligação de componentes de vedação (como blocos e tijolos) no assentamento em alvenaria, com função estrutural.
- Argamassa para complementação da alvenaria (encunhamento): Argamassa indicada para fechamento da alvenaria de vedação, após a última fiada de componentes.

Argamassa para revestimento de paredes e tetos

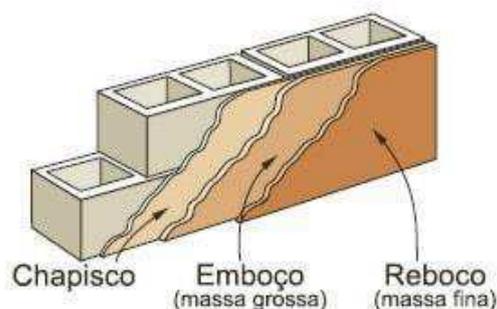
- Argamassa para revestimento interno: Argamassa indicada para revestimento de ambientes internos da edificação, caracterizando-se como camada de regularização (emboço ou camada única).
- Argamassa para revestimento externo: Argamassa indicada para revestimento de fachadas, muros e outros elementos da edificação em contato com o meio externo, caracterizando-se como camada de regularização (emboço ou camada única).
- Argamassa de uso geral: Argamassa indicada para assentamento de alvenaria sem função estrutural e revestimento de paredes e tetos internos e externos.
- Argamassa para reboco: Argamassa indicada para cobrimento de emboço, propiciando uma superfície fina que permita receber o acabamento; também denominada massa fina.

- Argamassa decorativa em camada fina: Argamassa de acabamento indicada para revestimentos com fins decorativos, em camada fina.
- Argamassa decorativa em monocamada: Argamassa de acabamento indicada para revestimento de fachadas, muros e outros elementos de edificação em contato com o meio externo, aplicada em camada única e com fins decorativos.

Conforme NBR 13529/2013, dependendo das proporções entre os constituintes da mistura e sua aplicação no revestimento, elas recebem diferentes nomes em seu emprego (Chapisco, Emboço, Reboco, Massa Única).

Figura 2: Camadas de revestimento de argamassa e suas funções.

ESCOLA ENGENHARIA



CHAPISCO: Aderência

EMBOÇO: Regularização

REBOCO: Acabamento

Fonte: PEREIRA (2018).

- Chapisco: Camada de preparo da base, constituída de mistura de cimento, areia e aditivos, aplicada de forma contínua ou descontínua, com a finalidade de uniformizar a superfície quanto à absorção e melhorar a aderência do revestimento.
- Emboço: Camada de revestimento executada para cobrir e regularizar a superfície da base com ou sem chapisco, propiciando uma superfície que permita receber outra camada de reboco ou de revestimento decorativo, ou que se constitua no acabamento final.
- 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.

- Massa Única (emboço paulista): Revestimento executado numa camada única, cumprindo as funções do emboço e reboco.

2.3 Estudo da Durabilidade

De acordo com (SOUZA, 2008) a durabilidade e a vida útil de uma habitação são as principais características almejada ou exigida do usuário, sendo importante para se ter uma maior noção do tempo necessário para realizar manutenções ou a substituição do produto. Mehta e Monteiro (2008) correlacionam resistência e durabilidade, e definem durabilidade como a vida útil de um material sob dadas condições ambientais que pode ser avaliada pela resistência como parâmetro de degradação em resposta as condições ambientais que estão agindo sobre os materiais. Nesta perspectiva, julga-se necessário no estudo da durabilidade de materiais sejam convencionais ou alternativos investigar a resistência deles ao ataque por sulfatos.

SILVA (2002) definiu esses dois termos (durabilidade e vida útil), como também definiu alguns termos que são necessários para um maior entendimento do estudo da durabilidade de um material

- Durabilidade: “é a capacidade que um produto possui de manter suas condições de serviço, para o qual foi projetado e construído, durante determinado período de tempo. A durabilidade do produto pode ser avaliada pelo seu tempo de vida em anos ou pela sua resistência a agentes que afetam seu desempenho”
- Vida útil: “é o período de tempo que, um material, componente construtivo ou edificação, mantém seu desempenho acima dos níveis aceitáveis, desde que sofram manutenções rotineiras”
- Degradação: “processo no qual um material sofre transformações irreversíveis que impliquem perda de qualidade ou valor”
- Agentes (ou fatores) de degradação: “ações físicas, químicas, ambientais ou biológicas que causem degradação do material”

- Mecanismo de degradação: “formas como os agentes causam uma sequência de mudanças físicas e/ou químicas que levam a perdas nas propriedades esperadas de um material”
- Indicadores de degradação: “Indicativos utilizados para quantificar os mecanismos de degradação, são propriedades mensuráveis, que podem ser quantificadas e expressam a variação do desempenho de um produto durante seu uso”

Segundo John e Ângelo (2002) a avaliação da durabilidade inicia-se pelo entendimento dos fatores de degradação do produto, compreendido como todos os agentes capazes de provocar transformações no produto, de tal ordem que afetem o seu desempenho ou a sua capacidade de impacto no ambiente e os mecanismos pelos quais estes agem.

Figura 3: Fatores de degradação.

Fatores ambientais:	Fatores de incompatibilidade:
Radiação	Química
Temperatura	Física
Água	Fatores Biológicos:
Constituintes do ar e poluentes	Roedores
Gelo/degelo	Fungos
Vento	Bactérias
Fatores de carregamento:	Fatores de uso:
Deformação lenta	Desgaste
Fadiga	Atividades de manutenção
Água e seus derivados	Projeto
Cargas de uso	

Fonte: John e Ângelo (2002).

De acordo com SILVA (2002), alguns métodos são empregados para se obter uma quantificação da durabilidade do material expondo às condições que será submetido durante sua vida útil. Dentre esses métodos os mais conhecidos são os ensaios naturais, os ensaios em uso e os ensaios acelerados.

- Ensaio de envelhecimento natural: “Nos ensaios de envelhecimento natural os compósitos são expostos às condições às quais serão submetidos durante uso. Os corpos-de-prova são colocados em bancadas com inclinação de 30° voltadas para o norte magnético. Ele tem como principal vantagem a proximidade com as condições de uso do material. Entretanto, o ensaio é considerado lento, requerendo tempos longos de exposição para que os fatores de degradação possam agir no material.”
- Ensaio em uso: “Os ensaios em uso são os mais eficientes na avaliação da durabilidade do material. Além de submeterem o compósito às condições de exposição real, eles têm a vantagem de utilizar o componente com a conformação e os detalhes característicos do seu emprego, tais como fixação, ligação com outros subsistemas, etc. Ao contrário dos ensaios naturais onde podem ser empregados o material de construção, os ensaios em uso utilizam o componente interagindo com os outros sistemas construtivos, permitindo assim uma avaliação sistêmica do material no desempenho de sua função. Porém, assim como os naturais, requerem tempos alongados. Os custos empregados para sua implementação também devem ser considerados.”
- Ensaio Acelerados: “Os ensaios acelerados possuem a vantagem da rapidez, possibilitando respostas em menor espaço de tempo sobre o desempenho do material ao longo da vida útil. Eles se baseiam na simulação das condições de exposição do material a intensidades elevadas de seus principais agentes de degradação. Apesar de eficientes no tocante a respostas rápidas, podem fornecer resultados imprecisos.”

Uma das exigências para que os materiais alternativos tenham durabilidade é que, quando utilizados sob as condições ambientais previstas no projeto, determinada estrutura conserve durante sua vida útil, a segurança, a estabilidade e a aptidão em serviços requeridos inicialmente (Lima, 2010).

2.3.1 Durabilidade ao ataque por sulfatos:

A deterioração do concreto e das argamassas pode ocorrer devido à presença de sais solúveis encontrados na atmosfera (em ambientes marítimos), no terreno (arrastados pela água), nos próprios materiais de construção (areia, brita, tijolos cerâmicos, aglomerantes), em produtos armazenados na construção (pesticidas, produtos alimentares salgados, dejetos de animais) ou ter origem na poluição atmosférica. De acordo com (IRASSAR, 2009) os ataques por sulfatos, que provocam uma reação expansiva, acabam causando fissuras que por consequência aumentam a permeabilidade e facilitam a penetração da água, acelerando o processo de degradação pela perda de coesão dos produtos de hidratação do cimento. Os sulfatos estão presentes na água do mar, no lençol freático, água de pântanos (decomposição de matéria orgânica), esgotos, efluentes industriais, chuvas ácidas, entre outros (SOUZA, 2006). Isso faz com que progressivamente cause a perda da resistência e massa, escamação e até mesmo a desintegração do concreto. Os sais, geralmente nitratos (NO_3^-), cloretos (Cl^-) e sulfatos (SO_4^{2-}) são dissolvidos e transportados pela água que circula no interior dos elementos construtivos (GONÇALVES, 1998 apud RODRIGUES, 2004).

A resistência do concreto e argamassa ao ataque por sulfatos pode ser analisada em laboratório colocando corpos de prova em solução de sulfato de sódio ou de magnésio. Os Ciclos de molhagem e secagem aceleram os danos ocasionados pela cristalização dos sais nos poros do material. Os efeitos da exposição podem ser estimados pelas alterações do módulo de elasticidade dinâmico, pela perda de massa, expansão, pela diminuição da resistência do corpo de prova e até visualmente (NEVILLE, 2016).

O ataque por sulfato de magnésio (MgSO_4), formando a taumasita, que ocorre em condições de baixa temperatura (abaixo de 15°C) e é resultado da conversão do C-S-H, na presença de sulfatos, carbonatos e umidade, no composto $\text{CaSiO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 15\text{H}_2\text{O}$, é considerado o mais preocupante pois ele reage diretamente com o silicato de cálcio hidratado, que é o principal agente aglomerante do cimento, e essa reação acaba provocando a dissolução deste e a degradação do concreto (IRASSAR, 2009).

Todas essas características são afetadas pelo tipo de aglomerante e proporção do mesmo como também pelo tipo de agregado miúdo e sua granulometria, e pela relação água/aglomerante.

Figura 4: Fluxograma para a etapa dos ensaios nas argamassas no estado fresco e endurecido.



Fonte: PCZIECZEK (2017)

Os sulfatos estão presentes na água do mar, nas águas subterrâneas e nos esgotos industriais e, geralmente, se manifestam em áreas planas, onde os sais se acumularam ao longo do tempo sem serem carregados por fluxos de água subterrâneos (SILVA FILHO, 1994). Os principais tipos de sulfatos estão descritos na tabela abaixo.

Tabela 4: Características dos principais tipos de sais selenitosos.

Tipo	Cátion	Cor	Solubilidade	Origem	Agressividade
K ₂ SO ₄	Potássio	branca	baixa	água do mar e água subterrânea	elevada
NH ₄ SO ₄	Amônia	branca	alta	Fábrica de explosivos, coque, indústrias químicas e águas subterrâneas	elevada
Na ₂ SO ₄	Sódio	branca	alta	indústrias químicas, leito de mar e água do mar	elevada
CaSO ₄	Cálcio	branca	baixa	água subterrânea e escória de carbono	elevada

MgSO ₄	Magnésio	branca	alta	água do mar e água subterrânea	elevada
CuSO ₄	Cobre	branca	alta	conservação de madeiras e galvanotecnia	elevada
FeSO ₄ / Fe ₂ SO ₄	Ferro	verde/ branca	alta	desinfetante, tinturaria e tratamento de água	elevada
ZnSO ₄	Zinco	branca	baixa	indústrias químicas e tinturaria	média
KAlSO ₄	Potássio/ Alumínio	branca	baixa	indústrias químicas	média
PbSO ₄	Chumbo	branca	muito baixa	indústrias químicas	reduzida
CoSO ₄	Cobalto	vermelha	baixa	-	reduzida
NiSO ₄	Níquel	verde	baixa	indústrias químicas	reduzida

Fonte: SILVA FILHO (1994).

O ataque por sulfatos ao concreto é considerado um mecanismo deteriorador e caracteriza-se por ser uma reação físico-química expansiva causadora de fissuração na matriz cimentícia. Esse tipo de ataque pode se dar de duas formas: de origem externa e de origem interna ao concreto (Schmalz, 2018).

No ataque externo de sulfato, o sulfato que entra no concreto é proveniente do meio ambiente (solos, águas de infiltração, ambientes industriais e urbanos, obras de saneamento) e reage com os produtos de hidratação do cimento, gerando reações expansivas. Já no ataque interno de sulfatos não há penetração de sulfatos do meio ambiente no concreto. Nesse tipo de ataque, os agentes agressivos são decorrentes do controlador de pega adicionado ao cimento (gipsita), de sulfatos alcalinos presentes no clínquer ou, ainda, da utilização de agregados contaminados por sulfatos de origem natural ou artificial (ESCADEILLAS; HORNAIN, 2014).

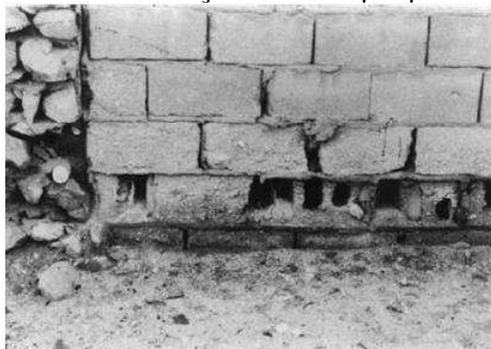
De um modo geral, as reações químicas entre os íons sulfato e os compostos hidratados do cimento podem se manifestar nas estruturas de concreto por meio de diferentes mecanismos: redução progressiva de resistência, rigidez e massa (Figura 5) e expansão e fissuração (Figura 6) (AL-AMOUDI, 2002; MEHTA; MONTEIRO, 2014).

A redução progressiva de resistência, rigidez e massa é resultante da perda de coesão dos produtos de hidratação do cimento, associado à formação de gipsita. Já a expansão da matriz é decorrente da formação de cristais de trissulfoaluminatos de cálcio hidratados, também denominados de etringita, que tem como consequência a fissuração e o lascamento das camadas superficiais (GOMIDES, 2001).

Costa (2004) destaca que os dois principais meios de ataque por sulfatos são: reação com os produtos de hidratação do aluminato tricálcico não hidratado (C3A) produzindo etringita; e reação com o hidróxido de cálcio produzindo gipsita. No entanto, no concreto endurecido, a formação da etringita resultante do ataque de sulfato pode levar à expansão, e, devido à baixa resistência à tração do concreto, pode fissurar a peça. É esquematizado pelo mesmo autor as reações de maneira simplificada:

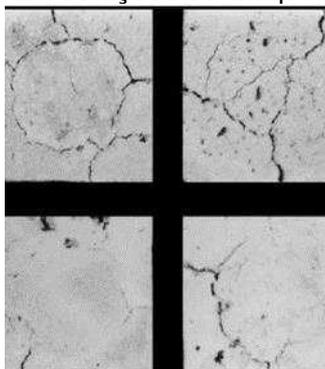
- hidróxido de cálcio + sulfato + água → gipsita
- aluminato tricálcico + gipsita + água → monossulfato
- monossulfato + gipsita + água → etringita

Figura 5: Manifestações do ataque por sulfatos.



Fonte: AL-AMOUDI, 2002.

Figura 6: Manifestações do ataque por sulfatos.



Fonte: AL-AMOUDI, 2002.

2.3.1.1 Fatores que influenciam no ataque de sulfato

De acordo com Schmalz (2018) alguns fatores podem influenciar no comportamento dos materiais cimentícios frente ao ataque dos íons sulfato, a saber: solução agressiva, tipo de cimento utilizado na mistura, pH da solução e a temperatura que o concreto é submetido.

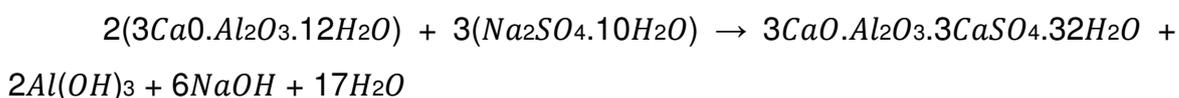
- Solução Agressiva: A intensidade e a natureza do ataque variam conforme o cátion associado ao radical SO_4^{-2} (Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{2+} etc.)
- Composição química do cimento: De acordo com Silva Filho (1994), deve-se procurar limitar o teor de C_3A , pois embora a reação expansiva deste componente não seja a única a ocorrer durante o processo agressivo, ele ainda é o fator mais relevante na resistência do cimento Portland comum ao ataque de sulfatos.
- pH: De acordo com Brown (1981) o pH da solução contendo sulfatos influencia na agressividade do ataque, essa influência indicou que uma redução no pH também reduz a resistência ao ataque por sulfatos, aumentando a expansão do concreto.
- Temperatura: Gomides (2001) explicou que um aumento de 10°C na temperatura causará um aumento na velocidade das reações químicas devido à maior mobilidade de íons e moléculas aumento, portanto, a velocidade de transporte da substância agressiva pelos poros do concreto.

2.3.1.2 Sulfato de sódio

De acordo com Costa (2004), o sulfato de sódio é cerca de 20 vezes mais solúvel que o sulfato de cálcio. Quando em elevadas concentrações (> 8000 ppm), reage com o CH, formando a gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), também conhecido por sulfato de cálcio hidratado, e devido ao aumento de volume, causa expansão e fissuração da matriz cimentícia. Na reação abaixo, há a formação de hidróxido de sódio. Este subproduto da reação assegura a continuidade da alcalinidade do sistema, essencial para a estabilidade da fase C-S-H (MEHTA; MONTEIRO, 2014).



Os autores afirmam ainda que foram observados casos em que a deterioração da pasta de cimento Portland pela formação da gipsita se dá através de um processo que primeiro leva à redução do pH do sistema, perda de rigidez e resistência, seguida de expansão e fissuração e, por fim, pela transformação do concreto em uma massa não coesa. Já quando em concentrações inferiores a 1000 ppm SO_4/l , reage com o aluminato de cálcio hidratado, formando a etringita e o hidróxido de sódio. As consequências ao concreto são as mesmas: expansão e fissuração.

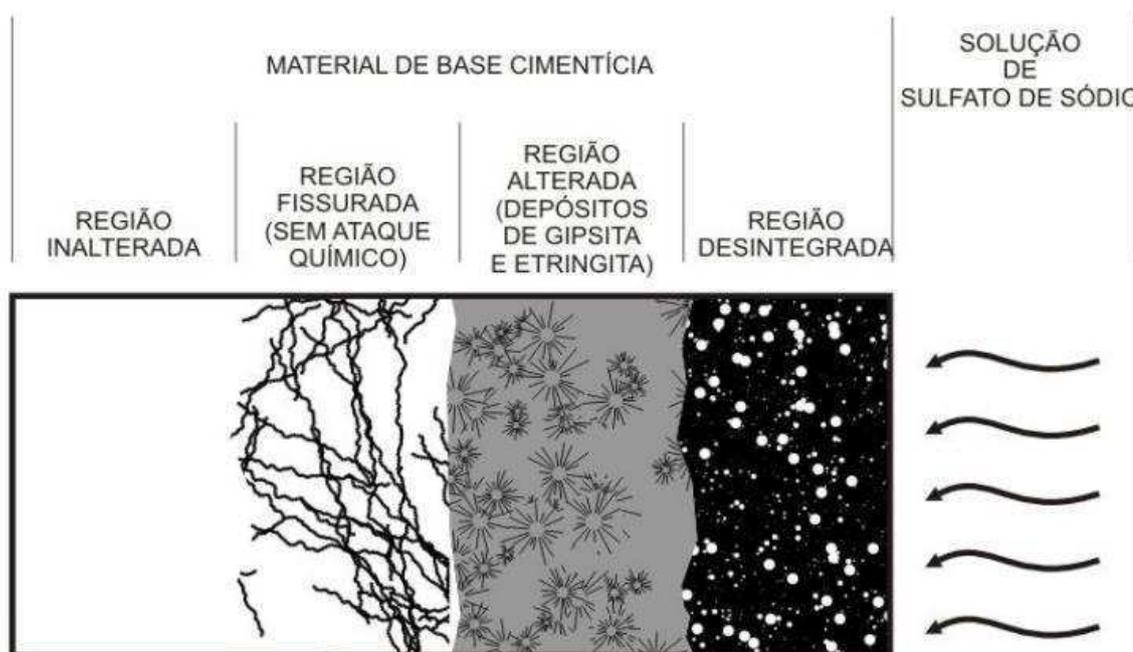


SANTHANAN, COHEN E OLEK (2003) apud SOUZA, R. B. de. (2006) descreve em 5 passos o ataque do sulfato de sódio:

- PASSO 1: A solução agressiva de Na_2SO_4 , difunde-se para interior do material cimentício;
- PASSO 2: Nas primeiras regiões por onde a solução agressiva difundiu (próximo da superfície), começam a ser formadas etringita e gipsita. Estes compostos expansivos são formados nos vazios da pasta de cimento, não gerando tensões internas;
- PASSO 3: Os compostos expansivos preenchem os vazios da pasta, esgotando a capacidade de acomodação da estrutura da pasta de cimento. Inicia-se geração de tensões internas no material, que são suportadas pela região inalterada da pasta de cimento;
- PASSO 4: A região inalterada quimicamente não suporta mais as tensões de tração geradas pelos compostos expansivos, iniciando um processo de fissuração;
- PASSO 5: A solução agressiva de sulfatos continua a difundir-se para o interior do material com mais intensidade via área fissurada, reagindo com os compostos hidratados da pasta de cimento.

Formam-se etringita e gipsita nesta região fissurada, que tende a expandir e dar sequência ao modelo de ataque.

Figura 7: Modelo de ataque em material de base cimentícia por sulfato de sódio.



Fonte: SOUZA, RB.de (2006).

2.3.1.3 Estudo do Ataque por sulfato no brasil

No Brasil embora só tenha ganhado relevância nos anos 1990 com as investigações de Silva Filho (1994), o ataque por sulfatos tem sido estudado pelo mundo desde os anos 80, como as pesquisas de Brown (1981), Mehta (1983), Cohen e Bentur (1988). O interesse pelo assunto tem continuado até os dias de hoje, como mostra a Tabela 4 que relaciona algumas das pesquisas mais recentes sobre o tema em diversos países.

Tabela 5: Pesquisas brasileiras: dosagem, cura e tipo de ataque por sulfatos.

Referência	Dosagem			Cura		Condição de agressão		
	Cimento	a/agl	Adições	Tipo	Tempo	Tipo	Solução	Tempo
Silva Filho (1994)	CP I CP IV	0,28, 0,43 0,67	SA: 0, 5 e 10%	Úmida	28 dias	Imersão	Na ₂ SO ₄ (5%)	120 dias

Moura (2000)	CP I-S	0,40, 0,50 0,60	Escória de Cobre: 0 e 20%	Úmida	28 dias	Imersão	Na ₂ SO ₄ (5%)	450 dias
Gomides (2001)	CP II-F-32	Variada (CCR)	SA: 0 e 10%	Úmida	70 dias	Imersão	Na ₂ SO ₄ (5%)	130 dias
Centurione, Kihara e Battagin (2003)	CP IV-32 CP II-Z-32 CP II-F-32	0,60	-	Ao ar + imersão	48 h + 12 dias	Imersão	Na ₂ SO ₄ (10%)	42 dias
Costa (2004)	CP II-E-32 CP III-32-RS CP IV-32	0,67 0,42	-	Ao ar	24 h	Ciclos: 1 dia (imersão) x 3 dias (secagem)	MgSO ₄ (10 e 50g/l)	180 dias
Linhares (2010)	CP II-E CP II-F	0,35, 0,48 0,70	SA: 5 e 10% Metacaulim: 5 e 10%	Úmida + Imersão	24 h + 28 dias	Imersão	Na ₂ SO ₄ (5%)	105 dias
Rheinheimer e Khoe (2013)	CP IV CP III CP V-ARI-RS CP II-Z	0,60	-	Ao ar + imersão	48 h + 12 dias	Imersão	Na ₂ SO ₄ (10%)	42 dias
Cesário e Silva (2014)	CP V	0,65	-	Ao ar	24 h	Imersão	MgSO ₄ , Na ₂ SO ₄ e FeSO ₄ (1500 mg/l)	182 dias
Bragança (2014)	CP II-Z-32 CP IV-32	0,60	Nano-Fe ₃ O ₄ : 1% Agregado contaminado	Úmida	28 dias	Imersão	Na ₂ SO ₄ (10%)	42 dias
						Ciclos: 8h (imersão) x 16 h (secagem)	SO ₂ (2%)	270 dias
Hoppe Filho et al. (2015)	CP V-ARI	0,60	Fíler, SCA, SA, metacaulim e RCV	Ao ar + imersão	48 h + 12 dias	Imersão	Na ₂ SO ₄ (10%)	42 dias

Fonte: Schmalz (2018).

Tabela 6: Pesquisas brasileiras: ensaios para avaliação da durabilidade frente ao ataque de sulfatos.

Referência	Material	Ensaio para avaliar o efeito do sulfato		
		Ensaio	Idade de exposição	Dimensão do corpo de prova
Silva Filho (1994)	Argamassa	$f_{cl,t}$	14, 56 e 120 dias	10x10x60 mm
		Expansão linear	7, 14, 28, 56 e 120 dias	
	Concreto	f_{cj} , $f_{cl,t}$, Avaliação visual	120 dias	\varnothing 10x20 cm e 40x40x160 mm
Moura (2000)	Concreto	Perda de massa e Avaliação visual	90 a 450 dias - mensalmente	40x40x160 mm
		$f_{cl,t}$ e MEV	450 dias	
Gomides (2001)	Concreto	f_{cj}	21, 84 e 130 dias	\varnothing 15x30 cm
		Expansão linear	7 a 130 dias - semanalmente	150x150x600 mm
		MEV e DRX	130 dias	\varnothing 15x30 cm
Centurione, Kihara e Battagin (2003)	Argamassa	Variação dimensional	7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias	25x25x285 mm
Costa (2004)	Concreto	Ultrassom, E_d , f_{cj} , PIM, Análise química, MEV	28, 90 e 180 dias	\varnothing 10x20 cm
Linhares (2010)	Argamassa	Variação dimensional	7, 14, 21, 28, 56, 91 e 105 dias	25x25x285 mm
Rheinheimer e Khoe (2013)	Argamassa	Variação dimensional	14, 28 e 42 dias	25x25x285 mm
	Concreto	f_{cj} e MEV	Testemunhos	\varnothing 73x108 cm

Fonte: Schmalz (2018).

2.3.1 Etringita

Segundo Collepari (2003) a etringita, ou trissulfoaluminato de cálcio, é produto normal da hidratação inicial do cimento resultante da reação da gipsita com os aluminatos. Quando formada de modo homogêneo e ainda durante o estágio plástico da mistura de concreto não causa tensões nocivas ao concreto. Por outro lado, quando a etringita se forma após alguns meses ou anos, causa uma expansão heterogênea em um concreto já endurecido, resultando em fissuração e lascamento. A composição deste objeto químico é dada por $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$, e seu processo de origem pode diferir em termos de formação primária ou secundária.

De acordo com MATTOS (2017), o sulfoaluminato também pode ser encontrado em forma de mineral natural, apresentando morfologia de pequenos cristais prismáticos, com sistema trigonal, podendo ocorrer também em formato acicular, isto é, de agulha. O mineral é bastante encontrado na Europa, em maior número de regiões na Itália e na Alemanha, especialmente no município de Ettringen, que deu origem ao nome da terminologia mineralógica. O material é ainda facilmente solúvel em ácidos diluídos e parcialmente solúvel em água, quando produz uma solução alcalina.

Figura 8: Mineral etringita encontrado em Ettigen, na Alemanha.



Fonte: Mattos (2017).

2.3.1.1 Formação da etringita primaria.

Segundo Odler (2007) a formação da etringita primaria quando ocorre é no início da hidratação do cimento, quando os sulfatos de cálcio dihidratados, ou os sulfatos solúveis no meio, interagem quimicamente, através de meio hidráulico, com os aluminatos tricálcicos disponíveis na matriz cimentícia, originando dessa forma o sulfoaluminato tricálcico hidratado.



Taylor (1997) menciona que os cristais de etringita produzidos nessa fase se apresentam com comprimento médio de 250 nm e 100 nm de espessura, sendo encontrados nas superfícies dos grãos de cimento ou próximos a eles. O autor Collerparidi (2003) nos seus estudos ainda acrescenta afirmando que na fase inicial a etringita não causa problemas de expansão devido à fluidez da pasta, ou seja, se formam enquanto o material ainda tem caráter plástico, sendo desta forma ainda flexível.

2.3.1.2 Formação da etringita tardia.

Também chamada de etringita retardada, etringita secundaria ou DEF (Delayed Ettringite Formation) a formação desse tipo de etringita de acordo com Taylor, Famy e Scrivenier (2001) é definida como a formação da etringita no

material cimentício por um processo que se inicia após seu completo endurecimento, com a particularidade de os sulfatos não serem de origem externa. Já para Collepari (2003), o termo DEF refere-se à formação tardia da etringita de um modo geral e, portanto, devem ser consideradas ambas as fontes de sulfato, interna ou externa, desde que o fenômeno ocorra.

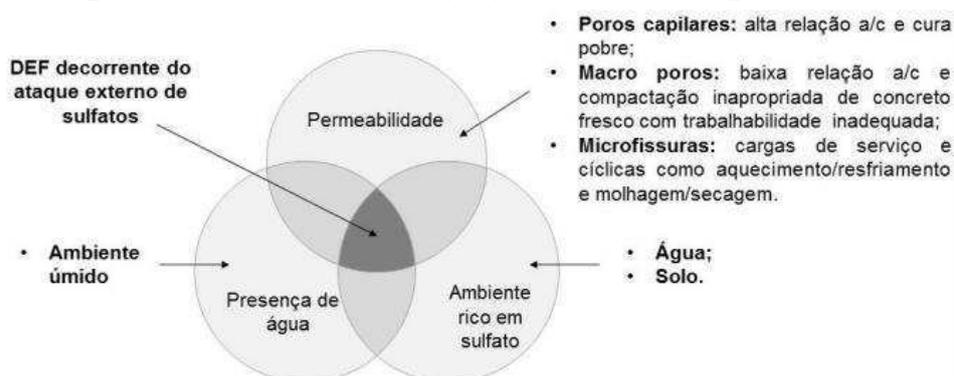
Tabela 7: Formação da etringita tardia pelo ataque de sulfatos externos e internos.

Ataque externo de sulfatos	<ul style="list-style-type: none"> • Ocorre quando um sulfato presente na água ou no solo penetra na estrutura de concreto; • Ocorre em concretos permeáveis; • Ocorre em ambientes úmidos que favorecem a difusão do SO_4^{2-} na solução aquosa contida nos poros capilares do concreto.
Ataque interno de sulfatos	<ul style="list-style-type: none"> • Ocorre em ambientes livres de sulfatos, devido à presença de sulfatos em agregados contaminados com gipsita ou devido à decomposição térmica da etringita; • É favorecido por microfissuras preliminares onde pode ocorrer o depósito de cristais de etringita; • Ocorre em ambientes úmidos que favorecem a difusão do SO_4^{2-} e outros íons reativos através de poros capilares saturados com água.

Fonte: Collepari (2003).

Para Collepari (2003) explica que para o ataque de sulfato de fontes externas, três condições devem ser atendidas: concreto de alta permeabilidade, ambiente rico em sulfato e presença de água que deve ocorrer de forma sistemática, conforme mostra a figura. Um círculo corresponde a uma das três condições e se não houver nenhum deles, o DEF pode não ocorrer, e a interseção central dos três círculos indica um alto risco de DEF devido à erosão externa de sulfato.

Figura 9: DEF devido ao ataque por sulfatos de origem externa.



Fonte: Collepari (2003).

De maneira bem semelhante o DEF com origem interna ocorre, também sendo necessário o atendimento de certas condições. Para Borges e Soto (2014) ocorre quando se tem uma inadequada temperatura de cura e/ou armazenamento de cimento. Resulta na remoção dos sulfatos inicialmente presentes na pasta de cimento, provocando uma expansão e fissuramento. Os autores afirmam também que pode acontecer do próprio material utilizado no preparo está contaminado com gipsita ou cimento com altos teores de sulfato. Segundo Mehta e Monteiro (2008) a cura de peças com temperaturas acima de 65°C pode induzir a formação de etringita tardia, pois a etringita não é estável acima de 65°C ocasionando na sua decomposição e formando o monossulfato hidratado ($C_3A.CS.H_{18}$). Esses íons de sulfato são absorvidos pelo C-S-H. Com passar do tempo os íons são desorvidos e forma-se a etringita tardia.

Figura 10: DEF devido ao ataque por sulfatos de origem interna.



Fonte: Collepardi (2003).

Portanto, de acordo com a definição de Mattos (2017), são determinadas as diversas possibilidades de origem da etringita, garantindo-se que sejam diferentes no momento da formação e no processo para a determinação do seu tipo. O trissulfoaluminato inicial é produzido nas primeiras horas de vida do concreto por meio da reação entre o aluminato tricálcico e o gesso. Já devido às fontes internas ou externas de sulfato, quando o concreto já está no estado sólido, etringita secundário se formará após alguns dias, meses ou mesmo anos.

2.4 Materiais recicláveis na construção civil

De acordo com John (2000), a reciclagem de resíduos dentro do setor da construção civil é uma condição básica dentre outras para se atingir o desenvolvimento sustentável na construção civil.

Segundo Alves e Quelhas (2004), o setor da construção civil é o maior consumidor de recursos naturais, principalmente de argamassa e areia e como também é o maior gerador de resíduos, portanto é considerado um dos grandes causadores de impactos ambientais.

A Resolução nº 307 do CONAMA de 2002, classifica os resíduos em 4 classes (A, B, C e D) estabelecendo o objetivo do uso dos 3Rs, são eles redução, reutilização e a reciclagem, e ainda fala que o gerador é responsável pela destinação adequada desses resíduos dentre outras finalidades.

- Classe A (recicláveis como agregados).
- Classe B (recicláveis, para outras destinações).
- Classe C (recicláveis, porém sem tecnologias economicamente viáveis).
- Classe D (resíduos perigosos).

Miranda e Selmo (1999) mostraram uma análise do revestimento de argamassa com resíduos reciclados, variando os traços e dosagem. Nesse estudo foi apresentada uma proposta em 2000 de inclusão de RCD de alvenarias demolidas, blocos cerâmicos e blocos de concreto. Nisso foi obtido que com sucesso que os revestimentos de argamassa com entulho reciclado são compatíveis podendo ser até superior ao do revestimento de argamassa composta por cimento, cal e areia. Então se concluiu que as argamassas com reaproveitamento de resíduos podem ter um desenvolvimento compatível com as normalizadas, desde que se tenha cuidado nos traços.

2.5 Produção e aplicação do Politereftalato de etileno - PET.

Em 1941 dois britânicos, John Rex Whinfield e James Tennant Dickson, foi desenvolvido a primeira amostra do PET, porém, sua fabricação em grande escala teve início apenas após a segunda guerra mundial nos EUA e Europa, quando foi utilizado principalmente para a fabricação de fibras têxteis. Só a partir

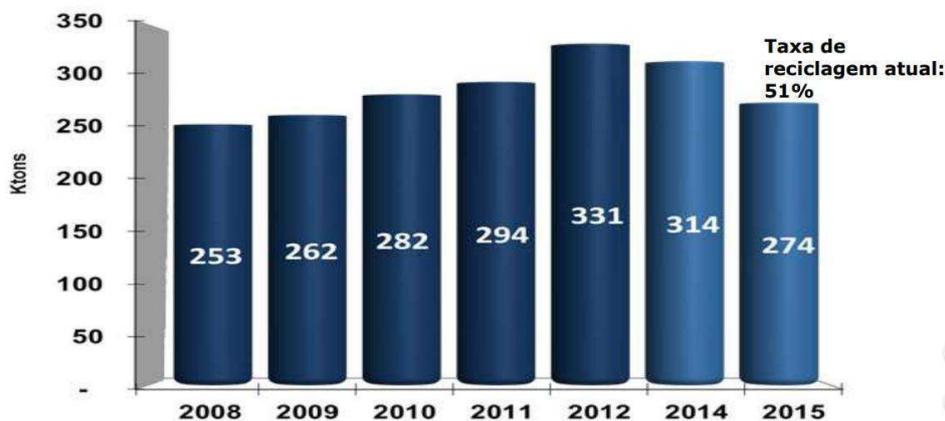
dos anos 1970 o PET começou a ser utilizado na fabricação de embalagens, primeiramente nos Estados Unidos. Já no Brasil, a resina PET surgiu no final da década de 1980, quando inicialmente foi utilizada na forma de fibras. Somente a partir de 1993, a resina passou a ser fortemente utilizada na fabricação de embalagens.

De acordo com Montenegro (1996), conforme citado por Junior (2010), a resina PET é bastante versátil, possuindo várias aplicações. Com a adição de cargas e aditivos, o uso de métodos para orientação das cadeias (uni e biaxial) e a aplicação de tratamento térmico, esse polímero pode ser produzido com muitas propriedades diferentes, apropriadas às exigências específicas das máquinas de transformação e do produto final.

A aplicação mundial no final da década de 90 na produção do PET era distribuída em 67% para a produção de fibras têxteis, 24% para a produção de embalagens processadas por injeção-sopo, 5% para a produção de filmes bio-orientados e 4% para polímeros de engenharia (MACDONALD, 2002). No cenário nacional, a maior parte da aplicação é destinada à indústria de embalagens e dessa parte uma grande fração é para a produção de embalagens para bebidas carbonatadas (ROMÃO, 2009).

2.6 Reciclagem de PET.

De acordo com a ABIPET e do seu decimo censo da reciclagem de PET no Brasil a reciclagem das embalagens de PET pós consumo criou, em menos de 20 anos, todo um setor industrial, trazendo inúmeros benefícios para diversos setores. Hoje, o país coleta, recicla e utiliza o PET reciclado internamente, gerando trabalho e riqueza dentro do país e colaborando efetivamente para a preservação ambiental. No setor econômico a Indústria Recicladora economicamente viável, sustentável e funcional, prova disso que um terço do faturamento de toda a Indústria Brasileira do PET provém da reciclagem o que conseqüentemente gera impostos, empregos, renda e todos os demais benefícios de uma indústria de base sólida. Já os benefícios ambientais são grandes pois a matéria-prima reciclada substitui material virgem em muitos outros produtos, nos segmentos como construção civil, tintas, produção de automóveis e caminhões ou celulares.

Figura 11: Evolução da Reciclagem do PET no Brasil

Fonte: 10º censo da reciclagem de PET no Brasil.

2.7 Resina PET.

O PET é o polímero formado pela esterificação direta do ácido tereftálico purificado e com monoetileno glicol, esses dois elementos são misturados, formando uma pasta que, durante o processo iram reagirão entre si, passando por cristalização e formando o PET. As propriedades físicas e mecânicas do polímero dependem fundamentalmente do peso molecular médio das moléculas obtidas através do processo de polimerização (ABIPET). Da Silva (2014) explicou que o PET é quimicamente inerte e possui uma superfície hidrofóbica. Portanto, consequentemente o PET não absorve água como os agregados finos convencionais.

2.8 Aplicação do PET na construção civil.

Há várias pesquisas e trabalhos que mostram os benefícios da utilização de PET na construção civil. Como setor da construção civil que tem como uma de suas características a sua alta capacidade de consumo, é um setor apropriado para este tipo de resíduo e já são utilizadas em vários segmentos como por exemplo na produção de caixas d'água, tubos e conexões, torneiras, piscinas, telhas, mármore sintético (com PET Reciclado) entre vários outros exemplos.

Estudos feitos como o de OCHI et al. (2007) e CHOI et al. (2005), analisaram os efeitos nas propriedades do concreto com adição de PET reciclado.

Nas pesquisas desenvolvidas por OCHI et al. (2007) de fibra de PET reciclado e sua aplicação como CRF foram realizados testes de resistência à compressão e flexão foram empregados CRFs com os teores 0,5%; 1,0% e 1,5% de adição de fibras de PET reciclado, comparados como um concreto sem adição de fibras. Nos estudos os autores verificaram um aumento na resistência à flexão com o incremento no teor de fibra empregado para as relações de água/cimento (a/c) de 0,55; 0,60 e 0,65 e ainda constataram que as fibras de PET são facilmente misturadas ao concreto sendo mais vantajoso na comparação com as fibras de aço que necessitam de maiores cuidados no momento da mistura da fibra no concreto.

Já nos estudos de CHOI et al. (2005) os autores pesquisaram os efeitos da adição de agregados leves feitos com garrafas de polietileno tereftalato sobre a densidade do concreto. Para produção do concreto foram realizadas com as relações água-cimento de 45; 49 e 53%, e as relações de substituição em volume do agregado miúdo por agregado leve de resíduos de garrafas PET foram de 0; 25; 50 e 75%. De acordo com os dados concluíram que a densidade das misturas de concreto diminui de acordo com o aumento do teor de agregados leves feitos com resíduos de garrafas de PET.

Figura 12: Propriedades do concreto com adição de agregado leve.

a/c	Substituição* (%)	Densidade (Kg/m ³)	Resistência à compressão aos 28 dias (MPa)	Resistência à tração (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)	Slump (cm)
53	0	2300	31,5	3,27	23,5	10,0
	25	2220	29,7	2,65	23,0	15,3
	50	2130	26,3	2,25	21,2	19,9
	75	2010	21,8	2,04	18,5	22,3
49	0	2300	34,6	3,27	23,3	10,5
	25	2230	33,7	2,76	22,8	15,4
	50	2120	29,1	2,35	18,1	18,0
	75	2000	23,2	1,94	16,7	21,4
45	0	2300	37,2	3,32	25,5	13,5
	25	2260	33,8	2,8	18,7	16,9
	50	2160	31,8	2,55	17,3	18,4
	75	1940	24,9	2,04	15,6	20,5

Fonte: CHOI et al., 2005.

* Relação de substituição de agregado miúdo por agregado leve de resíduos de garrafas de PET.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

Os materiais usados na pesquisa foram:

Cimento: O cimento utilizado será o CP II Z 32.

Agregado miúdo: Areia quartzosa retirada do leito do Rio Paraíba;

Cal: Cal hidratada dolomítica, apresentando como principais compostos o óxido de cálcio e óxido de magnésio, sem partículas superiores a 100 µm.

Água: Destinada ao consumo humano fornecido pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA);

Politereftalato de etileno-PET: O polímero utilizado será do tipo triturado, adquirido na indústria de DEPET Reciclagem localizada no município de Campina Grande-PB.

Sulfato: Sulfato de sódio em pó, que será utilizado para o preparo da solução que servira como base para esse estudo, na concentração de 100 g de Na₂SO₄ por litro.

3.2 Métodos

3.2.1 Caracterização física dos Agregados e do Cimento

3.2.1.1 Análise granulométrica

O ensaio de granulometria determina a distribuição percentual dos diferentes tamanhos dos grãos do agregado. É representada pela curva de distribuição granulométrica que mostra o porcentual de material passando na peneira em questão versus logaritmo do diâmetro da abertura da peneira.

O ensaio de composição granulométrica para o e agregado miúdo e para o PET foi realizado segundo o método de ensaio da ABNT NBR NM 248:2003b.

3.2.1.2 Determinação da massa específica

A massa específica do agregado é a relação da massa e o seu volume, não considerando os vazios permeáveis da água. Este valor tem importância no cálculo do consumo dos materiais a serem determinados no traço de argamassa. A determinação da massa específica da areia e do PET foi realizada por meio do frasco de Chapman, segundo a ABNT NBR NM 52:2009b. Para o cimento e a cal, o ensaio foi realizado seguindo a norma ABNT NBR NM 23:2001

3.2.1.3 Determinação da massa unitária

A massa unitária de um agregado no estado solto, é obtida pelo quociente da massa deste agregado em um recipiente de volume conhecido. O ensaio deverá ser realizado seguindo as Normas da ABNT- NBR NM 45:2006.

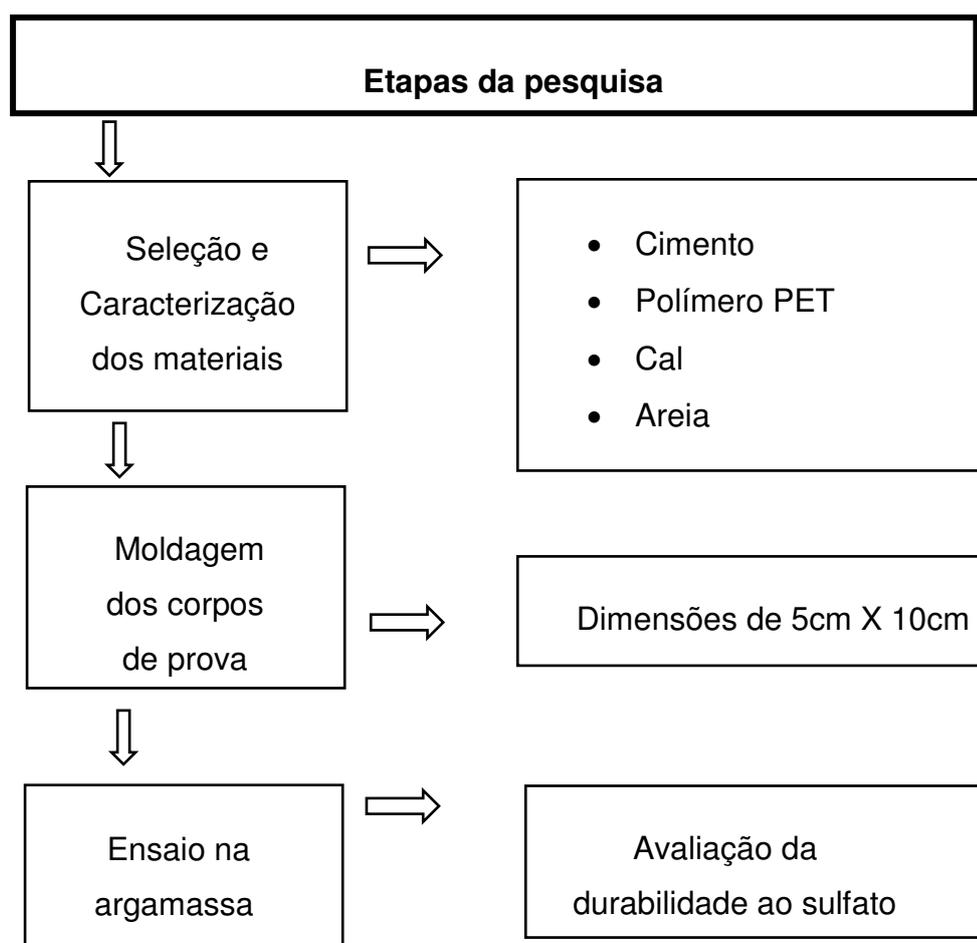
3.2.1.4 Caracterização do Cimento

O cimento foi caracterizado pela sua finura e massa específica. A finura do cimento é o percentual, em massa, de grãos que ficam retidos na peneira nº 200. Sua determinação foi feita segundo a NBR 11579 (ABNT, 2012).

3.2.1.5 Fluxograma

Para realização desse estudo foi seguido essas seguintes etapas:

Figura 13: Fluxograma das etapas da pesquisa.



Fonte: Acervo próprio (2020).

3.2.2 Estudo da Dosagem das argamassas

Foram moldadas amostras de referência e amostras de cada teor de resíduo incorporado para cada idade. Foram executadas amostras com traço base em massa de 1:1:6 (cimento:cal:areia)

3.2.3 Moldagem dos corpos de prova

Após a caracterização dos materiais e o estudo do traço a ser adotado, serão moldados os corpos de prova, em seguida curados por período de 28d em câmara úmida com 100% de umidade relativa. Após período de cura, foram imersos em água saturada com cal por 48h. Para o ensaio de ataque por sulfatos foram moldados 36 corpos de prova cilíndricos nas dimensões de 5 x 10 (cm) no total, sendo para a argamassa de referência 6 corpos de prova (corpos de prova sem adição de PET) e para as argamassas incorporadas com 5,10,15, 20 e 25% de agregado reciclado foram 30 no total, sendo distribuídos 6 para cada porcentagem, metade dos corpos de provas foram para análises feitas submersas na água saturada com cal e outra parte submersa na solução de sulfato de sódio (10%).

Para resistência ao ataque por sulfatos a análise foi realizada para as idades de 7,14,21, 28, 35 e 42 dias e a simbologia para identificação dos corpos de provas que foram submersos na água saturada com cal são A-1, A-2, A-3 e para a solução de sulfato de sódio (10%) A-A-1, A-A-2, A-A-3.

Tabela 8: Tabela resumo com os corpos de provas.

Traço	% de PET	CP
1-1-6	0%	A-1
		A-2
		A-3
		A-A-1
		A-A-2
		A-A-3
	5%	A-1
		A-2
		A-3
		A-A-1
		A-A-2
		A-A-3
	10%	A-1
		A-2
		A-3
		A-A-1
		A-A-2
		A-A-3
	15%	A-1
		A-2
		A-3
		A-A-1
		A-A-2
		A-A-3
20%	A-1	
	A-2	
	A-3	
	A-A-1	
	A-A-2	
	A-A-3	
25%	A-1	
	A-2	
	A-3	
	A-A-1	
	A-A-2	
	A-A-3	

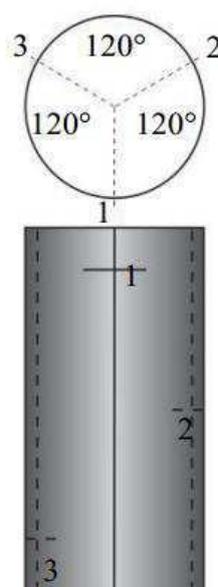
Fonte: Autoria própria (2020).

3.2.4 Determinação da Durabilidade

3.2.4.1 Avaliação da resistência ao ataque por sulfatos

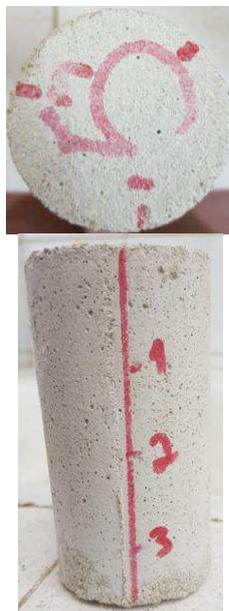
A durabilidade das argamassas incorporadas com resíduos de PET ao ataque por sulfatos será avaliada pela variação dimensional dessas quando imersas em solução de sulfato de sódio, seguindo a metodologia da norma NBR 13583 (ABNT, 2014), adaptando as necessidades desse estudo. Serão mantidas as recomendações quanto ao período de exposição e teor da solução de sulfato de sódio (10%). A realização da medição para verificação da variação dimensional será realizada para as idades de 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias, sendo feitas três medições (mm) de altura para cada corpo de prova, utilizando-se paquímetro, sendo utilizados 3 corpos de prova para cada composição. A localização das alturas e dos diâmetros foi marcada com tinta permanente no início do ensaio, para que as medições fossem efetuadas sempre nos mesmos pontos conforme ilustrado na figura abaixo, sendo também registrados os quantitativos de massa úmida dos corpos de prova a cada leitura de dimensões. Também será realizado uma medição no final para saber a variação na pesagem dos corpos de prova.

Figura 14: Localização das linhas de referência para medições dos corpos de prova



Fonte: Rezende (2013).

Figura 15: Localização das linhas de referências utilizadas no experimento.



Fonte: Acervo próprio (2020).

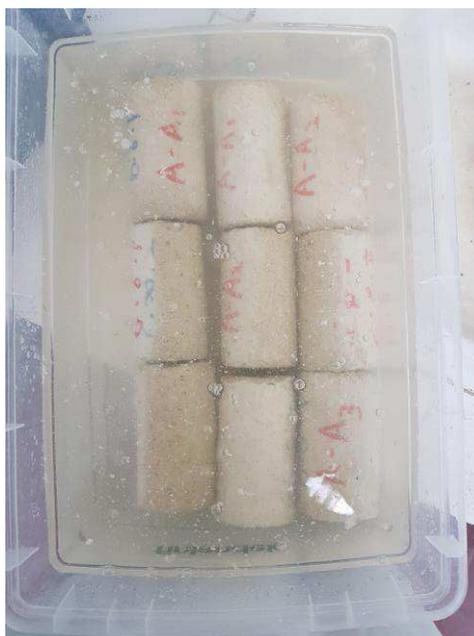
Os corpos de prova, após o período de cura e devidamente identificados, foram imersos em água por 48h sendo então retirados e, após secagem da água superficial com um pano úmido, feita a leitura inicial das dimensões em milímetros, com duas casas decimais, nas linhas previamente marcadas. Os corpos de prova foram divididos em dois grupos: um grupo foi imerso em solução de sulfato de sódio (10%) e outro em água (23 ± 2) °C, em recipientes plásticos devidamente vedados, com o objetivo de evitar a evaporação.

Figura 16: Corpos de prova imersos em água.



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 17: Corpos de prova imerso em solução de sulfato.



Fonte: Autoria própria (2020).

As medições foram efetuadas no início do ensaio e a cada sete dias durante seis semanas, ou seja, até 42d após a imersão. A expansão resultante das argamassas, em porcentagem, foi determinada aos 7, 14, 21, 28, 35 e 42d de imersão, sendo a expansão individual calculada por meio da equação:

$$E_{id} = \frac{(M_{idade} - M_{inicial})}{M_{inicial}} \times 100$$

Onde:

E_{id} = expansão individual (%);

$M_{inicial}$ = média das medições iniciais em cada corpo de prova (mm);

M_{idade} = média das medições efetuadas na idade correspondente em cada corpo de prova (mm);

A expansão resultante é a diferença entre a expansão dos corpos de prova imersos. Como a NBR 13583 (ABNT, 2014) não especifica um valor limite para expansão aos 42d de imersão em solução de sulfato de sódio para considerar a argamassa resistente ao ataque por sulfatos, adotou-se o limite de 0,06% estabelecido pela norma ASTM C 452 (2002) à medida que se trata de uma metodologia apropriada para avaliação de cimento Portland sem adições minerais como o utilizado nessa pesquisa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Variação dimensional ao ataque externo de sulfato

Com a adição do agregado reciclado para produção de argamassa espera-se obter propriedades de durabilidade que atendam aos parâmetros normativos, possibilitando a redução da extração e consumo do agregado natural, bem como a incorporação de um novo material no setor construtivo, reduzindo assim o impacto do seu descarte de forma inadequada no meio ambiente.

As figuras 20 e 21 e a tabela 9 abaixo ilustram os resultado do experimento devido ao ataque da solução de sulfato de sódio em relação à expansão da argamassa curada em água, sendo calculada de acordo com a norma NBR 13583 (ABNT, 2014) ao longo dos 42 dias de imersão.

$$Ae = Es - Ea$$

Onde:

Es = expansão média dos corpos de prova imersos em solução agressiva de sulfato de sódio, em %.

Ea = expansão média dos corpos de prova imersos em solução água saturada com cal, em %.

Ae = expansão resultante, em %.

Tabela 9: Resumo da expansão resultante dos do traço ao longo dos 42 dias

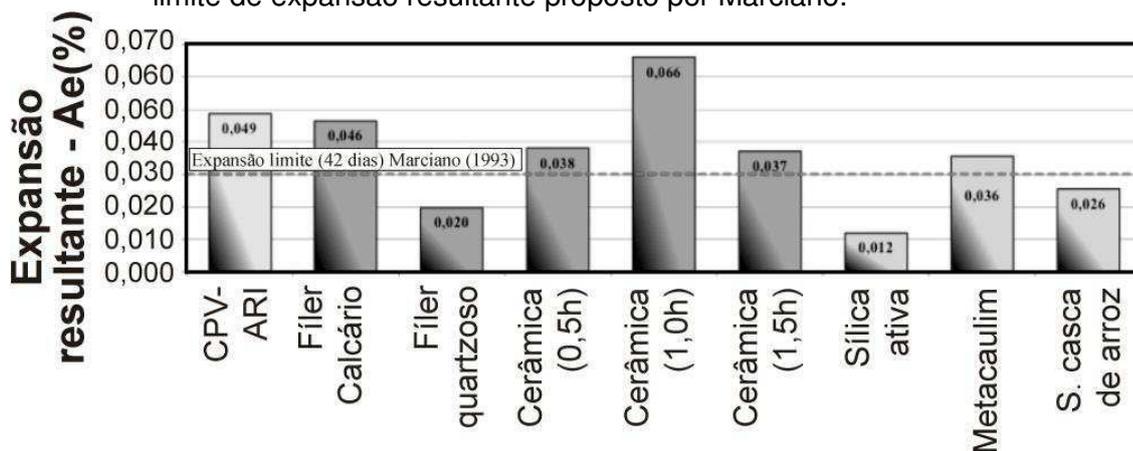
Traço	Teor de substituição (%)	Tempo de imersão (dias)					
		7	14	21	28	35	42
1:1:6	0	0,00	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	0,00
	5	-0,02	0,06	0,12	0,18	0,19	0,22
	10	0,01	-0,02	-0,02	0,02	0,08	0,11
	15	0,06	0,07	0,10	0,14	0,13	0,14
	20	-0,05	-0,08	-0,04	0,01	0,12	0,17
	25	0,04	0,09	0,18	0,22	0,28	0,29

Fonte: Acervo próprio (2020).

Diferente do observado neste trabalho, a retração das argamassas não é um comportamento comumente observado nas pesquisas relativas ao ataque de sulfatos. Por exemplo o trabalho de Hoppe Filho et al. (2015), foi realizado o experimento de ataque externo em barras de argamassa por 42 dias para se

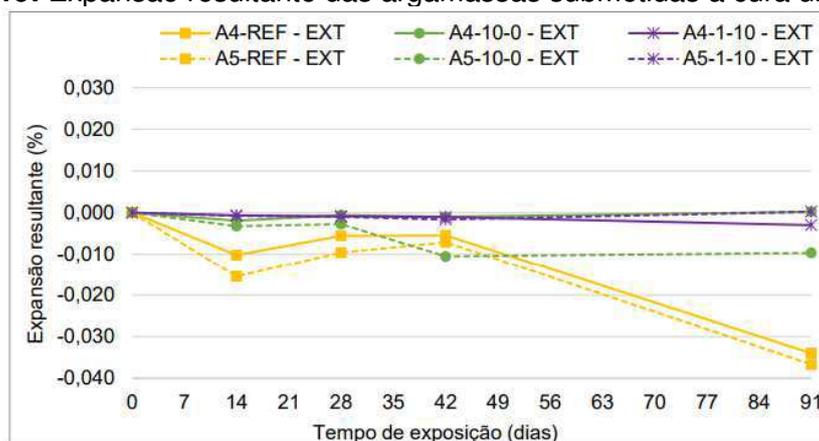
analisar a influências de alguns materiais. E em nenhum momento foi se observado retração. A argamassa de referência atingiu 0,049% de expansão resultante, e a argamassa com sílica ativa (10% em substituição em massa) apresentou resultado de 0,012% na expansão resultante.

Figura 18: Expansão resultante, aos 42 dias, das argamassas contendo adições minerais na composição do material ligante, conforme recomendações da NBR 13.583, e limite de expansão resultante proposto por Marciano.

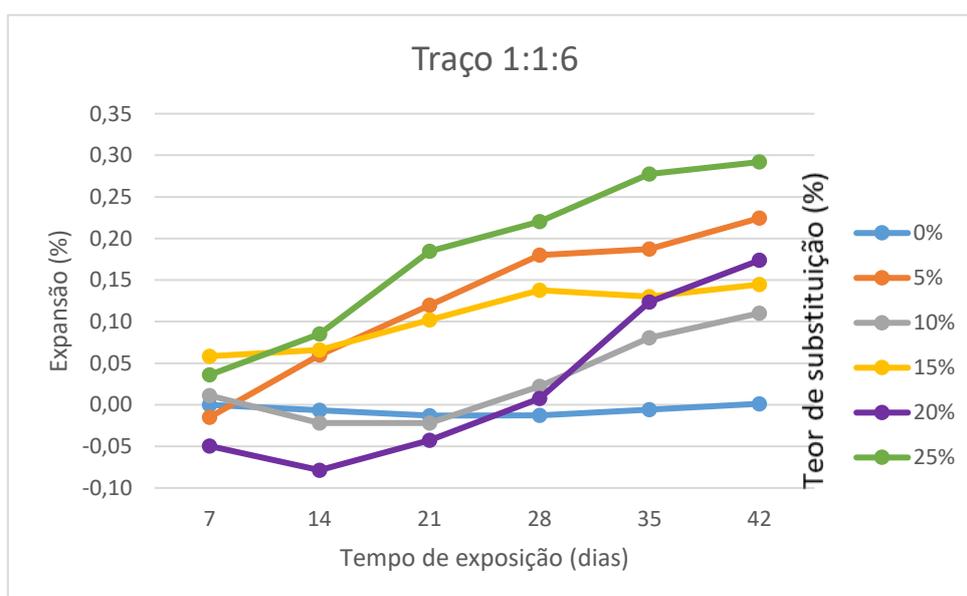


FONTE: Hoppe Filho (2015).

Já nos estudos de Schmalz (2018), nenhuma argamassa analisada apresentou expansão, no entanto houve algumas diferenças no comportamento entre as argamassas com e sem adição de nanosílica. As argamassas A4-REF e A5-REF apresentaram comportamentos semelhantes retraindo desde do início (entre 14° e 42° houve redução na retração), com retração final de 0,034% e 0,037%, respectivamente. Já as argamassas com adição de nanosílica e sílica ativa, mantiveram suas dimensões praticamente inalteradas durante todo o ensaio, com exceção da argamassa A5-10-0 que atingiu -0,010% aos 91 dias e da A4-1-10 que teve uma retração quase imperceptível.

Figura 19: Expansão resultante das argamassas submetidas à cura úmida e ao

Fonte: Schmalz (2018)

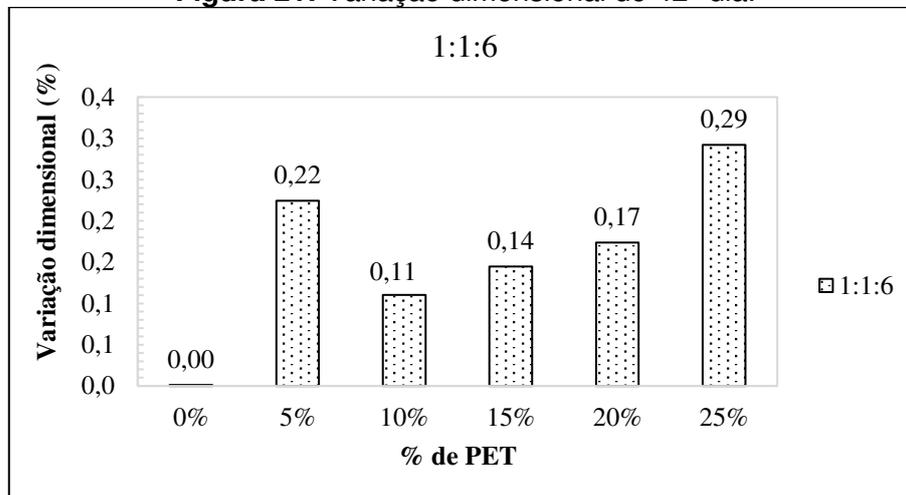
Figura 20: Diferença entre as expansões dimensionais ao longo dos 42 dias de imersão entre os corpos de prova imerso na solução de sulfato de sódio e a solução d'água com cal do traço 1:1:6.

Fonte: Acervo próprio (2020).

Percebe-se pelo gráfico que nenhuma das amostras com adição de pet do traço 1-1-6 se assemelharam ao comportamento da linha de referencia (0%) que se permaneceu quase inalterável, outro fator que pôde se analisar com base no gráfico que em alguns momentos a expansão resultante de alguns teores ficaram negativos implicando em uma retração. Em termo de expansões medias as argamassas com os teores de substituição de 10% e 20% apresentaram um comportamento semelhante, os dois no mesmo período estavam em uma

tendência de retração, chegando a uma retração máxima de 0,02% e 0,08%, respectivamente.

Figura 21: Variação dimensional do 42º dia.



Fonte: Acervo próprio (2020).

Como se percebe pelos resultados da expansão resultante obtidos pela variação dimensional ao ataque da solução de sulfato nos corpos de prova, fica evidente que as argamassas estudadas não apresentaram um efetividade ao ataque por sulfato de sódio quando o método de avaliação aplicado for a variação dimensional de barras de argamassas imersas em solução de sulfato de sódio à medida que os valores obtidos ficaram acima do limite de 0,06% estabelecido pela norma ASTM C 452. Percebeu-se também que de acordo com o aumento da porcentagem do PET na argamassa a variação dimensional aumenta concomitantemente.

Com relação aos resultados obtidos na argamassa com incorporação de 5% do PET não se levou em consideração seus valores para maiores discussões, pois alguns os corpos de prova não foram moldados corretamente o que resultou em valores incoerentes com o restante das argamassas. Porém foi mantido o teste neles para se avaliar os resultados da expansão resultante devido ao mal preparo do material.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após os estudos e resultados obtidos com relação a durabilidade da argamassa incorporada com resíduo PET ao ataque de sulfato pode-se concluir que:

- Em relação à durabilidade das argamassas submetidas à cura úmida (solução de água saturada com cal) e ao ataque de sulfatos, não foi possível verificar os efeitos positivos da adição do PET no traço, pois ao longo dos 42 dias de ensaio houve uma expansão acima do limite de acordo com a ASTM C 452.
- O corpo de prova de referência se manteve dentro dos padrões de acordo com a norma ASTM C 452.

Todavia apesar dos resultados demonstrados nesse estudo ainda não se pode concluir que a argamassa com a adição do PET é ineficiente contra o ataque de sulfato, pois o traço utilizado na pesquisa difere com o que a norma exige, então seria necessário mais estudo para chegar numa conclusão definitiva.

5.1 Sugestões para Pesquisas Futuras

Seria interessante para futuras pesquisas com relação ao tema realizar estudos:

- Teste com envelhecimento natural;
- Teste com envelhecimento acelerado;
- Teste para análise da resistência da argamassa com as reações álcali-agregado;
- Prolongar o tempo de exposição das argamassas aos íons sulfato, de origem externa e interna, bem como estudar o ataque por diferentes tipos de sulfato (cálcio e magnésio);
- Aprofundar o estudo microscópico em materiais cimentícios com uso do PET submetidos à elevadas temperaturas.

NOTA

Devido a pandemia muito do que foi planejado inicialmente para essa pesquisa acabou que teve que ser adaptado para as novas condições. Inicialmente seria analisado dois tipos de traços (tanto o traço que foi analisado nesse estudo como também seria analisado o traço 1:2:9) também seria analisado a durabilidade com simulador de chuva, no entanto devido ao fechamento dos laboratórios não se teve acesso aos materiais que serviriam para fazer mais corpos de provas e também para auxiliar no teste.

6. REFERÊNCIAS

ABIPET - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE EMBALAGENS PET. Disponível em: <http://www.abipet.com.br>. Acesso em: 8 maio 2020.

ABIPET- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE EMBALAGENS PET. Disponível em: <http://www.abipet.org.br/index.html?method=mostrarInstitucional&id=7> Acesso em: 3 dez. 2019.

AL-AMOUDI, A. S. B. Attack on plain and blended cements exposed to aggressive sulfate environments. *Cement and Concrete Composites*. v. 24, 2002.

ALVES, C. E. T.; QUELHAS, O. L. G. A ecoeficiência e o ecodesign na indústria da construção civil: uma abordagem à prática do desenvolvimento sustentável na gestão de resíduos com uma visão de negócios. Rio de Janeiro: Associação Educacional Dom Bosco, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP. Boletim Técnico. Guia básico de utilização do cimento Portland. v.106, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 11579: Cimento Portland — Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200). Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 13281, Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos, Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 13528, Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 13529, Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Terminologia, Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 13583: Cimento Portland - Determinação da variação dimensional de barras de argamassa de cimento Portland expostas à solução de sulfato de sódio. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR NM 23: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR NM 45: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009b.

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

ASTM C 452: Standard Test Method for Potential Expansion of Portland-Cement Mortars Exposed to Sulfate, 2002.

AZERÊDO, A. F. N. Estudo do resíduo de caulim em argamassas a base de cal quanto às suas propriedades frescas, endurecidas e microestruturais. Tese de doutorado. Universidade Federal de Pernambuco. Recife/PE, 2012.

BAÍÁ, L. L. M.; SABBATINI, F. H. Projeto de execução de revestimentos de argamassas. 4. ed. São Paulo: O Nome da Rosa, 2000.

BORGES, F. L.; SOTO, R. C. Deterioração química e biológica do concreto. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.

BROWN, P. W. An evaluation of the sulfate resistance of cements in a controlled environment. *Cement and Concrete Research*, v. 11, 1981.

CARASEK, H. Aderência de argamassas à base de cimento Portland a substrates porosos – avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação. Tese de Doutorado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

CARASEK, Helena. Argamassas. In. ISAIA, Geraldo Cechella. *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais*. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2010.

CARNEIRO, A. M. P. Contribuição ao estudo da influência do agregado nas propriedades de argamassas compostas a partir de curvas granulométricas. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Escola Politécnica de São Paulo, São Paulo, 1999.

CHOI, Yun-Wang, MOON, Dae-Joong, CHUNG, Jee-Seung, CHO, Sun-Kyu. Effects of waste PET bottles aggregate on the properties of concrete. *Cement and Concrete Research*. v. 35, 2005.

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CASCUDO, H. C. Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Boletim Técnico, 1995.

COLLEPARDI, M. A state-of-the-art review on delayed ettringite attack on concrete. *Cement and Concrete Composites*. v. 25, 2003.

COSTA, A. T. S. Propriedades mecânicas de argamassas para revestimentos com incorporação de fibra de carnaúba. Monografia. Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Angicos/RN, 2019.

COSTA, R. M. Análise de propriedades mecânicas do concreto deteriorado pela ação de sulfato mediante utilização do UPV. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

DA SILVA, Alexandra M.; DE BRITO, Jorge; VEIGA, Rosário. Incorporation of fine plastic aggregates in rendering mortars. *Construction and Building Materials*, v. 71, 2014.

DO Ó, S. W. Análise da Retenção de água em argamassas de revestimento aditivadas. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) UnB, Brasília, 2004.

ESCADEILLAS, G.; HORNAIN, H. A durabilidade do concreto frente a ambientes quimicamente agressivos. *Durabilidade do Concreto*. São Paulo: IBRACON, 2014.

GOMIDES, M. J. Ataque por sulfatos ao concreto compactado com rolo. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2001.

HEDRE, L. V. *Economics* 10, 3, 2010.

HOPPE FILHO, J.; SOUZA, D. J.; MEDEIROS, M. H. F.; PEREIRA, E.; PORTELLA, K.F. Ataque de matrizes cimentícias por sulfatos de sódio: adições minerais como agentes mitigadores. *Cerâmica*. vol. 61, 2015.

IRASSAR, E.F. Sulfate attack on cementitious materials containing limestone filler – A review. *Cement and Concrete Research*. v. 39, n. 3, 2009.

JONH, V. M.; ÂNGELO, S. C. Metodologia para reciclagem de resíduos vegetais. *Coletânea Habitare: Utilização de resíduos na construção habitacional*. Editora Programa de Tecnologia de Habitação, vol. 4. Porto Alegre/RS, 2002.

JONH, V. M. Reciclagem de resíduos na construção civil. Tese de Livre Docência. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo/SP, 2000.

JUNIOR, A. B. S. Produção do Poli (Tereftalato de Etileno) modificado com glicerol e derivados. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro/RJ, 2010.

LIMA, R. C. O. Estudo da durabilidade de paredes monolíticas e tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010.

LINTZ, R. C. C., JACINTHO, A. E. P. G. A., PIMENTEL, L. L., GACHET-BARBOSA, L. A. *Rev. IBRACON Estrut. Mater.* vol.5 no.2 São Paulo Abril, 2012.

MACDONALD, W. A., 2002, "New Advances in Poly (ethylene terephthalate) Polymerization and Degradation", *Polymer International*, v. 51.

MACIEL, L. L.; BARROS, M. M. S. B.; SABBATINI, F. H. Recomendações para a Execução de Revestimentos de Argamassa para Paredes de Vedação Internas e Externas e Tetos. Projeto EPUSP/SENAI, São Paulo, 1998.

MATTOS, P. M. F. Durabilidade do betão auto-compactável de elevado desempenho face ao ataque químico. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Minho, João Pessoa, 2017.

MELLO, A. L. et al. Utilização de resíduos de PEAD como alternativa aos agregados naturais em argamassa. Tese de Doutorado. Universidade Federal da Bahia. Salvador/BA, 2011.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto, Microestrutura, Propriedades e Materiais. 3ª Edição. São Paulo: IBRACON, 2008.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: microestrutura, propriedades e materiais. São Paulo: IBRACON, 2014.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002.

MIRANDA, L.F.R.; SELMO, S.M.S. Avaliação de argamassas com entulhos reciclados, por procedimentos racionais de dosagem. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 3., Vitoria, 1999. Anais. Vitoria, ANTAC, 1999.

NAKAKURA, Elza H.; CINCOTTO, Maria A. Análise dos Requisitos de Classificação de Argamassas de Assentamento e Revestimento. São Paulo: EPUSP, 2004. Disponível em:< http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/BT_00359.pdf>.

NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto. 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

OCHI, T; OKUBO, S.; FUKUI, K. Development of recycled PET fiber and its application as concrete-reinforcing fiber. Cement & Concrete Composites. v. 29, 2007.

ODLER, I. Hydration, setting and hardening of Portland cement. Lea's chemistry of cement and concrete. Elsevier: Butterworth Heinemann, China, 2007.

ONH, V. M.; ÂNGELO, S. C. Metodologia para reciclagem de resíduos vegetais. Coletânea Habitar: Utilização de resíduos na construção habitacional. Editora Programa de Tecnologia de Habitação, vol. 4. Porto Alegre/RS, 2002.

OTTONI, T. P. Estudos da influência do aditivo alvenaria nas propriedades das argamassas de revestimento. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria/RS, 2017.

PCZIECZEK, Adriane. Análise das propriedades físicas e mecânicas de argamassa para revestimento utilizando cinzas volante e resíduos de borracha de pneus inservíveis. Dissertação de mestrado. Universidade do Estado de Santa Catarina. Joinville/SC, 2017.

PEREIRA, E. Investigação e monitoramento do ataque por sulfatos de origem interna em concretos nas primeiras idades. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

PEREIRA, Caio. Argamassa: O que é, principais tipos e propriedades. Escola Engenharia, 2018. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/argamassa/>. Acesso em: 14 de novembro de 2019.

RACENA, F. A. P., Conhecendo Argamassa. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2008.

REZENDE, M. L. S. Resíduo de caulim primário como material pozolânico em concreto seco: propriedades físico-mecânicas e durabilidade. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, 2010.

RILEM, T.C. RILEM Recommendations for the Testing and Use of Constructions Materials. MR 13 Determination of resistance of mortar to deformation, 1982.

RODRIGUES, M. P. S. F. F. Mortars for old masonries renders. The influence of binders. 2004. Doctoral Thesis. Nova University of Lisbon., Lisbon, 2004.

ROMÃO, W., SPINACÉ, M.A.S., DE PAOLI, M.A., 2009, "Poli (Tereftalato de Etileno), PET: Uma Revisão Sobre os Processos de Síntese, Mecanismos de Degradação e sua Reciclagem", Polímeros: Ciência e Tecnologia.

SABBATINI, F. H. O processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural sílico calcária. São Paulo. 1984. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

SANTIAGO, C. C. Argamassas. Salvador: EDUFBA, 2007.

SCHMALZ, R. Durabilidade de argamassa submetidas ao ataque de sulfatos: efeito da adição da nanossilica. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2018.

SILVA FILHO, L. C. P. Durabilidade do concreto à ação de sulfatos: análise do efeito da permeação de água e da adição de microssilica. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.

SILVA, N. G. Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária. 2006. Dissertação (Mestrado em construção civil) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

SILVA, A. C. Estudo da durabilidade de compósitos reforçados com fibras de celulose. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo/SP, 2002.

SOUZA, R. B. Suscetibilidade de pastas de cimento ao ataque por sulfatos – método de ensaio acelerado. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

SOUZA, Jozilene de. Estudo da durabilidade de argamassas utilizando cinzas e cascas de arroz. Tese de doutorado. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande/ PB, 2008.

TAYLOR, H. F. W. Cement chemistry. Thomas Telford, 2ª edição, Londres, Inglaterra, 1997.

TAYLOR, H. F. W.; FAMY, C.; SCRIVENER, K. L. Delayed ettringite formation. Cement and Concrete Research, v. 31, 2001.

TRISTÃO, F. A. Influência da composição granulométrica da areia nas propriedades das argamassas de revestimento. 1995. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), UFSC, Florianópolis, 1995.

APÊNDICES

Apêndice 1: Caracterização do cimento.

Propriedades	Finura (%)	Massa Específica (g/cm ³)
Resultados	2,84	2,91

Fonte: Dados da pesquisa (2020).

Apêndice 2: Granulometria da areia.

Abertura (mm)	Peso (g)	Material retido (%)	Material acumulado (%)	Material passante da amostra total (%)
4,75	0	0	0	100
2,36	45,22	4,52	4,52	95,48
1,18	65,73	6,57	11,09	88,91
0,6	208,82	20,88	31,97	68,03
0,3	476,28	47,63	79,6	20,4
0,15	184,27	18,48	98,08	1,92

Fonte: Dados da pesquisa (2020).

Apêndice 3: Granulometria do PET.

Abertura (mm)	Peso (g)	Material retido (%)	Material acumulado (%)	Material passante da amostra total (%)
4,75	0	0	0	100
2,36	0	0	0	100
1,18	0	0	0	100
0,6	176,97	17,69	17,69	82,31
0,3	392,05	39,2	56,89	43,11
0,15	238,24	23,82	80,71	19,29

Fonte: Dados da pesquisa (2020).

Apêndice 4: Caracterização da areia e do PET.

Tipo de agregado	Areia	PET
Módulo de finura	2,25	1,55
Massa específica real	1,76	1,45
Massa unitária	1,4	0,54

Fonte: Dados da Pesquisa (2020).

Apêndice 5: Medidas dos corpos de provas de acordo com sua idade e porcentagem.

Ataque por Sulfato - Traço 1:1:6 (42 dias)									
% de PET	Cura	CP	Massa (g)	Altura 1 (cm)	Altura 2 (cm)	Altura 3 (cm)	Diâmetro 1 (cm)	Diâmetro 2 (cm)	Diâmetro 3 (cm)
0%	0 dia	A-1	429,68	10,00	10,00	10,01	5,20	5,20	5,20
		A-2	427,72	10,00	10,00	10,03	5,22	5,21	5,20
		A-3	423,96	10,00	10,00	9,90	5,24	5,23	5,25
		A-A-1	480,56	10,05	10,05	10,07	5,55	5,55	5,55
		A-A-2	478,64	10,07	10,07	10,08	5,55	5,51	5,51
		A-A-3	483,19	10,08	10,08	10,12	5,55	5,51	5,52
	7 dias	A-1	431,42	10,00	10,00	10,01	5,20	5,20	5,20
		A-2	429,01	10,00	10,00	10,03	5,22	5,21	5,20
		A-3	425,49	10,00	10,00	9,90	5,24	5,23	5,25
		A-A-1	485,50	10,05	10,05	10,07	5,55	5,55	5,55
		A-A-2	483,70	10,07	10,07	10,08	5,55	5,51	5,51
		A-A-3	488,57	10,10	10,06	10,12	5,55	5,51	5,52
	14 dias	A-1	431,73	10,00	10,00	10,01	5,20	5,20	5,20
		A-2	429,13	10,00	9,96	10,05	5,22	5,21	5,20
		A-3	425,85	10,00	10,00	9,90	5,24	5,23	5,25
		A-A-1	490,57	10,04	10,04	10,06	5,55	5,55	5,55
		A-A-2	487,44	10,06	10,07	10,08	5,55	5,52	5,51
		A-A-3	492,28	10,10	10,06	10,12	5,55	5,51	5,52
	21 dias	A-1	431,96	10,00	10,00	10,01	5,20	5,20	5,20
		A-2	429,05	9,99	9,96	10,02	5,22	5,21	5,20
		A-3	425,95	10,00	10,00	9,90	5,24	5,23	5,24
		A-A-1	491,48	10,02	10,02	10,06	5,55	5,55	5,55
		A-A-2	488,22	10,05	10,07	10,05	5,55	5,52	5,51
		A-A-3	493,21	10,10	10,06	10,12	5,55	5,52	5,53
28 dias	A-1	432,27	10,00	10,00	10,01	5,20	5,20	5,20	
	A-2	429,05	9,99	9,96	10,02	5,22	5,21	5,20	
	A-3	426,24	10,00	9,99	9,90	5,24	5,23	5,24	
	A-A-1	492,66	10,02	10,02	10,06	5,55	5,55	5,54	
	A-A-2	489,45	10,05	10,07	10,05	5,55	5,52	5,51	
	A-A-3	494,47	10,10	10,06	10,12	5,55	5,52	5,53	
35 dias	A-1	432,41	10,00	10,00	10,02	5,21	5,21	5,20	
	A-2	429,09	9,98	9,96	10,02	5,22	5,21	5,20	
	A-3	426,45	10,00	9,99	9,90	5,24	5,22	5,24	
	A-A-1	493,14	10,02	10,02	10,06	5,55	5,54	5,53	
	A-A-2	489,94	10,06	10,08	10,06	5,55	5,52	5,51	
	A-A-3	494,87	10,11	10,08	10,11	5,54	5,52	5,53	
42 dias	A-1	432,44	10,00	10,00	10,02	5,21	5,21	5,20	

		A-2	429,06	9,98	9,96	10,02	5,22	5,21	5,20
		A-3	426,43	10,00	9,99	9,90	5,24	5,22	5,24
		A-A-1	493,66	10,02	10,02	10,06	5,56	5,53	5,53
		A-A-2	490,58	10,06	10,08	10,07	5,55	5,52	5,51
		A-A-3	495,43	10,11	10,08	10,11	5,54	5,52	5,53
5%	0 dia	A-1	373,85	9,75	9,70	9,80	4,95	4,92	4,92
		A-2	374,29	9,72	9,72	9,71	4,98	4,99	5,00
		A-3	378,75	9,95	9,95	9,90	5,00	5,00	5,00
		A-A-1	380,93	9,82	9,80	9,81	5,00	5,00	5,00
		A-A-2	425,00	9,85	9,95	9,82	5,21	5,21	5,20
		A-A-3	431,47	9,79	9,79	9,75	5,30	5,30	5,30
	7 dias	A-1	375,00	9,75	9,70	9,80	4,95	4,92	4,92
		A-2	375,40	9,72	9,72	9,71	4,98	4,99	5,00
		A-3	380,29	9,95	9,95	9,90	5,00	5,00	5,00
		A-A-1	385,63	9,81	9,80	9,80	5,00	5,00	5,00
		A-A-2	430,28	9,85	9,95	9,82	5,21	5,21	5,20
		A-A-3	436,72	9,79	9,79	9,75	5,30	5,30	5,30
	14 dias	A-1	375,78	9,75	9,70	9,80	4,95	4,92	4,92
		A-2	376,01	9,72	9,72	9,70	4,98	4,99	4,99
		A-3	381,74	9,93	9,90	9,88	4,99	4,99	5,00
		A-A-1	388,27	9,82	9,79	9,80	5,00	5,00	5,00
		A-A-2	432,87	9,85	9,93	9,81	5,21	5,21	5,21
		A-A-3	439,48	9,78	9,78	9,75	5,31	5,30	5,30
	21 dias	A-1	375,98	9,75	9,70	9,80	4,95	4,92	4,92
		A-2	376,26	9,70	9,71	9,70	4,98	4,98	4,99
		A-3	382,14	9,93	9,90	9,86	4,99	4,99	4,99
		A-A-1	389,43	9,82	9,79	9,81	5,00	5,00	5,00
		A-A-2	434,08	9,85	9,93	9,81	5,21	5,21	5,21
		A-A-3	440,68	9,78	9,78	9,75	5,31	5,30	5,30
	28 dias	A-1	376,23	9,75	9,70	9,80	4,95	4,92	4,92
		A-2	376,46	9,70	9,71	9,70	4,97	4,96	4,98
		A-3	382,41	9,93	9,90	9,86	4,98	4,98	4,99
A-A-1		390,42	9,83	9,79	9,82	5,00	5,00	5,00	
A-A-2		435,01	9,85	9,93	9,81	5,21	5,21	5,21	
A-A-3		441,55	9,78	9,78	9,75	5,31	5,30	5,30	
35 dias	A-1	376,25	9,75	9,70	9,80	4,95	4,92	4,92	
	A-2	376,52	9,70	9,71	9,70	4,97	4,96	4,98	
	A-3	382,58	9,93	9,90	9,86	4,98	4,98	4,99	
	A-A-1	391,16	9,83	9,79	9,82	5,00	5,00	5,00	
	A-A-2	435,83	9,85	9,93	9,81	5,21	5,21	5,21	
	A-A-3	442,49	9,78	9,78	9,75	5,31	5,30	5,31	
42 dias	A-1	376,48	9,75	9,70	9,80	4,95	4,92	4,92	
	A-2	376,79	9,70	9,71	9,70	4,97	4,96	4,98	
	A-3	382,73	9,93	9,90	9,86	4,98	4,98	4,99	

		A-A-1	391,78	9,85	9,79	9,82	5,00	5,00	5,00
		A-A-2	436,37	9,86	9,93	9,81	5,22	5,22	5,21
		A-A-3	442,96	9,78	9,78	9,75	5,31	5,30	5,31
10%	0 dia	A-1	414,80	9,90	9,95	9,95	5,20	5,20	5,20
		A-2	408,01	9,78	9,90	9,85	5,15	5,15	5,20
		A-3	411,41	9,84	9,93	9,90	5,18	5,18	5,20
		A-A-1	460,05	9,85	9,80	9,80	5,51	5,51	5,51
		A-A-2	420,46	9,91	9,90	9,91	5,25	5,25	5,25
		A-A-3	440,26	9,88	9,85	9,86	5,38	5,38	5,38
	7 dias	A-1	416,11	9,90	9,95	9,95	5,20	5,20	5,20
		A-2	409,80	9,78	9,90	9,85	5,15	5,15	5,20
		A-3	412,96	9,84	9,93	9,90	5,18	5,18	5,20
		A-A-1	464,99	9,85	9,80	9,80	5,51	5,51	5,52
		A-A-2	425,13	9,91	9,90	9,91	5,25	5,25	5,25
		A-A-3	445,06	9,88	9,85	9,86	5,38	5,38	5,39
	14 dias	A-1	416,58	9,90	9,95	9,95	5,20	5,20	5,20
		A-2	410,49	9,78	9,90	9,82	5,16	5,17	5,19
		A-3	413,54	9,84	9,93	9,89	5,18	5,19	5,20
		A-A-1	467,47	9,85	9,80	9,80	5,51	5,51	5,52
		A-A-2	427,65	9,92	9,90	9,91	5,25	5,23	5,22
		A-A-3	447,56	9,89	9,85	9,86	5,38	5,37	5,37
	21 dias	A-1	416,71	9,90	9,95	9,95	5,20	5,20	5,20
		A-2	410,60	9,78	9,90	9,82	5,16	5,17	5,19
		A-3	413,66	9,84	9,93	9,89	5,18	5,19	5,20
		A-A-1	469,04	9,85	9,80	9,80	5,51	5,51	5,52
		A-A-2	429,02	9,92	9,90	9,91	5,25	5,23	5,22
		A-A-3	449,03	9,89	9,85	9,86	5,38	5,37	5,37
	28 dias	A-1	416,88	9,90	9,95	9,94	5,21	5,20	5,20
		A-2	411,06	9,78	9,90	9,82	5,16	5,16	5,18
		A-3	413,97	9,84	9,93	9,88	5,19	5,18	5,19
A-A-1		470,23	9,85	9,80	9,80	5,52	5,51	5,52	
A-A-2		430,21	9,92	9,90	9,92	5,25	5,23	5,22	
A-A-3		450,22	9,89	9,85	9,86	5,39	5,37	5,37	
35 dias	A-1	417,04	9,90	9,95	9,93	5,21	5,20	5,20	
	A-2	411,19	9,78	9,90	9,82	5,16	5,16	5,18	
	A-3	414,12	9,85	9,93	9,88	5,19	5,18	5,19	
	A-A-1	471,07	9,85	9,81	9,80	5,52	5,51	5,53	
	A-A-2	431,02	9,92	9,91	9,92	5,26	5,24	5,22	
	A-A-3	451,05	9,89	9,86	9,86	5,39	5,38	5,38	
42 dias	A-1	416,81	9,90	9,95	9,93	5,21	5,20	5,20	
	A-2	410,94	9,78	9,90	9,82	5,16	5,16	5,16	
	A-3	413,88	9,84	9,93	9,88	5,19	5,18	5,18	
	A-A-1	471,78	9,85	9,80	9,80	5,52	5,51	5,53	
	A-A-2	431,60	9,93	9,90	9,95	5,25	5,23	5,22	

		A-A-3	451,69	9,89	9,85	9,88	5,39	5,37	5,38
15%	0 dia	A-1	439,91	9,95	10,03	10,00	5,50	5,50	5,50
		A-2	399,03	9,95	10,05	10,00	5,15	5,15	5,15
		A-3	441,53	9,90	9,98	9,95	5,55	5,52	5,52
		A-A-1	397,98	10,00	9,99	9,99	5,15	5,17	5,18
		A-A-2	440,97	10,00	10,00	10,02	5,50	5,50	5,50
		A-A-3	449,67	10,10	10,10	10,17	5,58	5,57	5,56
	7 dias	A-1	443,27	9,95	10,03	10,00	5,50	5,50	5,50
		A-2	400,90	9,95	10,05	10,00	5,15	5,15	5,15
		A-3	443,55	9,90	9,98	9,95	5,55	5,52	5,52
		A-A-1	403,45	10,02	9,99	9,99	5,18	5,18	5,19
		A-A-2	446,88	10,00	10,00	10,02	5,50	5,50	5,50
		A-A-3	456,73	10,10	10,10	10,17	5,58	5,57	5,57
	14 dias	A-1	444,27	9,95	10,03	10,00	5,50	5,50	5,50
		A-2	402,14	9,95	10,03	10,00	5,15	5,15	5,15
		A-3	444,16	9,90	9,98	9,95	5,55	5,52	5,52
		A-A-1	406,21	10,02	9,99	9,99	5,18	5,18	5,19
		A-A-2	449,25	10,01	10,00	10,02	5,50	5,50	5,50
		A-A-3	459,39	10,10	10,10	10,18	5,59	5,55	5,55
	21 dias	A-1	444,27	9,95	10,01	9,99	5,50	5,50	5,50
		A-2	402,15	9,95	10,02	10,00	5,15	5,15	5,14
		A-3	444,18	9,90	9,98	9,95	5,55	5,52	5,52
		A-A-1	407,81	10,03	9,99	9,99	5,17	5,18	5,19
		A-A-2	450,42	10,01	10,00	10,02	5,50	5,50	5,50
		A-A-3	461,05	10,10	10,10	10,18	5,59	5,55	5,55
28 dias	A-1	444,87	9,95	10,01	9,99	5,50	5,50	5,50	
	A-2	402,92	9,95	10,02	10,00	5,15	5,15	5,14	
	A-3	444,74	9,90	9,95	9,95	5,55	5,52	5,52	
	A-A-1	409,20	10,03	10,00	9,99	5,17	5,18	5,18	
	A-A-2	451,48	10,01	10,00	10,02	5,50	5,50	5,50	
	A-A-3	462,29	10,11	10,11	10,18	5,59	5,55	5,55	
35 dias	A-1	445,66	9,95	10,01	9,99	5,50	5,50	5,50	
	A-2	403,48	9,95	10,02	10,00	5,15	5,15	5,14	
	A-3	445,32	9,90	9,95	9,95	5,55	5,52	5,52	
	A-A-1	410,21	10,04	9,99	9,99	5,17	5,16	5,18	
	A-A-2	452,33	10,00	10,00	10,02	5,50	5,50	5,50	
	A-A-3	463,48	10,11	10,12	10,18	5,59	5,56	5,55	
42 dias	A-1	446,11	9,95	10,01	9,99	5,50	5,50	5,50	
	A-2	403,95	9,95	10,02	10,00	5,15	5,15	5,14	
	A-3	445,78	9,90	9,95	9,95	5,55	5,52	5,52	
	A-A-1	410,86	10,04	9,99	9,99	5,17	5,17	5,18	
	A-A-2	452,77	10,00	10,00	10,02	5,50	5,50	5,50	
	A-A-3	463,77	10,11	10,12	10,18	5,59	5,57	5,55	
20%	0 dia	A-1	399,83	9,88	9,95	9,85	5,30	5,30	5,30
		A-2	435,18	10,08	10,08	10,05	5,50	5,50	5,50

		A-3	412,48	9,99	9,99	9,99	5,38	5,38	5,39
		A-A-1	388,83	9,90	10,05	10,00	5,25	5,25	5,28
		A-A-2	426,47	9,95	9,95	9,90	5,50	5,50	5,50
		A-A-3	433,01	10,05	10,08	10,08	5,50	5,52	5,52
	7 dias	A-1	401,73	9,88	9,95	9,85	5,30	5,30	5,30
		A-2	437,65	10,08	10,08	10,05	5,50	5,50	5,50
		A-3	414,11	9,99	9,99	9,99	5,38	5,38	5,39
		A-A-1	394,10	9,90	10,05	10,00	5,25	5,25	5,28
		A-A-2	432,03	9,95	9,96	9,92	5,50	5,49	5,50
		A-A-3	438,94	10,00	10,05	10,05	5,52	5,52	5,52
	14 dias	A-1	402,43	9,88	9,95	9,85	5,30	5,30	5,30
		A-2	438,52	10,08	10,08	10,05	5,50	5,50	5,50
		A-3	414,88	9,98	10,00	9,98	5,36	5,38	5,39
		A-A-1	396,46	9,90	10,05	10,00	5,25	5,25	5,26
		A-A-2	434,43	9,95	9,95	9,91	5,49	5,49	5,49
		A-A-3	441,29	10,01	10,05	10,06	5,52	5,51	5,50
	21 dias	A-1	402,86	9,88	9,95	9,85	5,30	5,30	5,30
		A-2	439,15	10,05	10,07	10,05	5,50	5,50	5,50
		A-3	415,30	10,00	9,98	9,98	5,35	5,38	5,39
		A-A-1	397,99	9,90	10,05	10,00	5,25	5,25	5,26
		A-A-2	435,94	9,95	9,95	9,91	5,49	5,49	5,49
		A-A-3	442,70	10,01	10,05	10,06	5,52	5,51	5,50
	28 dias	A-1	403,29	9,88	9,95	9,85	5,30	5,30	5,30
		A-2	439,68	10,05	10,07	10,05	5,50	5,50	5,50
		A-3	415,70	10,00	9,98	9,96	5,35	5,35	5,38
		A-A-1	399,02	9,91	10,04	10,00	5,26	5,25	5,26
		A-A-2	437,11	9,95	9,95	9,91	5,49	5,48	5,49
		A-A-3	443,91	10,01	10,05	10,08	5,52	5,50	5,50
35 dias	A-1	403,59	9,88	9,92	9,82	5,30	5,30	5,30	
	A-2	440,02	10,02	10,07	10,05	5,50	5,50	5,50	
	A-3	416,02	10,01	9,97	9,96	5,35	5,35	5,38	
	A-A-1	400,18	9,92	10,05	10,00	5,27	5,24	5,26	
	A-A-2	438,28	9,97	9,94	9,92	5,49	5,48	5,49	
	A-A-3	445,11	10,02	10,06	10,09	5,52	5,50	5,50	
42 dias	A-1	403,47	9,88	9,92	9,82	5,30	5,30	5,30	
	A-2	440,00	10,02	10,07	10,05	5,50	5,50	5,50	
	A-3	415,96	10,01	9,97	9,96	5,35	5,35	5,38	
	A-A-1	400,55	9,92	10,05	10,00	5,28	5,25	5,26	
	A-A-2	438,73	9,98	9,94	9,92	5,49	5,48	5,49	
	A-A-3	445,26	10,03	10,07	10,09	5,53	5,50	5,51	
25%	0 dia	A-1	429,99	10,00	10,09	10,10	5,59	5,60	5,60
		A-2	421,29	10,05	10,05	10,05	5,50	5,52	5,55
		A-3	421,24	10,10	10,10	10,05	5,55	5,52	5,55
		A-A-1	415,18	9,95	9,90	9,90	5,50	5,50	5,50
		A-A-2	419,98	9,90	9,90	9,95	5,50	5,51	5,52

	A-A-3	425,62	9,95	10,05	10,00	5,50	5,52	5,52
7 dias	A-1	432,35	10,00	10,09	10,10	5,59	5,60	5,60
	A-2	423,68	10,05	10,05	10,05	5,50	5,52	5,55
	A-3	424,16	10,10	10,10	10,05	5,55	5,52	5,55
	A-A-1	420,21	9,95	9,90	9,91	5,50	5,50	5,50
	A-A-2	424,64	9,90	9,90	9,95	5,51	5,51	5,52
	A-A-3	431,12	9,95	10,05	10,00	5,51	5,53	5,53
14 dias	A-1	433,34	10,00	10,09	10,10	5,59	5,59	5,59
	A-2	424,40	10,05	10,05	10,05	5,50	5,52	5,52
	A-3	424,85	10,10	10,05	10,05	5,55	5,52	5,52
	A-A-1	422,63	9,94	9,91	9,90	5,49	5,49	5,50
	A-A-2	427,06	9,90	9,91	9,94	5,51	5,50	5,51
	A-A-3	434,14	9,94	10,04	10,00	5,52	5,52	5,54
21 dias	A-1	433,41	10,00	10,09	10,10	5,58	5,58	5,58
	A-2	424,12	10,04	10,03	10,05	5,50	5,51	5,51
	A-3	424,58	10,10	10,05	10,02	5,55	5,50	5,50
	A-A-1	423,96	9,94	9,91	9,90	5,49	5,49	5,50
	A-A-2	428,51	9,90	9,91	9,94	5,50	5,50	5,51
	A-A-3	435,80	9,94	10,04	10,01	5,52	5,52	5,53
28 dias	A-1	434,69	10,00	10,06	10,10	5,58	5,56	5,58
	A-2	425,38	10,03	10,02	10,06	5,50	5,52	5,52
	A-3	425,98	10,10	10,04	10,02	5,55	5,50	5,51
	A-A-1	425,39	9,94	9,92	9,91	5,49	5,48	5,50
	A-A-2	429,99	9,90	9,91	9,94	5,50	5,50	5,51
	A-A-3	437,35	9,94	10,04	10,01	5,52	5,52	5,53
35 dias	A-1	434,98	10,00	10,06	10,10	5,56	5,58	5,58
	A-2	425,79	10,03	10,02	10,06	5,50	5,51	5,52
	A-3	426,25	10,10	10,04	10,00	5,55	5,50	5,51
	A-A-1	426,46	9,94	9,93	9,91	5,48	5,48	5,50
	A-A-2	431,01	9,91	9,92	9,95	5,50	5,50	5,51
	A-A-3	438,37	9,94	10,05	10,02	5,52	5,52	5,53
42 dias	A-1	435,11	10,00	10,06	10,10	5,56	5,58	5,58
	A-2	425,94	10,03	10,02	10,06	5,50	5,51	5,52
	A-3	426,20	10,10	10,04	10,00	5,55	5,50	5,51
	A-A-1	426,72	9,95	9,93	9,91	5,48	5,48	5,50
	A-A-2	430,99	9,91	9,92	9,95	5,50	5,50	5,51
	A-A-3	438,44	9,95	10,05	10,02	5,52	5,52	5,53

Apêndice 6: Determinação da expansão resultante.

Ataque por Sulfato - Traço 1:1:6 (42 dias)						
% de PET	Cura	Mincial (cm)	Midade (cm)	Eind (%)	Eméd (%)	Ae (%)
0%	7 dias	7,60	7,60	0,000	0,000	0,000
		7,61	7,61	0,000		
		7,60	7,60	0,000		
		7,80	7,80	0,000	0,000	
		7,80	7,80	0,000		
		7,81	7,81	0,000		
	14 dias	7,60	7,60	0,000	-0,015	-0,007
		7,61	7,61	-0,044		
		7,60	7,60	0,000		
		7,80	7,80	-0,064	-0,021	
		7,80	7,80	0,000		
		7,81	7,81	0,000		
	21 dias	7,60	7,60	0,000	-0,051	-0,013
		7,61	7,60	-0,131		
		7,60	7,60	-0,022		
		7,80	7,79	-0,150	-0,064	
		7,80	7,79	-0,085		
		7,81	7,81	0,043		
	28 dias	7,60	7,60	0,000	-0,058	-0,013
		7,61	7,60	-0,131		
		7,60	7,60	-0,044		
		7,80	7,79	-0,171	-0,071	
		7,80	7,79	-0,085		
		7,81	7,81	0,043		
35 dias	7,60	7,61	0,066	-0,051	-0,006	
	7,61	7,60	-0,153			
	7,60	7,60	-0,066			
	7,80	7,79	-0,214	-0,057		
	7,80	7,80	-0,021			
	7,81	7,82	0,064			
42 dias	7,60	7,61	0,066	-0,051	0,001	
	7,61	7,60	-0,153			
	7,60	7,60	-0,066			
	7,80	7,79	-0,214	-0,050		
	7,80	7,80	0,000			
	7,81	7,82	0,064			
5%	7 dias	7,34	7,34	0,000	0,000	-0,015
		7,35	7,35	0,000		
		7,47	7,47	0,000		

		7,41	7,40	-0,045		
		7,54	7,54	0,000	-0,015	
		7,54	7,54	0,000		
	14 dias	7,34	7,34	0,000	-0,097	0,060
		7,35	7,35	-0,045		
		7,47	7,45	-0,246		
		7,41	7,40	-0,045	-0,037	
		7,54	7,54	-0,044		
		7,54	7,54	-0,022		
	21 dias	7,34	7,34	0,000	-0,149	0,120
		7,35	7,34	-0,136		
		7,47	7,44	-0,312		
		7,41	7,40	-0,023	-0,030	
		7,54	7,54	-0,044		
		7,54	7,54	-0,022		
	28 dias	7,34	7,34	0,000	-0,195	0,180
		7,35	7,34	-0,227		
		7,47	7,44	-0,357		
		7,41	7,41	0,023	-0,015	
		7,54	7,54	-0,044		
		7,54	7,54	-0,022		
	35 dias	7,34	7,34	0,000	-0,195	0,187
		7,35	7,34	-0,227		
		7,47	7,44	-0,357		
		7,41	7,41	0,023	-0,007	
		7,54	7,54	-0,044		
		7,54	7,54	0,000		
	42 dias	7,34	7,34	0,000	-0,195	0,224
		7,35	7,34	-0,227		
		7,47	7,44	-0,357		
		7,41	7,41	0,068	0,030	
		7,54	7,54	0,022		
		7,54	7,54	0,000		
10%	7 dias	7,57	7,57	0,000	0,000	0,011
		7,51	7,51	0,000		
		7,54	7,54	0,000		
		7,66	7,67	0,022	0,011	
		7,58	7,58	0,000		
		7,62	7,62	0,011		
	14 dias	7,57	7,57	0,000	-0,011	-0,022
		7,51	7,50	-0,022		
		7,54	7,54	-0,011		
		7,66	7,67	0,022		

		7,58	7,57	-0,088		
		7,62	7,62	-0,033		
	21 dias	7,57	7,57	0,000		-0,022
		7,51	7,50	-0,022	-0,011	
		7,54	7,54	-0,011		
		7,66	7,67	0,022		
		7,58	7,57	-0,088	-0,033	
		7,62	7,62	-0,033		
	28 dias	7,57	7,57	0,000	-0,033	0,022
		7,51	7,50	-0,067		
		7,54	7,53	-0,033		
		7,66	7,67	0,043		
		7,58	7,57	-0,066	-0,011	
		7,62	7,62	-0,011		
	35 dias	7,57	7,57	-0,022	-0,037	0,080
		7,51	7,50	-0,067		
		7,54	7,53	-0,022		
		7,66	7,67	0,087		
		7,58	7,58	0,000	0,044	
		7,62	7,62	0,044		
	42 dias	7,57	7,57	-0,022	-0,066	0,110
		7,51	7,50	-0,111		
		7,54	7,53	-0,066		
		7,66	7,67	0,065		
		7,58	7,58	0,022	0,044	
		7,62	7,62	0,044		
15%	7 dias	7,75	7,75	0,000		0,058
		7,58	7,58	0,000	0,000	
		7,74	7,74	0,000		
		7,58	7,59	0,154		
		7,75	7,75	0,000	0,058	
		7,85	7,85	0,021		
	14 dias	7,75	7,75	0,000	-0,015	0,066
		7,58	7,57	-0,044		
		7,74	7,74	0,000		
		7,58	7,59	0,154		
		7,75	7,76	0,021	0,051	
		7,85	7,85	-0,021		
	21 dias	7,75	7,74	-0,065	-0,051	0,102
		7,58	7,57	-0,088		
		7,74	7,74	0,000		
		7,58	7,59	0,154	0,051	

		7,75	7,76	0,021		
		7,85	7,85	-0,021		
	28 dias	7,75	7,74	-0,065	-0,072	0,138
		7,58	7,57	-0,088		
		7,74	7,73	-0,065		
		7,58	7,59	0,154	0,066	
		7,75	7,76	0,021		
		7,85	7,85	0,021		
	35 dias	7,75	7,74	-0,065	-0,072	0,130
		7,58	7,57	-0,088		
		7,74	7,73	-0,065		
		7,58	7,59	0,110	0,058	
		7,75	7,75	0,000		
		7,85	7,85	0,064		
	42 dias	7,75	7,74	-0,065	-0,072	0,145
		7,58	7,57	-0,088		
		7,74	7,73	-0,065		
		7,58	7,59	0,132	0,072	
		7,75	7,75	0,000		
		7,85	7,85	0,085		
20%	7 dias	7,60	7,60	0,000	0,000	-0,050
		7,79	7,79	0,000		
		7,69	7,69	0,000		
		7,62	7,62	0,000	-0,050	
		7,72	7,72	0,043		
		7,79	7,78	-0,193		
	14 dias	7,60	7,60	0,000	-0,022	-0,079
		7,79	7,79	0,000		
		7,69	7,68	-0,065		
		7,62	7,62	-0,044	-0,100	
		7,72	7,71	-0,043		
		7,79	7,78	-0,214		
	21 dias	7,60	7,60	0,000	-0,057	-0,043
		7,79	7,78	-0,086		
		7,69	7,68	-0,087		
		7,62	7,62	-0,044	-0,100	
		7,72	7,71	-0,043		
		7,79	7,78	-0,214		
	28 dias	7,60	7,60	0,000	-0,101	0,008
		7,79	7,78	-0,086		
		7,69	7,67	-0,217		
		7,62	7,62	-0,022	-0,093	
		7,72	7,71	-0,065		

		7,79	7,78	-0,193		
	35 dias	7,60	7,59	-0,132	-0,166	0,123
		7,79	7,77	-0,150		
		7,69	7,67	-0,217		
		7,62	7,62	0,022	-0,043	
		7,72	7,72	-0,022		
		7,79	7,78	-0,128		
	42 dias	7,60	7,59	-0,132	-0,166	0,174
		7,79	7,77	-0,150		
		7,69	7,67	-0,217		
		7,62	7,63	0,066	0,008	
		7,72	7,72	0,000		
		7,79	7,79	-0,043		
25%	7 dias	7,83	7,83	0,000	0,000	0,036
		7,79	7,79	0,000		
		7,81	7,81	0,000		
		7,71	7,71	0,022	0,036	
		7,71	7,72	0,022		
		7,76	7,76	0,064		
	14 dias	7,83	7,83	-0,043	-0,092	0,085
		7,79	7,78	-0,064		
		7,81	7,80	-0,171		
		7,71	7,71	-0,043	-0,007	
		7,71	7,71	-0,022		
		7,76	7,76	0,043		
	21 dias	7,83	7,82	-0,106	-0,199	0,185
		7,79	7,77	-0,171		
		7,81	7,79	-0,320		
		7,71	7,71	-0,043	-0,014	
		7,71	7,71	-0,043		
		7,76	7,76	0,043		
	28 dias	7,83	7,81	-0,213	-0,228	0,220
		7,79	7,78	-0,150		
		7,81	7,79	-0,320		
		7,71	7,71	-0,022	-0,007	
		7,71	7,71	-0,043		
		7,76	7,76	0,043		
35 dias	7,83	7,81	-0,213	-0,249	0,278	
	7,79	7,77	-0,171			
	7,81	7,78	-0,363			
	7,71	7,71	-0,022	0,029		
	7,71	7,72	0,022			
	7,76	7,76	0,086			

		7,83	7,81	-0,213		
		7,79	7,77	-0,171	-0,249	
		7,81	7,78	-0,363		
	42 dias	7,71	7,71	0,000		0,292
		7,71	7,72	0,022	0,043	
		7,76	7,77	0,107		