

DURABILIDADE DAS ALVENARIAS DE BLOCOS DE GESSO LIMITES DE SUA UTILIZAÇÃO

Carlos Welligton de Azevedo Pires Sobrinho

Tese a ser submetida para obtenção do grau de

DOUTOR EM ENGENHARIA CIVIL

Orientador: Professor Doutor Nuno Manuel Monteiro Ramos

Coorientadora : Professora Doutora Yeda Vieira Povoas

PORTO, 2021

PROGRAMA DOUTORAL EM ENGENHARIA CIVIL 2020/2021

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-5081901

Fax +351-22-5081446



Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440



feup@fe.up.pt



<http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Programa Doutoral em Engenharia Civil 2020-2021, Departamento de Engenharia, Faculdade de Engenharia Civil da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2021.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

À minha família
pelo amor e consideração
ao longo de todos esse anos.
Especial Meus Pais Valdemar e Amara (in momoriam)

Aos meus colegas de
trabalho pelo apoio e consideração
ao longo dessa jornada.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Doutor Nuno Manuel Monteiro Ramos, meu orientador, pelo constante incentivo, pela valorosa consideração na orientação e conhecimento que demonstrou ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus pais (Valdemar Pires de Freitas e Amara Josefa Pires de Freitas) in memoriam, pelos ensinamentos, amor e valorização da família, minha eterna gratidão.

Meus fraternos irmãos (Gislaine, Gilvane, Otacílio e Duffles) e amados filhos (Gabriela, Afonso, Maria Theresa e Luise) por compartilharem todos os momentos de nossas vidas.

A Profa Yeda Povoas pelas correções e considerações ao longo do desenvolvimento desta Tese.

Aos meus amigos Paulo Freire, Almai Santos, Romilde Almeida e Antônio Azevedo pelo apoio e incentivo para iniciar e concluir este trabalho.

Aos meus colegas de trabalho do Instituto de Tecnologia de Pernambuco, em particular aos do Laboratório de Tecnologia Habitacional e aos do Departamento de Engenharia Civil da Escola Politécnica de Pernambuco pelo incentivo e apoio no convívio ao longo desses anos.

RESUMO

Como a durabilidade não é uma característica intrínseca de um material, o comportamento de uma edificação e de suas partes está sujeito às ações atuantes ao longo da sua vida útil. Conhecer os mecanismos de degradação dos materiais e componentes que constituem os elementos de um determinado sistema construtivo é fundamental no sentido de considerar a atuação dos principais agentes de degradação na elaboração de projetos, com vistas a proporcionar maior proteção aos elementos contra os fatores de degradação e assim aumentar a sua vida útil.

Mecanismos de degradação de componentes e elementos construtivos não convencionais são pouco conhecidos. A norma ISO 15686 em sua parte 2 apresenta uma metodologia para Previsão de Vida Útil (PVU) sobre componentes novos e/ou inovadores cujo desempenho é pouco conhecido, podendo servir como um documento orientador na avaliação das investigações e na estimativa de vida útil; e, em sua parte 8, fornece orientações para determinação da Vida Útil de Referência (VUR) de um componente ou elemento visando a obtenção de sua Vida Útil Estimada (VUE).

Este trabalho visa conhecer os mecanismos de degradação dos blocos de gesso hidrofugados e standard e definir parâmetros para avaliação de sua vida útil por meio de ensaios laboratoriais direcionados a avaliação de durabilidade, preconizados na norma NBR 15575, associando-o a avaliação de desempenho de um protótipo construído e monitorado no Campus do ITEP e de edificações construídas em diferentes regiões bioclimáticas em Pernambuco, nordeste do Brasil, visando consolidar em uma metodologia para estimativa de vida útil para fachadas construídas em alvenaria de componentes de gesso.

Nos ensaios laboratoriais foram avaliadas a perda de massa através de ensaios de choque térmico e estanqueidade e a alteração de comportamento com o crescimento/avanço da umidade interna em elementos de alvenaria, havendo diferença significativa entre os comportamentos dos blocos de gesso hidrofugados e standard. Em campo, os principais indicadores em uma inspeção visual foram as manchas de umidade em regiões de acúmulo de água, perda de massa e alteração superficial nas regiões mais solicitadas por ventos e chuvas dirigidas.

Na conclusão deste trabalho são apresentadas as diferenças comportamentais entre os dois tipos de blocos de gesso existentes no mercado brasileiro, uma avaliação sobre a estimativa de vida útil de edificações térreas com a utilização deste componente, além da proposição de novos estudos de continuidade dos estudos realizados.

PALAVRAS CHAVE: Durabilidade de alvenarias, Alvenarias de blocos de gesso, Desempenho de alvenarias, Ensaios acelerados, Estimativa de Vida Útil.

ABSTRACT

As durability is not an intrinsic characteristic of a material, the behavior of a building and its parts is subject to the actions that act throughout its useful life. Knowing the degradation mechanisms of materials and components that constitute a given building system is essential in order to consider them in the design process, with a view to providing greater protection to the elements against degradation factors and thus increase its service life.

Degradation mechanisms of unconventional components and building elements are little known. The ISO 15686 standard in its part 2 presents a methodology for Service Life Planning on new and/or innovative components whose performance is little known, which can serve as a guiding document in the evaluation of investigations and in the estimation of service life; and, in part 8, it provides guidance for determining the Reference Service Life (RSL) of a component or element in order to obtain its Estimated Service Life (ESL).

This work aims to understand the degradation mechanisms of water-repellent and standard gypsum blocks and define parameters to assess their service life through laboratory tests aimed at assessing durability, recommended in the NBR 15575 standard, associating it with the performance evaluation of a prototype built and monitored on the ITEP Campus and of buildings located in different bioclimatic regions in Pernambuco, northeastern Brazil, aiming to consolidate in a methodology for estimating the service life of houses built with gypsum block masonry.

In laboratory tests, mass loss was evaluated through thermal shock and watertightness tests and the change in behavior with the growth/advancement of internal moisture in masonry elements, with a significant difference between the behavior of the waterproofed and standard gypsum blocks. In the field, the main indicators in a visual inspection were the spots of moisture in regions of water accumulation, loss of mass and surface alteration in the regions most requested by winds and directed rain.

At the conclusion of this work, the behavioral differences between the two types of gypsum blocks existing in the Brazilian market are presented, an assessment of the estimated service life of one-story buildings with the use of this component, in addition to the proposal of new studies to continue the studies carried out.

KEYWORDS: Masonry durability, Gypsum Block Masonry, Masonry Performance, Performance Tests, Estimated Service Life.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
—	
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 MOTIVAÇÃO	1
1.2 OBJETIVO E METODOLOGIA	2
1.3 ESTRUTURA DO TEXTO	3
2. ESTADO DA ARTE E FUNDAMENTOS	5
2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	5
2.2 CARACTERIZAÇÃO DOS PRODUTOS DE GESSO	8
2.3 REQUISITOS DE DESEMPENHO	20
2.4 PLANEJAMENTO DA VIDA ÚTIL.....	25
2.5 SÍNTESE DO ESTADO DA ARTE.....	40
3. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO LABORATORIAL.....	43
3.1 ENQUADRAMENTO	43
3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS E COMPONENTES DAS ALVENARIAS	44
3.3 DISPOSITIVOS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	45
3.4 ENSAIOS DE CHOQUE TÉRMICO.....	54
3.5 ENSAIO DE ESTANQUEIDADE	85
3.6 SÍNTESE DOS ENSAIOS LABORATORIAIS	105
4. AVALIAÇÃO NO PROTÓTIPO CONSTRUÍDO	107
4.1 ENQUADRAMENTO	107
4.2 DESCRIÇÃO DO PROTÓTIPO.....	107
4.3 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS CONSTATADAS NO PROTÓTIPO APÓS 12 ANOS DE EXPOSIÇÃO.....	108
4.4 AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO SUPERFICIAL NAS PAREDES DO PROTÓTIPO .	112
4.5 SÍNTESE DO CAPÍTULO.....	127
5. EDIFICAÇÕES EM ALVENARIAS DE BLOCOS DE GESSO	129
5.1 PLANO DE INSPEÇÃO IN-SITU.....	129

5.2 INVESTIGAÇÃO COMPARATIVA DE CASAS CONSTRUÍDAS EM ALVENARIA DE BLOCOS DE GESSO EM ARARIPINA.....	131
5.3 INVESTIGAÇÃO COMPARATIVA DE CASAS CONSTRUÍDAS EM ALVENARIA DE BLOCOS DE GESSO EM TRINDADE	142
5.4 AVALIAÇÃO DE CASAS ISOLADAS EM ARARIPINA E TRINDADE	147
5.5 INVESTIGAÇÃO DE CASAS CONSTRUÍDAS EM ALVENARIA DE BLOQUETE DE GESSO 150	
5.6 AVALIAÇÃO DE CASAS CONSTRUÍDAS EM ALVENARIA DE BLOCOS DE GESSO EM GRAVATÁ.....	156
5.7 SÍNTESE CRÍTICA DO ESTUDO IN-SITU	161
6. CONTRIBUTOS PARA A ESTIMATIVA DA VIDA ÚTIL DE ALVENARIAS DE GESSO.....	163
6.1 ENQUADRAMENTO.....	163
6.2 METODOLOGIA	164
6.3- DEFINIÇÃO DOS FATORES MODIFICADORES	174
6.4 DETERMINAÇÃO DA VIDA ÚTIL ESTIMADA (VUE).....	176
6.5 SÍNTESE DO CAPÍTULO.....	178
7. CONCLUSÕES	181
7.1 PRINCIPAIS CONCLUSÕES DESTE ESTUDO.....	181
7.2 PERSPECTIVAS PARA INVESTIGAÇÃO FUTURA.....	183
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	185

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-Déficit habitacional no Brasil	1
Figura 2-Representação esquemática da secagem do sistema gesso-água	8
Figura 3-Influência do fator água/gesso no tempo de pega	10
Figura 4- Influência do tempo de mistura(espatuarização) no tempo de pega do gesso	10
Figura 5-Influência do tempo de descanso no tempo de pega do gesso	11
Figura 6- Influência a consistência no tempo de pega e na resistência do gesso.	11
Figura 7-Influência do teor de hemidrato nas propriedades do gesso	12
Figura 8-Influência da areia nas propriedades da argamassa de gesso	12
Figura 9-influência do ácido cítrico nas propriedades do gesso.....	13
Figura 10-Influência da adição de PVAc nas propriedades do gesso	13
Figura 11- Aspectos dos tipos de blocos de gesso: a) bloco vazado e b) bloco maciço.....	14
Figura12 - Fluxograma de moldagem de componentes pré-moldados em gesso	15
Figura 13- Esquema de fabricação de blocos pelo processo mecanizado	15
Figura 14- Fabricação de blocos pelo processo mecanizado	16
Figura 15 Processo de fabricação artesanal de bloquetes.....	16
Figura 16- Desempenho de um produto considerando atividades de manutenção	26
Figura17- Relacionamentos entre partes da ISO 15686 - o planejamento da vida útil dos edifícios ...	27
Figura18- Metodologia de investigação ação-resposta segundo a ISO 15686	28
Figura 19.Modos de falha na deterioração de componentes.....	32
Figura 20- Influência do microclima na biodeterioração da madeira	40
Figura 21-Esquema de montagem e instrumentação dos corpo-de-prova	45
Figura 22-Equipamento de aquecimento utilizado nos ensaios de choque térmico.....	46
Figura 23-Condições de exposição de ventos nas regiões brasileiras	47
Figura 24-- Esquema de montagem e aparelhamento para ensaio de estanqueidade.....	48
Figura 25- Detalhes do equipamento utilizado nos testes de verificação à estanqueidade à água.....	48
Figura 26- Sensor 9SS19 utilizado para registros de umidade	49
Figura 27- Sensor de temperatura utilizado nas medições	50
Figura 28-Esquema de montagem dos sensores para registro de dados em sistema arduino	50
Figura 29- Ensaios de capilaridade em amostras de blocos standard	51
Figura 30-Comportamento da umidade por capilaridade em bloco standard.....	52
Figura 31-Ensaio de capilaridade em amostras de bloco de gesso hidro	53
Figura 32-Comportamento da umidade por capilaridade nos blocos hidro	54

Figura 33-Esquema dos ensaios de choque térmico aplicado as paredes.....	55
Figura 34-Procedimentos para inserção dos sensores na parede	55
Figura 35-Esquema de ensaio de choque térmico.....	56
Figura 36-Posicionamento da instrumentação na parede de ensaio	56
Figura 37-Comportamento dos sensores de umidade no ensaio de choque térmico 1º ciclo blocos standard	57
Figura 38 – Comportamento dos sensores de temperatura no ensaio de choque térmico no 1º ciclo blocos standard	58
Figura 39-Aspectos inicial e final da face exposta da parede após ação da temperatura e da água... 58	
Figura 40-Detalhes da face exposta após conclusão do 1ºciclo do choque térmico	59
Figura 41-Aspectos da face posterior, no início e após ação da água	60
Figura 42 – Comportamento dos sensores de umidade no ensaio de choque térmico no 5º ciclo blocos standard	62
Figura 43 - Comportamento dos sensores de temperatura no ensaio de choque térmico no 5º ciclo de blocos standard	62
Figura 44- Aspecto das faces exposta e posterior a ação do choque térmico no 5ºciclo.....	63
Figura 45-Detalhes da face exposta após ações do 5ºciclo	63
Figura 46 - Comportamento dos sensores de umidade no ensaios de choque térmico no 10º ciclo de blocos standard	65
Figura 47 - Comportamento os sensores de temperatura no ensaios de choque térmico no 10º ciclo blocos standard	65
Figura 48-Aspectos da face exposta após a conclusão do 10ºciclo	66
Figura 49-Detalhes da formação de fissura na parede após 10ºciclo.....	66
Figura 50-Aspecto dos blocos que compõe a parede, considerados hidro	67
Figura 51 - Comportamento dos sensores de umidade ne ensaio de choque térmico no 1º ciclo blocos hidro	69
Figura 52 - Comportamento dos sensores de temperatura no ensaios de choque térmico no 1º ciclo blocos hidro	69
Figura 53-Aspectos da face exposta após o 1ºciclo	70
Figura 54-Colocação de fita adesiva para direcionar água infiltrada pela junta	71
Figura 55 - Comportamento dos sensores de umidade no 5º ciclo blocos hidro	72
Figura 56 - Comportamento dos sensores de temperatura no 5º ciclo blocos hidro	72
Figura 57-Aspectos da face exposta após ação do 5ºciclo.....	73
Figura 58 - Comportamento dos sensores de umidade no ensaios de choque térmico no 10º ciclo de blocos hidro	74

Figura 59 - Coportamento dos sensores de temperatura no ensaios de choque térmico no 10 ^a ciclo em blocos hidro	75
Figura 60-Aspectos posterior e frontal da parede após o 10 ^o ciclo	75
Figura 61-Aspectos da face exposta após 10 ^o ciclo	76
Figura 62-Illustração do procedimento para avaliação de desgaste superficial	78
Figura 63-Procedimento de medição nos blocos intermediário da face exposta da parede	78
Figura 64-Aspectos de medição de desgaste superficial parede bloco hidro	81
Figura 65- Aspecto de medição de desgaste superficial bloco pseudo hidro.....	81
Figura 66 - Desgaste médio dos tipos de blocos por ciclos de ensaio	85
Figura 67-Esquema da câmara de estanqueidade	86
Figura 68-Esquema do ensaio de estanqueidade realizado.....	87
Figura 69-Programa utilizado para registro dos sensores de umidade na plataforma Arduino	87
Figura 70-Aspectos da parede durante ensaio de estanqueidade	88
Figura 71-Aspectos da face externa da parede mostrando a evolução das manchas de umidade.....	88
Figura 72-Aspecto da face no interior da câmara aos 75min e após 24horas	89
Figura 73 - Comportamento dos sensores de umidade na face exposta	90
Figura 74 - Comportamento dos sensores de umidade na face exposta nos 10 primeiros minutos....	90
Figura 75- Aspectos da parede após 45 horas da ação do ensaio de estanqueidade-detelhe de parte bloco standard.....	91
Figura 76-teste de estanqueidade em parede de blocos hidro.....	93
Figura 77- Teste de estanqueidade em parede de blocos standard sem tratamentos-	93
Figura 78- Teste de estanqueidade parede blocos standard com selador acrílico, tinta latex.....	94
Figura 79-Teste de estanqueidade parede de blocos standard com selador acrílico e tinta acrílica ...	94
Figura 80- Teste de estanqueidade parade de blocos standard com selador acrílico e tinta latex.....	94
Figura 81-Teste de estanqueidade parede de blocos standard com fundo preparador e tinta latex ...	95
Figura 82-Teste de estanqueidade parede de blocos standard com fundo preparador e tinta acrílica	95
Figura 83- Ensaio de estanqueidade associado a medidas de degradação	96
Figura 84- Aspecto do registro das infiltrações e programa de registro da umidade	97
Figura 85 - Comportamento dos sensores de umidade na face posterior, para cada tipo de tratamento, apos 1 ^o Ciclo	97
Figura 86- Aspectos do avanço das manchas de umidade ao final do 3 ^o ciclo.....	98
Figura 87 - Comportamento dos sensores de umidade, na face ´posterior pzra cada tipo de tratamento, após 3 ^o ciclo	98
Figura 88- Aspecto da face posterior com a indicação das manchas de infiltração no 3 ^o ciclo	99
Figura 89- Processo de medição das profundidades de degradação	100

Figura 90-Aspectos da superfície antes da sequência de ensaios	101
Figura 91- Aspecto da superfície exposta após o 12º ciclo	102
Figura 92-Aspecto das superfícies após o 12ºciclo.....	103
Figura 93 - Desgastes por lixiviação nas suerfícies expostas com diferentes tratamentos.....	104
Figura 94-Desgastes nas superfícies tratadas por tempo de exposição	104
Figura 95- Localização do protótipo no Campus experimental do ITEP	107
Figura 96- Aspectos arquitetônicos do protótipo	108
Figura 97- Vista geral das fachadas	108
Figura 98-Detalhes das manifestações patológicas.....	109
Figura 99-Outros detalhes das manifestações patológicas no protótipo	110
Figura 100- Manifestações patológicas no interior do protótipo	111
Figura 101-Posicionamento das fachadas do protótipo quanto as direções cardeais.....	112
Figura 102- Distribuição da precipitação pluviométrica mensal em Recife entre 2007 e 2018	113
Figura 103 - Mapa de temperaturas em Recife entre 2007 e 2018	114
Figura 104 - Mapa de distribuição da umidade relativa em Recife entre 2007 e 2018.....	114
Figura 105 - Mapa de velocidade média dos ventos a 3 km do ITEP entre 2007 e 2018	115
Figura 106 - Direção dos ventos a 3 km do ITEP entre 2007 e 2018	115
Figura 107 - Índice e qunatificação das chuvas incidentes em 12 anos nas fachadas do protótipo ..	119
Figura 108-Trecho da parede Este-Sudeste do protótipo-régua na segunda fiada(blocos standard) 120	
Figura 109-Medições de profundidade no trecho da segunda fiada(bloco standard).....	120
Figura 110- Trecho da parede Este-Sudeste- régua posicionada na primeira fiada(blocos hidro)	121
Figura 111-Medições das profundidades relativas na segunda fiada.....	122
Figura 112-Trecho de parede do protótipo em blocos de gesso standard na face Oeste-Noroeste ..	123
Figura 113-Medição das profundidades no trecho de parede na segunda fiada (blocos standard)...	124
Figura 114-Trecho de parede de primeira fiada na face Oeste-Noroeste(blocos hidro)	125
Figura 115-Medições realizadas no trecho de parede da primei8ra fiada(blocos hidro)	125
Figura 116-Mapa de localização das edificações investigadas(fonte ABNT,2013-adaptada).....	129
Figura 117- Mapa de localização do Conjunto Alto da Boa Vista-Araripe-PE	131
Figura 118- Média mensal de precipitação pluviométrica em Araripe(2004-2018).....	132
Figura 119- Velocidade dos ventos em um ano típico na região do Sertão-PE.	132
Figura 120- Direção preponderante dos ventos atuantes na região do Sertão-PE.	133
Figura 121- Temperaturas máxima e mínimas médias diárias em um ano típico na região do Sertão-PE	133
Figura 122- Comportamento da umidade relativa em um ano típico da região do Sertão-PE	134

Figura 123- Detalhes das manifestações patológicas na amostra 1	134
Figura 124- Aspectos comparativos das manifestações patológicas entre março/2017 a abril/2018	135
Figura 125-Amostra 2-Detalhes das manifestações patológicas.....	136
Figura 126-Amostra 3- Detalhes das manifestações patológicas.....	137
Figura 127-Aspectos comparativos das manifestações patológicas entre março/2017 a abril/2018	138
Figura 128-Amostra 4- detalhes das manifestações patológicas	139
Figura 129- Amostra 5- detalhe das manifestações patológicas	140
Figura 130- Amostra 6- Detalhes das manifestações patológicas.....	141
Figura 131-Amostra 7- detalhes das manifestações patológicas	142
Figura 132-Mapa de localização do conjunto COHAB em Trindade-PE	143
Figura 133-Precipitação pluviométrica em Trindade-PE	144
Figura 134-Aspectos comparativos das manifestações patológicas entre março/2017 a abril/2018.	145
Figura 135-Aspectos comparativos das manifestações patológicas entre março 2017 a abril 2018.	146
Figura 136-Aspectos comparativos na amostra 10 entre março/2017 a abril/2018	147
Figura 137-Amostra 11-detalhes das manifestações patológicas	148
Figura 138- Amostra 12- detalhes das manifestações patológicas	149
Figura 139-Amostra 13- detalhe das manifestações patológicas	150
Figura 140-Amostra 14 - detalhe das manifestações patológicas	151
Figura 141-Amostra 15-detalhe das manifestações patológicas	152
Figura 142-Amostra 16-detalhe das manifestações patológicas	152
Figura 143-Amostra 17-detalhe das manifestações patológicas	153
Figura 144-Amostra 18-Detalhe das manifestações patológicas	154
Figura 145-Amostra 19-detalhes das manifestações patológicas	155
Figura 146- Amostra 20- detalhe das manifestações patológicas	155
Figura 147- Localização das casas no condomínio N.S do Carmo-Gravata-PE	156
Figura 148-Precipitação pluviométrica em Gravatá-PE	157
Figura 149-Direção dos ventos em ano típico na região próxima	157
Figura 150-Velocidade dos ventos em 2018 em Gravatá-PE	158
Figura 151-Amostra 21-aspectos construtivos de uma casa em alvenaria de blocos de gesso	158
Figura 152-Amostra 21-aspectos da casa concluída e em uso no Condomínio N.S.do Carmo	159
Figura 153- Amostra 21-aspectos da edificação após 8 anos de uso	159
Figura 154 - Amostra 22 - aspectos construtivos e casa concluída no Conjunto Baviera em Gravatá-PE	160
Figura 155- Amostra 23 - aspetos da casa após 6 anos de utilização	160

Figura 156- Aspectos dos indicadores dos sistemas de proteção por níveis de degradação	168
Figura 157- Aspectos dos indicadores da presença de umidade por níveis de degradação	169
Figura 158- Aspectos dos indicadores da forma e intensidade de fissuras por níveis de degradação	170
Figura 159- Resultados dos indicadores versus idade das edificações	171
Figura 160- Comportamento dos indicadores de níveis de degradação e severidade para as casas do sertão	172
Figura 161 - Avaliação comparativa (Idade x Vida Útil Estimada)	178

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1- Identificação dos blocos quanto as características físicas (NBR 16494 (ABNT, 2017a))	17
Tabela 2 - Requisitos físicos e mecânicos para blocos maciços (NBR 16494 (ABNT, 2017a))	17
Tabela 3- Requisitos físicos e mecânicos para blocos vazados (NBR 16494 (ABNT, 2017a))	17
Tabela 4- Requisitos dos blocos quanto a dureza superficial (NBR 16494 (ABNT, 2017a))	18
Tabela 5- Requisitos dos blocos quanto a densidade (NBR 16494 (ABNT, 2017a))	18
Tabela 6- Características do gesso cola (NBR 16575 (ABNT, 2017d)).....	18
Tabela 7-Classes de absorção de água (EN ISO 12859 (EN, 2011))	18
Tabela 8- Classes quanto a massa volumétrica (EN 12859 (EN, 2011))	19
Tabela 9- Classe de resistência á flexão (EN 12859 (EN, 2011))	19
Tabela 10-Requisitos aplicáveis a sistemas de vedação vertical (NBR 15575(ABNT, 2013)).....	24
Tabela 11-Requisitos quanto a função da alvenaria (NBR 15575(ABNT,2013))	25
Tabela 12- Caracterização dos blocos de gesso utilizados	44
Tabela 13 -Caracterização das cola de gesso utilizadas.....	45
Tabela 14- Condições de ensaios de estanqueidade à água aplicados as paredes externas.....	47
Tabela 15-Registro da ascensão por capilaridade no bloco standard.....	52
Tabela 16-Resultado da ascensão por capilaridade bloco hidro	53
Tabela 17-Resultados das umidades e temperaturas no 1ºCiclo bloco standard	57
Tabela 18-Registros das umidades e temperaturas no 5ºciclo: bloco standard.....	61
Tabela 19-Resultado das medições das umidades e temperatura no 10ºciclo:blocos standard	64
Tabela 20-Resultados das medições das umidades e temperaturas no 1ºCiclo-bloco hidro.....	68
Tabela 21-Resultados das medições das umidades e temperatura no 5ºciclo: blocos hidro.....	71
Tabela 22-Resultado das medições das umidades e temperaturas no 10ºciclo:blocos hidro.....	74
Tabela 23- Profundidade medida após 5ºciclo na parade standard	79
Tabela 24-profundidade medida(continuação)	79
Tabela 25-Resultados das medições relativas após 10 ciclos na parede de blocos standard	80
Tabela 26-Resultados das medições relativas(continuação)	80
Tabela 27-Resultados das medições relativas após o 5ºciclo	81
Tabela 28-Resultados das medições relativas após 5ºciclo(continuação)	82
Tabela 29- Resultados das medições após 5ºciclo no bloco pseudo hidro	82
Tabela 30-Resultados das medições após 10ºciclo nos blocos hidro	83
Tabela 31-Resultados das medições após 10ºciclo nos blocos hidro(continuação)	83
Tabela 32-Resultados das medições após o 10ºciclo no bloco pseudo hidro.....	83

Tabela 33-Resultados das medições após o 10º ciclo no bloco pseudo hidro(continuação)	84
Tabela 34- Resultados da média de desgaste por ciclos de ensaio	84
Tabela 35-registros dos sensores de umidade em ensaio de estanquidade	89
Tabela 36-Characterização das amostras ensaiadas e resultados obtidos.....	92
Tabela 37-Resultados das medidas de profundidade antes dos ensaios.....	100
Tabela 38- Resultados das medidas de profundidade após o 12º ciclo	101
Tabela 39- Resultados relativos e acumulados dos desgastes por ciclo, em mm	103
Tabela 40- Precipitação pluviométrica a 3 km do Campus ITEP(mm/mês).....	113
Tabela 41-Categoria do terreno no cálculo Cr	117
Tabela 42 - Comprimento efetivo de declividade	117
Tabela 43-Fator de forma W	118
Tabela 44- Valores para coeficiente de obstrução(O).....	118
Tabela 45- Índice e quantificação anual de chuva incidente por fachada	119
Tabela 46- Resultados das profundidades relativas no trecho da parede ESE do protótipo - régua da segunda fiada (blocos standard)	121
Tabela 47- Resultados das profundidades relativas no trecho da parede ESE do protótipo - régua da segunda fiada (blocos standard) (continuação)	121
Tabela 48-Valores das profundidades relativas na parede ESE do protótipo – régua na primeira fiada (blocos hidro)	122
Tabela 49- Valores das profundidades relativas na parede ESE do protótipo – régua na primeira fiada (blocos hidro) (continuação)	122
Tabela 50- Resultados das profundidades relativas no trecho da parede NWW do protótipo - régua da segunda fiada (blocos standard)	123
Tabela 51- Resultados das profundidades relativas no trecho da parede NWW do protótipo - régua da segunda fiada (blocos standard) (continuação)	123
Tabela 52-Valores das profundidades relativas no trecho da parede NWW do protótipo – régua na segunda fiada (blocos standard)	124
Tabela 53- Valores das profundidades relativas no trecho da parede NWW do protótipo – régua na segunda fiada (blocos standard) (continuação)	124
Tabela 54-Valores das profundidades relativas na parede NWW do protótipo – régua na primeira fiada (blocos hidro)	125
Tabela 55- Valores das profundidades relativas na parede NWW do protótipo – régua na primeira fiada (blocos hidro) (continuação)	126
Tabela 56-Resultados comparativos entre protótipo e laboratório	126
Tabela 57- Caracterização das edificações investigadas	130
Tabela 58-Níveis de falha em fachadas construídas em alvenaria de componentes de gesso	167

Tabela 59- Resultados das investigações	171
Tabela 60- Coeficiente modificador, fator A (materiais e componentes)	174
Tabela 61- Coeficiente modificador, fator B (qualidade de projeto).....	175
Tabela 62- Coeficiente modificador, fator C (qualidade da execução)	175
Tabela 63- Coeficiente modificador, fator D (ambiente interno)	175
Tabela 64- Coeficiente modificador fator E (ambiente externo)	176
Tabela 65- Resultado da aplicação de método fatorial da vida útil estimada.....	177

SIMBOLOGIAS E ABREVIATURAS

a	Parâmetro para calcular TOF [-]
A_w	Coefficiente de absorção de água [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0.5})$]
c	Calor específico [$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$]
C_R	Coefficiente de rugosidade [-]
C_T	Coefficiente de topografia [-]
C_{RP}	Coefficiente de protecção da chuva [$\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{h}^{0.5})$]
D	Direcção horária média do vento a partir do Norte [°]
e	Espessura [m]
F_D	Factor de deposição da chuva [-]
F_E	Factor de exposição à chuva [-]
H_i	Sensor de umidade
HR	Humidade relativa [%]
h_i	Indicador de classe de absorção de água em blocos de gesso
I	Índice de chuva incidente [m^2/s]
I_A	Índice anual para campo aberto [l/m^2]
I_S	Índice de chuva persistente para campo aberto [l/m^2]
I_{WA}	Índice anual para a fachada [l/m^2]
I_{WS}	Índice de chuva persistente para a fachada [l/m^2]
I_{rs}	Componente da radiação solar normal à superfície [W/m^2]
IC	Índice de ascensão capilar [kg/m^2]
K	Parâmetro para calcular TOF [-]
k	Coefficiente de chuva incidente [s/m]
K_R	Factor do terreno [-]
L	Valor geométrico [m]
O	Factor de obstrução [-]
P_i	Precipitação em superfície horizontal para o intervalo elementar de tempo considerado [m]
p_{sat}	Pressão de saturação [Pa]
q_s	Densidade de fluxo de calor absorvido pela superfície devido à radiação solar incidente [W/m^2]
R_h	Intensidade de precipitação horizontal [$\text{l}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ou mm/h]

R_{WDR}	Quantidade de chuva incidente [l/(m ² ·h) ou mm/h]
s	Factor para calcular C_T [-]
S_{max}	Parâmetro para calcular TOF [-]
S_d	Espessura da camada de ar de difusão equivalente [m]
T	Temperatura [°C]
TOF	Factor de topografia
t_{chuva}	Período de tempo de chuva [h]
t_{seco}	Período de tempo de seco [s]
t	Tempo [s]
U	Coeficiente de transmissão térmica [W/(m ² ·K)]
U_{ref}	Coeficiente de transmissão térmica de referência [W/(m ² ·K)]
V	Velocidade do vento [m/s]
V	Volume [m ³]
$V(z)$	Velocidade do vento a z [m] acima do solo [m/s]
V_{10}	Velocidade do vento de referência a 10 m acima do solo [m/s]
V_i	Velocidade do vento para o intervalo elementar de tempo considerado [m/s]
V_t	Velocidade terminal das gotas [m/s]
W	Factor da fachada [-]
w_{80}	Teor de humidade de referência [kg/m ³]
w_{sat}	Teor de humidade de saturação [kg/m ³]
w	Teor de humidade [kg/m ³]
x	Distância a partir do ponto mais alto da colina/escarpa [m]
z_0	Comprimento da rugosidade aerodinâmica [m]
z_{min}	Altura mínima [m]
\dot{z}	Altura acima do ponto mais alto da colina/escarpa [m]
z	Altura acima do solo [m]
C_P	Calor específico do material [J/kg.k]
α_s	Coeficiente de absorção solar [-]
α	Exposição [-]
γ	Relação entre uma unidade do índice de chuva incidente e a quantidade de chuva incidente [l/m ²]
δ_p	Permeabilidade ao vapor do material [kg/(m·s·Pa)]
δ_a	Permeabilidade ao vapor de água [kg/(m·s·Pa)]
δ_{ar}	Coeficiente de permeabilidade ao vapor de água no ar [kg/(m·s·Pa)]

Δp	Varição da pressão de vapor entre o pano de alvenaria molhado por baixo do reboco e o ar exterior durante o período seco [Pa]
E	Porosidade [m^3/m^3]
Θ	Ângulo entre o Norte e a normal à parede [°]
θ_i	Ângulo entre a direcção do vento e a normal à parede para o intervalo elementar de tempo considerado [$-90^\circ < \theta_i < 90^\circ$]
θ	Ângulo entre a direcção do vento e a normal à parede [°]
$\ddot{\Theta}$	Temperatura [°C ou K]
λ_0	Condutibilidade térmica do material seco [W/(m·K)]
λ_w	Condutibilidade térmica do material húmido [W/(m·K)]
ρ_s	Massa volúmica do material seco [kg/m^3]
φ	Humidade relativa [-]
Φ	Diâmetro das gotas [mm]
Φ	Factor para calcular C_T [-]
ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	<i>American Concrete Institute</i>
AIJ	<i>Architectural Institute of Japan</i>
APAC	Agência Pernambucana de Águas e Clima
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
ASHRE	American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers
BREEAM	<i>BRE Environmental Assessment Method</i>
CAIXA	Caixa Econômica Federal
CIB	<i>Conseil International du Batiment</i>
CEN	<i>Comité Européen de Normalisation</i>
CFD	Computational Fluid Dynamics
CPFC	Desempenho de componente na condição de falha
DIN	<i>Deutsches Institut für Normung – (Instituto Alemão para Normalização)</i>
DBMC	<i>International Conference on Durability of Building Materials and Components</i>
DL	Vida Útil de Projeto
EPD	Declaração ambiental de produtos
ESL	Vida Útil Estimada
EVA	Evil Vinil Acetado
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia Estatística
IC	Índice de ascensão capilar
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
IQNet	<i>International certification Network</i>
INMET	Instituto Nacional de Metrologia
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
ITEP	Instituto de Tecnologia de Pernambuco
LCA	Avaliação de Ciclo de Vida
LEAD	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
LTH	Laboratório de Tecnologia Habitacional
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
NBS	<i>National Standards Technology</i>
NDMR	Nível de Desempenho Mínimo Requerido
NIST	<i>National Institute of Standards and Technology</i>
NP	Norma Portuguesa
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PBQP-H	Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade para Habitação
PTI	Projeto de Tese e Investigação
PVA	Acetado de Polivinila
RILEM	<i>Reunióón Internationale des Laboratories d'Essais et de recherches sur les Matériaux et constructions</i>
RSL	Vida Útil de Referência
Rw	Nível de isolamento acústico
SEBRAE	Serviço Brasileiro de apoio às micros e pequenas empresas.
SINDUGESSO	Sindicato da Indústria de Gesso do Estado de Pernambuco
TEP	Tonelada Equivalente de Petróleo
UTM	Universal Transversa de Mercator(relativo a unidades geodésicas)
WDR	Wind Driven Rain
WUFI	Wärme Instationär Feuchte Und – transferência de calor e umidade

1

INTRODUÇÃO

1.1 MOTIVAÇÃO

O déficit habitacional é um dos maiores problemas sociais não resolvidos no Brasil. O crescimento populacional urbano nas últimas décadas implicou em uma demanda crescente por habitação, especialmente pelas camadas mais pobres da população. Tal fato, aliado à escassez de investimentos estatais nesse segmento justifica o acentuado déficit habitacional brasileiro estimado em cerca de 8 (oito) milhões de moradias em 2013, segundo a última Pesquisa Nacional por Amostragem de Domicílios (PNAD) do IBGE, concluída em 2015 (IBGE, 2016), sendo esta a última pesquisa concluída até agora, apresentada na Figura 1.

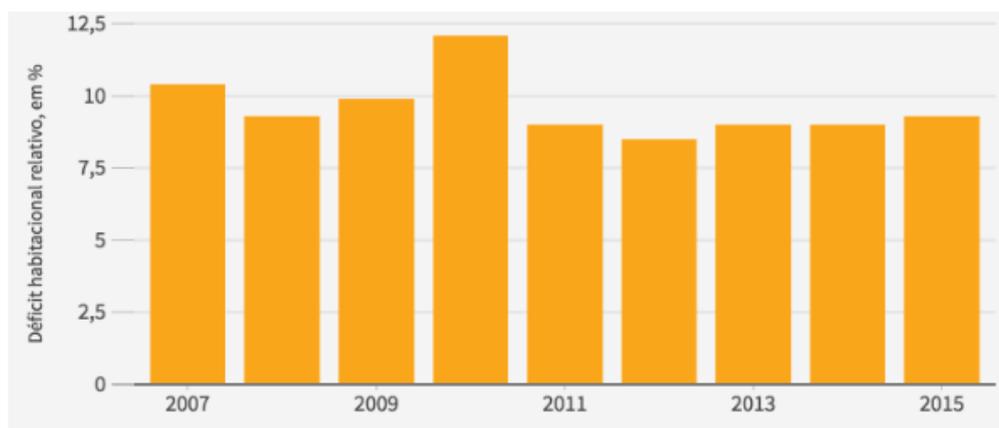


Figura 1-Déficit habitacional no Brasil (IBGE, 2014)

A indústria da construção civil está inserida nessa complexa problemática tendo um importante papel de desenvolver e disseminar sistemas construtivos capazes de suprir a demanda por habitações para a população alvo, mais carente de recursos financeiros.

Por outro lado, o setor da construção civil é reconhecido como uma das atividades de maior interferência na ecologia em nosso planeta. Segundo dados das Nações Unidas (IPCC, 2014), a construção consumiu em 2010 aproximadamente 32% de toda a energia da produção do planeta, representando 8,8 giga toneladas de CO₂, equivalente a 18,4% das emissões globais. Infelizmente, a construção também não fica atrás quando se trata de emissões atmosféricas, respondendo por 1/3 do total de emissões de gases de efeito estufa.

Neste contexto, para uma produção de uma tonelada de gesso a energia associada necessária é de aproximadamente 0,017 tep/ton. Já o consumo energético para se produzir uma tonelada de cal é de aproximadamente 0,104 tep/ton. Para se produzir 1 tonelada de cimento são necessários 0,70 tep (Bajay et al., 1995), isto sem considerar a inerente produção de CO₂ que varia enormemente com a matriz energética utilizada. Embora tenham sido observados grandes avanços tecnológicos na diminuição de CO₂ no processo de produção de cimentos, em 2010 ainda se registrava 0,153 t de CO₂ para cada tonelada de cimento produzida (Hauke, 2007).

Nolhier(1986), em seu livro Construir em plâtre, apresenta vários casos de construções com produtos de gesso, aplicados tanto em interiores quanto em exteriores, em diversos países da África e Ásia. No estado de Pernambuco, região de maior produção de gesso do Brasil, existem centenas de edificações construídas em alvenaria de componentes de gesso, como alternativa de construção para casas térreas.

O paradigma de que as construções em gesso são efêmeras e pouco duráveis, entra em contradição com os casos levantados por Nolhier(1986), na África e na Ásia, e pelo autor desta Tese em Pernambuco e por Santos (2016) em Pernambuco e em outras regiões do Brasil.

Conhecer os mecanismos de degradação dos elementos construtivos em componentes de gesso frente a ação do meio, é fundamental para se estabelecer uma função de degradação característica através da parametrização de ensaios normalizados e recorrendo a métodos fatoriais com base em campanhas de inspeção em edificações construídas em alvenaria de blocos de gesso, subsidiada pela ação-resposta em ensaios acelerados, conforme a metodologia preconizada na ISO 15686-2 (ISO, 2011), constituem-se como uma alternativa para a definição de uma metodologia para avaliação de vida útil para este tipo de edificação.

1.2 OBJETIVO E METODOLOGIA

Edificações em alvenaria de componentes (blocos) de gesso, embora pouco citadas na literatura, podem ser encontradas nas proximidades das regiões produtoras de gesso (Sertão do Nordeste do Brasil e Oeste da África), principalmente nas que apresentam clima de baixa precipitação pluviométrica.

O objetivo principal desta Tese consiste em conhecer os mecanismos de degradação dos componentes de gesso e definir parâmetros para avaliação de vida útil de alvenarias de componentes pré-moldados de gesso muito utilizado na construção de casas térreas no sertão e agreste de Pernambuco. Para atingir este objetivo central foi necessário atingir os seguintes objetivos parciais, a seguir explicitados:

- Revisão do estado da arte sobre as propriedades do gesso e de suas modificações através da metodologia com aditivos e sobre os mecanismos de degradação aplicados aos componentes de gesso frente às ações do meio, com foco nos requisitos da durabilidade e sustentabilidade;
- Avaliação do comportamento das alvenarias em blocos de gesso sob ação da água e calor durante ensaios de choque térmico e de estanqueidade;
- Proposição de indicadores para avaliação dos principais mecanismos de degradação de elementos de gesso com base na metodologia de previsão de vida útil preconizada na ISO 15686-2 (ISO, 2011);
- Avaliação do comportamento de um protótipo em alvenaria de blocos de gesso em exposição natural no Campus do ITEP, durante 13 anos, tomado como referência nas avaliações de ensaios acelerados (estanqueidade e choque térmico) de elementos de alvenaria de blocos de gesso em laboratório.
- Avaliação de uma campanha de inspeção em edificações construídas em alvenaria de blocos de gesso, construídas em três diferentes regiões bioclimáticas de Pernambuco, visando identificar critérios modificadores do método fatorial para determinação de estimativa da vida útil de referência para este tipo de edificação;
- Desenvolvimento e aplicação de uma formulação fatorial que possibilite a determinação da vida útil de edificações em alvenaria de componentes de gesso para as casas construídas neste sistema em Pernambuco.

1.3 ESTRUTURA DO TEXTO

O Capítulo 2: apresenta o estado da arte das construções em gesso focando as características e propriedades das alvenarias em blocos de gesso, os principais requisitos para atendimento às normas e uma abordagem sobre os mecanismos de degradação visando o desenvolvimento de uma metodologia para planejamento de vida útil de edificação em alvenaria de blocos de gesso;

O Capítulo 3: apresenta a metodologia proposta para avaliação da durabilidade das alvenarias em blocos de gesso correlacionando os ensaios laboratoriais de Norma aos resultados das investigações no protótipo, localizado no Campus do ITEP;

Subcapítulo 3.1: apresenta o planejamento dos ensaios laboratoriais considerando a metodologia para avaliação da durabilidade, tendo por base os métodos preconizados na NBR 15575 (ABNT,2013), inserindo nesta, procedimentos para avaliação da degradação dos componentes pós ensaios, objetivando reproduzir os condicionamentos acelerados das principais ações que atuam na degradação dos elementos em alvenaria de blocos de gesso e visando associar estas aos principais sintomas e extensões observadas no protótipo existente no Campus do ITEP;

Subcapítulo 3.2: apresenta a caracterização dos materiais e componentes que foram utilizados nos ensaios laboratoriais e seus enquadramentos às normas,

Subcapítulo 3.3: apresenta os equipamentos e dispositivos utilizados nos ensaios de estanqueidade e de choque térmico, bem como os sensores utilizados para avaliação do comportamento da movimentação hídrica da umidade nos ensaios;

Subcapítulo 3.4: apresenta o desenvolvimento e os resultados da avaliação dos níveis de degradação superficial dos componentes das alvenarias quando da realização dos ensaios de choque térmico;

Subcapítulo 3.5: apresenta o desenvolvimento e os resultados da avaliação dos níveis de degradação superficial dos componentes das alvenarias quando da realização dos ensaios de estanqueidade;

Subcapítulo 3.6: apresenta uma síntese dos ensaios laboratoriais onde é possível perceber o comportamento diferenciado entre blocos standard e blocos hidrofugados, no que diz respeito ao avanço da umidade no interior dos componentes e dos níveis de degradação superficial.

O Capítulo 4: apresenta os resultados das investigações realizadas no protótipo ao longo dos anos, associado às condições climáticas atuantes. Os registros das degradações superficiais serviram de referência para comparação com os obtidos nos ensaios acelerados;

O Capítulo 5: apresenta os resultados da campanha de inspeção em casas de blocos de gesso construídas no interior do Estado, com ênfase nas observações comparativas registradas entre os anos de 2017 e 2018, associadas ao tempo e às ações climáticas atuantes nestas regiões;

O Capítulo 6: apresenta contributos para previsão de vida útil de edificações em alvenaria de blocos de gesso, utilizando métodos fatoriais na avaliação da estimativa de vida útil, tendo utilização dos fatores, cujos coeficientes foram ajustados a partir das avaliações das campanhas laboratoriais e de campo, concluindo com a proposição desta metodologia às edificações construídas em alvenaria de blocos de gesso.

No último capítulo, ao final deste trabalho, apresentam-se as principais conclusões do trabalho desenvolvido e a proposta para trabalhos futuros.

2

ESTADO DA ARTE E FUNDAMENTOS

2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O gesso é um dos mais antigos materiais de construção fabricados pelo homem. As mais recentes descobertas arqueológicas tornaram evidente que o emprego do gesso remonta ao 8º milênio a.C. (ruínas na Síria e na Turquia). As argamassas em gesso e cal serviram de suporte em afrescos decorativos, na construção de pisos e mesmo na fabricação de recipientes (Bologna, 1976).

Um dos maiores questionamentos sobre o emprego do gesso na construção consistiu na sua utilização para rejuntamento de blocos de pedra, com mais de 16 toneladas, por ocasião da construção na grande pirâmide de Quéops, rei do Egito, da 4ª dinastia, no ano de 2.800 a.C (Angeli,Cardoso&Santos, 1983; Gourdin&Kingery., 1975).

O “Tratado de Pedra” escrito pelo filósofo Theophraste, discípulo de Platão e Aristóteles, que viveu entre o IV e III séculos a.C., é considerado um dos mais antigos documentos que relatam sobre a utilização de gesso nas construções e a existência de geseiras em Chipre, na Fenícia e na Síria, e indicava que o gesso era utilizado, como pasta e argamassa, para a ornamentação, nos afrescos, nos baixos-relevos e na confecção de estátuas (Plâtre, 1982).

No século XVIII, foi constatada uma grande generalização da utilização do gesso nas construções, principalmente nas edificações construídas com estrutura de tabiques rebocada com gesso, tendo a França como polo disseminador e a região parisiense como principal fonte da matéria-prima. O material passou a ser conhecido como gesso de Paris ou "plaster of Paris" (Cincotto,Agopyan&Florindo, 1988a).

Nesta época, a produção de gesso ainda era rudimentar e empírica. Em 1768, Lavoisier apresenta na Academia de Ciências o primeiro estudo científico sobre os fenômenos presentes no preparo do gesso (Groves, 1958).

No século XIX, os trabalhos de diversos autores, particularmente os de Vant’Hoff e de Lê Chatelier possibilitaram a abordagem uma explicação científica para a desidratação da Gipsita (Huntzer, 1983).

A partir do século XX, em função da evolução industrial, os equipamentos para a fabricação do gesso deixaram de ter um conceito rudimentar e passaram a agregar maior tecnologia, assim como a melhoria tecnológica dos produtos, passando a facilitar suas formas de emprego pelo homem (Rocha, 2007).

Nolhier(1986), apresenta inúmeros casos de construções em produtos de gesso, aplicados tanto em interiores quanto em exteriores, em diversos países da África (Gambia, Senegal, Mauritânia). Regiões estas caracterizadas com baixa precipitação pluviométrica, com média 80 mm anual, e baixa umidade na quase totalidade do ano. Na Argélia, já se construía edificações em alvenaria de blocos industrializados desde 1962.

No Brasil, foram constatadas construções de casas térreas em blocos e em bloquetes de gesso, desde os anos 90, sendo posteriormente constatadas em vários Estados do País (Santos, 2016). Na região do Araripe, sertão pernambucano, onde também se registram precipitações anuais baixas, da ordem de 600 mm/ano, existem centenas de casas construídas em alvenaria de blocos e bloquetes de gesso. Em Gravatá, agreste de Pernambuco, com média de precipitação anual em torno de 300 mm/ano, são encontradas casas de alto padrão construídas com este sistema construtivo. Entretanto, há de ressaltar que no sertão dos Estados do Nordeste do País são registrados ciclicamente períodos de grande volume de precipitação pluviométrica concentrados nos meses de janeiro a março, muitas vezes causando inundações. Casas construídas com produtos em gesso (blocos e bloquetes) resistem sem mostrar desgaste ou degradação significativa, mesmo após longo período sob presença de água.

Em 2007, o ITEP realizou uma série de testes e ensaios, com base no projeto de Norma que deu origem a NBR 15575 (ABNT,2013), apresentando resultados bastante favoráveis aos requisitos avaliados em um protótipo construído em alvenaria de blocos de gesso (ITEP, 2007a), estando este em observação desde 2007 no Campus experimental do ITEP.

O gesso, quando comparado aos dois outros ligantes minerais (cal e cimento), é o que apresenta menor consumo energético na produção. Para ser produzida uma tonelada de gesso, são necessários 1.800 MJ de energia (Hammond & Jones, 2008, Monich & Tavares, 2010) ou 0,017 tep (Bajay et al.,1995), sendo produzido cerca de 120 kg de CO₂. Já o consumo energético para se produzir uma tonelada de cal é de 3.000 MJ (Monich & Tavares, 2010), ou 0,12 tep, sendo produzido cerca de 760 kg de CO₂, e para se produzir uma tonelada de cimento são necessários 4.200 MJ/kg, ou 0,7 tep (Bajay et al., 1995), sendo produzidos cerca de 830kg de CO₂ (Monich&Tavares, 2010). Embora tenham sido observados avanços tecnológicos na diminuição de CO₂ no processo de produção de cimentos, em 2010 ainda se registrava 0,153 t de CO₂ para cada tonelada de cimento produzida.

Neste contexto, as questões de sustentabilidade são plenamente favoráveis às edificações construídas em produtos a base de gesso. Foi possível, ao longo deste projeto, auxiliar os produtores de gesso e derivados a desenvolverem um banco de dados no sentido da obtenção da Declaração Ambiental dos Produtos (EPD) a base de gesso, no contexto da sustentabilidade, seguindo as linhas gerais da norma ISO 15686-5 (ISO,2008) e da AGENDA 21. DANOTTI (Danotti&Samiei, 2011) considera que o movimento da sustentabilidade iniciou efetivamente com a aprovação da AGENDA 21, em 1999, no Rio de Janeiro, muito embora já existissem associações de construção verdes como BREEAM (1921) e IQNet (1990) na Europa e LEED (1998) nos EUA. Mais recentemente o PBE-Edifica (2003), no Brasil, tenta dar uma ideia mais clara sobre a sustentabilidade utilizando ferramentas de LCA (Avaliação de Ciclo de Vida), e LCC (Avaliação de Ciclo de Custos) da construção.

Estes elementos apresentados, justificam a pertinência de se desenvolver estudos no sentido de avaliar as questões referentes à sustentabilidade da utilização dos produtos e sistemas em gesso em relação aos sistemas similares construídos com outros materiais, sem desconsiderar os limites da utilização de sistemas construtivos em gesso frente a sua interação com o meio ambiente ao qual pode ser inserido, bem como ao atendimento dos requisitos de desempenho preconizados na NBR 15575 (ABNT, 2013), aprofundado nos subcapítulos seguintes.

Os principais requisitos questionáveis pela comunidade técnica no que se refere à utilização de elementos construtivos a base de gesso nas edificações, são a segurança estrutural e a durabilidade. Neste documento, o foco investigado está relacionado ao requisito da durabilidade das alvenarias de blocos de gesso.

Motivado principalmente, pela consideração da perda de resistência dos produtos de gesso com a elevação da umidade Sobrinho (1987) mostra que, para produtos a base de gesso sem aditivos, a resistência à compressão diminui quase que proporcionalmente com o acréscimo da umidade. Na época da realização dos experimentos realizados, por Sobrinho (1986), não havia prática da utilização de aditivos (impermeabilizantes, hidrofugantes, obturantes, modificantes) (GRACE, 2015). Entretanto, dois caminhos

podem ser trilhados para avançar na direção do atendimento deste requisito:

- a) Investigação da eficácia da adição de aditivos na produção/aplicação dos componentes em gesso frente às diversas formas de umidade: estudos pioneiros sobre painéis expostos de produtos a base de gesso aditivado, foi apresentado pelo ISO/TG.35/SC.9 (ISO, 2004), mas, recentemente, autores como Sayil (Sayil&Çolak, 1999) e (Santos, 2016) avaliaram efeitos favoráveis de adição de silicone, emulsão epoxy e acrílica na capilaridade, absorção e resistência de espécimes de gesso. Najim (Najim, 2011) estudaram a incorporação de resina PVA(acetato de polivinila) na massa de gesso, os resultados deste estudo mostraram que a adição crescente de emulsão de PVA em mistura em gesso, aumenta a fluidez da pasta, podendo reduzir a quantidade de água em relação ao gesso para se obter a mesma consistência, conseqüentemente, elevando a resistência à compressão e o módulo de elasticidade. Nos testes de avaliação de desempenho, realizados pelo ITEP (ITEP, 2007b) em elementos de alvenaria de blocos de gesso, standard e hidrofugados(gesso com adição de silicone), foi constatada a eficiência dos blocos hidrofugados na estanqueidade das paredes.
- b) Investigação da eficácia de sistemas de proteção/impermeabilização dos sistemas construtivos frente às diversas formas de ação da umidade: em linha semelhante ao utilizado por Giacardi (Giacardi& Morra,2008), ensaios de desempenho de estanqueidade sob ação direta da água desenvolvidos no ITEP (ITEP, 2007b), avaliaram a eficiência de vários tipos de pintura sobre paredes em alvenaria de blocos de gesso, mostrando variações com o tipo de tinta, demãos e preparação de superfície.

Quanto à questão da durabilidade, a principal vulnerabilidade do gesso frente à ação da água, acontece devido principalmente, ao poder de sua solubilização (Karn&Karni, 1985;Klimchouck, 1996; Manikhin, 1966). A ação da água não saturada, que resulta principalmente da ação direta por ação das chuvas, e pela ação da umidade de ascensão por capilaridade, possuem ação degradante em quase todos os produtos (BSI, 2003). Em menor preocupação por ação oxidante quando em contato direto com produtos a base de ferro, bem como pela ação de fungos em áreas úmidas (ASTM 1413, 2007; Kurugol, 2008). Neste contexto, há de se avaliar esse comportamento dentro de uma visão sistêmica abordando a durabilidade, utilizando algumas técnicas de avaliação potencialmente aplicadas aos elementos de fachada (Flores-Colen, 2010; Paulo, 2009; Pinheiro, 2013; Shohet et al., 2004), bem como na questão da sustentabilidade (com foco no ciclo de vida)(ISO, 2011; CEN, 2010).

Segundo Freitas&Guimarães(2014), a umidade em paredes se constitui como um dos principais problemas nas edificações, sendo o principal agente de degradação. Pode se apresentar no interior dos componentes no estado sólido, líquido e gasoso, a depender das condições de pressão e temperatura atuante no meio. Além disso, a água apresenta grande poder de dissolução e alta mobilidade devido à baixa tensão superficial, já o transporte da água, ocorre simultaneamente, nos estados líquido e de vapor a depender das condições climáticas ambientais, como: temperatura; umidade relativa; insolação; presença de sais; porosidade dos materiais; espessura da parede; natureza dos materiais de revestimento.

Outra questão muito relevante quando se estuda a durabilidade de materiais, diz respeito à metodologia de avaliação utilizada. Para materiais bastante estudados em que se conhecem os mecanismos de degradação, como o caso do concreto, madeira e metais, métodos específicos são utilizados. Já para materiais e componentes onde não sejam conhecidos os mecanismos de degradação o caminho mais consistente é seguir a metodologia de investigação ação-resposta segundo da norma ISO 15686-2 (ISO, 2012).

A metodologia descrita na norma ISO 15686-2 (ISO, 2012) é interativa e genérica aplicada a qualquer conjunto adequado de requisitos de desempenho. A aplicação desta metodologia, possibilita a tomada de decisões com base no conhecimento crescente do processo de comportamento do material ou componente em teste, permitindo a tomada de decisões. O item 2.4.2, desta Tese, descreve as metodologias preconizadas na norma ISO 15682-2 (ISO, 2012) visando a previsão de vida útil considerando várias combinações ambientais e de serviço.

2.2 CARACTERIZAÇÃO DOS PRODUTOS DE GESSO

2.2.1 PROPRIEDADES RELEVANTES DO GESSO

O gesso é um material branco fino que em contato com a água se hidrata, num processo exotérmico, formando um produto não hidráulico, endurecido por secagem e que apresenta dureza MOHS inferior a 2 (dois).

Este material é produzido a partir da desidratação da Gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), por calcinação do minério e pode também, ser obtido como subproduto da fabricação de diversos ácidos de origem mineral, como por exemplo o ácido fosfórico (fosfogesso).

O gesso, pode ser produzido em fornos rudimentares (tipo panelões - abertos ou fechados), em fornos tubulares (semelhante aos utilizados nas fábricas de cimentos) ou em fornos fechados com controle de pressão e massa (fornos automatizados). Pode ou não receber tratamento de moagem e seleção após a calcinação.

Quando produzidos a partir de subprodutos da fabricação de ácidos, como por exemplo a produção do subproduto fosfogesso, oriundo da produção de ácido fosfórico, geralmente por processo úmido, além da secagem, exige um tratamento de purificação deste subproduto, já que há contaminação por metais pesados, o que exige enorme custo e controle.

Já na fabricação do gesso por calcinação da Gipsita, a depender do tipo de forno e do processo de controle da produção empregado, dois tipos de gesso podem ser produzidos: o gesso beta e o gesso alfa.

O gesso beta, é produzido através da calcinação da Gipsita sob a temperatura atmosférica e com agitação da massa, desta forma, a água de cristalização é liberada rapidamente formando cristais mal formados e porosos. Os fornos panela, barriga quente e rotativos produzem este tipo de gesso. Quanto a produção, os fornos panela (aberto) e o barriga quente (fechado) são por bateladas (quantidade discretas), já os fornos rotativos por um processo contínuo.

O gesso alfa, é obtido através da calcinação sob pressão, vapor de caldeira, o controle do processo é fundamental, pois é possível controlar a liberação da água de cristalização visando formar cristais bem formados e uniformes. Este tipo de gesso é normalmente fabricado em autoclave, podendo ser obtido em fornos tipo marmitta (semelhante a uma caldeira de pressão) quando bem controlados.

Para entender o comportamento das propriedades do gesso, faz-se necessário observar seu processo de hidratação, ou de cristalização da gipsita (Mcvay, 1968; Karni&Karni, 1985).

Quando o gesso e a água são misturados, o hemi-hidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$) se dissolve, formando uma solução saturada. Os cristais de gipsita existentes formam núcleos de cristalização. A partir destes núcleos, quando há nova molhagem, crescem cristais que formam um arcabouço tridimensional. Os pontos de contato se solidificam, crescendo a resistência com a saída da água em excesso, conforme apresentado na Figura 2.

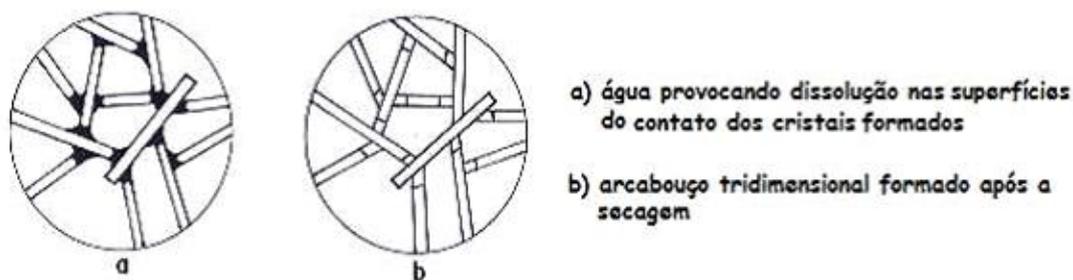


Figura 2-Representação esquemática da secagem do sistema gesso-água (Sobrinho, 1986)

As propriedades específicas do gesso, tais como: elevada plasticidade da pasta; tempo de pega e endurecimento rápido; finura equivalente a do cimento; pequeno poder de retração na secagem e estabilidade volumétrica, garantem desempenho satisfatório quando utilizado como pasta na fabricação de pré-moldados ou aplicado como revestimento (Sobrinho, 1986).

A propriedade de adsorver e liberar umidade ao ambiente, confere aos revestimentos em gesso um elevado poder de equilíbrio higroscópico, além de funcionar como inibidor de propagação de chamas, liberando moléculas de água quando em contato com o fogo.

Por outro lado, devido à solubilidade dos produtos de gesso de 2,07 g/l a 25 °C (Bock, 1961), existe uma limitação para a utilização destes sem tratamento adequado, ficando restrito a ambientes internos e onde não há contato direto e constante com água (áreas molhadas), desde que se considere certos cuidados, tais como: o alto poder oxidante do gesso quando em contato com componentes ferrosos; o alto poder expansivo das moléculas de etringita, formadas pela associação do gesso com o cimento em fase de hidratação; a diminuição da resistência com o grau de umidade absorvida; a solubilidade e lixiviação com a percolação de água constante.

Os principais fatores que influenciam o processo de hidratação do gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$) estão apresentados a seguir:

GRAU DE CRISTALIZAÇÃO

A depender do processo de calcinação do gesso, duas cristalizações podem acontecer, a alfa, onde os cristais são bem formados e homogêneos e a beta, onde são mal formados e heterogêneos. O gesso alfa, tem tendência a formar produtos mais compactos, com maior tempo de pega e maior resistência; o gesso beta tem tendência a formar produtos mais porosos, com menor tempo de pega e menor resistência.

HOMOGENEIDADE

Gessos com grau de cristalização ou de desidratação diferente tendem a acelerar o tempo de pega e diminuem a resistência mecânica do produto final.

FINURA

Quanto menores forem as partículas de gesso, mais rápido será a pega, pois a superfície de contato será maior e conseqüentemente mais saturada será a mistura, favorecendo a cristalização, diminuindo o tempo de pega e a resistência final.

CONSISTÊNCIA (relação água/gesso)

Quanto maior for esta relação, maior será o tempo de pega, pois a solução estará saturada, porém, menor será sua resistência final. Ver Figura 3.

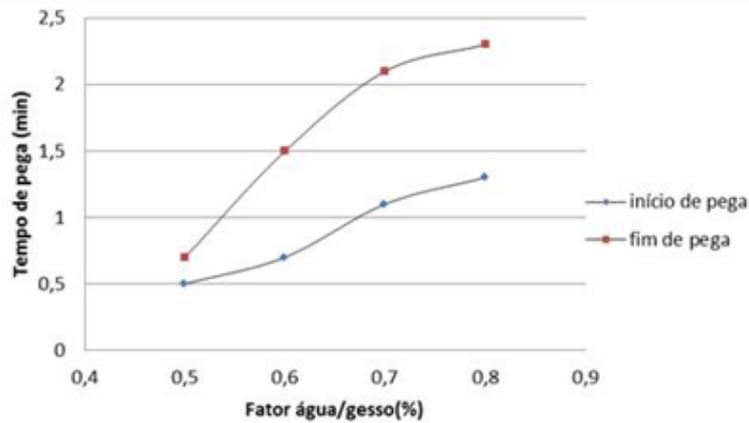


Figura 3-Influência do fator água/gesso no tempo de pega (Sobrinho, 1986)

ESPATULARIZAÇÃO (energia de mistura)

Quanto mais longa e enérgica for realizada a mistura, menor o tempo de pega devido ao fraturamento e dispersão dos cristais, aumentando o número de núcleos de cristalização, diminuindo sua resistência final, conforme apresentado na Figura 4.

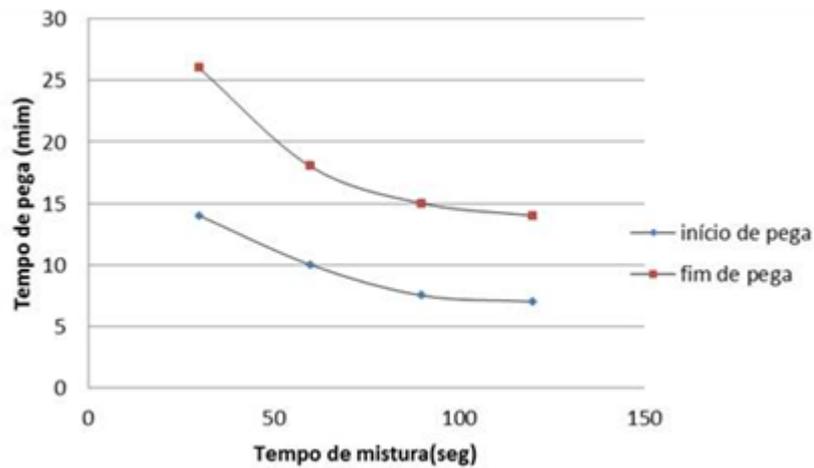


Figura 4- Influência do tempo de mistura(espatuarização) no tempo de pega do gesso (Sobrinho, 1986)

INTERVALO DE DESCANSO

O aumento no tempo de descanso provoca aumento proporcional no tempo de pega. Não havendo espatularização(mistura), a cristalização se processa de forma lenta com a formação de cristais maiores, o que aumenta o tempo de pega e promove maior resistência final (ver Figura 5).

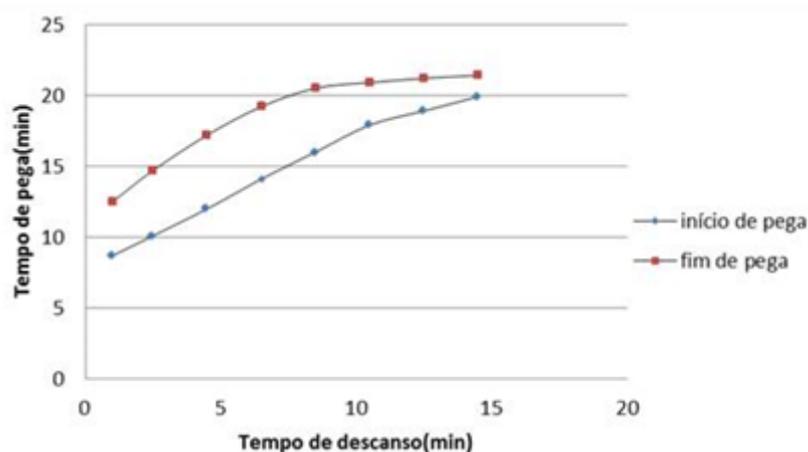


Figura 5-Influência do tempo de descanso no tempo de pega do gesso (Sobrinho, 1986)

RESISTÊNCIA MECÂNICA

A resistência mecânica dos produtos de gesso, se deve a fusão dos cristais. Quanto maior a relação água/gesso, menor o entrelaçamento dos cristais e menor será a resistência à compressão (Figura 6).

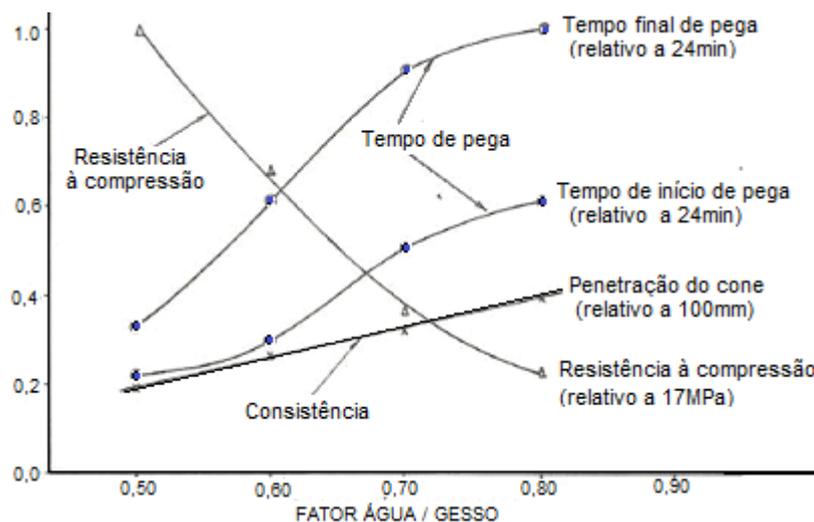


Figura 6- Influência a consistência no tempo de pega e na resistência do gesso.(Sobrinho, 1986)

INFLUÊNCIA DA QUANTIDADE DO HEMIDRATO:

A depender do processo de desidratação da gipsita para obtenção do gesso, às características do forno e do controle do processo, haverá influencia na qualidade do produto final. Estudos realizados por Santos (Santos&Parente,1997) avaliaram a concentração de teor de hemi-hidrato na massa de gesso com adição de Gipsita. Resultados na Figura 7 mostram que o tempo de pega e as resistências mecânicas (compressão, flexão e dureza) crescem com a concentração de hemi-hidrato.

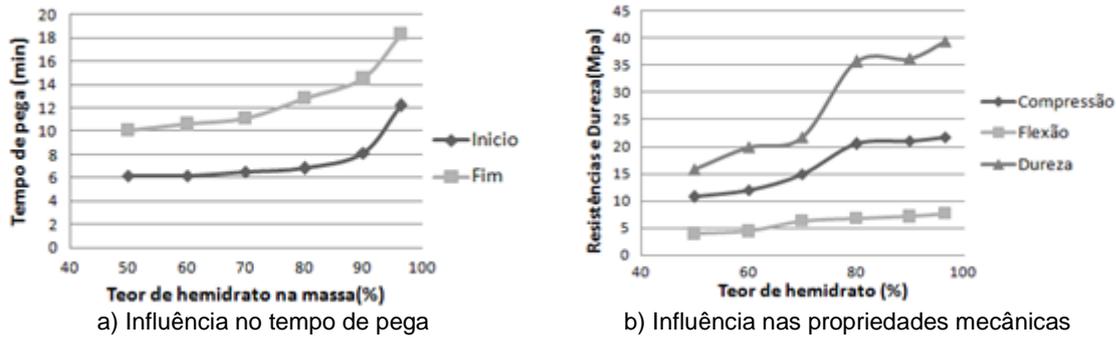


Figura 7-Influência do teor de hemidrato nas propriedades do gesso (Santos&Parente , 1997)

Resultados mostram a importância do controle na etapa de produção do gesso, pois, sua hidratação precoce (ainda no saco), ou mesmo por contaminação de instrumentos, ou recipientes com gesso hidratado, provocam diminuição do tempo de pega e reduzem as resistências mecânicas.

INFLUÊNCIA DA MISTURA DE GESSO COM AREIA(argamassa)

A mistura de gesso com areia para formar argamassa é possível, porém, as propriedades físico-mecânicas diminuem sensivelmente. A consistência, o tempo de pega e a resistência mecânica decrescem proporcionalmente com o acréscimo da proporção de areia.

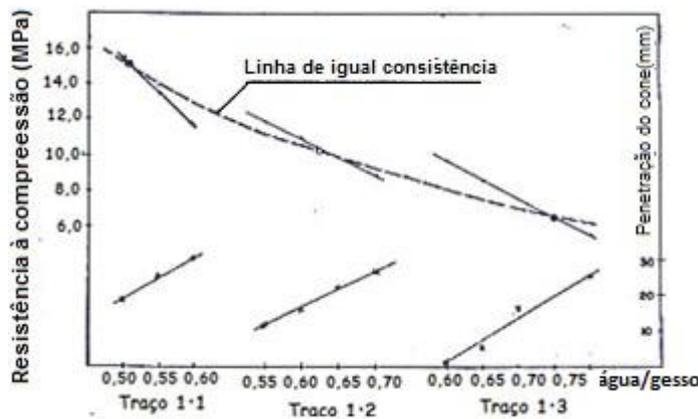


Figura 8-Influência da areia nas propriedades da argamassa de gesso (Sobrinho, 1986)

TEMPERATURA

O aumento da temperatura favorece as reações de cristalização, diminuindo sensivelmente o tempo de pega e a resistência final.

ADITIVOS

A ação de aditivos químicos interfere no tempo de pega.

Denominam-se aceleradores, os agentes que diminuem o tempo de pega - a exemplo destes estão os sulfatos (o maior exemplo é o gesso hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)).

Denominam-se retardadores, os agentes que aumentam o tempo de pega - a exemplo destes estão os ácidos e os coloides (o maior exemplo é o ácido cítrico($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$)).

Estudos realizados por Hincapie&Cincoto (1997) analisaram a influência da adição de ácido cítrico nas proporções de 0,005% a 0,030% em massa de gesso nas propriedades do gesso, sendo fixo o fator a/g em 0,7. Os resultados encontrados estão apresentados na Figura 9.

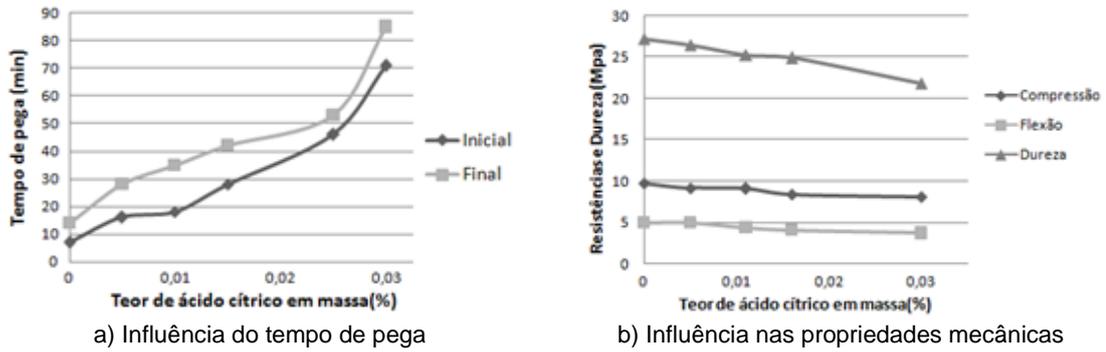


Figura 9-influência do ácido cítrico nas propriedades do gesso (Hincapie&Cincoto,1997)

Os resultados mostram a grande eficiência da adição de ácido cítrico, obtido de frutas cítricas como o limão, bastante eficaz em retardar a pega do gesso. Quase todos os aditivos retardadores ou aceleradores de pega tendem a provocar diminuição das resistências mecânicas do produto final.

Denominam-se retentores de água, os agentes que incorporam/absorvem água em suas moléculas/rede molecular e a liberam gradualmente para o processo de hidratação. Exemplo: hidroximetil-celulose e hidróxido de cálcio.

Denominam-se adesivos, os agentes que promovem adesão através da polimerização química. Exemplo: PVA e EVA.

Estudos realizados nas Universidades de Al-Mustansiria e Duhok, Iraque, (Najim, Al-Zubaidy & Yassin, 2011) mostraram que a adição crescente de emulsão de PVA (acetato de polivinila) em mistura em gesso, aumenta a fluidez da pasta, podendo reduzir a quantidade de água em relação ao gesso para se obter a mesma consistência, consequentemente elevando a resistência à compressão e o módulo de elasticidade. A Figura 10 mostra os principais resultados deste estudo.

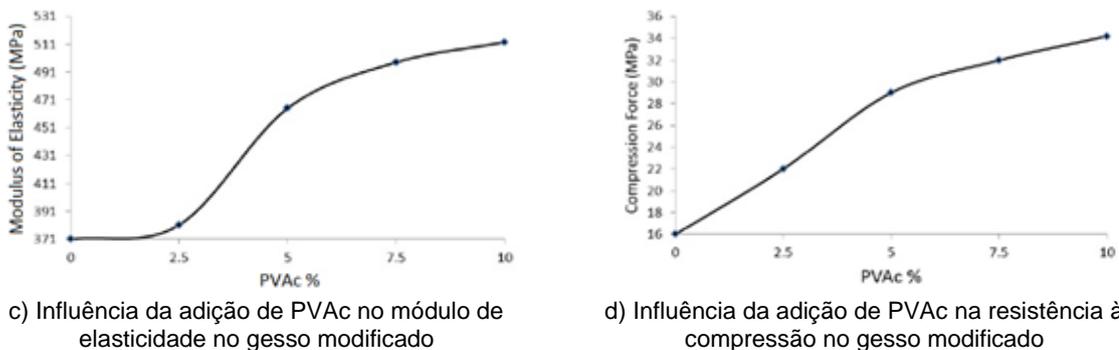
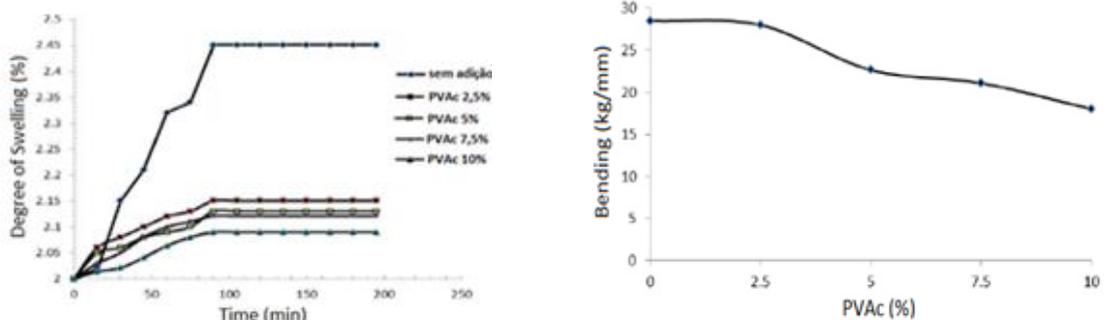


Figura 10-Influência da adição de PVAc nas propriedades do gesso (Najim; Al-Zubaidy;Yassin, 2011)

É possível perceber que a adição de PVA na mistura com gesso reduz significativamente a absorção de água, promovendo uma menor porosidade e em consequência, melhorias significativas na resistência à compressão e no módulo de elasticidade, estranhamente observou-se redução da resistência à flexão.

Denominam-se plastificantes, os agentes que diminuem a tensão superficial das moléculas formadas na mistura, aumentando de sobremaneira a fluidez. Exemplo: sabões e detergentes.

2.2.2 PRODUTOS DE GESSO UTILIZADOS EM ALVENARIA

Os principais materiais e componentes de gesso utilizados nas construções em alvenaria de blocos de gesso são: bloco e gesso-cola.

Os blocos de gesso mais comuns em Pernambuco são componentes pré-fabricados na forma de prismas paralelepípedicos, cujas faces planas laterais possuem dimensão padronizada de 666,7 mm x 500,0 mm, a espessura varia de 50,0 mm a 100,0 mm. Ao longo das espessuras existem saliências (macho) ou reentrâncias (fêmea), possibilitando o encaixe entre os blocos. Os blocos podem ser maciços (compactos) ou vazados (possuindo vazios tubulares entre duas faces opostas).

A Figura 11, apresenta os tipos de blocos de gesso utilizados em alvenaria.

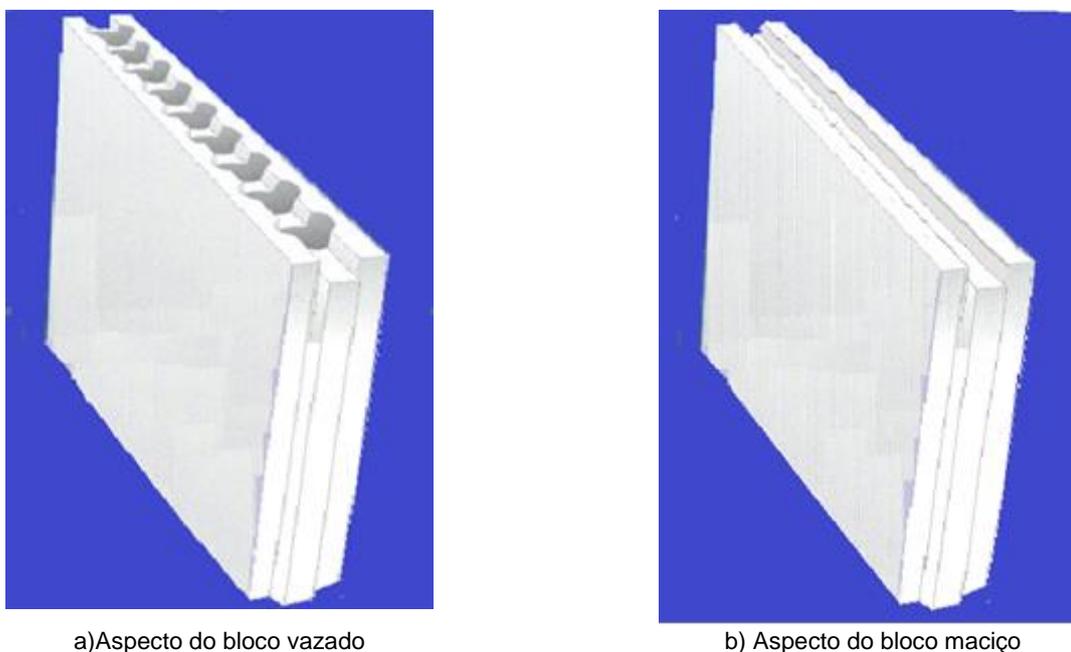


Figura 11- Aspectos dos tipos de blocos de gesso: a) bloco vazado e b) bloco maciço

As Empresas de pequeno e médio porte que fabricam blocos de gesso na região do Araripe segue o processo artesanal, que consiste em misturar uma determinada quantidade de gesso de fundição (gesso rápido) a uma quantidade determinada de água (que varia com a qualidade do gesso e da peça a ser formada), misturados com agitador mecânico, e o preenchimento de moldes em uma atividade realizada individualmente.

No processo artesanal de moldagem de blocos de gesso, utiliza-se uma mesa com tampo liso impermeável (vidro ou granito), esquadros em perfis (um par para peças fêmeas e um par para peças macho) de duralumínio e, no caso de blocos vazados, o uso de tubos cilíndricos para possibilitar a criação de vazios. Em poucos minutos após a moldagem, é possível retirar o bloco e encaminhar para estantes de secagem. A Figura 12 apresenta o fluxograma do processo de fabricação artesanal de blocos de gesso.

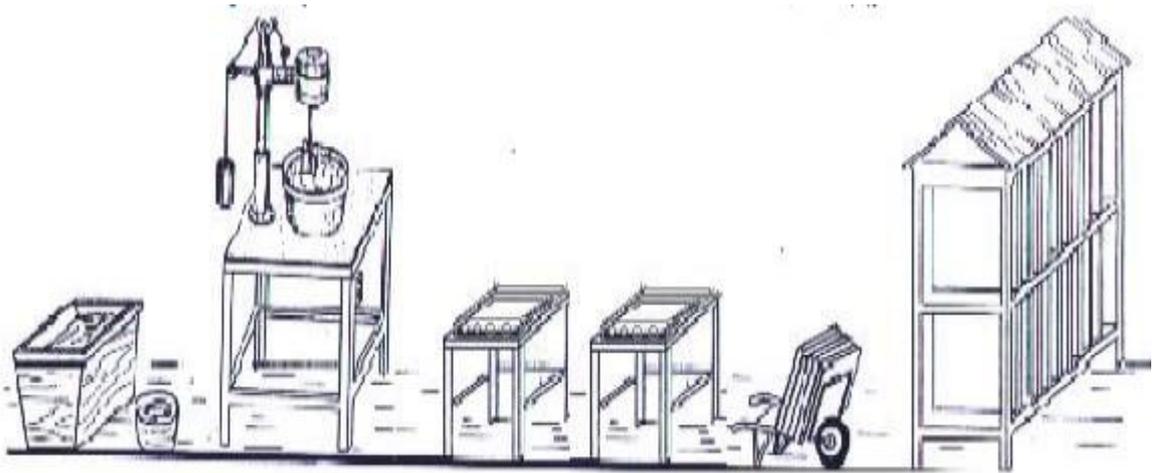


Figura12 - Fluxograma de moldagem de componentes pré-moldados em gesso (Sobrinho, 2007)

No processo industrial, são utilizados equipamentos automatizados que incluem formas em aço inox com acionamento hidráulico para conformação de furos interiores ou não, extrusão e retirada dos blocos das formas. A Figura 13 mostra um fluxograma de produção de blocos industrializados.

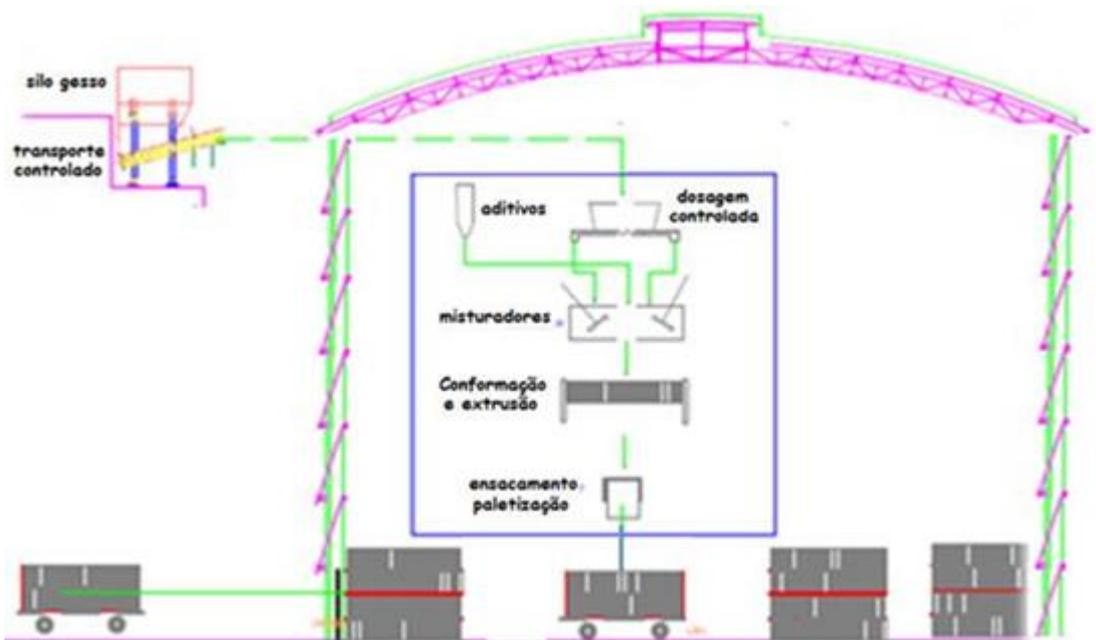


Figura 13- Esquema de fabricação de blocos pelo processo mecanizado (Gesso Trevo,2016)



Figura 14- Fabricação de blocos pelo processo mecanizado (Gesso Trevo 2016)

Os bloquetes, componentes fabricados no formato prismático macho-fêmea com dimensões médias de (300 mm x 170 mm x 120 mm), são moldados de forma artesanal com gessos oriundos de chão de fábrica e/ou de sobras de pastas de gesso quando da fabricação de placas e blocos de gesso.

A Figura 15 mostra as etapas do processo de fabricação artesanal dos bloquetes: a) mistura gesso/água em proporção próxima a 0,6 g/g; b) preenchimento molde anteriormente untado com desmoldante; c) conformação/planeamento da massa no molde; d) desmoldagem do bloquete.



Figura 15 Processo de fabricação artesanal de bloquetes

Estes componentes não são normalizados, sendo encontradas pequenas fábricas espalhadas na região produtora bem como inseridas no interior das fábricas de componentes premoldados (placas e blocos).

2.2.3 ESPECIFICAÇÕES NORMATIVAS SOBRE BLOCOS DE GESSO E GESSO-COLA

Embora as normas técnicas devam apresentar similaridade quanto aos principais requisitos de qualidade, constatam-se algumas diferenças entre as normas brasileiras NBR 16494 (ABNT, 2017a) e NBR 16575 (ABNT, 2017d) quando comparadas as normas europeias EN 13279-1 (EN,2008) e EN 13279 -2 (EN, 2014). As principais especificações constantes da NBR 16494 (ABNT, 2017a) -Bloco de gesso para vedação vertical — Requisitos, estão apresentadas na Tabela 1 a Tabela 5.

Tabela 1- Identificação dos blocos quanto as características físicas (NBR 16494 (ABNT, 2017a))

Densidade	Cor
Densidade alta	Rosa
Densidade média	Branco
Densidade baixa	Amarelo
Densidade alta hidrofugado ^a	Verde
Densidade baixa hidrofugado ^a	Lilás
Densidade média hidrofugado ^a	Azul

^aBlocos hidrofugados com absorção de água ≤ 5%

Tabela 2 - Requisitos físicos e mecânicos para blocos maciços (NBR 16494 (ABNT, 2017a))

Características	Unidade	Classe de espessuras		
		50	70	100
Espessura	Mm	50,0 ± 0,5	70,0 ± 0,5	100,0 ± 0,5
Altura	Mm	500,0 ± 2,0	500,0 ± 2,0	500,0 ± 2,0
Comprimento	Mm	666,0 ± 3,0	666,0 ± 3,0	666,0 ± 3,0
Resistência à flexão	MPa	≥ 1,0	≥ 1,2	≥ 1,5
Capacidade de absorção d'água (blocos hidrofugados)	%	≤ 5,0		

Tabela 3- Requisitos físicos e mecânicos para blocos vazados (NBR 16494 (ABNT, 2017a))

Características	Unidade	Classe de espessura e forma do alvéolo				
		70cônico	76 cilíndrico	76 cônico	80cônico	100 cônico
Espessura	mm	70,0 ± 0,5	76,0 ± 0,5	76,0 ± 0,5	80,0 ± 0,5	100,0 ± 0,5
Altura	mm	500,0 ± 2,0	500,0 ± 2,0	500,0 ± 2,0	500,0 ± 2,0	500,0 ± 2,0
Comprimento	mm	666,0 ± 3,0	666,0 ± 3,0	666,0 ± 3,0	666,0 ± 3,0	666,0 ± 3,0
Resistencia à flexão	MPa	≥ 1,2				
Capacidade de absorção d'água (blocos hidrofugados)	%	≤ 5,0				

Tabela 4- Requisitos dos blocos quanto a dureza superficial (NBR 16494 (ABNT, 2017a))

Ensaio	Dureza Shore C (u.s.c.)	Dureza (MPa)
Alta dureza	≥ 80	≥ 20
Média dureza	≥ 55 e < 80	≥ 12 e < 20
Baixa dureza	≥ 40 e < 55	≥ 8 e < 12

Tabela 5- Requisitos dos blocos quanto a densidade (NBR 16494 (ABNT, 2017a))

Ensaio	Densidade (Kg/m ³)
Alta densidade	≥ 1.100,0
Media densidade	≥ 800,0 e < 1.100,0
Baixa densidade	≥ 600,0 e < 800,0

O gesso-cola é um produto a base de gesso com aditivos(geralmente produtos de etil ou metil celulose), que modifica as propriedades de consistência, tempo de pega, adesividade e adições com calcário moído. Fornecidos em pó, com sacos de 20, 5 e 1 kg, desenvolvido para ser utilizado na montagem dos sistemas de vedação horizontais (tetos e forros) e verticais (paredes) construídos com pré-moldados de gesso.

Pode ser utilizado na colagem de outros elementos de gesso como: sancas, molduras, placas, painéis de gesso acartonado, na colagem de azulejos, cerâmicas e ladrilhos.

As principais especificações constantes na NBR 16575 (ABNT, 2017d) –Gesso cola- União de elementos pré-fabricados de gesso-Requisitos estão apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6- Características do gesso-cola (NBR 16575 (ABNT, 2017d))

Variáveis	Unidades	Valores
Relação água/gesso		0,63 a 0,67
Espraiamento	Cm	10 a 12 (consistência pastosa)
Tempo para início de aplicação	Min	3
Tempo para fim de aplicação	Min	60
Absorção de água	%	35 a 38
Resistência à Flexão	Mpa	4,0 a 4,5
Resistência ao arrancamento	Mpa	>6,6

As principais especificações constantes da EN 12859 (EN, 2011) - Gypsum blocks – Definitions, requirements and test methods, estão apresentadas nas Tabela 7 a Tabela 9.

Tabela 7-Classes de absorção de água (EN ISO 12859 (EN, 2011))

Cor	Absorção de água	Tipo de placa
Natural	Sem requisito	h3 ^a
Azul	≤5%	h2
Verde	≤2,5%	h1

a)A identificação visual pela cor da classe de massa volumétrica, aplica-se apenas à classe h3(Classe de absorção de água)

Tabela 8- Classes quanto a massa volumétrica (EN 12859 (EN, 2011))

Cor	Classe de massa volumétrica
Rosa ^a	Massa volumétrica alta
Natural	Massa volumétrica média
Amarela ^a	Massa volumétrica baixa

a)A identificação visual pela cor da classe de massa volumétrica aplica-se apenas a classe h3(classe de absorção de água)

Tabela 9- Classe de resistência á flexão (EN 12859 (EN, 2011))

Blocos de gesso de comprimento maior ou igual a 650mm com uma altura de 500mm ^a	Carga de ruptura média mínima kN
Blocos maciços (massa volumétrica média) Espessura em mm:	
50	1,7
60	1,9
70	2,3
80	2,7
100	4,0
Blocos furados e de baixa densidade	1,7

a) Para blocos de gesso de comprimento inferior a 650mm um e/ou com altura diferente de 500mm, os valores na segunda coluna devem ser corrigidos em função da relação entre os vãos e/ou as alturas

2.2.4 CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES DAS ALVENARIAS EM BLOCO DE GESSO

As alvenarias construídas com a utilização de blocos de gesso apresentam as seguintes características:

- As dimensões padronizadas(666,7 mm x 50,0 mm x esp), dimensões estas que com apenas três blocos é possível formar 1m² de alvenaria, potencializando uma maior produtividade.
- Apenas blocos e gesso-cola são necessários para construção da alvenaria, possibilitando procedimentos limpos e quase secos;
- Encaixes macho-fêmea dos blocos facilitam a construção das alvenarias moduladas e aprumadas;
- Facilidade de corte com serra, com potencial reaproveitamento de sobras possibilita praticidade e menos desperdício na construção das alvenarias;
- Facilidade de corte com serra possibilita o embutimento de instalações elétricas e de comunicação;

As alvenarias construídas em blocos de gesso apresentam as seguintes propriedades:

- Leveza: de uma forma geral as paredes construídas com blocos de gesso agem como cargas relativamente leves na edificação, a NBR 16494 (ABNT, 2017) especifica densidade entre 0,6 kN/m³ (blocos de baixa densidade) e de 1,1 kN/m³ (blocos de alta densidade);
- Isolamento acústico: as paredes de blocos de gesso apresentam isolamento acústico ao ruído aéreo e de impacto proporcional a densidade e vazios interiores, estudos realizados pelo IPT em paredes cegas de blocos de gesso de 70 mm vazados (Rw=33 dB), enquanto paredes cegas de blocos de gesso de 100mm (Rw= 38 dB) (IPT, 2004b)

- Resistência ao fogo: estudos realizados pelo IPT (IPT,2004a) em paredes cegas de blocos de gesso de 70 mm vazados apresentam uma resistência ao fogo de 240 min, para elevação de temperatura crescente até 1126 °C, mantendo-se estável, conforme norma NBR 10636 (ABNT, 1989), segundo o IPT (1998).
- Resistência mecânica: a resistência de blocos de gesso varia com sua densidade, apresentando variação entre 1,0 MPa e 4,0 Mpa, estudos realizados pelo ITEP (2007c) em paredes de blocos de gesso de 10cm de espessura, largura de 120 cm e altura de 240 cm, ensaiadas com carga excêntrica, segundo NBR 15575-2 (ABNT, 2013), apresentam resultados da ordem de 3,20 MPa.

Como sistema construtivo, as alvenarias em blocos de gesso devem atender aos requisitos da norma de desempenho NBR 15575 (ABNT, 2013).

2.3 REQUISITOS DE DESEMPENHO

2.3.1 ENQUADRAMENTO

Os primeiros estudos desenvolvidos sobre o conceito de desempenho na construção ocorreu nos EUA(Estados Unidos da América) em 1925, quando o NST (National Standards Technology), atual NIST (National Institute of Standards and Technology), publicou a norma “Recommended Practice for Arrangement of Building Codes” (Gross, 1996).

Foi durante a década de 60 e 70, potencializado pelos problemas decorrentes da industrialização na construção civil na Europa pós-guerra, que a avaliação de desempenho para materiais e sistemas na construção civil teve maior impulso. O esforço foi iniciado pelos pesquisadores do NBS (National Standards Technology), quando publicaram em 1970 o “Guide Criteria for the Evaluation of Operation Breakthrough Housing System”.

No ano de 1972, o NBS em conjunto com RILEM (Reunião Internationale des Laboratoires d’Essais et de Recherches sur les Materiaux et Constructions), ASTM (American Society for Testing and Materials) e CIB (Conseil International du Batiment) desenvolveram o primeiro simpósio sobre o conceito de desempenho aplicado à construção, que aconteceu nos EUA no 8º International Conference on Durability of Building Materials and Components (DBMC-ANAIS, 1999).

Estas três Instituições (RILEM/ASTM/CIB), após realizarem eventos isolados, organizaram o segundo simpósio em 1982, em Lisboa, focando os avanços nos conceitos de desempenho e na aplicação de técnicas para reabilitação de edificações. Catorze anos depois, em 1996 em Israel, com a integração da norma ISO (International Organization for Standardization), foi realizado o terceiro simpósio sobre o tema e, nos anos seguintes, os vários simpósios e conferências internacionais sobre este tema central e temas correlatos foram realizados.

Particularmente sobre o tema de durabilidade de materiais e componentes na construção, o primeiro DBMC (International Conference on Durability of Building Materials and Components) aconteceu em Ottawa (1978), seguidos de Gaithersburg (1981), Espoo (1984), Singapore (1987), Brighton (1990), Omiya (1993), Stockholm (1996), Vancouver (1999), Brisbane (2002), Lyon (2005) e Istambul(2008). A evolução dos artigos publicados e o interesse pelo tema demonstram que a durabilidade de materiais e componentes é cada vez mais importante na sociedade, estando esta cada vez mais sensibilizada pelas questões ambientais e de sustentabilidade do planeta.

No Brasil, os primeiros trabalhos consistentes sobre avaliação de desempenho tiveram início no IPT, em 1981, com o trabalho “Formulação de Critérios para Avaliação de Desempenho de Habitações” realizado para o antigo BNH (Banco Nacional da Habitação). Em 1998, o IPT publicou o trabalho “Elaboração de Critérios Mínimos para Avaliação de Desempenho de Habitações de Interesse Social” (IPT,1988) para a FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos) e CAIXA (Caixa Econômica Federal).

Neste ínterim, diversos trabalhos técnicos e acadêmicos foram desenvolvidos, destacando-se as dissertações de Souza (1983), Mitidieri Filho(1988) e Cavani(1989). Em 1998 o Governo brasileiro criou o Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade para Habitação (PBQP-H), que com o setor produtivo buscou organizar o setor da construção civil em torno da melhoria da qualidade do habitat e a modernização produtiva.

Inicialmente se estruturou os Programas Setoriais da Qualidade para avaliar a conformidade de alguns produtos frente às normas técnicas existentes, envolvendo o setor dos fabricantes de produtos e sistemas. Na sequência procurou-se estruturar a norma de desempenho, contando com a participação dos três setores(Técnicos, Fabricantes e Construtores).

Para atingir estes objetivos, três dificuldades foram identificadas:

- a) baixo conhecimento e poucos resultados sobre avaliação de desempenho na construção civil. Alguns projetos pilotos, avaliados segundo a metodologia de “critérios mínimos de desempenho” formulados pelo IPT, serviram de partida, mas esbarraram na carência de normas técnicas (prescritivas) e desatualizadas para os produtos utilizados no mercado da construção.
- b) baixa capacitação laboratorial instalada e mal distribuída nas diversas regiões do país. O IPT, considerado como a Instituição mais capacitada do Brasil, e outras pouco concentradas nas regiões Sudeste e Sul, não conseguiriam suprir as demandas existentes e as novas decorrentes desta nova visão;
- c) receio das Empresas em atender aos requisitos de desempenho propostos na nova proposta de norma, muitas nem sequer conheciam o real desempenho de seus produtos, outras temiam que para atender todos os requisitos necessitassem de alto investimento e que os custos finais inviabilizariam sua comercialização.

Estas dificuldades tiveram de ser trabalhadas pelos vários setores da sociedade o que provocou um atraso na aprovação da Norma, que só conseguiu aprovação em junho de 2013.

A norma brasileira de desempenho de edificações habitacionais NBR 15575 (ABNT, 2013) constitui-se como a principal referência para a avaliação dos sistemas tecnológicos nas edificações habitacionais e tem por base uma lista de necessidades dos usuários na fase de uso das edificações: (i) segurança (segurança estrutural, segurança contra fogo e segurança no uso e na operação); (ii) habitabilidade(estanqueidade, desempenho térmico, desempenho acústico, desempenho lumínico, saúde, higiene e qualidade do ar, funcionalidade e acessibilidade, conforto tátil e antropodinâmico); e (iii) sustentabilidade (durabilidade, manutenibilidade e impacto ambiental). Estas exigências foram inicialmente definidas por uma comissão de trabalho do CIB (CIB W 45), criada em 1960, e mais tarde consolidadas na norma ISO 6241 (ISO,1984), referendada na norma ISO 15686 (ISO, 2011).

Nestas foram estabelecidos requisitos e critérios para seu cumprimento, estruturados e articulados nos moldes da teoria do “processo decisório”, metodologias de auxílio à tomada de decisão ou de auxílio à decisão Bernard (Roy, 1996). Sob esta teoria, o processo decisório se faz a partir da definição de atributos ou requisitos para um desempenho esperado, os quais são traduzidos em critérios mensuráveis, de modo que possam ser objetivamente determinados, servindo como referência para a avaliação de cada critério estabelecido.

Os critérios incluem parâmetros que definem e/ou auxiliam nos processos de avaliação e devem refletir o atendimento das condições específicas de exposição e de uso inicialmente projetado para cada situação.

A inclusão de requisitos relativos à sustentabilidade aproximou significativamente a norma brasileira das atuais discussões internacionais, especialmente no que diz respeito à durabilidade. Até a entrada em vigor desta norma, a maior parte dos trabalhos voltados para estes temas estava restrita à academia. Esta agora

impõe a aplicação da análise em casos reais, o que tende a ser muito significativo quando se trata da qualidade dos produtos e avanço das pesquisas científicas na área.

2.3.2 ESTRUTURAÇÃO DA NORMA NBR 15575

A norma NBR 15575 (ABNT,2013) foi redigida segundo modelos internacionais de normalização de desempenho. Ou seja, para cada necessidade do usuário e condição de exposição, aparece a sequência de Requisitos de Desempenho, Critérios de Desempenho e Métodos de Avaliação. O conjunto normativo compreende seis partes:

Parte 1- Requisitos gerais;

Parte 2- Requisitos para sistemas estruturais;

Parte 3- Requisitos para sistemas de pisos;

Parte 4- Requisitos para sistemas de vedações verticais internas e externas;

Parte 5- Requisitos para sistemas de coberturas; e

Parte 6- Requisitos para sistemas hidrossanitários.

A parte 1 cumpre a função de orientação geral, funcionando como um índice de referência remetendo, sempre que possível, às partes específicas. Nesta são apresentadas as definições dos requisitos, e dos critérios que envolvem a norma na totalidade. Também nesta parte é considerado o conceito de vida útil do projeto, definição de responsabilidades e parâmetros de desempenho mínimo (compulsório), intermediário e superior.

A parte 2 estabelece os requisitos de estabilidade e resistência da estrutura e de suas partes, com função estrutural, que deve ser analisado no estado limite último. Pode, em alguns casos, admitir algumas simplificações, como a não necessidade de respeitar as dimensões mínimas para paredes estruturais de casas térreas e sobrados e/ou a não necessidade de considerar a ação de retração por secagem, ou dilatação térmica para materiais de baixa sensibilidade a estes fenômenos. Já os requisitos de resistência e deformação das vedações devem ser analisados no estado de serviço, indicando, inclusive, os métodos para medir quais os impactos que a estrutura deve suportar sem que apresente falhas ou ruína. Nesta parte da norma o requisito de durabilidade simplesmente aborda a necessidade de conservar a segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente à sua vida útil dos elementos que compõe o sistema estrutural.

A parte 3 trata dos requisitos dos sistemas de piso interno e externo, considerando suas partes e sua interação com demais sistemas, aborda a questão de coeficiente de atrito, resistência ao escorregamento e desnivelamento. Trata da resistência a impactos e da estanqueidade à água e ao fogo e do desempenho acústico em sistemas de pisos. Nesta parte da norma os requisitos de durabilidade estão associados à manutenção das características funcionais ou estéticas ao longo da vida útil, exigindo um maior esforço nas atividades de manutenção e conservação.

A parte 4 trata dos requisitos para os sistemas de vedação vertical da edificação, sendo este considerado como o conjunto de paredes e esquadrias (portas, janelas e fachadas). Os principais requisitos tratados referem-se à resistência e deformação no estado de serviço, quando submetidas a impactos e cargas aplicadas, requisitos referente à estanqueidade ao ar, à água e ao fogo, bem como requisitos quanto ao conforto acústico e térmico. Nesta parte da norma o requisito de durabilidade enfatiza especificamente as paredes externas, quanto aos limites de fissuração e permeabilidade sob ensaios de estanqueidade e choque térmico, remetendo a garantia de vida útil a manutenções preventivas (sistemáticas) e, sempre que necessário, a manutenções corretivas e de conservação prevista no manual de operação, uso e manutenção.

A parte 5 trata dos requisitos para sistemas de cobertas, considerando a análise de estabilidade da estrutura e de suas partes às ações combinadas, previsíveis em projeto, bem como das ações decorrentes das atividades de manutenção. O requisito de estanqueidade, focado na salubridade dos ambientes habitáveis,

considera os critérios de impermeabilidade e de escoamento das águas de chuva. Os requisitos de segurança ao fogo das estruturas de cobertura e dos telhados são avaliados quanto ao critério de reação ao fogo. O desempenho térmico é avaliado segundo critério da transmitância térmica e o acústico quanto aos critérios de isolamento acústica. Nesta parte da norma a durabilidade é reportada a vida útil de projeto.

A parte 6 trata dos requisitos para o sistema hidrossanitários que são responsáveis diretos pelas condições de saúde e higiene requeridas para a habitação, além de apoiarem todas as funções humanas nela desenvolvidas (cocção de alimentos, higiene pessoal, condução de esgotos e águas servidas, etc.). As instalações devem ser incorporadas à construção, de forma a garantir a segurança dos usuários, sem riscos de queimaduras (instalações de água quente), ou outros acidentes. Devem ainda harmonizar-se com a deformabilidade das estruturas, interações com o solo e características físico-químicas dos demais materiais de construção.

2.3.3 REQUISITOS RELEVANTES PARA AS ALVENARIAS

Cada sistema ou subsistema que compõe uma edificação deve ser analisado em função dos requisitos de desempenho aplicáveis e das condições de exposição potenciais que possam atuar neste elemento, expressos no rol de requisitos de desempenho presentes na Norma.

No caso das alvenarias, como elemento de vedação vertical, há de se considerar as seguintes situações:

- Alvenaria de vedação interna, sem função estrutural-utilizada internamente com a função principal de separar ambientes. Nesta os principais requisitos estão consolidados na parte 4 da Norma;
- Alvenaria de vedação externa, sem função estrutural-utilizada em fachadas com a função principal de vedação externa e suporte dos revestimentos externos. Nesta os principais requisitos estão consolidados na parte 4 da norma, com destaque à estanqueidade e aos questionamentos quanto à durabilidade;
- Alvenaria estrutural de casas térreas utilizada com função estrutural de suporte de cargas da coberta e vedação interna e externa. Nesta os principais requisitos estão consolidados nas partes 2 e 4 da norma, com destaque à estanqueidade e aos questionamentos quanto à durabilidade e segurança estrutural;
- Alvenaria estrutural para edificações multipavimento- utilizada com função estrutural de suporte de cargas dos pavimentos superiores. Nesta os principais requisitos estão consolidados nas partes 2 e 4 da norma, com destaque à estanqueidade e aos questionamentos quanto à durabilidade e segurança estrutural.

A Tabela 10 apresenta um resumo dos principais requisitos, critérios, métodos de avaliação e limites aplicáveis aos sistemas de vedações verticais em edificações habitacionais.

Tabela 10-Requisitos aplicáveis a sistemas de vedação vertical (NBR 15575(ABNT, 2013))

REQUISITOS	CRITÉRIOS	MÉTODOS DE AVALIAÇÃO	LIMITES
ESTABILIDADE E RESISTÊNCIA DO SISTEMA ESTRUTURAL	Atender todas as solicitações previstas nas Normas pertinentes quanto ao ELU.	Normas prescritivas; modelagem numérica; ou ensaios destrutivos carga x deslocamento. NBR 15575-2 (ABNT,2013)	Sd < Rd. Paredes acabamentos rígidos: L/500 e H/500. Paredes acabamentos flexíveis: L/400 e H/400.
DESLOCAMENTOS E ESTADOS DE FISSURAÇÃO DO SISTEMA ESTRUTURAL	Impacto de corpo mole; impacto de corpo duro; e interação porta/parede.	Suportar a sequencia de testes estabelecidosna Norma sem ruir ou fissurar. NBR 15575-4, (ABNT.2013)	Não ocorrência de fissuras ou danos. Deslocamentos horizontais: dh < h/125; dhr < h/625
	Solicitação de carga suspensa.	Suportar a carga prevista do sistema de fixação NBR 15575-4, (ABNT.2013)	Não ocorrência de fissuras ou danos. Desl.horizontais: dh < h/500; dhr < h/2500
SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO	Dificuldade de inflamação generalizada; e dificultara propagação.	Ensaio previstos na NBR 14432 (ABNT,2001), quanto a resistência,propagação, isolamento e a estanqueidade	Resistência ao fogo por um período mínimo de 30 minutos.
ESTANQUEIDADE	Áreas molhadas - umidade gerada no interior da edificação.	Ação direta da água área de parede com dimensões 34x16cm. NBR 15575-4, (ABNT.2013)	Infiltração Inferior a 3 cm ³ por um período de 24 h.
	Infiltração de água nos sistemas de vedações verticais externas.	Exposição à câmara de ensaio durante 7 h, sob pressão e vazão de Norma. NBR 15575-4, (ABNT.2013)	Não serem observados vazamentos e a área de manchas inferior a 10%.
DURABILIDADE E MANUTENIBILIDADE	Paredes externas.	Ensaio de choque térmico.NBR 15575-4, (ABNT.2013)	Não ocorrência de falhas ou danos. Deslocamento horizontal inferior a h/300.
	Vida útil de projeto (VUP) da edificação e de suas partes.	Caráter informativo associado a utilização do manual de operação, uso e manutenção.	Vedação externa>40anos. Vedação interna>20anos.
CONFORTO ACÚSTICO	Níveis de ruído admitidos na habitação.	Metodologia ISO 16283-1 (ISO,2014)	Atender valores mínimos de Norma: Rw em laboratório ou Dnt,w em campo
CONFORTO TÉRMICO	Adequação de paredes externas.	Transmitância térmica de paredes externas.	U ≤ 2,5 W/m ² .K zonas ½ U ≤ 3,7 W/m ² .K p/α < 0,6 U ≤ 2,5 W/m ² .K p/α > 0,6
	Capacidade térmica de paredes externas.	Metodologia da NBR 15220-2(ABNT,2005).	CT ≥ 130kJ/m ² .K

A Tabela 11 relaciona os requisitos de desempenho com as características de funcionalidade dos sistemas de vedação vertical em alvenaria.

Tabela 11-Requisitos quanto a função da alvenaria (NBR 15575(ABNT,2013))

REQUISITOS DE DESEMPENHO	CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONALIDADE DAS ALVENARIAS			
	Vedação interna sem função estrutural	Vedação externa sem função estrutura	Alvenaria estrutural para casas térreas	Alvenaria estrutural para multipavimentos
ESTABILIDADE E RESISTÊNCIA DO SISTEMA ESTRUTURAL	Não se aplica	Não se aplica	Aplicável	Aplicável
DESLOCAMENTOS E ESTADOS DE FISSURAÇÃO DO SISTEMA ESTRUTURAL	Aplicável	Aplicável	Aplicável	Aplicável
SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO	Aplicável	Aplicável	Aplicável	Aplicável
ESTANQUEIDADE	Aplicável	Aplicável	Aplicável	Aplicável
DURABILIDADE E MANUTENIBILIDADE	Aplicável	Aplicável	Aplicável	Aplicável
CONFORTO ACÚSTICO	Não se aplica	Aplicável	Aplicável	Aplicável
CONFORTO TÉRMICO	Não se aplica	Aplicável	Aplicável	Aplicável

2.4 PLANEJAMENTO DA VIDA ÚTIL

2.4.1 CONCEITOS GERAIS

A vida útil de uma edificação ou de suas partes é definida pela ISO 15686-1 como “o período que após sua instalação durante a qual todas as suas partes atendem ou excedem os requisitos de desempenho” (ISO, 2011). A Norma americana ASTM E632 define vida útil como “o período, após entrar em utilização, durante o qual todas as suas propriedades relevantes estão acima de níveis mínimos aceitáveis, considerando uma manutenção corrente” (ASTM, 1981). Já a norma brasileira de desempenho define vida útil como “período de tempo em que um edifício e/ou seus sistemas se prestam às atividades para as quais foram projetados e construídos considerando a periodicidade e correta execução dos processos de manutenção especificados no respectivo Manual de Uso, Operação e Manutenção” NBR 15575-1 (ABNT, 2013). Estes conceitos apresentam, no entanto, várias formas de interpretação e nuances quando se procura aplicá-lo efetivamente à definição da vida útil de uma edificação construída. Uma consolidação das definições acima pode ser resumida como o período compreendido entre o início de operação e uso de uma edificação até o momento em que o seu desempenho deixa de atender aos requisitos mínimos estabelecidos em projeto, sendo diretamente influenciada pelas atividades de manutenção e reparo considerando o ambiente de exposição.

A Figura 16 apresenta a função desempenho versus tempo descrevendo a durabilidade de um produto(edificação ou suas partes) considerando as atividades de manutenção periódica no prolongamento da vida útil.

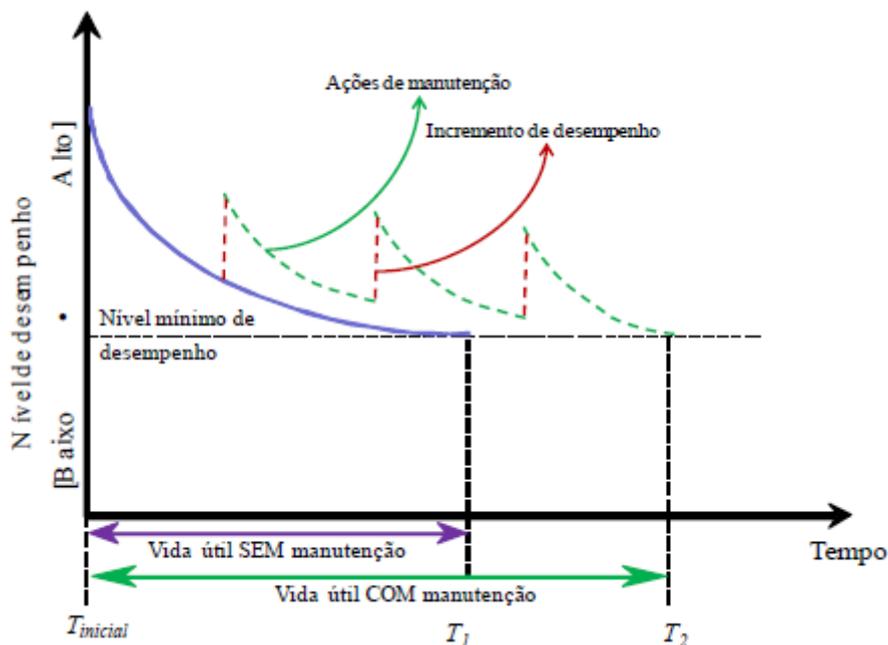


Figura 16- Desempenho de um produto considerando atividades de manutenção (Edna;Poisson&Demoliner, 2013)

O planejamento da vida útil é um procedimento de projeto que busca assegurar uma maior habitabilidade e funcionalidade de um edifício, ou outros Bens construídos, seja igual ou superior à sua vida útil. Se necessário, esse planejamento deve considerar os custos do ciclo de vida do edifício e seus impactos ambientais no ciclo de vida. O planejamento da vida útil fornece um meio de comparar diferentes opções de construção. Durante a fase de entrega do projeto, para garantir que o projeto atenda aos níveis de requisitos funcionais, a consideração de diferentes soluções de projeto pode ser usada para avaliar o impacto das mudanças de na vida útil projetada (ISO 15686-2 (ISO, 2011)).

Desta forma o planejamento da vida útil de edificações se constitui em uma estratégia que visa elevar o desempenho das edificações, maximizando a sua vida útil e minimizando os impactos ambientais gerados pela necessidade de demolição. A sistematização dos primeiros estudos sobre métodos de planejamento da vida útil foi realizado pelos comitês técnicos do CIB (Conseil International du Bâtiment-CIB W80) e RILEM (International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials), os quais estabeleceram uma revisão do estado da arte metodologias de previsão de vida útil (Hovde&Moser, 2004) para efetivar métodos de previsão da vida útil de sistemas construtivos (Sjostrom&Brant,1991), subsídios importantes considerados na estruturação da ISO 15686 (ISO, 2011).

Das comissões técnicas conjuntas CIB W80 e RILEM 71-PSL resultaram os trabalhos de Masters(1989) e Brandt(1987). Nestes documentos está apresentado o estado da arte dos métodos de previsão da vida útil e os autores sugeriram um método geral de previsão da vida útil para materiais e componentes, identificando ainda necessidades de investigação nesse domínio.

Na sequência, Sjöström (Sjöström&Brandt,1991) dentro da comissão temática do CIB W80 e RILEM 100-TSL apresentaram uma nova contribuição para a temática dos métodos de previsão da vida útil de materiais e componentes de edifícios, aprofundando a problemática do recebimento e utilização de dados provenientes de exposição em serviço.

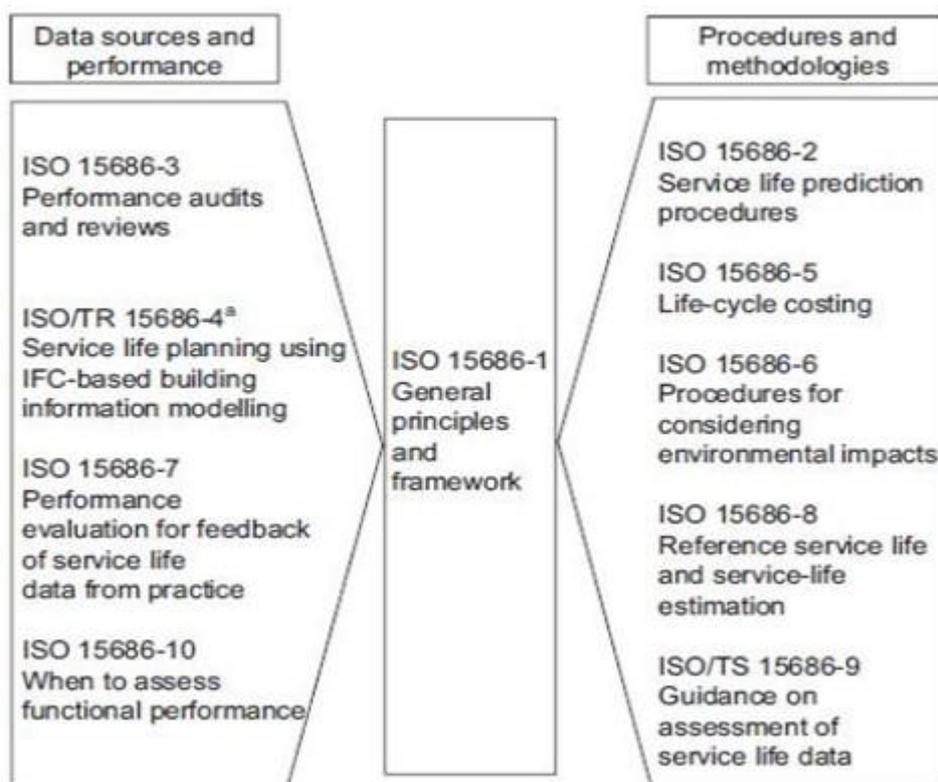
Posteriormente o Architectural Institute of Japan (AIJ, 1993) propôs um método de previsão da vida útil para materiais e componentes baseadas numa expressão fatorial, a qual foi posteriormente adaptada na norma ISO 15686-7 (ISO, 2006).

2.4.2 METODOLOGIAS PRECONIZADAS NA ISO 15686

Segundo a ISO 15686-1 (ISO, 2011), o planejamento da vida útil é um processo que procura garantir que a vida útil de um edifício ou outro ativo construído se iguale ou exceda sua vida útil. Se necessário, o planejamento da vida útil pode considerar os custos do ciclo de vida do edifício e os seus impactos ambientais. O planejamento da vida útil fornece um meio de comparar diferentes opções de construção. Durante a fase de entrega do projeto, para garantir que o projeto atenda aos níveis de exigência funcional, a consideração de diferentes soluções de projeto conceitual pode ser usada para avaliar o impacto das mudanças de projeto na vida do projeto.

Ainda segundo essa Norma, ao se exigir uma estimativa ou previsão do tempo de duração de cada componente de um edifício, o planejamento da vida útil auxilia na tomada de decisões sobre especificações e detalhamento do projeto. Além disso, quando a vida útil do edifício e seus componentes são estimados ou previstos, o custo do ciclo de vida e o planejamento de manutenção e técnicas de engenharia de valor podem ser aplicados; a confiabilidade e a flexibilidade de uso do edifício podem ser aumentadas; e a probabilidade de obsolescência precoce pode ser reduzida.

A Figura17 indica como as partes da ISO 15686 (ISO, 2011) se relacionam entre si e seus tópicos associados.



a-Em desenvolvimento

Figura17- Relacionamentos entre partes da ISO 15686 (ISO, 2011) - o planejamento da vida útil dos edifícios

Destas, a parte 2 apresenta uma metodologia para previsão de vida útil de componentes da construção, sendo norteadada pelo fluxograma apresentado na Figura18. A metodologia proposta pode ser utilizada para um simples estabelecimento de uma função desempenho versus tempo, para um local específico, ou pelo estabelecimento de funções dose-resposta válidas para uma gama de condições ambientais.

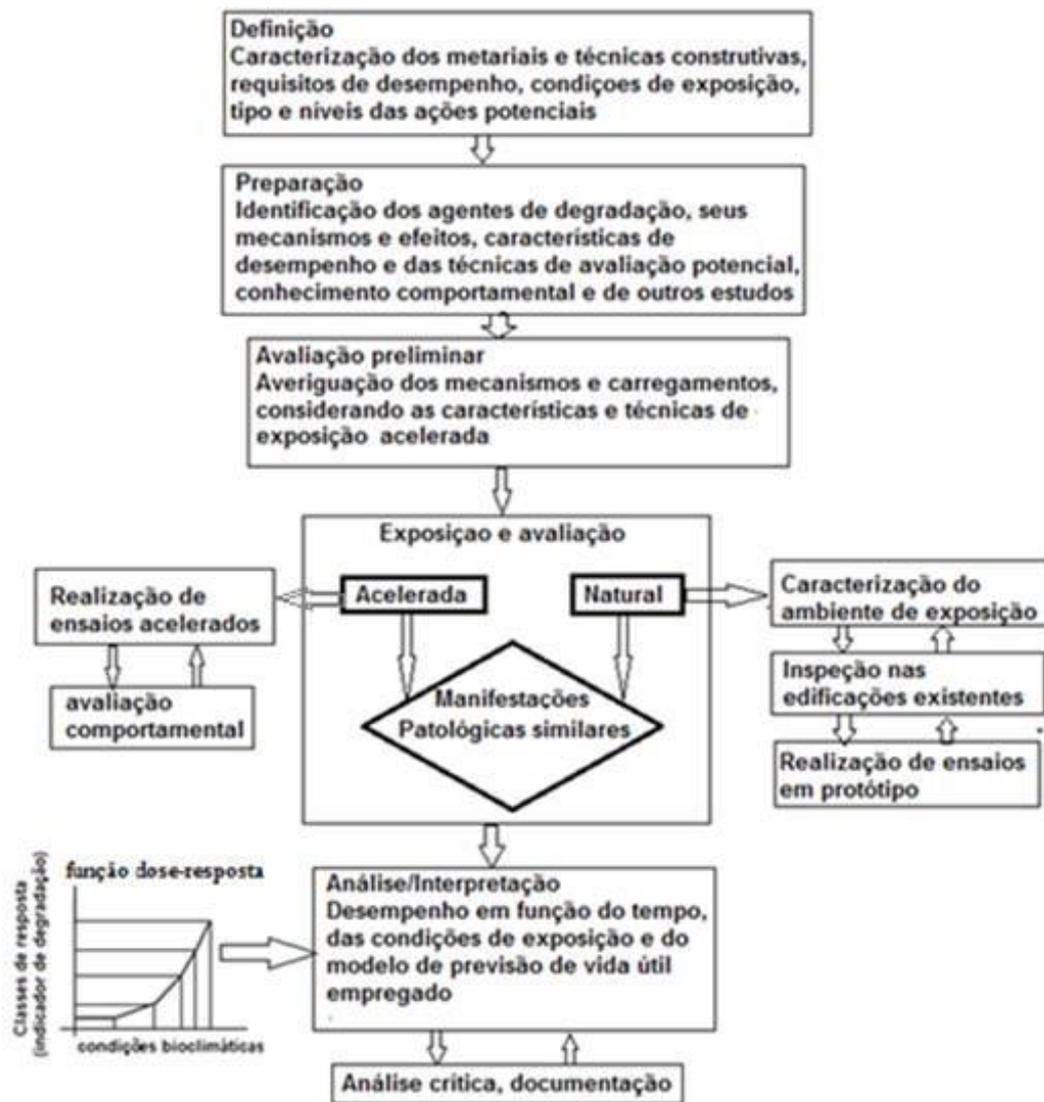


Figura18- Metodologia de investigação ação-resposta segundo a ISO 15686 (ISO, 2012) (tradução autor)

O objetivo desta parte da ISO 15686-2 (ISO, 2011) é descrever os princípios de vida útil de projeto (VUP) dos componentes de construção considerando vários ambientes de serviço. A metodologia VUP é desenvolvida para ser genérica pretendendo servir de guia para todos os processos de previsão. A metodologia pode ser utilizada no planejamento de estudos VUP sobre componentes novos e inovadores cujo desempenho é pouco conhecido ou pode ser o documento orientador na avaliação de investigações já realizadas para avaliar seu valor como base de conhecimento para VUP e revelar onde são necessários estudos complementares.

A aplicação desta metodologia considera a identificação dos elementos e suas técnicas construtivas, as condições de exposição e os requisitos de desempenho aplicáveis ao contexto. Considera também as informações de desempenho previamente conhecidas como alimentador do processo de investigação, que é realizado de forma interativa, considerando exposição acelerada e a natural, associado ao processo de tomada de decisão que permite que sejam feitas melhores previsões à medida que a base do conhecimento evolui. As principais etapas a serem seguidas no processo iterativo de investigação da vida útil de um componente são:

DEFINIÇÃO DO ESCOPO DA INVESTIGAÇÃO

A definição do escopo do estudo caracteriza o nível de investigação, podendo ser um estudo específico centrando-se numa aplicação bastante específica do componente testado em ambiente de serviço, por exemplo, a sensibilidade da previsão de vida útil de um componente quando submetido a pequenas alterações nas condições de uso. Pode ser, também, um estudo mais geral, cujo objetivo é o de estudar um componente submetido a diversas condições de exposição e de uso e determinar o seu desempenho ao longo do tempo, em todas as aplicações previstas de utilização. Essa etapa envolve a identificação do contexto ambiental (considerando as ações do meio e os agentes que atuam na edificação), a seleção dos requisitos e indicadores de desempenho - objeto de avaliação, bem como as técnicas e metodologias que serão utilizadas para avaliação comportamental dos requisitos estabelecidos. Neste estudo o foco central é a identificação e a quantificação dos mecanismos que provocam a degradação e/ou a perda de características funcionais das alvenarias de blocos de gesso, considerando as características dos materiais, técnicas de execução, detalhes construtivos, grau de exposição, condições de microclima e o contexto ambiental que afetam a durabilidade, gerando subsídios para avaliação da vida útil dos elementos de vedação vertical em alvenaria de blocos de gesso.

PREPARAÇÃO

Nesta etapa são identificados os agentes de degradação, mecanismos e indicadores, relevantes na aplicação específica. As características de desempenho e as técnicas de avaliação potencial, bem como o conhecimento do comportamento esperado e outros estudos relevantes. Como apresentado, a durabilidade das alvenarias de blocos de gesso sofrem com a ação direta das águas, do estágio de saturação, do nível de umidade e da temperatura. Os principais indicadores em uma inspeção visual são manchas de umidade em regiões de acúmulo de água, perda de massa e alteração superficial nas regiões mais solicitadas por ventos e chuvas dirigidas. Em laboratório é possível avaliar a perda de massa através de ensaios de choque térmico e estanqueidade e a alteração de comportamento com o crescimento/avanço da umidade interna em elementos de alvenaria.

AValiação PRELIMINAR

Testes preliminares são importantes para testar algumas hipóteses que podem ser adotadas no processo investigativo. Experimentos mal formulados podem levar a conclusões equivocadas, com consequências desastrosas. Mesmo que o equívoco seja percebido mais adiante, as consequências são graves, uma vez que os estudos de degradação envolvem considerável volume de recursos e podem se estender por períodos relativamente longos. Aspectos como identificação dos agentes de degradação relevantes ajudam na confirmação e no detalhamento dos mecanismos envolvidos, na estimativa das intensidades dos agentes de degradação e na precisão dos indicadores de degradação, bem como das técnicas de medição a serem utilizadas na avaliação dos indicadores. Observação de sintomas em edificações existentes são indicativos desta avaliação preliminar.

EXPOSIÇÃO E AVALIAÇÃO

As informações obtidas nas etapas anteriores ajudarão a estabelecer procedimentos para induzir os mecanismos identificados de degradação. Quando a exposição acelerada de curto prazo é usada, deve-se ter cuidado para assegurar que os níveis de intensidade extrema dos agentes de degradação não resultem em mecanismos de degradação que não seriam experimentados no serviço. Estudos e combinação de ações de curta(ensaios prévios) e de longa duração (envelhecimento natural) permitem confirmar essas tendências. As degradações observadas em exposições aceleradas de curta duração devem ser comparadas com as observadas nas condições de uso. As propriedades que foram identificadas como mais úteis ou mais importantes para indicar a degradação devem ser medidas antes e depois do envelhecimento. Deve ser levada em consideração a possibilidade de efeitos sinérgicos entre os agentes que atuam no processo. Se nos ensaios de curta duração forem induzidos mecanismos não representativos das condições de uso, o

programa de exposição deve ser alterado. Quando se pretende produzir funções dose-resposta, é necessário que o programa de estudos inclua situações em que o produto seja exposto a diferentes intensidades dos diversos fatores de degradação relevantes. Atenção particular deve ser dedicada à possível ocorrência de microclimas que alterem substancialmente as condições ambientais em relação ao entorno. Foram constatadas que a utilização de sondas de umidade nos ensaios preliminares auxiliam na identificação de indicadores de alteração nos níveis de umidade internos nos elementos.

ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

A análise e interpretação dos resultados das investigações realizadas ao longo dos vários programas de exposição possibilitam estipular uma previsão de vida útil para o componente ou sistema construtivo investigado, considerando dois ou três caminhos metodológicos:

- a) a partir de dados de avaliação de desempenho são estabelecidas as funções desempenho em função do tempo ou dose-resposta, nas condições de exposição, aplicáveis na comparação dos ensaios laboratoriais e os aspectos observados no protótipo;
- b) caso as condições de exposição não abranjam as condições em que o componente vai ser avaliado, deve ser determinada a função desempenho em função do tempo ou dose-resposta na condição desejada, sintetizando, modelando e/ou interpolando ou extrapolando as funções estabelecidas em (a);
- c) aplicação dos métodos dos fatores considerando coeficientes determinados em função da quantificação dos sintomas, método construtivo, características dos blocos, nível do tempo de exposição, associado às condições climáticas da região e às condições de microclima observados, de forma a quantificar o efeito do percurso de deterioração específico na Vida de Serviço Prevista do Componente/elemento de alvenaria, levando em consideração os resultados das avaliações dos estudos realizados.

ANÁLISE CRÍTICA E DOCUMENTAÇÃO

Todo processo de tomada de decisões carece de uma análise crítica, considerando/questionando:

- a) a consistência dos métodos utilizados; se são tecnicamente válidos para a aplicação nos experimentos;
- b) se apresentam rastreabilidade e repetitividade;
- c) se os resultados de todas as análises, dados, métodos, pressupostos e limitações devem ser transparentes e apresentados em pormenor suficiente para permitir ao leitor avaliar a qualidade da informação.

2.4.3 ESTUDOS SOBRE VIDA ÚTIL ESTIMADA

Numerosos estudos de Vida Útil Estimada (VUE) foram apresentados nos últimos anos. As metodologias existentes têm diferentes níveis de complexidade e precisão, variando de modelos estocásticos, mais complexos, mais precisos, a modelos determinísticos, mais fáceis de usar, mas incapazes de lidar com a incerteza relacionada a fenômenos complexos como a degradação dos edifícios. A maioria destas abordagens baseia-se na avaliação do desempenho do edifício e na análise da durabilidade e longevidade dos seus elementos.

De acordo com Gray e Baird (1995) e Shohet *et al.*(1999), as técnicas de avaliação de edifícios podem ser classificadas em duas abordagens gerais: métodos empíricos e teóricos. Estes métodos tentam definir a condição de degradação de um determinado componente ao longo do tempo em condições reais de serviço. Esses métodos podem também ser classificados em métodos fatoriais, experimental e empírico. A primeira categoria baseia-se numa revisão dos factores de degradação e na determinação da expectativa da vida com

base em multiplicadores. A segunda categoria utiliza testes in-situ ou testes de degradação acelerados em laboratório para avaliar o efeito de um agente específico de deterioração. A terceira categoria é apoiada por um levantamento de campo de fatores de degradação seguido pela determinação sistemática do Ciclo de Vida com base em ranking de classificação.

Estudos realizados por Emidio *et al.*(2014) em 260 edificações com revestimento em pedra, em Portugal, revelou que a simples aplicação do método dos fatores não produz resultados satisfatórios já que a quantificação dos fatores que afetam a durabilidade dos revestimentos de pedra é afetada por alguma subjetividade, portanto, não parece viável propor valores-padrão que possam ser aplicados em todas as circunstâncias. Na análise dos cenários propostos para essa quantificação mostra que a utilização de valores genéricos para os fatores de durabilidade, como os da norma ISO 15686 (ISO, 2011) não conduz aos melhores resultados. A melhor solução é adotar fatores de durabilidade ajustados à realidade do fenômeno a ser modelado em uma escala regional ou local.

Van Noortwijk (1998) apud Galbusera *et al.* (2014) argumenta que, em modelos baseados em padrões de degradação linear (com uma taxa de degradação média da amostra), uma única inspeção pode revelar a futura deterioração da evolução dos edifícios e seus componentes. No entanto, as inspeções visuais têm algumas limitações, uma vez que a sua exatidão depende significativamente da experiência/antecedentes e critérios de classificação do avaliador. Eles também dependem das condições climáticas no momento da inspeção (por exemplo, a dificuldade de detectar defeitos em revestimentos lisos e escuros quando a luz do sol incidindo diretamente sobre eles).

Shohet *et al.* (1999) apresentou uma metodologia para o estabelecimento de bases de dados listando padrões de deterioração de componentes e de sistemas de construção, no sentido de subsidiar equipes de manutenção para avaliarem o ciclo de vida dos componentes do edifício com base em sua condição real monitorada, tendo como principais metas a caracterização de padrões de deterioração de diferentes mecanismos de degradação e o desenvolvimento de um procedimento sistemático e prático para determinar a vida útil dos componentes com base na sua condição real de uso. Aplicaram este procedimento em três tipos de revestimentos: a) revestimento cimentício (20 anos); b) revestimentos cerâmicos (25 anos); e c) revestimento de pedra(40 anos). Neste artigo a determinação da vida útil estimada segue o modelo para cálculo utilizando o método fatorial combinado com a avaliação do CPFC (desempenho do componente na condição de falha). Neste, todos os coeficientes utilizados no método dos fatores são calculados de forma a quantificar o efeito do percurso de deterioração específico na Vida de Serviço Prevista do Componente. Concluiu que a aplicação da metodologia apresenta as seguintes vantagens:

- a) uniformidade dos critérios para o nível de desempenho e para a detecção de mecanismos de deterioração;
- b) utiliza uma caracterização sintomática dos mecanismos de deterioração, de fácil identificação e quantificação, não exigindo conhecimentos sobre a qualidade da mão-de-obra, a qualidade dos materiais ou condições ambientais adversas;
- c) facilidade de utilização, baseado em um procedimento simples de 5 passos. No entanto, essa metodologia é muito sensível aos coeficientes de influência determinados segundo o CPFC.

Nesta ótica, os mecanismos podem apresentar comportamento de degradação de diferentes padrões, considerados como modos de falha. Moubrey (1997) classifica os padrões de deterioração em seis categorias, como apresentado na Figura 19.

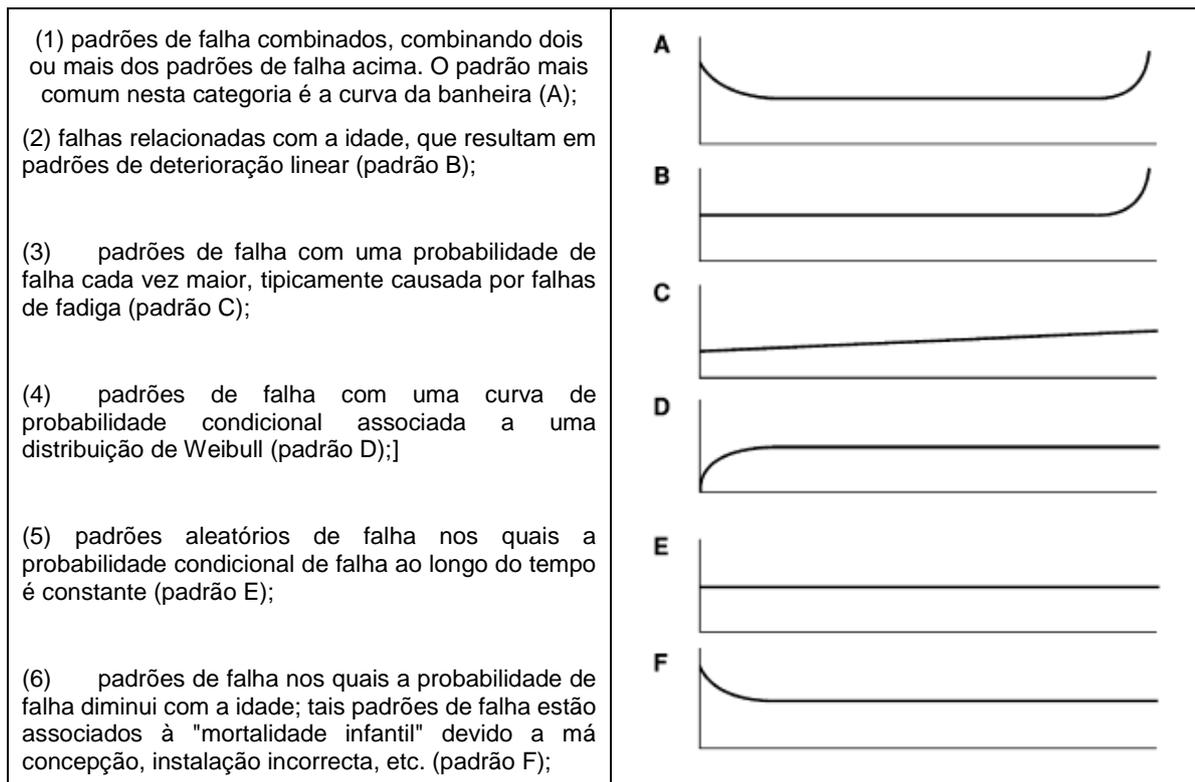


Figura 19. Modos de falha na deterioração de componentes. (Moubray, 1997)

Utilizando este tipo de abordagem, Shohet e Pacuik (2004) estudaram o processo de degradação de três tipos de revestimento de fachada: a) argamassa cimentícia; b) resina sintética; e c) mosaico cerâmico. Para cada tipo de revestimento foram consideradas as condições de falha, resultantes de projeto defeituoso, má execução, baixa qualidade de materiais ou exposição a condições ambientais extremas.

O modo de falha do revestimento em argamassa cimentícia, considerando a degradação visual decorrente da ação de microrganismos, o padrão de degradação resultante foi tipicamente linear, refletindo um processo contínuo e persistente que reduz o desempenho do revestimento ao nível de 60 NDMR (Nível de desempenho mínimo requerido) após 12 anos e ao nível de 40 NDMR após 19 anos.

O modo de falha do revestimento em resina sintética, considerando degradação decorrente da execução errada do revestimento, geralmente resultando em fraca ou nenhuma ligação entre as camadas de acabamento e de substrato, o padrão de degradação resultante foi também linear, refletindo um processo contínuo e persistente que reduz o desempenho do revestimento ao nível de 60 NDMR após 13 anos e ao nível de 40 NDMR após 20 anos.

Já o modo de falha do revestimento mosaico cerâmico, considerando degradação visual do revestimento, foi causado pela fuga do material de enchimento. Isto, por sua vez, leva a uma descoloração da superfície. A degradação pode ser observada durante os primeiros anos de serviço e a taxa de decaimento é constante. Neste caso o padrão de degradação resultante foi identificado como logarítmico ou linear, com decaimento acentuado no desempenho ao nível de 60 NDMR após 4 anos e ao nível de 40 NDMR após 7 anos.

Ainda em continuidade aos estudos sobre a inserção de modos de falha na determinação dos modelos de previsão da vida útil, Shohet&Paciuk (2006) concluíram que o método proposto provou ser útil na resolução de dois problemas na avaliação da vida útil: (1) previsão da vida útil sob condições de serviços diversos em um dado nível de desempenho exigido, e (2) determinação de uma gama de anos dentro dos quais as atividades de manutenção podem ter lugar.

Outra consideração diz respeito a confiabilidade dos resultados. Galbusera *et al.* (2014) consideram que independente do modelo utilizado, os resultados obtidos estão intimamente relacionados com a qualidade dos dados utilizados para definir esses modelos. No estudo realizado em revestimento cerâmico de fachada de edifícios foi analisada a influência da quantidade de amostras sobre os resultados de um modelo VUE aplicado a paredes externas com cerâmica. Foram utilizadas duas amostras: a inicial, composta por 117 estudos de caso, sem pré-seleção dos casos analisados; e uma amostra melhorada, composta por 195 revestimentos, com dados mais completos e confiáveis.

No primeiro caso as 117 amostras apresentavam-se dispersas com R2 que avalia a proporção de variância dos valores de y (gravidade) em relação a x (idade das paredes cerâmicas externas), revelando que ambas as curvas de regressão têm valores pequenos (0,38 e 0,40, respectivamente). Já com o tratamento das amostras, expurgando as que apresentavam algumas inconsistências e incorporando outras amostras, em novas investigações focadas nos vazios observados, fez com que a distribuição da linha de tendência polinomial fosse a melhor e que se ajustou ao padrão de degradação da amostra. Isto é evidenciado pelo valor R2 de 0,71. Os resultados obtidos confirmam que melhores e maiores quantidades de dados conduzem a resultados mais confiáveis.

2.4.4 ASPECTOS RELACIONADOS A DURABILIDADE

Na norma internacional ISO 15686-1 (ISO, 2011) há duas abordagens relacionadas a durabilidade: a primeira define como a capacidade de um edifício ou de uma parte de um edifício desempenhar a sua função durante um determinado intervalo de tempo sob determinadas condições de serviço, e uma segunda que considera: o período de tempo após conclusão da construção, em que o edifício ou os seus elementos igualam ou excedem os requisitos mínimos de desempenho.

Já a norma ISO 13823 (ISO, 2008) define a durabilidade como a capacidade de uma estrutura ou de seus componentes de satisfazer, com dada manutenção planejada, os requisitos de desempenho de projeto, por um período específico de tempo, sob influência das ações ambientais, ou como resultado do processo de envelhecimento natural.

Há de ser considerada que a durabilidade não é uma propriedade intrínseca do material, pois depende da interação entre o material e o ambiente que o cerca, devendo ser considerado os aspectos de microclima e dos agentes de degradação que atuam no entorno. Assim, um mesmo material apresenta funções de desempenho em função do tempo para diferentes condições de exposição.

A origem dos agentes de degradação é bastante diversa. Os principais agentes de degradação, apresentados originalmente na norma ISO 6241 (ISO, 1984) e condensados na ISO 15686-2 (ISO, 2012), consideram os agentes de acordo com sua origem: mecânica(gravitacionais, forças e deformações impostas/restringidas); eletromecânica(radiação, eletricidade e magnética); térmica(variações extremas de temperatura); química(água e solventes, substâncias oxidantes ou redutores, ácidos, bases e sais, quimicamente neutras) e biológica(animais, vegetais e microbiológicos).

Por sua natureza, a intensidade desses fatores varia no espaço e, do ponto de vista da engenharia, o mapeamento deles é importante (John&Sato, 2006). A variação espacial pode ser descrita em diferentes escalas: a)na escala macro são considerados os elementos climatológicos, como chuva, vento e temperatura (inclusive amplitude térmica), podendo incluir dados de poluição; b) na descrição ao nível meso, os efeitos do terreno e do ambiente construído devem ser considerados; c) no nível local, a distância de fontes de poluição, sombreamento, etc., também deve ser incluída; d) o microclima descreve condições ambientais nas quais o material está inserido, que são o resultado do clima local mediado por decisões de projeto.

A combinação dos agentes de degradação que atuam conjuntamente, em condições, tempos e períodos diferentes, deve ser considerada, dificultando a avaliação das influências dos agentes sobre o material, já que em muitos casos a degradação resultante difere da provocada pela ação individual de cada tipo de agente.

A compreensão dos mecanismos de degradação se constitui na base científica da durabilidade, o que facilita a criação de modelos de degradação, orientando medidas para mitigar os efeitos da degradação dos materiais e auxiliando no desenvolvimento de ensaios de envelhecimento acelerado. Estes mecanismos podem ser identificados em vários níveis. Se, por exemplo, a química do componente estiver bem documentada, pode ser possível identificar mecanismos baseados em reações químicas específicas, como hidrólise, foto-oxidação troca iônica. Se se conhece menos sobre as características químicas, mecânicas, físicas e reações do componente, os mecanismos podem ser definidos em termos mais gerais como, por exemplo, decomposição, volatilização de constituintes, difusão constituinte, corrosão, fadiga, desgaste, encolhimento/inchaço e apodrecimento (ISO 15686-2 (ISO, 2012)).

Os potenciais efeitos da degradação dos agentes sobre os materiais devem ser realizados através de indicadores de degradação, preferencialmente propriedades ou características quantificáveis, que expressam o impacto da degradação no desempenho do produto. Em outras palavras, um indicador de degradação é uma variação nas características/propriedades do produto relevante de um produto que possa ser facilmente correlacionada com o desempenho.

Indicadores de degradação comuns incluem variação de cor ou brilho, de propriedades mecânicas, alterações em rugosidade, perda de massa, etc. Indicadores de degradação que possam ser medidos de forma não destrutiva apresentam grandes vantagens, pois permitem acompanhar a evolução do desempenho de um mesmo exemplar ao longo do tempo.

Para realizar a previsão da durabilidade dentro de um prazo de tempo razoável, algumas estratégias podem ser realizadas:

- a) ensaios de envelhecimento acelerado: realizados em laboratório, simula a ação de agentes de degradação em intensidades muito superiores às encontradas em condições reais de uso. É importante observar que não existem ensaios de envelhecimento acelerado universais - para cada mecanismo (ou combinação de agente de degradação com material) sendo necessário dosar as ações e comparar com as respostas de estudos complementares. Quando a exposição acelerada a curto prazo é utilizada, é necessário garantir que os níveis de intensidade extrema dos agentes de degradação não resultem em mecanismos de degradação que não sejam experimentados no serviço (Jernberg et al, 2004). Os ensaios acelerados introduzem, muitas vezes, alterações nos mecanismos de degradação, dificultando a extrapolação das conclusões para situações de uso. Esse é um aspecto que sempre deve ser verificado. Além disso, normalmente, esses ensaios implicam a exposição de pequenas amostras a um ou mais agentes simultaneamente, enquanto, em condições de uso, outros agentes de degradação certamente estão presentes. No caso de materiais cimentícios, cuja matriz sofre melhora contínua de suas propriedades mecânicas ao longo do tempo, devido à hidratação continuada, a exposição de corpos-de-prova ao envelhecimento acelerado, em idades em que a hidratação ainda não se completou, pode levar a conclusões incorretas, com o ganho de resistência mecânica devido à hidratação podendo compensar a perda provocada pela degradação acelerada.
- b) ensaios de envelhecimento natural: a exposição de corpos-de-prova ou mesmo protótipos (edificações experimentais) a agentes atmosféricos, periodicamente avaliados, é uma técnica universalmente adotada. Exemplos: método ASTM G7 (ASTM, 1989) "Prática Padrão para Testes Atmosféricos de Exposição Ambiental de Materiais Não Metálicos", e norma ISO 9226 (ISO, 1992) "Determinação da taxa de corrosão de amostras-padrão para a avaliação da corrosividade". O programa de exposição pode consistir numa exposição real em serviço de um sistema completo no qual a informação de retorno sobre o desempenho dos componentes incluídos é obtida ao longo do tempo, ou pode envolver a exposição de componentes selecionados. Neste caso é essencial conceber um programa de exposição para que todos os agentes de importância sejam considerados. Mesmo num estudo específico, de preferência, a exposição deve ocorrer em mais de um tipo de ambiente de serviço. Programas nacionais e internacionais de exposição a campos atmosféricos em

uma vasta gama de materiais foram realizados, dos quais muitos ainda estão em andamento. As avaliações destes resultados resultaram no estabelecimento de funções de desempenho ao longo do tempo e de dose-resposta, que devem ser consideradas como uma importante fonte de informação na Vida Útil Estimada. O programa de exposição mais extenso é o programa UN ECE/ICP (Tidblad, *et al.*, 2000), com o objetivo de classificar o efeito de poluentes acidificantes no ar sobre a corrosão de materiais. O programa envolve exposição em campo em 39 locais em 12 países europeus e nos Estados Unidos, bem como no Canadá. No Brasil a rede DURAR possui quatro estações onde estão representados climas diferentes, com quatro situações bastante diferentes em termos de clima e contaminantes (John & Sato, 2006).

- c) estudos de campo: a exposição de materiais em construções submetidas a condições reais de uso é uma forma interessante de acompanhar a degradação de produtos. A principal vantagem é a ausência de qualquer artifício no processo, com todos os fatores de degradação atuando simultaneamente na intensidade real. Eventuais incompatibilidades com outros materiais ou produtos presentes nos edifícios, efeitos de manutenção e montagem, bem como os efeitos dos fatores de uso são detectáveis. Por outro lado, muitas vezes não é possível medir com precisão a intensidade dos fatores de degradação que atuam, de fato, sobre o produto, o que introduz dificuldades para a modelagem baseada em funções dose-resposta. Uma possibilidade interessante é realizar estudos em um universo de edifícios que empreguem um mesmo produto, o que torna possível identificar a distribuição da vida útil de uma população de determinado produto (John & Sato, 2006).

2.4.5 MECANISMOS DE DEGRADAÇÃO DAS ALVENARIAS DE BLOCOS DE GESSO

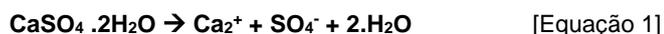
O principal indicativo de degradação superficial das alvenarias de blocos de gesso em paredes de fachada, constatado no protótipo em exposição no ITEP e nas edificações inspecionadas, é a perda de massa e a elevação da porosidade nas regiões mais afetadas pelas chuvas (superfície das paredes) e pela ação de permeabilidade da água ao interior das paredes de fachada. A sinergia entre as características de solubilidade do gesso, mobilidade e níveis de saturação da água, temperatura e ação do vento, são os principais fatores de degradação que atuam nas edificações, particularmente nas casas térreas e nas que possuem esses elementos em fachadas desprotegidas.

Nas regiões de baixa precipitação pluviométrica o mecanismo de degradação são bastante mitigados, como levantado por Nohier (1986) que cita edificações milenares na região norte do Saara, cujas condições climáticas variam de 5 °C e 75% HR. em janeiro a 39°C e 20% HR. em julho, e pluviometria anual de 80mm, mais concentradas entre os meses de outubro e novembro.

Condições climáticas também favoráveis são encontradas na região do Araripe, maior produtora de gesso do Brasil, responsável por mais de 90% da exploração da gipsita, e onde existem muitas casas em blocos e bloquetes de gesso. A média pluviométrica anual é de 600 mm/ano, sendo mais intensa nos meses de dezembro a março com 80 mm/mês e menos intensa nos meses de maio a dezembro com 26 mm/mês. As temperaturas variam de 15 °C a 35 °C e a umidade relativa de 20% a 65% .

2.4.5.1 Solubilidade dos produtos de gesso

A dissociação do gesso endurecido ocorre por simples dissolução de duas fases (soluto e solvente), expresso na Equação 1:



Esta ação de dissolução sofre influência de vários fatores, dentre os quais se destacam:

1. Quanto maior a saturação da água em relação ao sulfato de cálcio, menor é a solubilidade do gesso

frente à água saturada. Os estudos de cinética de dissolução da concentração de gesso em água está representado na equação 2, onde a taxa de mudança de concentração em um volume (V) de solução com uma concentração de massa (C), associado a solubilidade da substância dissolvida (Cs) atuando sobre uma área superficial (A) representa bem este processo ao longo do tempo. Sendo K uma pseudo constante que reflete a taxa de variação nas condições de camada limite. Há de se considerar que K varia com as condições de camada limite em mudança. Estas condições afetam a espessura da camada, que varia com a velocidade de fluxo sobre a superfície de dissolução, a força iônica da solução e a sua temperatura, expresso pela taxa de dissolução dos sulfatos (Klimchouk,1996).

$$[dC/dt=(KA/V)(Cs-C)n]$$

[Equação 2]

2. O gesso e a anidrita (que são moléculas polares com dipolos elétricos fortes) tendem a formar camadas limite espessas, que são facilmente sujeitas a desgaste por água corrente. Isto explica porque os valores de K e as taxas de dissolução são fortemente dependentes das velocidades de fluxo.

Assim, a principal vulnerabilidade do gesso frente à ação da água acontece devida principalmente à ação de água renovada, decorrente principalmente de ação direta das chuvas, que constituída de águas quase puras, age sob pressão e com velocidade na superfície e elevam a solubilização dos blocos de gesso. Este tipo de ação, comum em elementos de fachada voltados para direção prioritária dos ventos, é denominada chuva dirigida.

O gesso se solubiliza de forma irreversível à temperatura ambiente. Havendo um desequilíbrio do sistema sólido-solvente, o gesso precipita. Segundo Klimchouk (1996), a solubilidade do gesso em água pura a 20 °C é de 2,531 g/l, ou 14,7 mm/l. A dependência da solubilidade do gesso sobre a temperatura é relatada por muitos autores (Blount,1969; James, 1992; Liley *et al.*(1963) apud (Klimchouk, 1996)). Entre 0 e 30 °C a solubilidade do gesso aumenta em 20%, atingindo um máximo (cerca de 2,66 g/l) a 43 °C. Sendo cerca de 140 vezes menor que a solubilidade do sal comum (360 mg/l), mas quatro ordens de grandeza maior que a solubilidade do CaCO₃ (1,5 g/l). Já a anidrita pode ser considerado como não tendo solubilidade característica. Isto é devido à sua instabilidade química em condições superficiais habitualmente encontradas (James,1992 apud Klimchouk, 1996).

Alguns valores dados na literatura são enganosos: a verdadeira solubilidade da anidrite sob temperaturas normais é equivalente à do gesso. Quando dissolvido em água, a anidrita produz uma solução de CaSO₄ que finalmente alcança as mesmas concentrações de equilíbrio que o sistema de gesso-H₂O em água pura, isto é 2,00 g/l a 20 °C. James (1992) apontou que a anidrita em contato com a água tende a um estado metaestável caracterizado por soluções supersaturadas. Estes provavelmente são responsáveis por algumas das altas solubilidades citadas para anidrita, que variam até 3,5 g/l.

Em outro estudo Manikhin (1993) mostra que a solubilidade do gesso aumenta acentuadamente com o aumento da pressão. Relata-se que a solubilidade do gesso aumenta 4 vezes com cada 0,1 Pa adicional. Desta forma, é de se esperar que pressões atmosféricas provocadas pela ação dos ventos em períodos de chuva contribuam para o aumento da solubilidade das paredes externas. A pressão dos ventos sobre uma edificação sofre influência da velocidade básica do vento, dos fatores topográfico, da rugosidade do terreno, das dimensões e formas da edificação e dos fatores estatísticos previstos em Norma NBR 6123 (ABNT ,1988).

Segundo a NBR 15575 (ABNT, 2013) as condições de exposição conforme as regiões brasileiras as pressões de ensaio previstas variam entre 10 Pa a 50 Pa, pressões estas aplicadas nos ensaios de estanqueidade, associada a vazão de 3 L/min para avaliação de desempenho em paredes externas. O capítulo 3 mostrará maiores detalhes deste procedimento e de aplicações às paredes em blocos de gesso.

Cigna (1993) examinou os possíveis efeitos na solubilidade da gipsita causada pela mistura de águas a diferentes temperaturas. O Autor descobriu que ao misturar quantidades iguais de duas águas saturadas

(uma a 10 °C e outra a temperaturas variando de 40 °C a 100 °C), a solubilidade na mistura aumentava entre 2% e 13%. Desta forma, em regiões mais quentes submetidas a chuvas ou por ascensão capilar pela base, as paredes externas são afetadas mais fortemente.

Os ensaios de choque térmico previstos na NBR 15575 (ABNT, 2013) para simular ação de sol e chuva ao longo da vida útil, utilizam 10 ciclos da ação de temperatura de 80 °C durante 1 hora e resfriamento brusco com água até sua estabilização. No capítulo seguinte são apresentados resultados destes ensaios em paredes de blocos de gesso.

2.4.5.2 INFLUÊNCIA DA UMIDADE

A elevação da umidade nos componentes de gesso afetam substancialmente a resistência mecânica da parede Sobrinho (1987). Testes realizados em prismas de blocos de gesso mostraram que a resistência à compressão decresce em até 50% quando saturados.

A saturação das paredes de edificações podem ocorrer por várias formas, as principais são pela ascensão capilar pela base ou por concentração de água na base das paredes, por água de molhagem pelas chuvas na face externa; infiltração por vazamentos não fortuitos; e condensação pelo ar saturado ou por difusão de vapor no interior da parede.

Neste contexto, o transporte de água líquida nos materiais porosos que se faz pelo fenômeno da capilaridade, corresponde a uma continuação progressiva de água através dos poros ou meso poros capilares de um material até atingir o equilíbrio entre a evaporação e a capilaridade, segundo Torres (2008) é mais evidente a contribuição nas primeiras fiadas das alvenarias, onde são observadas as maiores degradações.

Outra ação que apresenta grande potencialidade de degradação por solubilização do gesso é a água acumulada na base das paredes, que também tem origem nas águas de chuva empossada sobre as calçadas sem declividade negativa para a base das paredes. Esta situação favorece também a ação da umidade de ascensão por capilaridade que possui ação degradante em quase todos os produtos (BSI, 2014), menor preocupação por ação oxidante quando em contato direto com produtos a base de ferro, bem como pela ação de fungos em áreas úmidas (ASTM, 2007; Kurugol, 2008).

Concorrentemente a ação da difusão, fenômeno de transporte da água em estado gasoso ocorre por diferença entre gradientes de concentração iônica. Considerando o vapor d'água como íon em materiais porosos, existindo um gradiente de pressão de vapor, o transporte desse vapor ocorrerá no sentido da maior umidade relativa para a menor umidade relativa ou da maior pressão para a menor pressão (Garboczi, 1995).

Uma das principais fontes de água renovada sobre a fachada decorre da ação de chuvas dirigidas, oriundo da ação do vento em período de chuvas intensas. Segundo Perez (1988) apud Santos (2016), essa ação é traduzida como sendo a chuva que se projeta sobre a fachada decorrente da ação do vento. Na terminologia inglesa é denominada como driving rain ou wind-driven rain (WDR).

A quantificação de WDR incidindo nas fachadas de edifícios é governada por uma diversidade de parâmetros: geometria do edifício, topologia do ambiente, posição na fachada do edifício, velocidade e direção do vento, intensidade de turbulência, intensidade de chuva, distribuição e tamanho das gotas de chuva e duração da chuva. O grande número de parâmetros e sua variabilidade tornam a quantificação do WDR um problema altamente complexo (Blocken&Carmeliet, 2004)

Embora existam metodologias mais sofisticadas para determinação da intensidade de WDR nas fachadas, como métodos numéricos (Blocken&Carmeliet, 2004) que se baseiam em CFD (*Computational Fluid Dynamics*), aplica-se à redistribuição da precipitação em padrões de fluxo de vento perturbado que ocorrem em cima da topografia em pequena escala e permite uma determinação de alta resolução da distribuição WDR no espaço e no tempo. Poucos pesquisadores utilizam esta metodologia para quantificar a influencia do WDR. Uma das principais razões advem da necessidade de montar sistemas meteorológicos que possam mensurar a velocidade e a direção dos ventos com precisão junto a fachada em uso, além de utilizar

dispositivos de captação e registro da quantidade de água em diversos pontos da parede do edifício.

A norma Britânica BS8104 (BSI, 1992), posteriormente transformada na norma EN ISO 15927-3 (ISO, 2009) preconiza uma metodologia semi-empírica para determinação da quantificação de WDR. Esta fornece um procedimento utilizando dados meteorológicos horários (velocidade do vento, direção do vento, quantidade de precipitação horizontal), de modo a obter uma estimativa da quantidade de WDR que impacta em uma parede de construção de qualquer orientação dada. Seguindo este procedimento, calculam-se duas quantidades: (1) O índice médio anual “Iwa” (como medida para o teor de umidade da alvenaria) e (2) o índice de influência “Iws” (como medida para a probabilidade de penetração da chuva através da alvenaria). As equações 3 e 4 mostram as expressões para a determinação destes índices.

$$I_{wa} = I_a \cdot R \cdot T \cdot O \cdot W \quad \text{[Equação 3]}$$

$$I_{ws} = I_s \cdot R \cdot T \cdot O \cdot W \quad \text{[Equação 4]}$$

Onde I_a e I_s são o Índice de WDR médio coletado a 10 m de altura em áreas livres (I_a) e em áreas considerando as obstruções junto ao objeto de estudo (I_s). Os demais índices representam a rugosidade do terreno (R), o fator de topografia (T), o fator de obstrução (O) e o fator de parede (W), obtidos em tabelas e gráficos da Norma.

Segundo Santos (2016) e Freitas (2011), vários outros métodos semi-empíricos foram desenvolvidos para quantificação das águas de chuva incidente. Dentre os métodos semi-empíricos mais utilizados estão:

- O modelo de Lacy, primeiro método incorporado nos modelos de transferência conjunta de calor, ar e umidade;
- O modelo de Henriques, que não admite existir deflexões das gotas da chuva devido a alterações do fluxo de vento causadas por edifícios ou outros obstáculos;
- O modelo do Meteororm, um dos métodos mais conservativos e utiliza para o cálculo da quantidade de chuva o modelo de Straube;
- O modelo de Straube e Burnett, modelo que sugere utilizar dados climáticos horários ou de 15 minutos e assume que todas as gotas têm o mesmo tamanho;
- O modelo do WUFI, um programa de cálculo automático WUFI estima a quantidade de chuva incidente numa superfície, utilizando valores horários;
- O modelo da ASHRAE, que determina a quantidade de chuva incidente na superfície vertical de uma fachada utilizando valores horários;
- O modelo da EN ISO 15927-3 (ISO, 2009), que utiliza dois métodos para a determinação da chuva incidente: o primeiro, a utilizar dados climáticos horários permitindo determinar a intensidade de chuva que incide numa fachada para as diferentes orientações; e o segundo, aplicável a países em que não existem dados simultâneos do vento e da precipitação horizontal.

Quase todos os métodos semi-empíricos são baseados no índice de chuva incidente ou na relação de chuva incidente apresentada pela equação 5 (Blocken, 2004), onde k representa o coeficiente de chuvas incidentes; R_h representa a intensidade de precipitação horizontal; V representa a velocidade do vento; e Θ , o ângulo entre a direção do vento e a direção normal à parede.

$$R_{WDR} = k \cdot R_h \cdot V \cdot \cos\Theta \quad \text{[Equação 5]}$$

Segundo Blocken (2004), o principal problema ao usar essa relação é a obtenção de um coeficiente k confiável, pois depende de um grande número de parâmetros e é diferente para cada situação.

Freitas (2011), realizou estudos comparativos entre os modelos semi-empíricos de Lacy, Henriques, Straube e Burnett (SB), WUFI, Meteonorm, ASHRAE 160 e EN ISO 15927-3 (ISO, 2009), concluiu que a aplicação das diferentes fórmulas semi-empíricas conduz a diferentes quantidades de chuva dirigida e os dados climáticos utilizados neste método desempenham um papel preponderante na quantificação da chuva dirigida.

Freitas (2011) ainda afirma que não é possível definir qual o melhor método para quantificar a chuva dirigida em fachadas. No entanto, considera que o método proposto pela EN ISO 15927-3 (ISO, 2009) apresenta metodologia mais adequada, tendo em vista envolver maior número de fatores que considere as características do edifício.

Santos (2016), em sua tese intitulada “Comportamento Higrotérmico de Paredes em Gesso – Avaliação da Adequabilidade a Zonas Climáticas do Brasil”, aplicou informações obtidas de ficheiros climáticos dos 10 últimos anos, relativas a três cidades brasileiras, Recife (PE), Curitiba (PR) e Passo Fundo (MG), situadas em zonas climáticas distintas, segundo os modelos de Straube e Burnett; do WUFI; da ASHRAE e da EN ISO 15927-3 (ISO, 2009). Resultados mostraram diferenças significativas entre os quatro modelos de quantificação, quando analisada a intensidade da chuva incidente nas quatro orientações. Isso ocorreu possivelmente devido à representação dos diferentes coeficientes quanto às características do edifício e das condições de exposição.

De uma forma geral a "intensidade de WDR" se refere ao vetor de chuva oblíqua. Sob o ponto de vista da interação entre a chuva e as fachadas de edifícios verticais, o termo índice RWDR assume, contudo, o significado mais restrito de "componente do vector de intensidade de chuva que provoca o fluxo de chuva através de um plano vertical".

Segundo Bauer (1987), a penetração da água da chuva nas fachadas dos edifícios está relacionada com diversos fenômenos físicos (que determinam a incidência de chuva sobre as paredes), fenômenos que regem o comportamento dos materiais porosos quando solicitados pela chuva e com aspectos construtivos de acordo com a concepção das paredes, tais como: detalhes de projeto, tratamentos superficiais, componentes, etc. Para o autor, dependendo do material, a água penetra de forma diferenciada. Eldridge (1976) apud Blocken *et al.* (2004), considera o WDR como fonte de umidade que mais afeta o desempenho higrotermal e a durabilidade de fachadas de um edifício.

Já o microclima descreve condições ambientais nas quais o material está inserido, que é o resultado do clima local mediado por decisões de projeto. Um exemplo da influência do microclima determinado por decisões de projeto é o efeito da introdução de beirais que protejam as paredes de madeira da chuva que, ao manterem a madeira seca, evitam o ataque por fungos apodrecedores (Figura 20). (Foliente *et al.*, 2001). Assim, o projeto interfere na durabilidade decorrente de uma solução construtiva.

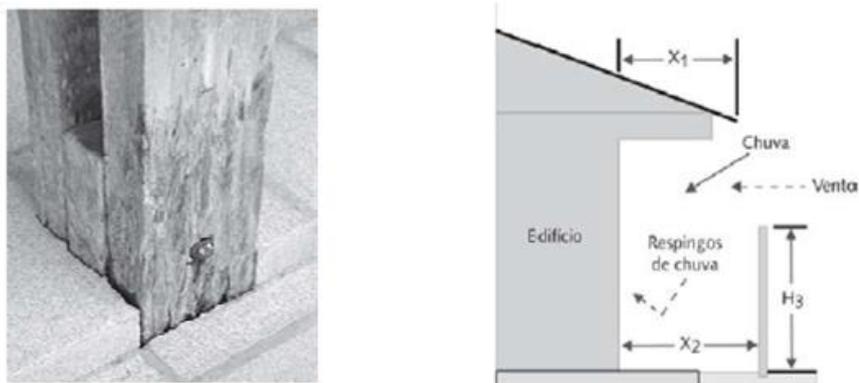


Figura 20- Influência do microclima na biodeterioração da madeira (Foliente *et al.*, 2001)

Outra situação muito comum observado em paredes térreas de fachada é o acúmulo de água no encontro parede-calçada. Calçadas com pouca ou nenhuma inclinação para o lado exterior possibilita o acúmulo de água na base das paredes, favorecendo sua penetração, ascensão por capilaridade e degradação do material.

Internamente há de ser considerado a influência das águas nas áreas molhadas, que estão sob a ação direta das águas (paredes de box de banheiro, área de serviço e áreas expostas) e nas áreas molháveis, que estão sob ação de serviços de limpeza e manutenção interna, o que remete a consideração de uso e de costumes.

A ação dos agentes de degradação que atuam conjuntamente, em condições, tempos e períodos diferentes, deve ser considerada, dificultando a avaliação das influências dos agentes sobre o material, já que em muitos casos a degradação resultante é diferente da provocada pela ação individual de cada agente.

2.5 SÍNTESE DO ESTADO DA ARTE

Neste capítulo foram apresentados vários casos de construções em alvenaria de blocos de gesso em países da África na década de 60 e no Nordeste do Brasil a partir da década de 90, regiões estas produtoras de gesso e que apresentam baixa precipitação pluviométrica anual, inferior a 600 mm e clima predominantemente seco.

O livro “Construere en plâtre” de Marc Nolhier registra a industrialização de blocos de gesso para alvenaria que aconteceu Argélia no ano de 1962. No Brasil esta tecnologia foi trazida nos meados dos anos 80 para região do Araripe, que atualmente responde por 95% da produção de componentes de gesso no Brasil. Centenas de casas construídas em blocos e bloquetes de gesso são encontradas na região do Araripe, fazendo parte da cultura construtiva da população local.

O principal questionamento quanto aos requisitos de resistência e durabilidade dos produtos de gesso foram abordados, sendo apresentado estudos da influência dos aditivos na mudança do comportamento do gesso frente a ação da água. Aspectos de sustentabilidade mostraram que os produtos em gesso requerem menos energia para produção em relação aos demais aglomerantes e podem ser reaproveitados no mesmo ciclo de produção do gesso, tornando-os mais sustentáveis.

Também foram abordadas as propriedades do gesso e de suas especificidades, bem como as propriedades e características dos componentes e das alvenarias de blocos de gesso, enquadrando-os nas normas técnicas brasileiras e europeias, que mostram similaridade. Foram também apresentados os requisitos de desempenho das alvenarias a luz da norma brasileira NBR 15575 (ABNT, 2013), sendo explicitados os requisitos de desempenho, associado aos critérios, métodos de avaliação e limites de utilização dessas alvenarias. Na sequência foram apresentas algumas interpretações da Norma ISO 15686 (ISO,2011) e de sua aplicação na determinação da Vida Útil Estimada (VUE).

Neste contexto, as diretrizes apresentadas na ISO 15686-2 (ISO, 2012) desenvolvida de forma genérica para determinação da VUE de componentes inovadores, foram aplicadas às alvenarias de blocos de gesso

utilizados como elemento exterior. A metodologia de investigação dose-resposta serviu de base para o planejamento dos experimentos visando a identificar e quantificar os mecanismos de degradação das alvenarias de blocos de gesso frente as ações do meio, mais especificamente nos aspectos que interferem na durabilidade.

Os aspectos relacionados a durabilidade e aos mecanismos potenciais de degradação foram considerados em visão macro, considerando os modos de falha e os principais padrões de degradação, bem como um estudo mais específico quanto aos mecanismos de degradação que atuam nas alvenarias de blocos de gesso, destacando-se a solubilidade e a ação da umidade está apresentado nos capítulos seguintes, sendo a solubilidade uma característica inerente ao material, e que sofre influência da taxa de saturação em relação ao sulfato, a forma e a intensidade do contato direto com a água.

Já o teor de umidade interfere na diminuição da resistência mecânica, favorecendo a degradação por ação combinada de ventos e chuva. O micro clima presente em ambientes de elevada umidade, principalmente na base de paredes e com água não saturada se caracteriza como situação favorável a degradação das alvenarias de blocos de gesso.

A influência e a quantificação das chuvas e ventos que incidem nas fachadas foram abordados quanto as diversas metodologias, e estas mostram variações quanto aos métodos adotados e os dados coletados, não sendo possível definir qual o melhor método para quantificar a chuva dirigida em fachadas. A escolha para este estudo vai depender dos dados disponíveis e da confiabilidade destes.

3

ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO LABORATORIAL**3.1 ENQUADRAMENTO**

O esteio da metodologia proposta para a avaliação da durabilidade nas alvenarias de blocos de gesso consiste na aplicação das diretrizes da metodologia proposta pela ISO 15686 (ISO, 2011), particularmente a que trata de Vida Útil Estimada (VUE) de componentes (ISO 15686-2 (ISO, 2012)), que foi apresentada de forma geral na Figura 18, associando as respostas dos ensaios laboratoriais às constatações observadas no protótipo. As etapas previstas na ISO 15686 que foram aplicadas a esta pesquisa estão descritas na sequência:

DEFINIÇÃO DO ESCOPO DA INVESTIGAÇÃO: avaliar os condicionantes que interferiram no comportamento das alvenarias de blocos de gesso considerando o comportamento observado no protótipo construído na Campus do ITEP com o desempenho das amostras de alvenaria submetidas aos principais ensaios de durabilidade (estanqueidade e choque térmico) em laboratório, objetivando qualificar uma correlação entre os fatores de degradação.

PREPARAÇÃO: construir alvenarias com blocos de gesso standard (caracterizado por norma como classe de absorção h3) e blocos de gesso hidrofugados, ou hidro (caracterizado por norma como classe de absorção h2) segundo os modelos de ensaio recomendado para avaliação: (a) de choque térmico, preconizado no anexo E da NBR 15575-4 (ABNT, 2013); e (b) da estanqueidade, preconizado no anexo C da NBR 15575-4 (ABNT, 2013).

Para avaliar o comportamento do avanço da umidade e da temperatura no interior das alvenarias, foram instalados, complementarmente, sondas em três profundidades dos blocos, sendo monitorado ao longo dos ensaios.

Os blocos e o gesso-cola utilizados na construção das alvenarias foram caracterizados conforme as recomendações das normas:

- Blocos: NBR 16494 (ABNT, 2017a) e NBR 16495 (ABNT, 2017b);
- Gesso-cola: NBR 16574 (ABNT, 2017c) e NBR 16575 (ABNT, 2017d).

AValiação Preliminar: dos estudos realizados na avaliação de desempenho de um protótipo de casa térrea construída em alvenaria de blocos de gesso, ao longo de um período de 11 anos, foram constatadas manifestações patológicas como: degradação das paredes de fachada por lixiviação, manchas por infiltração no interior e fissura nas paredes internas e externas junto aos vedos (vazios de portas e janelas), sendo considerado o posicionamento destas quanto: as direções preferenciais das chuvas/ventos; aos níveis de degradação diferenciado nas paredes construídas com blocos de gesso de diferentes classes de absorção (h2 e h3); aos decorrentes de aspectos construtivos empregados na construção do protótipo.

ENSAIOS DE ENVELHECIMENTO ACELERADO: os principais ensaios da norma de desempenho NBR 15575 (ABNT, 2013) que diz respeito ao requisito de durabilidade para elementos de componentes

de base mineral são os de choque térmico, que simula ciclos de aquecimento e molhagem, e o de estanqueidade, que simula ação intensa de água atuante sobre uma face por um período de tempo definido. Para melhor quantificar os aspectos de lixiviação, resultante da solubilização do gesso sob ação corrente da água, foi adicionado aos ensaios de choque térmico a avaliação de perda de massa em estágios característicos dos ensaios, e os ensaios de estanqueidade foi adicionado período maior de exposição.

INSPEÇÃO DE EDIFICAÇÕES EXISTENTES: o protótipo construído em 2007 no Campus do ITEP foi monitorado ao longo dos anos, servindo de referência como o modelo de exposição natural. Inspeções periódicas, avaliando os registros das manifestações patológicas nas paredes do protótipo e uma avaliação final da perda de massa nas principais paredes de fachada serviram para comparação com os ensaios acelerados realizados nos ensaios acelerados.

ANÁLISE DOS RESULTADOS: a expectativa foi para identificar uma correlação entre os indicadores analisados (perda de massa pela lixiviação, avanço de umidade/infiltração e aspectos superficiais), as amostras ensaiadas e o protótipo, considerando os tipos de blocos, a orientação de exposição e os aspectos construtivos, muitas vezes sem a possibilidade de identificar correlações proporcionais, devido à influência de diversas ações que atuam de forma sinérgica na exposição natural e não considerado nos ensaios laboratoriais.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS E COMPONENTES DAS ALVENARIAS

Para a realização dos ensaios de choque térmico e de estanqueidade foram construídos elementos de alvenaria com utilização de blocos maciços de 10 cm de espessura unidos com gesso-cola para cada tipo de bloco, sendo estes caracterizados e classificados segundo as normas técnicas específicas.

Os blocos foram caracterizados quanto às dimensões, densidade aparente, absorção de água, resistência à tração na flexão e dureza superficial, segundo as normas NBR 16494 (ABNT, 2017a) e NBR 16495 (ABNT, 2017b). Os resultados e critérios de enquadramento são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12- Caracterização dos blocos de gesso utilizados

Requisitos	Critérios		Resultados médios	
			Bloco Standard	Bloco Hidro
Comprimento (mm)	666,6 ± 3,0		667,3	665,8
Altura (mm)	500,0 ± 2,0		501,0	500,6
Espessura (mm)	100,0 ± 0,5		100,7	100,8
Densidade (kg/m ³)	Alta	≥ 20		
	Média	≥ 12 e < 20		
	Baixa	≥ 8 e < 12	10,50	10,19
Resistência à tração na flexão (MPa)	≥ 1,5 – P/Blocos de 100 mm		1,85	2,15
Capacidade de Absorção (%)	h3*	> 5,0 % em 2 horas de imersão	23,97	
	h2*	≤ 5,0 % em 2 horas de imersão		
	h1*	≤ 2,5 % em 2 horas de imersão		0,62
Dureza superficial (u.s.c)	>55		57	61

*Os blocos h3 não possuem hidrofugantes enquanto que os h2 e h1 possuem cerca de 2,5% e 5,0% de silicone na composição, respectivamente.

O gesso-cola utilizado na união dos blocos de gesso para construção das alvenarias foram caracterizados segundo as normas NBR 16574 (ABNT, 2017c) e NBR 16575 (ABNT, 2017d). Os resultados estão apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 -Caracterização das cola de gesso utilizadas

Requisitos	Critérios	Resultados médios	
		Standard (S)	Hidrofugada (H)
Consistência(mm)	30-36	32,5	35,2
Resistência ao arrancamento(MPa)	> 0,30	0,75	0,64
Tempo de pega (min)	Início >60	68	71
	Fim > 80	91	93
Retenção de água (%)	%	96	91

3.3 DISPOSITIVOS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

O principal agente de degradação das alvenarias em componentes de gesso é a água, dois são os tipos de ensaios preconizados na NBR 15575-4 (ABNT,2013) que podem ser aplicados a vedações verticais a base de produtos minerais e que utiliza a ação da água como agente de degradação: a) verificação da ação do calor e choque térmico e; b)verificação da estanqueidade a água,

3.3.1 EQUIPAMENTO E METODOLOGIA UTILIZADA NOS ENSAIOS DA AÇÃO DO CALOR E CHOQUE TÉRMICO

A NBR 15575-4 (ABNT, 2013) no seu anexo E apresenta o princípio, a aparelhagem, e a metodologia para aplicação deste tipo de ensaio, neste há uma descrição do método utilizado para verificar o comportamento de Sistemas de Vedação Vertical Externo (SVVE) submetidos a ciclos sucessivos de calor proveniente de fonte radiante e resfriamento por jatos de água.

Os corpos de prova deve ser constituído por um trecho de parede acabada, executada com os detalhes construtivos a serem empregados em obra, tendo com extensão de $(1,20 \pm 0,20)$ m e a espessura característica, sendo simplesmente apoiados na base e livre no topo.

A aparelhagem é constituída de um painel radiante capaz de fornecer calor à face externa do corpo de prova de forma crescente e manter estabilizada a temperatura em $(80 \pm 3)^{\circ}\text{C}$ durante uma hora, sendo medida a deflexão lateral, a meia altura da face não exposta por deflectômetro de haste com resolução mínima de 0,02 mm. Termopares devem ser colocados na face exposta à ação do calor em quantidade superior ou igual a cinco em posições equidistantes.

A Figura 21 mostra o esquema de montagem e instrumentação do corpo de prova, constante na Norma.

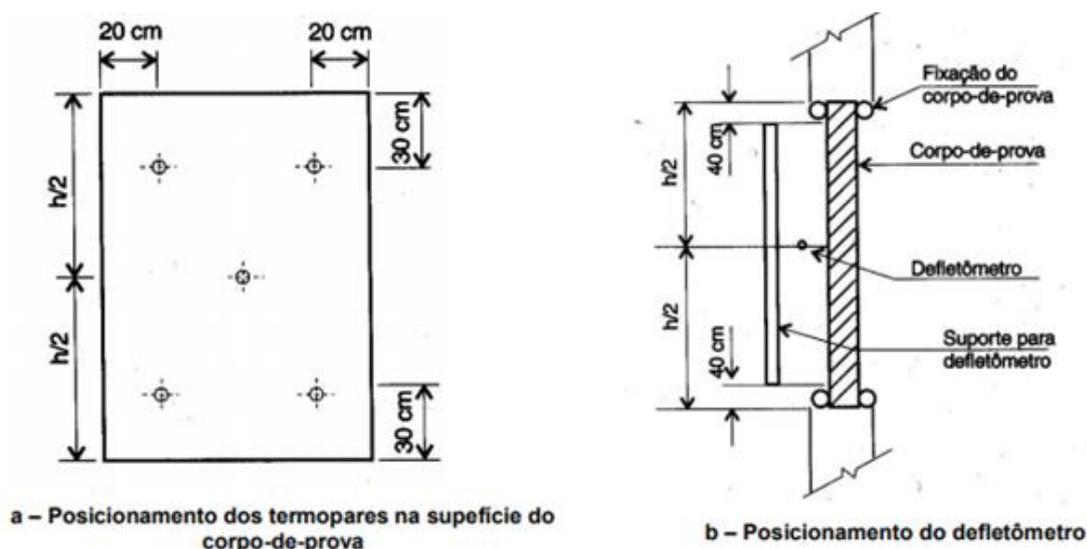


Figura 21-Esquema de montagem e instrumentação dos corpo-de-prova (NBR 15575-4, anexo E, (ABNT, 2013))

A Figura 22 mostra detalhes do equipamento de aquecimento utilizado nos ensaios de ação de choque térmico, este possui apenas quatro termopares de indução distribuídos equidistantes ao longo da altura. Na realização dos ensaios foram inseridos cinco sensores de temperatura complementares.



Figura 22-Equipamento de aquecimento utilizado nos ensaios de choque térmico

3.3.2 EQUIPAMENTO E METODOLOGIA UTILIZADA PARA A VERIFICAÇÃO DA ESTANQUEIDADE À ÁGUA

A NBR 15575-4 (ABNT, 2013) no seu anexo C, apresenta o princípio, a aparelhagem e a metodologia para aplicação deste tipo de ensaio. Nesta há uma descrição do método para verificar a estanqueidade à água de Sistemas de Vedação Vertical Externo (SVVE) por procedimentos de laboratório.

Os corpos de prova deve ser constituído por um trecho de parede acabada, executada com materiais e processos construtivos, bem como os detalhes de acabamento e revestimento a serem empregados em obra, com dimensões planas de no mínimo (1,05 x 1,05) m e espessura característica, na qual e fixada uma câmara de formato prismático.

A câmara de ensaio deve ser fixa na face que representa a parede externa, ou seja, a face externa da parede voltada para o interior da câmara. As áreas de contato entre o corpo-de-prova e a câmara devem ser vedadas através de guarnição de borracha, empregando-se, onde necessário, cera de abelha, EPS ou similar para garantir a vedação após os apertos dos fixadores, no caso parafusos transpassantes e apertados com porcas e arruelas.

O sistema de dispersão de água deve ser acionado e deve ser estabelecida uma vazão igual a $(3,0 \pm 0,3)$ dm^3/min , que deve ser mantida constante durante o ensaio. Em seguida, aplica-se a pressão pneumática especificada conforme a região bioclimática, especificada na Tabela 14 associada a Figura 23, e que deve ser mantida constante durante o ensaio, tendo este uma duração de 7 horas.

Tabela 14- Condições de ensaios de estanqueidade à água aplicados as paredes externas

Região do Brasil	Condições de ensaio de paredes	
	Pressão estática Pa	Vazão de água L / m ² min
I	10	3
II	20	
III	30	
IV	40	
V	50	

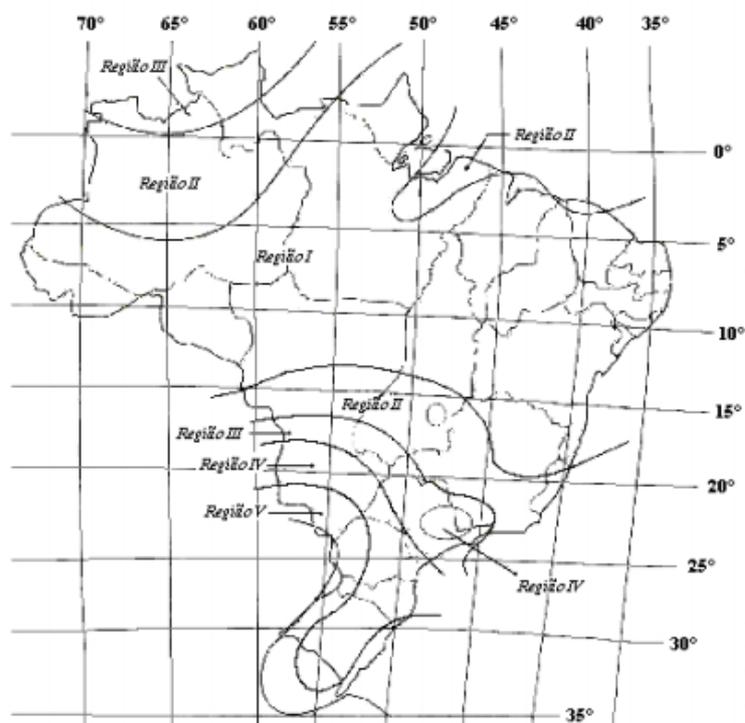


Figura 23-Condições de exposição de ventos nas regiões brasileiras (NBR 15575-4, anexo E, (ABNT, 2013))

A Figura 24 apresenta o esquema de montagem e as características do equipamento recomendado na NBR 15575-4, anexo E (ABNT, 2013d) e a Figura 25 mostra fotos do equipamento, com as disposições e as características técnicas dos dispositivos, utilizado nos ensaios de estanqueidade de sistemas de vedações verticais.

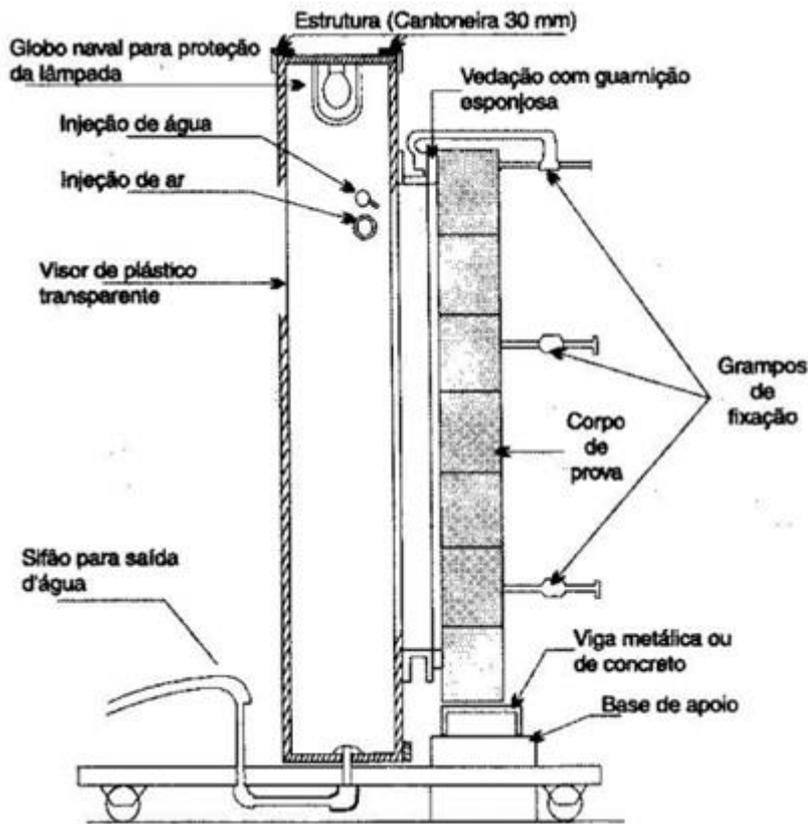


Figura 24-- Esquema de montagem e aparelhamento para ensaio de estanqueidade(NBR 15575-4, anexo E, (ABNT, 2013))



Figura 25- Detalhes do equipamento utilizado nos testes de verificação à estanqueidade à água

3.3.3 SENSORES DE UMIDADE E DE TEMPERATURA

Objetivando avaliar o avanço da umidade e da temperatura quando da realização dos ensaios de estanqueidade e choque térmico, foram instalados sensores em três profundidade distintas e equidistantes às faces dos corpos de prova. Inicialmente foram testadas sensores artesanais, a base de peças cerâmicas e

pares de fios condutores de cobre, avaliadas com multímetro, o que não mostrou sensibilidade e repetitividade esperada. Posteriormente, foram utilizados sensores industrializados, tipo 9SS19 (desenvolvidos para avaliar umidade em solos) e os sensores de temperatura LM35, sendo estes conectados a um circuito integrado CD4051, módulo SDCard, alimentado na base do circuito ARDUINO UNO.

3.3.3.1 SENSORES DE UMIDADE

A medição da umidade é um aspecto importante para avaliar os avanços e a mobilidade na superfície e no interior dos materiais. É possível encontrar na literatura vários métodos de monitoramento e medição da umidade, tanto na face externa quanto no interior dos componentes. Uma revisão da literatura sobre os métodos de medição de umidade foi apresentada por Said (2007) destacando métodos pelos princípios de medição: resistência, tensão (ddp), capacitância, micro-ondas ou térmicos. Os métodos de medição baseados de resistência elétrica utilizam as propriedades elétricas dos materiais que são sensíveis às variações do teor de umidade (resistência elétrica, constante dielétrica, radiofrequência).

Segundo Said (2007), os sensores à base de diferença de potencial elétrica são os mais adequados para aplicações de monitoramento contínuo, podendo ser conectados a um sistema de registro de dados, tendo como principal deficiência a durabilidade, que pode ser bastante curto em aplicações ao ar livre. Sensores baseados na resistência são usados para monitorar mudanças no nível de umidade dentro de materiais, bem como tempo de umidade das superfícies. Eles são duráveis e podem ser fabricados em casa. Seu desafio é para um sistema de instrumentação que pode medir uma ampla gama de resistência elétrica de poucos ohms (Ω) a várias centenas de $M\Omega$.

Uma preocupação com a aplicação de métodos para medição de umidade é, sem dúvida, a calibração e fatores de correção com a temperatura. Para alguns materiais, como certas espécies de madeira, há correlações mais precisas, para outros materiais de construção, os dados de calibração são bastante limitados e, neste caso, os sensores só poderiam indicar mudanças na umidade do material, sendo necessária a calibração desses para quantificar o teor de umidade. A Figura 26 mostra um sensor de umidade 9SS19 conectado ao módulo comparador dotado de potenciômetro e a Figura 27 mostra o sensor de temperatura LM35.

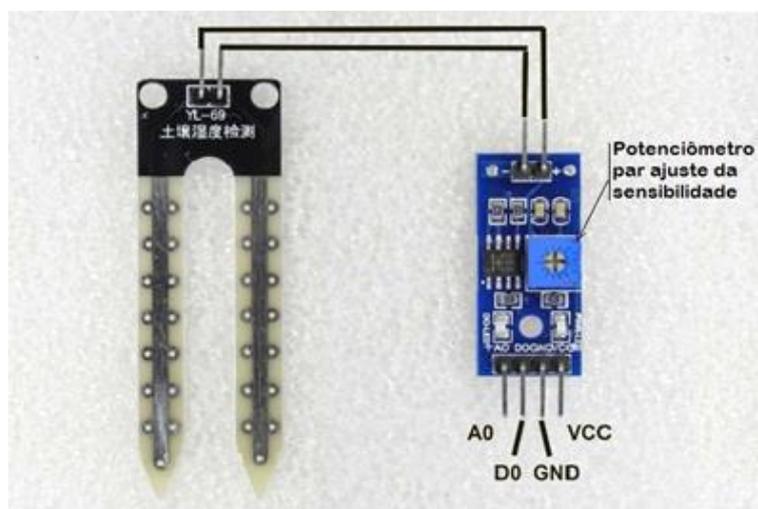


Figura 26- Sensor 9SS19 utilizado para registros de umidade

representativas durante todas as etapas de ensaios e testes das paredes e nos componentes. O valor máximo de 100% foi estabelecido quando da saturação por água na região do entorno dos sensores.

Desta forma as sondas H1, H2 e H3 informam a variação de umidade entre 0% (seco ao ar) equivalente à umidade relativa de $70\% \pm 2\%$ (equilíbrio higroscópico do ambiente laboratorial) e 100% (ponto de saturação) equivalente à máxima umidade captada pelos sensores no experimento dos ensaios de ascensão capilar.

3.3.3.4 AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO E AJUSTES DOS SENSORES DE UMIDADE

Os ensaios de ascensão capilar, mostrado na



a) pesagem do espécime com sensores instalados



b) exposição do espécime a ação da água

Figura 29, foi realizado medindo-se a massa da água absorvida e umidade constatada nos três sensores instalados no topo.



a) pesagem do espécime com sensores instalados



b) exposição do espécime a ação da água

Figura 29- Ensaio de capilaridade em amostras de blocos standard

A Tabela 15 apresenta os resultados dos ensaios de capilaridade no bloco standard. Nos primeiros 81 minutos do ensaio o coeficiente de absorção (A_w) apresenta uma tendência linear, sendo obtido o valor

de $0,83 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}^{1/2}$. Após este período de tempo observa-se uma perda de linearidade da curva de capilaridade, justamente quando foram observadas a formação de manchas de umidade no topo das amostras. A tabela 15 registra a determinação do índice de ascensão capilar, $IC = \frac{\Delta M}{A}$.

Tabela 15-Registro da ascensão por capilaridade no bloco standard

Tempo (s ^{1/2})	massa (g)	Ind. Cap. (kg/m ²)	H1(7,5cm)(%)	H2(5,0cm)(%)	H3(2,5cm)(%)
5,48	0	0	0,00	0,00	0,00
10,95	91,2	6,08	0,00	0,00	0,00
15,49	175,6	11,71	0,00	0,00	0,00
21,91	232,5	15,5	0,00	0,00	0,00
30,98	374,7	24,98	0,00	0,00	0,00
42,43	548,5	36,57	0,00	0,00	0,00
60	830,3	55,35	0,10	0,00	0,00
67,53	939,4	62,63	7,23	0,00	0,00
77,46	1133,9	75,59	22,82	5,69	0,00
83,07	1180,4	78,69	37,92	32,56	14,47
*87,10	1200,8	80,05	43,60	61,56	32,31
90,17	1213,3	80,89	60,23	92,13	68,62
94,2	1214,9	80,99	99,88	99,39	94,17
99,2	1215,9	81,06	99,98	98,53	98,78
119,1	1217,8	81,19	99,98	98,67	99,40

* Sendo observadas manchas de umidade no topo da amostra

A **Figura 30** apresenta o comportamento da umidade nos sensores instalados a 7,5 cm da borda superior (H1), a 5,0 cm da borda superior (H2) e a 2,5 cm da borda superior (H3), bem como o índice de ascensão capilar, conforme pode ser observado na Figura 31. O comportamento do índice de ascensão capilar está representado por uma linha de tendência linear com coeficiente de determinação (R^2) de 0,95%, bastante ajustada ao modelo.

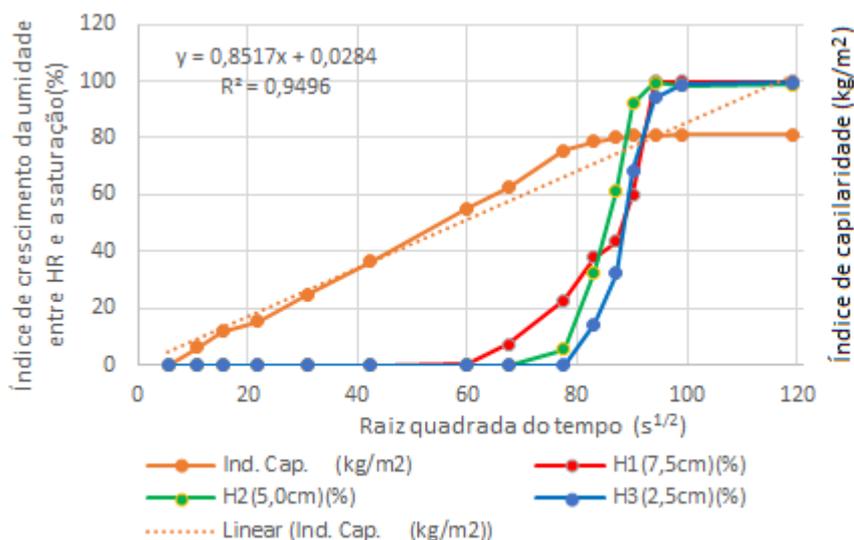


Figura 30-Comportamento da umidade por capilaridade em bloco standard



Figura 31-Ensaio de capilaridade em amostras de bloco de gesso hidro

Os resultados estão apresentados na Tabela 16 e na Figura 32 mostram o comportamento e a determinação do índice de ascensão capilar para o bloco hidro.

Observou-se que a permanência dos sensores de umidade no interior das amostras por mais de 96 horas podem sofrer degradação por oxidação provocando a perda de sensibilidade e consequente perda da utilidade dos sensores.

O coeficiente de absorção de água por capilaridade (A_w) apresentou nas primeiras horas valor aproximado de $0,029 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2})$ não sendo observado surgimento de mancha de umidade nas primeiras 140 horas de duração.

Tabela 16-Resultado da ascensão por capilaridade bloco hidro

T ^{1/2} (s ^{1/2})	ΔMassa (g)	Ind. Cap (kg/m ²)	H1 (%)	H2 (%)	H3 (%)
0,00	0	0,00	0	0	0
7,75	1	0,07	0	0	0
10,95	2	0,13	0	0	0
17,32	3	0,20	0	0	0
24,49	5	0,33	0	0	0
34,64	7	0,47	0	0	0
48,99	11	0,73	0	0	0
60,00	12	0,80	0	0	0
84,85	28	1,87	0,17	0,19	0,16
120,00	47	3,13	0	0	0,16
169,71	81	5,40	0	0	0
207,85	109	7,27	0,17	0,19	0,16
339,41	209	13,93	0	0	0
415,69	280	18,67	0	0	0
446,99	312	20,80	0,17	0	0,16
474,34	347	23,13	0,68	5,95	0
503,79	383	25,53	8,35	44,34	0,63
529,91	406	27,07	44,8	70,25	4,44
578,62	443	29,53	73,76	78,5	44,37
672,16	531	35,40	90,97	90,79	56,74
* 711,20	574	38,27	96,42	92,32	55,15
731,16	569	37,93	98,13	90,76	54,1

*sendo observada perda de desempenho dos sensores nas profundidades H2 e H3

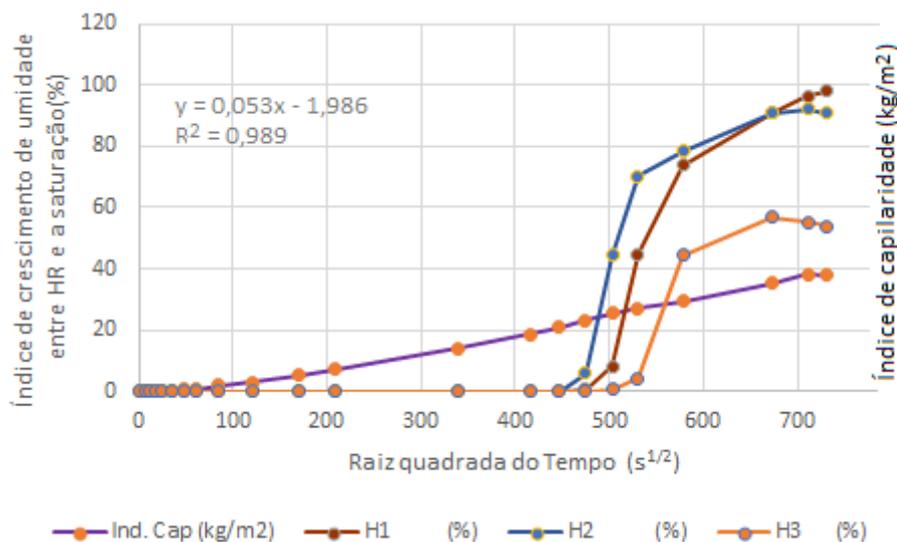


Figura 32-Comportamento da umidade por capilaridade nos blocos hidro

Procedendo-se um comparativo entre os dois tipos de blocos é possível perceber que o coeficiente de ascensão capilar (A_w) dos blocos hidro é 60 vezes inferior ao registrado no bloco standard.

Estes ensaios de ascensão capilar da água no interior dos dois tipos de blocos permitiu constatar a eficiência da utilização destes sensores na investigação do avanço da umidade no interior das paredes, sendo útil para a realização dos ensaios subseqüentes, bem como a calibração dos sensores para detectar o avanço nos níveis de umidade.

O nível de umidade inicial considerado foi a da umidade relativa registrada no ambiente laboratorial ($HR = 70\% \pm 3\%$) já que as alvenarias foram construídas com os componentes com esta umidade de equilíbrio e todos os ensaios foram conduzidos no período dos dias que a umidade relativa se mostrava atendendo esta campo limite do HR.

3.4 ENSAIOS DE CHOQUE TÉRMICO

3.4.1 PRINCÍPIO DO ENSAIO

Os ensaios de choque térmico seguem as recomendações apresentadas no anexo E da NBR 15575-4 (ABNT, 2013), em alvenarias construídas com blocos standard e com blocos hidro. No sentido de aprofundar melhor estas investigações, objetivando detectar o avanço da umidade ao longo da espessura das paredes, foram instalados sensores de umidade em três profundidades distintas entre faces, ao longo da espessura. Também foram realizadas medições de profundidade em áreas degradadas na superfície exposta à ação da água de forma a comparar com as observadas no protótipo construído no campus do ITEP.

Os ensaios de choque térmico têm como princípio a ação combinada de ciclos de aquecimento e resfriamento visando detectar manifestações patológicas que surgem devido a essa repentina ação ao longo da vida útil de elementos verticais de fachada.

A Figura 33 apresenta o esquema de aplicação do choque térmico segundo as diretrizes recomendadas no anexo E da NBR 15575-4 (ABNT, 2013), onde H_i representa os sensores de umidade e T_i sensores de temperatura.

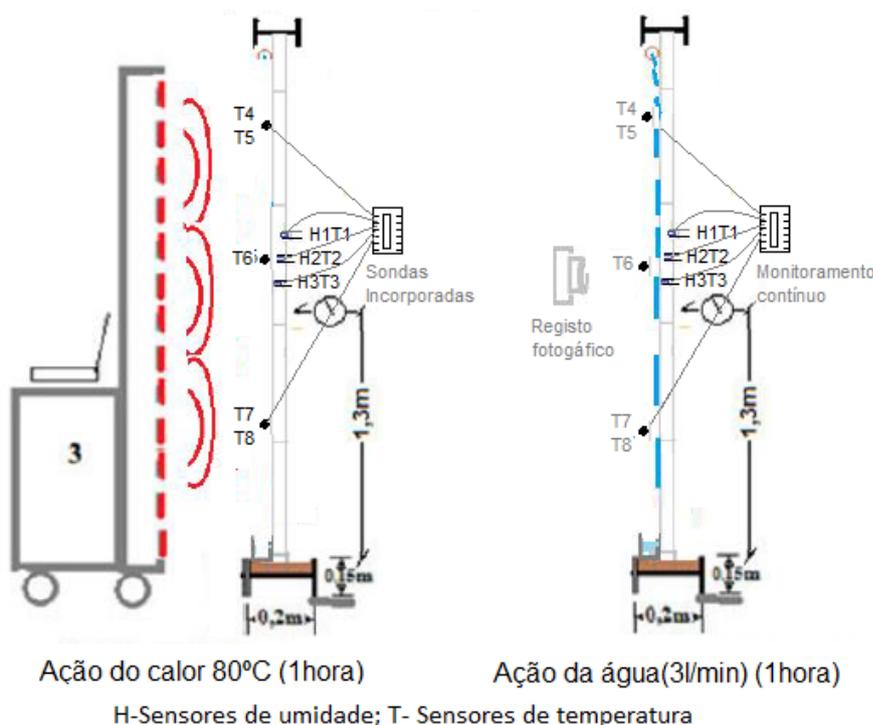


Figura 33-Esquema dos ensaios de choque térmico aplicado as paredes

3.4.2 PREPARAÇÃO DOS ESPÉCIMES

Para inserção dos sensores de umidade e de temperatura nas três posições espaçadas de 2,5 cm, distantes da face exposta em profundidades distintas (2,5 cm, 5,0 cm e 7,5 cm), foram realizados furos com broca utilizando furadeira e promovendo alargamento na direção vertical dos furos. Os sensores de umidade e de temperatura foram envolvidos por papel toalha e inseridos bem ajustados nos furos, de forma a possibilitar uma uniformização e melhor contato, bem como a garantia da presença da umidade quando esta atingir o sensor. A sequência do processo está apresentada na Figura 34.



Figura 34-Procedimentos para inserção dos sensores na parede

A Figura 35 mostra o aspecto e o posicionamento de todas as sondas instaladas na parede sob ensaio. Na face frontal estão os sensores de temperatura em cinco posições equidistantes e na face posterior destacam-se os três pares de sonda(a, b, e c - umidade e temperatura) um deflectômetro posicionado na parte central, a 1,3 m da base, e o sistema-arduino no canto inferior junto a mesa e o computador sobre a mesa.

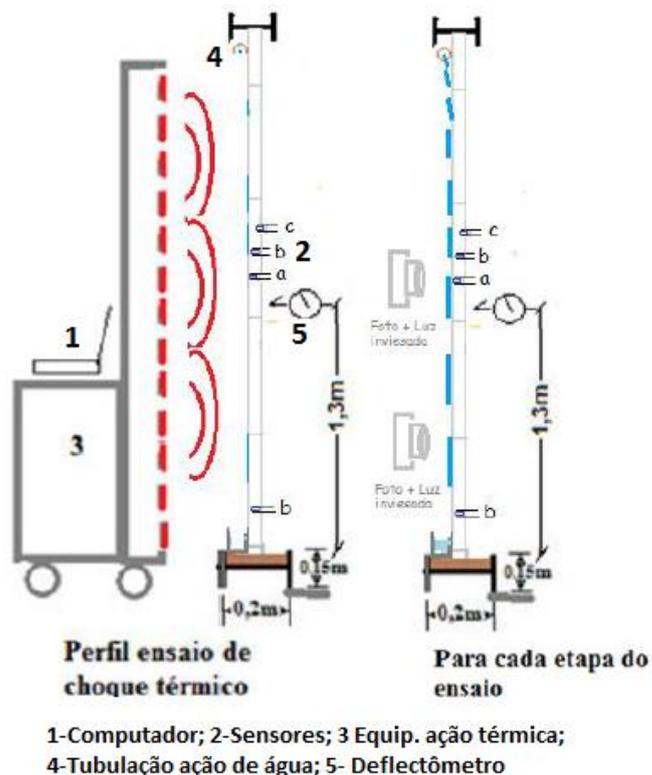


Figura 35-Esquema de ensaio de choque térmico

A Figura 36 mostra o aspecto da parede a ser ensaiada onde, na face frontal aparecem os sensores térmicos em cinco posições equidistantes e na face posterior destacam-se os três pares de sensores (umidade e temperatura), um defleto posicionado na parte central e o sistema Arduino no canto inferior junto a mesa e um computador.

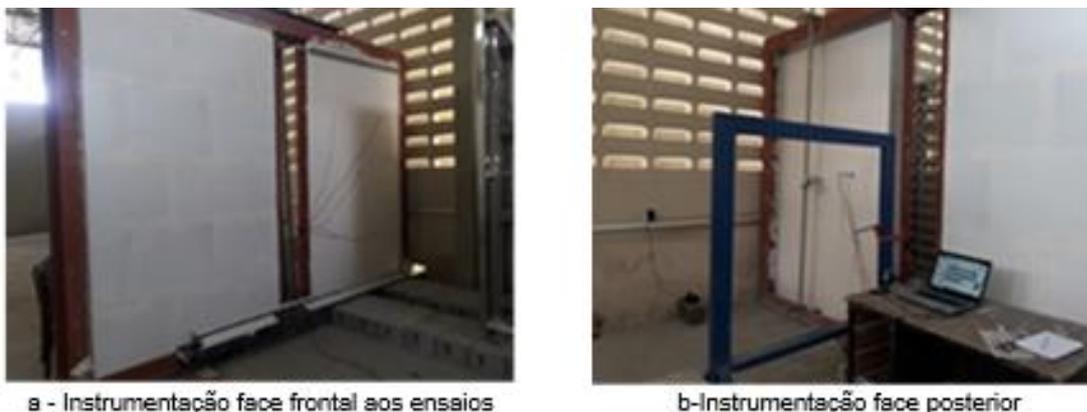


Figura 36-Posicionamento da instrumentação na parede de ensaio

3.4.3- PROCEDIMENTO DE ENSAIO

O ensaio de choque térmico, segundo o anexo E da NBR 15575-4 (ABNT, 2013), consiste no aquecimento contínuo da face de exposição até atingir a temperatura de $(80 \pm 3) ^\circ\text{C}$, permanecendo esta temperatura por 1 hora, sendo na sequência aplicada uma aspersão de água até atingir a temperatura de $(24 \pm 3) ^\circ\text{C}$. No ensaio realizado foi utilizada, logo após a ação da temperatura, a aplicação de aspersão de água de 3 l/min (como recomendado no ensaio de estanqueidade do anexo C da NBR 15575-4 (ABNT, 2013) durante 45 min, tempo suficiente para atingir a temperatura ambiente, uma vez que a ação da água é a que provoca maior deterioração nos blocos.

O ensaio consiste na repetição de 10 ciclos de aquecimento e resfriamento, sendo registradas, para cada ciclo a deflexão após 45 min da fase de estabilização da temperatura e as ocorrências de manifestações patológicas no objeto ensaiado.

3.4.3.1 Realização de ensaio em parede de alvenaria de blocos standard.

Na sequência estão apresentadas respostas de alguns ciclos de ensaios, dentre os 10 ciclos preconizados no anexo E da NBR 15575-4 (ABNT, 2013) que recomenda um período de 60 minutos de ação térmica incidente de $(80 \pm 3)^\circ\text{C}$ e na sequência, finalizada a ação térmica, um resfriamento com ação da água de $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$ durante 50 minutos, sendo investigadas as manifestações patológicas e deformação da parede.

A Tabela 17 apresenta os principais resultados obtidos durante o monitoramento do 1º ciclo de ensaio.

Tabela 17-Resultados das umidades e temperaturas no 1ºCiclo bloco standard

Tempo (min)	Umidade (%)			Temperatura($^\circ\text{C}$)								Deflexão $\text{mm} \times 10^{-2}$
	H1(7,5)	H2(5,0)	H3(2,5)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	
	Início da ação de elevação de temperatura											15,01
5	0,7	0,3	0,1	42,0	41,0	43,5	72,0	63,0	71,0	71,0	63,0	13,96
10	0,0	0,0	0,0	43,0	42,5	44,0	75,0	66,0	77,0	76,0	64,0	13,72
20	0,0	0,0	0,2	43,0	43,0	45,5	76,0	69,5	82,0	79,0	66,0	13,65
30	0,0	0,0	0,0	43,0	46,0	48,5	77,0	67,5	79,0	78,0	61,0	13,12
40	0,7	0,5	0,0	42,5	46,0	49,5	75,0	68,5	79,0	75,0	63,0	12,95
50	0,0	0,0	0,2	44,0	45,5	51,5	76,0	65,5	76,0	75,0	59,0	12,74
60	0,3	0,5	0,0	43,5	49,5	54,0	73,0	68,0	79,0	73,0	62,0	12,56
70	0,8	0,5	0,0	46,0	50,0	55,5	73,0	66,0	78,0	74,0	62,0	12,13
80	0,0	0,0	0,0	47,5	51,0	57,5	62,0	60,5	71,0	64,0	57,0	12,08
85	0,3	0,2	0,0	47,0	52,0	57,5	46,0	35,0	63,0	52,0	46,0	12,07
	Fim da ação da temperatura e início da ação da água											
90	0,0	0,0	0,0	47,0	53,0	60,0	43,0	43,0	20,0	44,0	40,0	12,42
100	0,4	0,8	8,2	48,5	54,0	56,0	44,0	37,5	43,0	98,0	42,0	13,63
110	1,4	1,1	42,2	50,5	53,0	53,0	43,0	40,5	37,0	49,0	41,0	14,26
120	63,2	59,3	56,7	49,5	50,5	50,5	43,0	40,0	33,0	70,0	41,0	14,39
130	97,4	95,7	99,6	48,5	49,5	49,0	44,0	40,0	38,0	56,0	41,0	14,47
140	99,8	99,8	81,5	47,0	48,5	48,5	43,0	40,0	45,0	46,0	41,0	14,59
	Fim da ação da água											

A Figura 37 mostra o comportamento da umidade e temperatura durante o 1º ciclo de choque térmico na parede de alvenaria de blocos standard.

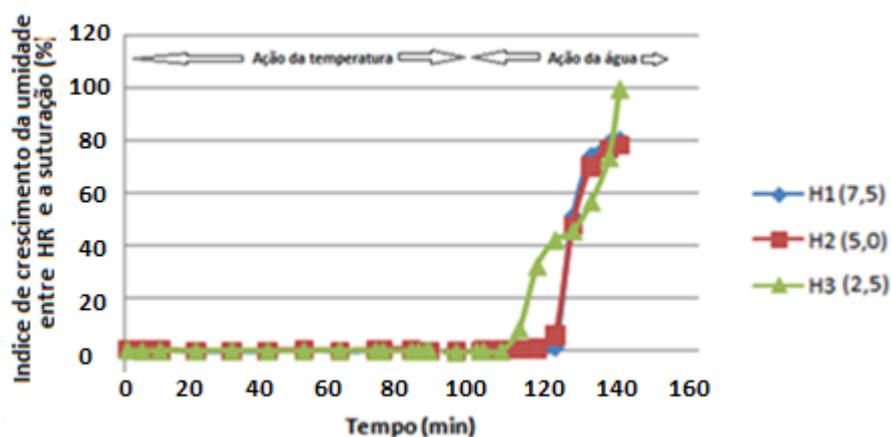


Figura 37-Comportamento dos sensores de umidade no ensaio de choque térmico 1º ciclo blocos standard

O sensor de umidade mais próximo da face exposta à ação dos ciclos térmicos e de água (H3), posicionado a 2,5 cm da face exposta às ações da temperatura e da água, apresentou resposta mais rápida que os demais (H1 e H2), posicionados a 5,0 cm e 7,5 cm desta face, respectivamente. Após 20 min, após o início da ação da água, todos os sensores apresentaram umidade elevada, próximo à saturação.

A Figura 38 mostra em detalhe a temperatura dos primeiros 138 minutos na fase de aquecimento e umedecimento/resfriamento dos sensores de temperatura internos (T1,T2 e T3) e dos sensores externos instalados na face exposta.

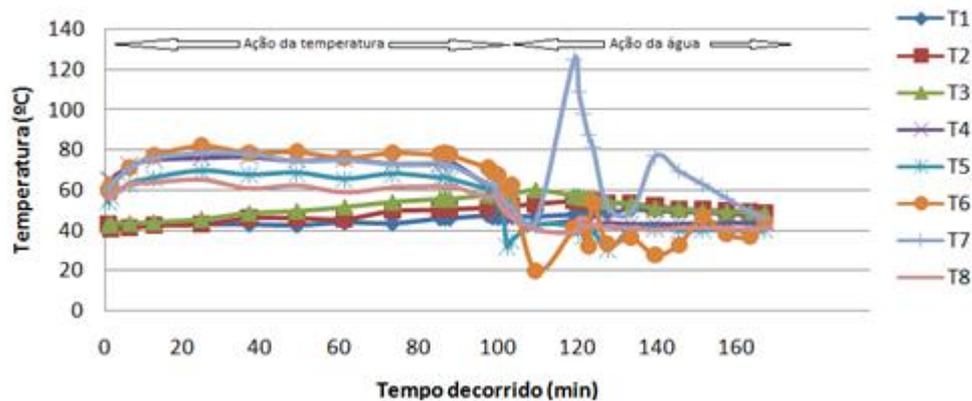


Figura 38 – Comportamento dos sensores de temperatura no ensaio de choque térmico no 1º ciclo blocos standard

Quanto à ação da temperatura, observou-se que após 18 minutos a temperatura dos sensores externos(T4, T5,T6 e T7) atingiram (80 ± 3) °C e permaneceram durante 60 minutos, sofrendo queda brusca com ação da água aplicada sobre a parede, em período igual a 60 minutos (referente ao período de 18 minutos a 78 minutos).

Os sensores de temperatura internos e opostos à face de incidência de calor (T1, T2 e T3) demoram mais a atingir temperaturas altas e não chegaram a atingir 60 °C e após o início da fase de resfriamento, bem como ofereceram uma maior resistência para baixar a temperatura.

Após 90 minutos o sensor T7 sofre avaria instantânea por curto e mostrou picos não reais, sofrendo intervenção e restabelecendo suas funções.

A Figura 39 e a Figura 40 seguinte mostram as paredes após a aplicação do filme de água para resfriamento com duração de 60 min.



Figura 39-Aspectos inicial e final da face exposta da parede após ação da temperatura e da água



Figura 40-Detalhes da face exposta após conclusão do 1ºciclo do choque térmico

Após a conclusão do primeiro ciclo se observou, nesta face exposta, a perda de brilho e o início da formação de rugosidade direcionada na vertical.

A Figura 41 mostra o aspecto da face posterior no início das primeiras manifestações de infiltração com o aparecimento de manchas de umidade pelas juntas e após a conclusão do ciclo de ensaio. Nesta face (posterior) foram observadas manchas em quase toda a extensão da parede após o ensaio desse 1º ciclo. As juntas constituem-se na região mais vulnerável. Em algumas destas juntas foi possível observar vazamento de água. Nesta mesma figura se observa o aspecto da face posterior no início das primeiras manifestações de infiltração com o aparecimento de manchas de umidade pelas juntas e após a conclusão do ciclo de ensaio quase toda superfície posterior mostrou manchas de umidade.



Figura 41-Aspectos da face posterior, no início e após ação da água

Após a conclusão do primeiro ciclo a parede ficou muito úmida no seu interior, por isso se deu um período de 2 semanas para reiniciar novos ciclos.

Do 2º ao 5º ciclo os resultados foram semelhantes. A Tabela 18 apresenta os principais resultados dos sensores de umidade e temperatura no 5º ciclo na parede de blocos standard. Após sua conclusão e após a parede secar foi possível fazer uma avaliação dos níveis de degradação superficial, apresentado no item 3.4.4, ao final desta etapa.

Tabela 18-Registros das umidades e temperaturas no 5º ciclo: bloco standard

Tempo (min)	Humidade relativa			Temperaturas						Deflexão mmx10 ⁻²
	H1(7,5)	H2(5,0)	H3(2,5)	Tint(°C)	Text(°C)	T4(°C)	T6(°C)	T7(°C)	T8(°C)	
5	0,24	0,00	0,76	28,00	29,00	25,00	24,00	24,00	25,00	11,3
10	0,83	0,13	0,89	28,00	29,10	25,00	25,00	25,00	25,00	11,33
15	0,95	0,25	1,14	28,00	28,80	25,00	23,00	26,00	28,00	11,12
20	1,31	0,25	2,03	28,00	29,10	52,00	57,00	61,00	62,00	10,94
25	0,83	0,13	2,66	28,00	29,60	61,00	61,00	68,00	68,00	10,79
30	1,19	0,25	3,17	28,00	30,00	64,00	65,00	72,00	73,00	10,5
35	0,95	0,25	5,20	28,80	30,20	71,00	74,00	79,00	79,00	10,28
40	0,95	1,02	5,33	29,10	30,40	75,00	79,00	80,00	80,00	10,05
45	0,60	1,91	4,31	30,00	30,60	77,00	80,00	80,00	80,00	10,03
50	1,31	3,94	9,26	31,50	30,90	80,00	80,00	79,00	80,00	10,02
55	2,03	5,34	9,00	32,00	31,00	80,00	78,00	78,00	80,00	10,03
60	2,63	7,75	11,16	34,00	31,20	79,00	80,00	80,00	80,00	10,02
65	3,10	8,26	10,40	35,00	31,40	79,00	80,00	80,00	80,00	10,02
70	4,89	9,02	13,18	36,10	31,60	79,00	80,00	80,00	80,00	10,02
75	9,07	12,45	14,83	37,00	31,70	79,00	78,00	79,00	80,00	10,02
80	12,52	13,97	14,83	38,00	31,80	80,00	79,00	79,00	80,00	10,01
85	15,51	16,78	14,07	39,00	31,90	79,00	80,00	80,00	79,00	10,02
90	16,81	18,55	14,46	40,00	32,00	80,00	80,00	80,00	79,00	10,2
95	17,65	19,31	14,83	41,00	32,20	80,00	80,00	80,00	80,00	10,02
Fim da ação do calor e início de resfriamento										
100	18,84	23,12	16,23	41,00	32,20	67,00	67,00	68,00	67,00	10,02
105	20,75	24,27	20,61	42,00	32,40	60,00	61,00	61,00	60,00	10,03
110	20,39	25,49	23,47	42,00	32,40	57,00	57,00	58,00	57,00	10,03
115	20,63	25,92	31,80	42,70	32,50	48,00	47,00	48,00	48,00	10,06
120	22,90	29,48	39,48	42,50	32,70	39,00	29,00	40,00	39,00	10,35
125	23,61	30,11	42,82	44,00	32,80	34,00	34,00	35,00	34,00	10,35
130	25,40	31,26	48,62	43,80	32,90	30,00	30,00	30,00	30,00	10,73
135	27,07	33,03	53,94	43,00	33,10	27,00	28,00	27,00	28,00	10,73
140	26,00	34,81	56,18	43,00	33,10	28,00	27,00	27,00	28,00	10,72
145	27,43	32,78	59,39	41,40	33,30	27,00	27,00	27,00	28,00	10,94
150	28,98	37,87	61,54	40,50	32,90	27,00	28,00	28,00	28,00	10,95
155	30,29	45,23	66,77	39,50	33,20	27,00	27,00	28,00	28,00	10,95
160	41,74	63,02	71,55	39,00	33,30	27,00	28,00	27,00	27,00	11,32
Fim da ação do resfriamento										
165	52,95	70,65	76,98	38,20	33,50	27,00	27,00	28,00	28,00	11,32
170	86,10	87,72	86,70	38,00	33,50	27,00	28,00	28,00	29,00	11,35
180	98,98	100,00	99,65	37,00	33,30	29,00	28,00	28,00	29,00	11,28
190	99,19	99,92	97,75	37,00	33,40	28,00	28,00	29,00	29,00	11,28
200	99,12	98,47	94,58	36,00	33,50	29,00	28,00	29,00	29,00	11,28
215	98,77	97,08	92,55	35,50	33,50	29,00	28,00	29,00	29,00	11,28
225	98,28	96,06	91,79	35,20	33,70	29,00	29,00	29,00	29,00	11,28
235	98,14	94,66	91,66	35,00	33,70	29,00	29,00	29,00	29,00	11,53
250	97,58	93,90	91,79	35,00	33,70	28,00	29,00	29,00	29,00	11,58
260	97,09	92,89	91,16	34,20	33,80	28,00	28,00	28,00	28,00	11,53
270	97,09	91,23	91,16	34,00	33,80	28,00	28,00	28,00	28,00	11,53
280	96,60	90,72	91,28	33,80	33,10	28,00	28,00	28,00	29,00	11,53
300	96,25	90,08	91,28	33,50	32,60	28,00	28,00	28,00	28,00	11,53
315	95,97	89,58	91,16	33,20	32,50	28,00	28,00	28,00	28,00	11,53

A Figura 42 mostra o comportamento dos sensores de umidade na parede de alvenaria de blocos standard durante o 5º ciclo de ensaio de choque térmico.

A Figura 43 mostra o comportamento dos sensores de temperatura na parede de alvenaria de blocos standard durante o 5º ciclo de ensaio de choque térmico.

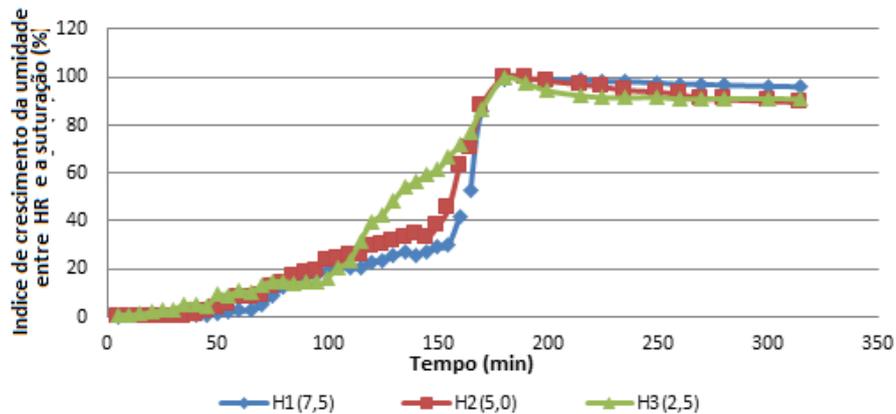


Figura 42 – Comportamento dos sensores de umidade no ensaio de choque térmico no 5º ciclo blocos standard

Neste ciclo foram substituídos os sensores de umidade por outros novos, tendo sido perdidos os sensores de temperatura interno, o qual foi substituído pela colocação de um termômetro de mercúrio posicionado junto a sonda H3 (5,0 cm da superfície exposta).

Os sensores de temperatura internos foram prejudicados com a substituição dos sensores de umidade, permanecendo apenas os sensores externos. Internamente foi colocado um termômetro analógico 5,0 cm de profundidade (Tint) e foi acrescido o monitoramento da temperatura exterior (Text).

O Figura 43 mostra a fase aquecimento e resfriamento aplicado sobre a parede.

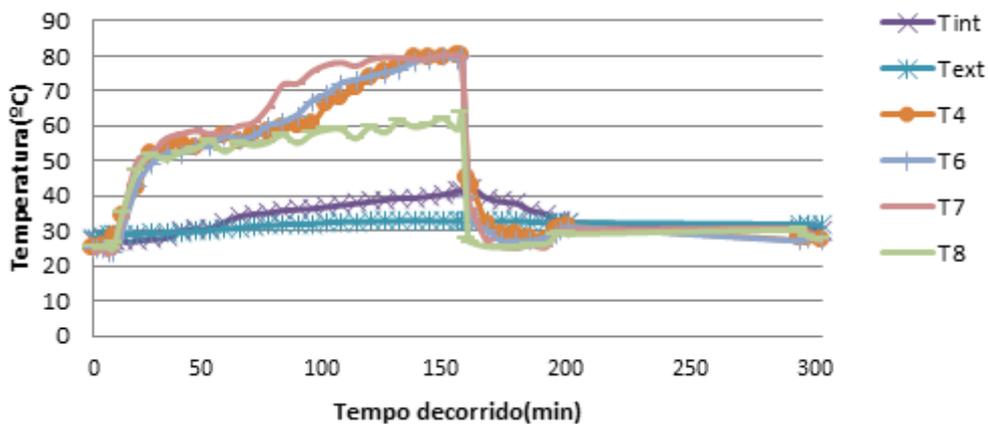


Figura 43 - Comportamento dos sensores de temperatura no ensaio de choque térmico no 5º ciclo de blocos standard

As fotos apresentadas na Figura 44 e na Figura 45 mostram os aspectos registrados após a conclusão do 5º ciclo de ensaios de choque térmico. Observou-se o crescimento do desgaste superficial na face exposta e as infiltrações na face posterior, principalmente pelas juntas, e manchamento generalizado pelos blocos, guardando semelhança ao primeiro ciclo.



Figura 44- Aspecto das faces exposta e posterior a ação do choque térmico no 5º ciclo

As fotos apresentadas na Figura 45 mostram o aspecto da face exposta com desgaste mais acentuado.



Figura 45-Detalhes da face exposta após ações do 5º ciclo

Na Tabela 19, na Figura 46 e na Figura 47 estão apresentados os resultados do 10º ciclo, sendo semelhante aos anteriores, também após sua conclusão e após a parede secar foi possível fazer uma avaliação dos níveis de degradação superficial, apresentado no item 3.4.4, ao final desta etapa.

A realização dos últimos ciclos se fez em sequência em dias posteriores, porém não se fez esperar a secagem, como aconteceu até o 5º Ciclo. Os resultados mostraram comportamento similar, embora iniciando com teor de umidade elevado e a temperatura demorando mais a se estabilizar a 80 °C, resultando em um ensaio mais demorado.

Tabela 19-Resultado das medições das umidades e temperatura no 10ºciclo:blocos standard

Tempo (min)	Umidade(%)			Temperaturas (°C)					
	H1(7,5)	H2(5,0)	H3(7,5)	T4	T6	T7	T8	Tint	Text
0	19,6	33,2	28	25	25	24,5	25,6	27,1	28
2	18,4	31,6	26,8	25,1	25	24,5	25,8	27,1	28
6	18	32,4	28	25,6	25	25	25,6	27,1	28,6
10	17,6	32,8	26	25	24	23,4	25,6	27	29
13	19,2	34,8	22	25,2	24	24,7	24,9	27,1	29,1
INÍCIO DA AÇÃO DA TEMPERATURA									
15	20,4	36,4	23,6	28,5	26	26	26,8	27,1	29
20	21,2	38	25,2	34	30	33,4	35,2	27	29,2
30	22	39,6	27,2	42,4	43	49,8	47,5	27,4	29,2
40	29,2	47,6	37	52,1	49	52,2	52	27,8	29,4
50	23,2	42	42,4	53,4	52	56,3	50,6	28,2	29,5
60	24	43,6	38,4	55,6	52	57,6	52,7	30,1	29,7
70	26,8	44,8	37,2	53,6	54	58,5	53,6	30,7	30
80	26,8	41,6	35,2	55,4	54	57,7	56	30,9	30,3
90	29,6	42,4	35,2	57,3	57	58,1	52,9	32,7	30,6
100	30,4	43,2	34	55,6	56	59,9	55,3	34,3	31
110	30,4	41,6	33,6	57,7	57	60,9	54,6	35	31,5
120	31,2	39,2	32,4	58,2	60	65,2	55,5	35,3	31,6
130	32	37,6	32	59,4	61	71,6	57,7	36	32
140	33,2	38,4	31,6	59,7	63	71,9	55,3	36,3	32
150	33,2	34,8	31,6	60,6	67	75,3	57,9	36,5	32,1
160	33,6	22,4	32	66	69	77,2	59,1	37	32,6
170	32,4	27,6	33,6	68	72	77,9	59,3	37,5	32,7
180	33,2	17,2	33,2	70,7	73	76,9	56,6	38	32,7
190	31,6	17,2	32,4	73,7	74	78,7	59,9	38,5	32,8
200	32,8	21,2	32,4	75,3	75	79,4	58,3	39	32,9
210	30,8	18	32	77	76	79,2	61,5	39,5	33
220	32,4	18	32	79,2	78	79	59,9	39,5	33
230	32,4	17,6	32	79,1	79	79	60,7	40	33,1
240	39,2	22,8	32,5	79,6	80	80,1	62,4	40,5	32,9
250	31,6	21,2	34,4	80	79	79,9	59,1	41,5	32,9
253	32,4	17,6	35,2	79,8	80	79,4	63,9	41,5	33
FIM DA AÇÃO DA TEMPERATURA E INÍCIO DA AÇÃO DA ÁGUA									
257	35,6	22,8	33,6	44,9	40	38,9	27,9	42	33
260	53,2	44	49,6	42,8	33	35,9	26,9	42	33
270	93,2	98,4	99,2	32	30	27,1	25,8	39,5	32,9
280	94,4	92,8	98,8	29,1	27	25,6	25,6	38,5	33
290	92,8	93,6	98	29,2	27	25,1	25,6	38	32,9
300	89,6	86,6	94,4	27,6	27	26,1	26,4	36	32,7
310	91,2	87	94	27,1	28	25,3	26,4	35	32,5
317	97,6	86,8	86,1	30,3	29	29,1	28,9	33	32,3
FIM DA AÇÃO DA ÁGUA									
320	99,2	91,2	85,8	30,9	30	29,9	29,7	33	32,3
325	99,6	87,2	84	31,5	31	30,3	29,4	32,5	32,5
485	91,2	86,8	81,6	27,6	27	30,8	30,5	31	32
490	91,6	86	81,2	28,1	28	29,1	28,6	31	32
500	89,6	90,8	79,6	27,4	27	27	27,9	30	31,8

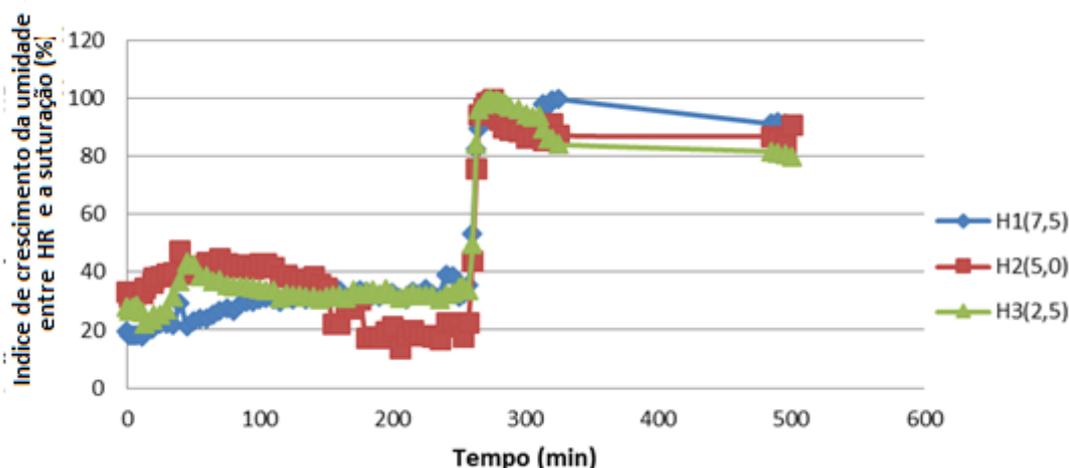


Figura 46 - Comportamento dos sensores de umidade no ensaios de choque térmico no 10º ciclo de blocos standard

A parede ainda saturada devido aos ciclos de ensaios anteriores interfere nos sensores que já iniciam com umidade elevada, entre 19% e 33% acima da umidade relativa ambiente(HR). Este gráfico também mostra que a ação da temperatura faz reduzir mais fortemente o sensor intermediário, que se eleva rapidamente para os níveis mais altos, próximo a 100% de umidade relativa, e que se mantém após a ação da água.

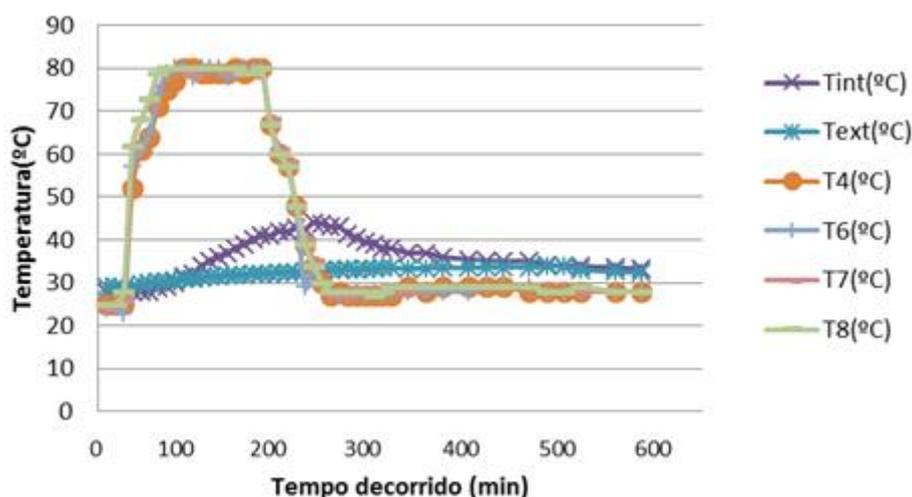


Figura 47 - Comportamento os sensores de temperatura no ensaios de choque térmico no 10º ciclo blocos standard

A Figura 48 mostra os aspectos da face exposta sob a ação do ensaio. Observa-se que além dos vazamentos pelas juntas e humificação dos blocos que formam toda a parede, constata-se crescimento de fissuras nas juntas e no maciço de alguns blocos, como destacam as fotos, mostrando que as juntas apresentam região de fragilidade quanto a perda de material e de variação dimensional, transformando-se em zonas preferenciais para as infiltrações de água.



Figura 48-Aspectos da face exposta após a conclusão do 10ºciclo

Na Figura 49 pode ser observado um crescimento maior das fissuras nos blocos, tanto nas juntas quanto no próprio bloco. A ação da temperatura em blocos saturados, após 10 ciclos de ação de choque térmico, contribui para formação das fissuras nos blocos e no constante aumento das fissuras nas juntas entre blocos. O efeito da solubilização na superfície da alvenaria se mostra mais acentuado com a conclusão dos 10 ciclos de ensaio, a superfície com a formação de veio e em alguns pontos se observa obturação, possivelmente por falta de homogeneidade da pasta na fabricação.



Figura 49-Detalhes da formação de fissura na parede após 10ºciclo

3.4.3.2 REALIZAÇÃO DE ENSAIO EM PAREDE DE ALVENARIA DE BLOCOS HIDRO.

Na construção da parede de alvenaria com blocos hidro (h2 de Norma), caracterizado com a cor azul, foi observado, após a realização do 1º ciclo, que dois desses blocos, semelhantes aos hidro, na verdade, os blocos standard, estando localizados na segunda fiada. Por sorte não interferiram na avaliação dos sensores de umidade, o que permitiu proceder uma avaliação simultânea com o desempenho dos ensaios nos dois tipos de blocos.

A Figura 50 mostra os aspectos da parede, vista frontal e posterior, destacando posicionamento dos blocos pseudo hidro na parede de alvenaria de blocos hidro localizados na segunda fiada inferior.



Figura 50-Aspecto dos blocos que compõe a parede, considerados hidro

Na sequência estão apresentadas respostas de alguns ciclos de ensaios, dentre os 10 ciclos preconizados no anexo E da NBR 15575-4 (ABNT, 2013).

A Tabela 20 apresenta os principais resultados obtidos durante monitoramento dos sensores, quando da realização do 1º ciclo de ensaios na parede construída com blocos hidro.

Tabela 20-Resultados das medições das umidades e temperaturas no 1ºCiclo-bloco hidro

Tempo (min)	Umidade (%)			Temperatura (°C)					
	H1(7,5)	H2(5,0)	H3(2,5)	T4	T6	T7	T8	T int	Text
1	0,64	0,96	0,48	24	25	27	27	30,5	31
2	0,48	0,32	0,32	25	27	29	29	30,5	31
5	0,32	0,96	0,48	26	28	28	29	30,5	31
Início ação da temperatura									
9	0,64	0,8	0,8	27	28	29	29	30,5	31,1
10	0,32	0,64	0,96	32	36	37	40	30,5	31,1
20	0,8	0,64	0,64	48	66	74	75	31	31,3
30	0,8	0,8	0,8	50	74	79	80	32,5	31,5
40	0,48	0,64	0,48	51	78	79	80	35,5	31,3
50	0,64	0,8	0,8	52	78	79	79	38	31,6
60	0,48	0,64	0,64	53	79	80	79	40,5	31,7
70	0,96	0,8	0,8	55	79	79	81	42	32,5
80	0,64	0,96	0,64	54	79	79	80	44	32,6
90	0,64	0,8	0,8	55	80	80	80	46	32,8
100	0,32	0,8	0,96	56	80	79	81	48	32,7
Fim da ação da temperatura e início ação da água									
105	0,32	0,96	0,8	56	79	79	80	48,5	32,6
110	0,48	0,32	0,32	53	57	57	55	49	32,4
120	0,64	0,96	0,8	43	41	39	39	50	32,7
130	0,48	0,8	0,64	30	31	28	29	50	32,5
140	0,48	0,8	0,64	28	29	27	29	48,5	32,1
150	0,64	0,8	0,64	27	27	27	29	46	32,4
160	0,32	0,64	0,64	27	26	27	27	45	32,6
165	0,32	0,48	0,48	28	27	28	28	44	32,5
Fim da ação da água									
170	0,64	0,8	0,64	27	27	27	29	46	32,6
180	0,64	0,48	0,64	28	29	29	31	42	33,2
190	0,32	0,48	0,32	28	29	30	32	40,5	33,2
195	0,48	0,64	0,8	29	30	31	33	40	33,1
200	0,64	0,8	0,96	29	31	31	34	39	33
210	0,64	0,8	0,64	29	31	30	34	39	33,1

A Figura 51 e a Figura 52 mostram o comportamento da umidade e da temperatura no 1º ciclo do ensaio de choque térmico na parede de blocos hidro. Nesta avaliação foram inseridos um termômetro analógico junto ao sensor H2(5,0 cm), no centro do bloco, e foram considerados também a temperatura e a umidade relativa do ambiente, registradas no termo-higrômetro de bancada.

Nestas avaliações foram substituídos os sensores de umidade internos, segundo o mesmo posicionamento, porém os sensores de temperatura internos (T1, T2 e T3) não puderam ser aproveitados, sendo substituídos por um termômetro analógico(Tint) inserido no interior de um dos furos, na profundidade de 5,0 cm, meio do bloco. Outra alteração foi o registro, ao longo dos ensaios, da medição da temperatura e da umidade relativa no laboratório.

Ainda na **Figura 51** é possível observar que os sensores de umidade internos na parede de bloco hidro que não registram variação de umidade significativa ao longo de todo o ensaio.

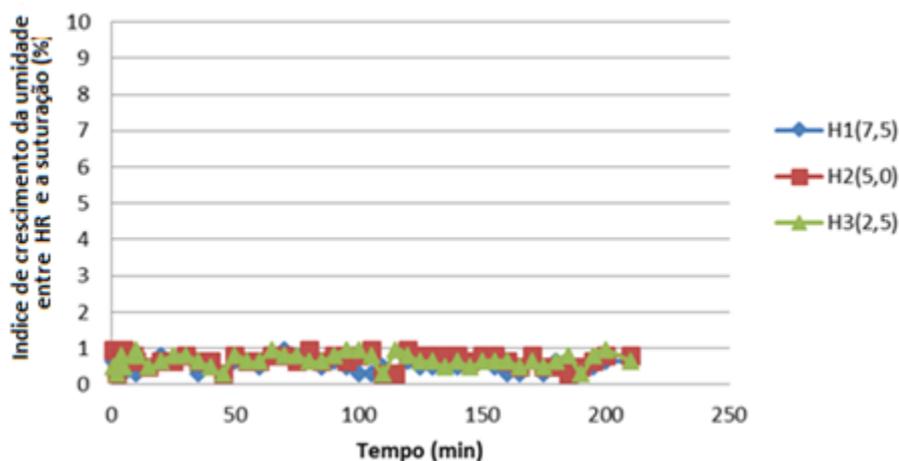


Figura 51 - Comportamento dos sensores de umidade no ensaio de choque térmico no 1º ciclo blocos hidro

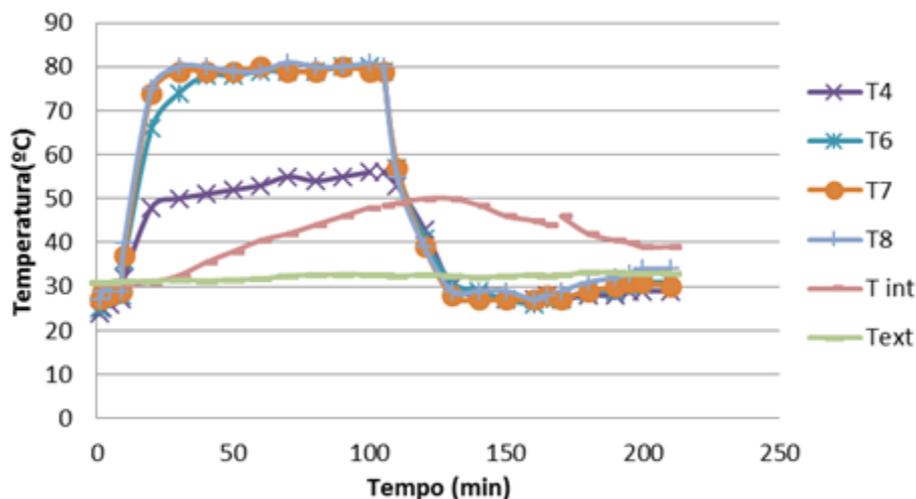


Figura 52 - Comportamento dos sensores de temperatura no ensaios de choque térmico no 1º ciclo blocos hidro

A Figura 53 mostra os aspectos dos blocos da alvenaria após a realização do 1º ciclo de ensaio. Observa-se notadamente o comportamento diferenciado entre os dois tipos de blocos (considerando os dois pseudo hidro (h3) situados na segunda fiada e os demais blocos hidro (h2)).

Ainda na Figura 52 é possível perceber que durante todo período de ensaio, inclusive o de molhagem e posterior a este, não são identificadas variações dos níveis de umidade em todos os sensores, permanecendo praticamente nulos.



Figura 53-Aspectos da face exposta após o 1º ciclo

Na face posterior foram observadas infiltrações pelas juntas entre blocos, o que forçou a colocação de dispositivo(fita adesiva, que impedisse que a água percolada atingisse os sensores, ver Figura 54).

Na sequência são apresentados os resultados do 5º ciclo, sendo semelhante aos anteriores. Após a parede secar foi possível fazer uma avaliação dos níveis de degradação superficial, apresentado no item 3.4.4, ao final desta etapa.

Um registro importante é que logo após a realização dos ensaios do 1º ciclo foi registrado infiltração de água entre as juntas, o que levou a colocação imediata de uma fita adesiva, com pequena dobra, possibilitando o direcionamento das águas de infiltração da junta logo acima dos sensores para outro caminho, de forma a não infiltrar nos sensores pelo lado posterior da parede.



Figura 54-Colocação de fita adesiva para direcionar água infiltrada pela junta

A Tabela 21 apresenta os principais resultados obtidos durante monitoramento com as sondas, termômetros e higrômetros, quando da realização do 5ºCiclo de ensaios na parede de blocos hidro.

Tabela 21-Resultados das medições das umidades e temperatura no 5ºciclo: blocos hidro

Tempo (min)	Umidade (%)			Temperatura (°C)					
	H1(7,5)	H2(5,0)	H3(2,5)	T4	T6	T7	T8	T int	Text
1	0,64	0,96	0,48	24	25	27	27	30,5	31
5	0,32	0,96	0,48	26	27	28	29	30,5	31,1
Início ação da temperatura									
7	0,64	0,8	0,8	27	28	29	29	30,5	31,1
10	0,64	0,8	0,96	32	36	37	40	30,5	31,1
20	0,96	0,32	0,48	48	66	74	75	31	31,3
30	0,64	0,64	0,64	50	74	79	80	32,5	31,5
40	0,48	0,48	0,32	51	78	79	80	35,5	31,3
50	0,64	0,8	0,8	52	78	79	79	38	31,6
60	0,32	0,48	0,32	53	79	80	79	40,5	31,7
70	0,48	0,64	0,96	55	79	79	81	42	32,5
80	0,32	0,8	0,8	54	79	79	80	44	32,6
90	0,32	0,48	0,48	55	80	80	80	46	32,8
100	0,48	0,64	0,32	56	80	79	81	48	32,7
105	0,32	0,8	0,64	56	79	79	80	48,5	32,6
Fim da ação temperatura e início ação da água									
110	0,48	0,32	0,32	53	57	57	55	49	32,4
115	0,32	0,32	0,96	48	45	45	51	49,5	32,4
120	0,64	0,96	0,8	43	41	39	39	50	32,7
130	0,48	0,8	0,64	30	31	28	29	50	32,5
140	0,48	0,8	0,64	28	29	27	29	48,5	32,1
150	0,64	0,8	0,64	27	27	27	29	46	32,4
160	0,32	0,64	0,64	27	26	27	27	45	32,6
170	0,32	0,48	0,48	28	28	28	28	43,5	32,5
175	0,48	0,64	0,64	28	28	29	28	43	32,4
Fim da ação da água									
180	0,64	0,48	0,64	28	29	29	31	42	33,2
190	0,32	0,48	0,32	28	29	30	32	40,5	33,2
200	0,64	0,8	0,96	29	31	31	34	39	33
210	0,64	0,8	0,64	29	31	30	34	39	33,1

O Figura 55 e o Figura 56 mostram o comportamento de todos os sensores utilizados, sob o mesmo procedimento realizado no 5º ciclo.

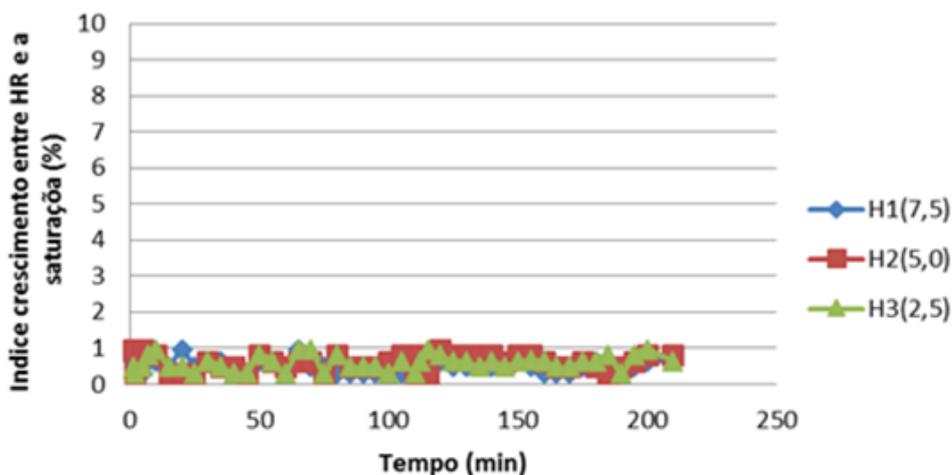


Figura 55 - Comportamento dos sensores de umidade no 5º ciclo blocos hidro

Este gráfico mostra em detalhe o comportamento dos sensores de umidade que quase não sofreram alteração significativa, a menos da sensibilidade da medição, durante o ensaio.

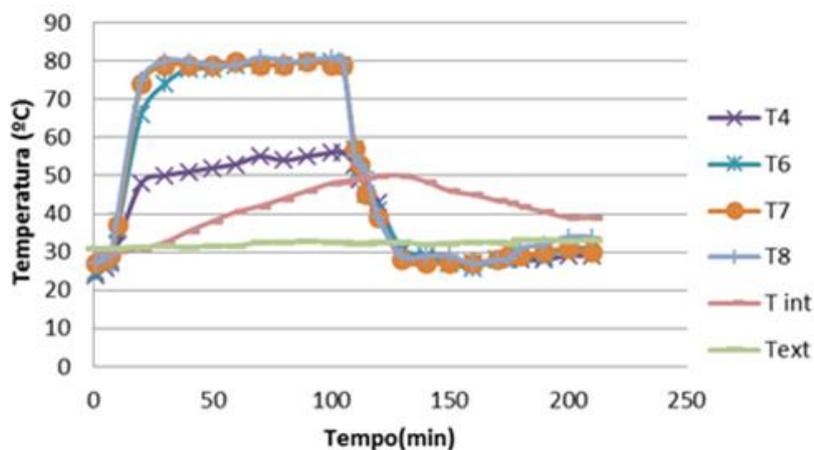


Figura 56 - Comportamento dos sensores de temperatura no 5º ciclo blocos hidro

A Figura 57 mostra os aspectos dos blocos da parede após a realização do 5º ciclo de ensaio. Observa-se o aprofundamento da degradação nos blocos pseudo hidro(2a fiada) em relação aos blocos hidro.

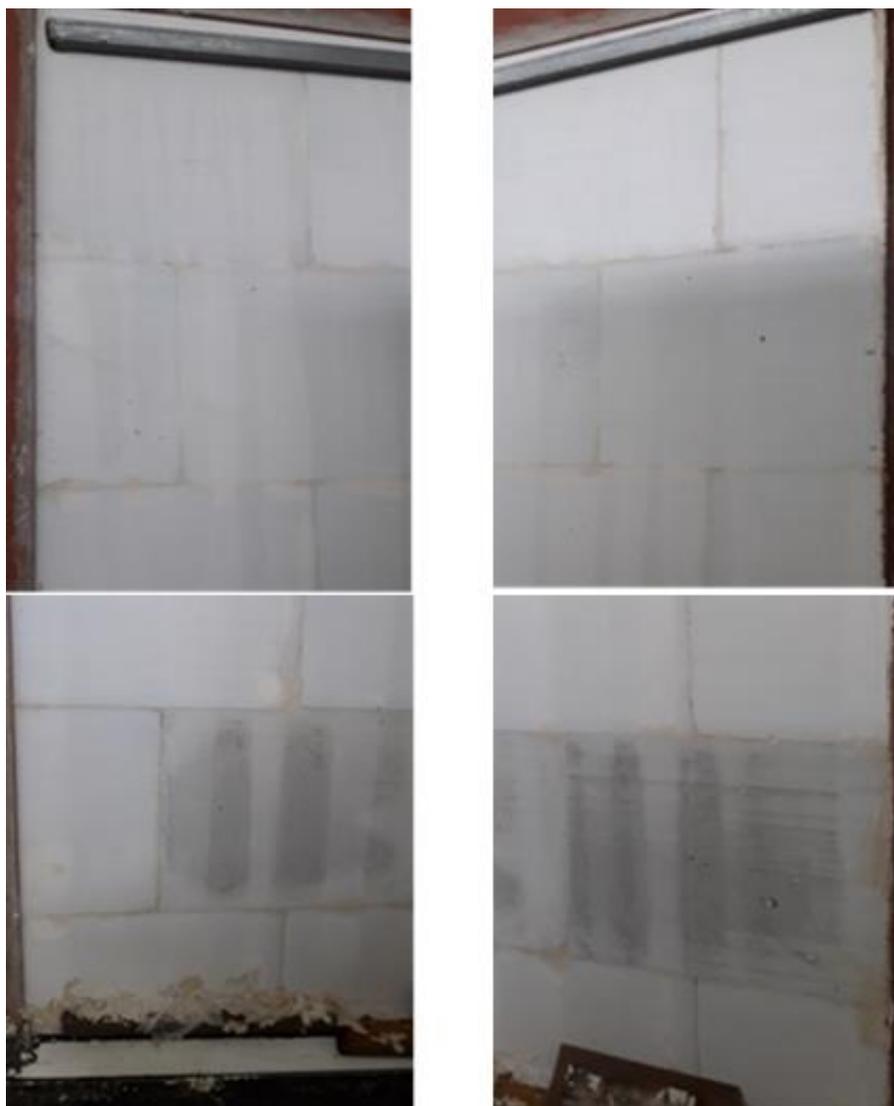


Figura 57-Aspectos da face exposta após ação do 5ºciclo

É importante observar que há uma perda de massa de gesso-cola aplicado nas juntas com a sequência de ensaios, sendo constatado um aumento das infiltrações por estas juntas. Caso semelhante ocorreu nos ensaios de choque térmico com as paredes de blocos standard.

Na sequência são apresentados os resultados do 10º ciclo, sendo semelhante aos anteriores. Após sua conclusão e após a parede secar foi possível fazer uma avaliação dos níveis de degradação superficial, apresentado no item 3.4.4, ao final desta etapa.

A Tabela 22 apresenta os principais resultados obtidos durante o monitoramento das sondas, quando da realização do 10º ciclo de ensaios na parede de blocos hidro.

Tabela 22-Resultado das medições das umidades e temperaturas no 10ºciclo:blocos hidro

Tempo (min)	Umidade (%)			Temperatura(°C)					
	H1(7,5)	H2(5,0)	H3(2,5)	T4	T6	T7	T8	Tint.	Text.
2	0,32	0,32	0,32	25,0	27,0	29,0	29,0	30,5	31,0
5	0,32	1,92	0,32	26,0	27,0	28,0	29,0	30,5	31,1
Início da ação da temperatura									
7	0,96	0,8	0,8	27,0	28,0	29,0	29,0	30,5	31,1
10	0,8	0,96	0,96	32,0	36,0	37,0	40,0	30,5	31,1
20	0,96	0,48	0,48	48,0	66,0	74,0	75,0	31,0	31,3
30	0,8	0,64	0,64	50,0	74,0	79,0	80,0	32,5	31,5
40	0,32	0,32	0,32	51,0	78,0	79,0	80,0	35,5	31,3
50	0,64	0,96	0,96	52,0	78,0	79,0	79,0	38,0	31,6
60	0,32	0,32	0,32	53,0	79,0	80,0	79,0	40,5	31,7
70	0,32	0,64	0,96	55,0	79,0	79,0	81,0	42,0	32,5
80	0,32	0,8	0,8	54,0	79,0	79,0	80,0	44,0	32,6
90	0,32	0,32	0,48	55,0	80,0	80,0	80,0	46,0	32,8
100	0,48	0,8	0,32	56,0	80,0	79,0	81,0	48,0	32,7
105	0,48	0,8	0,64	56,0	79,0	79,0	80,0	48,5	32,6
Fim da ação da temperatura e início da ação da água									
110	0,48	0,48	0,32	53,0	57,0	57,0	55,0	49,0	32,4
115	0,32	0,32	0,32	48,0	45,0	45,0	51,0	49,5	32,4
120	0,64	0,8	0,8	43,0	41,0	39,0	39,0	50,0	32,7
130	0,48	0,8	0,48	30,0	31,0	28,0	29,0	50,0	32,5
140	0,32	0,32	0,32	28,0	29,0	27,0	29,0	48,5	32,1
150	0,32	0,32	0,32	27,0	27,0	27,0	29,0	46,0	32,4
160	0,32	0,32	0,64	27,0	26,0	27,0	27,0	45,0	32,6
170	0,32	0,32	0,32	28,0	28,0	28,0	28,0	43,5	32,5
Fim da ação da água									
175	0,32	0,32	0,32	28,0	29,0	28,0	29,0	42,5	33,1
180	0,64	0,32	0,32	28,0	29,0	29,0	31,0	42,0	33,2
190	0,32	0,32	0,32	28,0	29,0	30,0	32,0	40,5	33,2
195	0,48	0,48	0,8	29,0	30,0	31,0	33,0	40,0	33,1
200	0,64	0,8	0,96	29,0	31,0	31,0	34,0	39,0	33,0
215	0,64	0,48	0,48	29,0	31,0	30,0	34,0	39,0	33,1

A Figura 58 apresenta o comportamento dos sensores de umidade durante a realização do ensaios de choque térmico no 10º Ciclo na parede consyruida com blocos hidro.

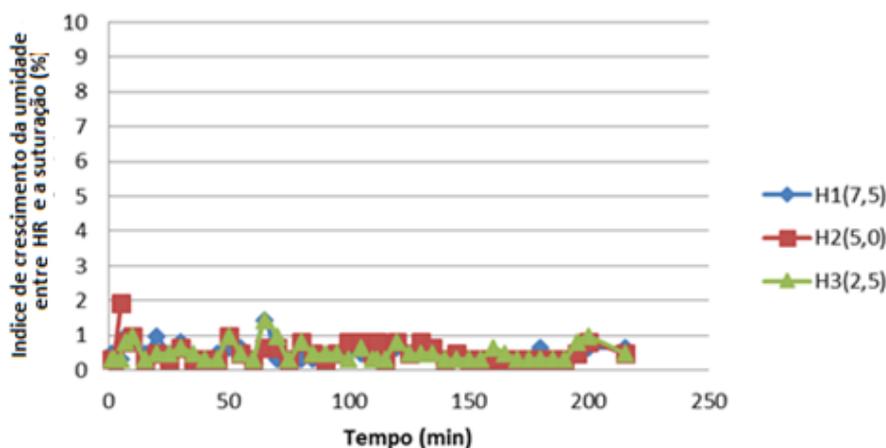


Figura 58 - Comportamento dos sensores de umidade no ensaios de choque térmico no 10º ciclo de blocos hidro

A Figura 59 apresenta o comportamento dos sensores de temperatura durante a realização do ensaios de choque térmico no 10º Ciclo na parede consyruida com blocos hidro.

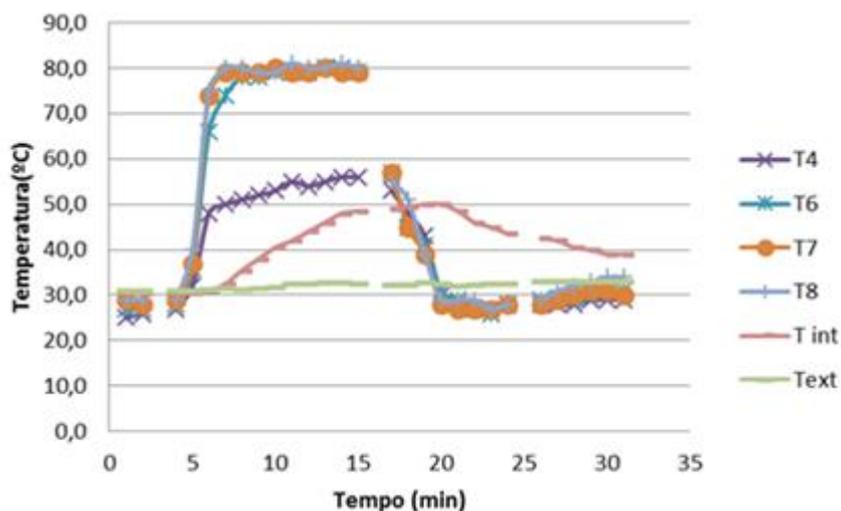


Figura 59 - Comportamento dos sensores de temperatura no ensaio de choque térmico no 10º ciclo em blocos hidro

A Figura 60 e a Figura 61 mostram os aspectos dos blocos da parede após a realização do 10º ciclo de ensaio. Observa-se degradação diferenciada e mais acentuada entre os dois tipos de blocos, os dois pseudo hidro, com tonalidade mais escura devido a maior absorção de água, estão situados na segunda fiada, e os demais blocos hidro(h2).



a) face posterior-detalle comportamento diferenciados dos blocos pseudo hidro



b) face exposta-detalle comportamentodiferenciado dos blocos pseudo hidro

Figura 60-Aspectos posterior e frontal da parede após o 10ºciclo



Figura 61-Aspectos da face exposta após 10ºciclo

Observando os aspectos da face exposta (Figura 61) é possível constatar o avanço da degradação diferenciada e bastante acentuada nos blocos pseudo hidro. As juntas entre blocos, sem quase gesso-cola, pode ser também reflexo da movimentação higrotérmica dos blocos, contribuindo para a lixiviação e perda da adesividade da massa colante.

3.4.3.3 AVALIAÇÃO COMPARATIVA ENTRE AS ALVENARIAS

Analisando o comportamento diferenciado entre a alvenaria construída com blocos standard e a construída com blocos hidro, quando da realização dos ensaios de choque térmico, mostram que as alvenarias de blocos standard apresentam indicativos de crescimento dos níveis de umidade logo após a aplicação da água de molhagem, chegando a saturação após 60 minutos do início da aplicação da água sobre a face exposta da parede, mantendo-se saturada por longo período. A face posterior mostrava-se completamente saturada após ensaios, tendo sido as infiltrações iniciadas pelas juntas e fragilizando os blocos a ponto de se constatar fissuras decorrentes da variação térmica em bloco saturado. Outra constatação observada na face exposta foi a elevação da rugosidade com os ciclos de ensaio, mostrando em algumas regiões veios de rugosidade

principalmente no entorno das juntas entre blocos.

O comportamento das paredes de blocos hidro mostrou ser bastante diferenciada, os sensores de umidade não mostraram variação significativa durante todo o período de ensaio, as infiltrações foram observadas apenas em algumas juntas e pelos blocos pseudo hidro, mas sem apresentar fissuras. As faces da superfície exposta mostraram crescimento da rugosidade com os ciclos de ensaio, porém em amplitude bem menor.

Uma das razões constatadas por Sayil & Çolac (1999) e Santos (2016) mostram que a resina de silicone preenche os espaços entre as moléculas de gesso e diminui sua porosidade, atuando não apenas com característica de repelente à água e obturação dos vazios, mas também conferindo maior resistência à umidade.

Os silicones são os produtos impermeabilizantes utilizados na fabricação dos blocos hidro por possuir uma baixa tensão superficial (inferior a 24 mN/m) e conseguem recobrir a superfície dos poros do substrato sem formar película. Como consequência, reduzem as forças capilares e a penetração de água, causam menor impacto na permeabilidade ao vapor e apresentam boa adesão aos materiais silicosos (Silva, 2018; Maranhão, 2009) e ao gesso.

Menor fragilização nas alvenarias de blocos hidro, praticamente só nas juntas, também pode ser explicada pelo aumento das resistências frente a elevação da umidade, como constatada em Najim (2011) e Sayil&Çolac (1999).

3.4.4 AVALIAÇÃO DO DESGASTE SUPERFICIAL

Após a conclusão do 5º e do 10º ciclos de ensaios em cada uma das paredes ensaiadas foi possível realizar as medições de profundidade com micrômetro analógico apoiado em uma régua de alumínio estruturada apoiada sobre a superfície da parede, tendo como referência uma trena para indicação dos pontos de medição e 10 linhas de medida, espaçadas de 50 mm, ao longo da altura de uma fiada de blocos específicos.

A medição da rugosidade foi utilizada como um indicador de desgaste superficial provocado pela ação conjunta da lixiviação e da solubilização dos blocos de gesso quando da ação da fase de molhagem logo após a ação da temperatura.

Foi selecionada uma mesma linha (3ª fiada) que possibilitasse leituras comuns entre as paredes e minimizasse erros de leitura, posicionando uma régua semi-rija e longa(perfil 1" x 1" estruturado de duralumínio), apoiada nas extremidades dos blocos mais externos, sempre iniciando pela consideração da medida inicial, tomada para zerar as leituras. As leituras foram tomadas a cada polegada (25,4 mm)

Ilustração do procedimento de medição e dos dispositivos utilizados na avaliação do desgaste superficial estão apresentados na Figura 62

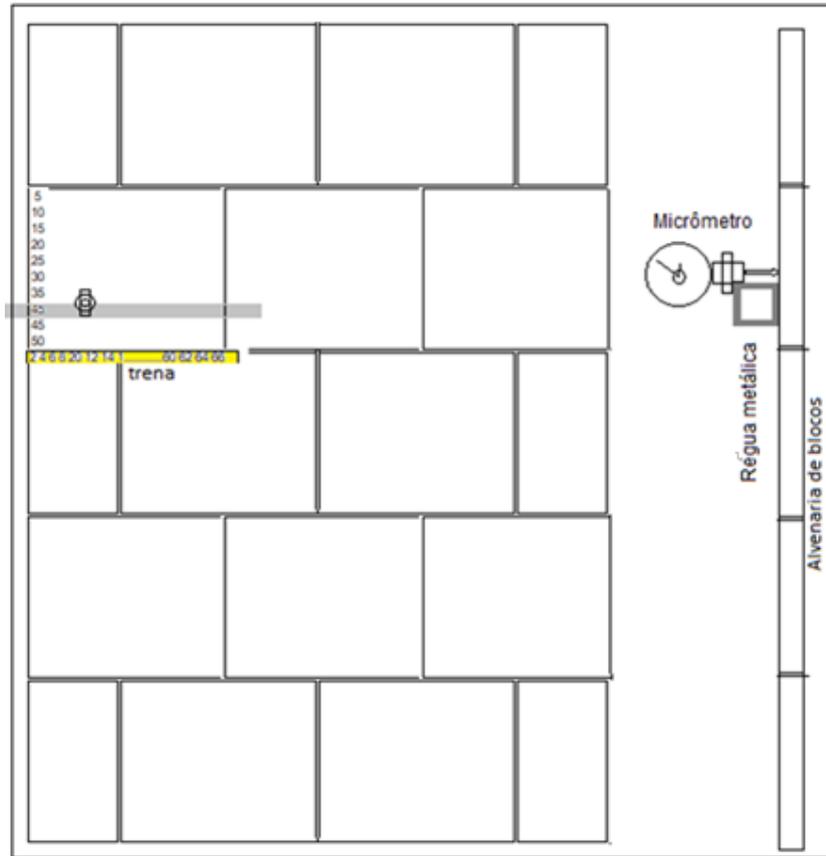


Figura 62-Ilustração do procedimento para avaliação de desgaste superficial

3.4.4.1 AVALIAÇÃO DO DESGASTE SUPERFICIAL NA PAREDE DE BLOCOS STANDARD

Não sendo possível proceder avaliação sistemática sobre a variação de peso, como indicador de perda de massa durante os ensaios, foi idealizado uma avaliação da elevação do desgaste superficial através da medição do crescimento da rugosidade na superfície exposta à ação da água e ao calor.

A Figura 63 mostra aspectos do procedimento de medição realizado nas faces expostas das paredes analisadas.

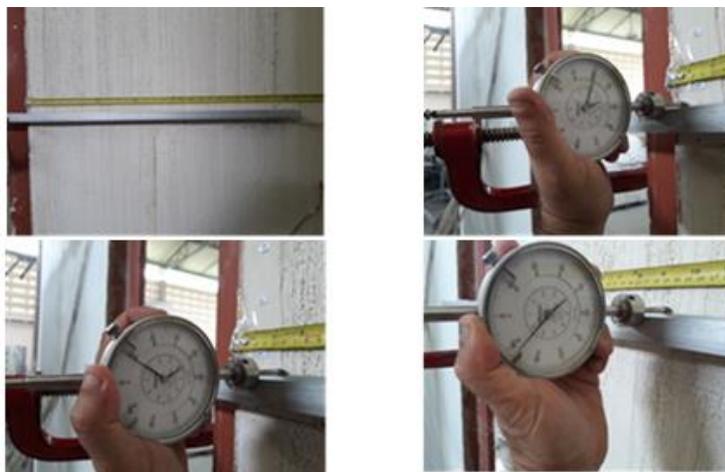


Figura 63-Procedimento de medição nos blocos intermediário da face exposta da parede

A **Erro! Autoreferência de indicador não válida.** e a Tabela 24 mostram os resultados obtidas nas medições dos desgastes na parede de blocos standard após o 5º ciclo de ensaio.

Tabela 23- Profundidade medida após 5º ciclo na parede standard

	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
5	0	-0,11	-2,11	-2,67	-3,48	-2,37	-1,75	-2,82	-1,89	-2,5	-1,5	-0,24	-1,48	-1,61	-1,28	-0,79
10	0	-0,77	-2,74	-3,67	-1,57	-1,35	-4,11	-3,3	-1,03	-4,08	-2,1	-0,74	1,5	-0,41	-0,64	-0,51
15	0	-0,48	-3,41	-2,87	-3,82	-1,65	-2,19	-3,63	-0,58	-1,59	-0,6	-0,66	-0,59	-1,65	-0,87	-1,11
20	-0,47	-5,12	-2,31	-2,72	-2,94	-3,35	-2,47	-3,15	-0,45	-1,36	-0,9	-0,52	-1,06	-1,07	-0,55	-0,48
25	-0,2	-1,91	-2,76	-2,2	-2,94	-1,88	-3,01	-2,19	-0,6	-1,19	-1,2	-0,21	-0,21	-0,84	-0,91	-0,20
30	-1,3	-1,31	-0,58	-1,86	-2,98	-3,22	-3,04	-2,37	-2,23	-1,03	0,0	-1,16	-0,42	0	-0,59	-0,37
35	-0,99	-0,78	-2,77	-3,41	-3,07	-2,22	-3,08	-2,96	-0,75	-2,57	-1,5	-2,51	-0,73	-1,07	-0,89	-0,90
40	0	0,26	-1,68	-2,09	-2,61	-2,46	-2,09	-1,61	-0,69	-1,4	-1,5	-5,23	-0,42	-0,57	-1,2	-0,74
45	-0,1	0,01	-1,32	-2,57	-0,92	-2,08	-1,46	-2,44	-0,9	-0,73	-2	-2,54	0,1	-0,39	-0,84	-1,04
50	0	-0,42	-1,94	-1,77	-1,34	-1,86	-1,68	-2,76	-1,53	-0,69	-0,9	-0,54	-0,67	-0,79	-1,43	-2,09

Tabela 24- profundidade medida (continuação)

	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66
5	-1,10	-2,28	-1,46	-1,16	-1,15	-1,62	-1,03	-1,20	-1,71	-1,46	-1,90	-1,95	-1,95	-2,20	-2,11	-1,99	-0,84
10	-1,51	-0,22	-0,48	-0,47	-1,34	-0,50	0,03	-1,05	-1,05	0,02	-1,14	-0,11	-1,72	-1,77	-0,44	-1,93	-1,80
15	-0,74	-0,66	-0,29	-0,81	-1,49	-0,72	-0,97	-0,67	-0,53	-1,39	-0,65	-0,31	-1,08	-1,73	-0,86	-2,10	-0,53
20	-0,54	0,00	-0,52	-0,44	-1,10	-0,43	-0,92	-0,32	-0,54	-1,74	-0,57	-0,42	-0,71	-2,42	-1,45	-2,00	-0,68
25	-0,20	-0,22	-0,23	-0,17	-0,03	-0,58	-0,04	-0,23	-0,13	-0,25	-0,43	-0,19	-0,17	-0,24	-0,79	-1,00	-0,27
30	-0,38	-0,74	-0,82	-0,10	-0,74	-0,78	-0,72	-0,14	0,85	0,41	0,38	0,28	0,31	-0,48	-0,29	-0,48	0,79
35	-0,56	-1,37	-1,29	-1,23	0,00	-0,05	-0,44	-0,51	-0,62	-1,73	-0,09	-0,64	-1,15	-0,49	-0,67	-1,39	0,17
40	-0,36	-0,40	-0,20	-0,95	-1,21	-0,16	-0,68	-0,95	-1,48	-1,95	-1,51	-1,39	-2,23	-1,29	-1,74	-1,92	-1,05
45	-0,76	-0,73	-0,69	-1,29	-1,49	-0,39	-2,39	-1,02	-2,22	-2,94	-0,14	-0,13	0,00	-0,23	-1,20	-2,03	-0,25
50	-2,12	-1,60	-1,82	-1,71	-2,13	-1,26	-1,62	-2,14	-1,74	-2,29	3,16	-2,77	-2,26	-2,71	-4,02	-6,42	-3,53

Considerando que praticamente todas as profundidades foram negativas em relação ao plano tomado como referência (maior valor obtido em cada linha avaliada), a média geral nesta parede após o 5º ciclo foi de 1,25 mm.

Procedimento similar foi realizado após a conclusão do 10º ciclo, estando os resultados nas profundidades diferenciais apresentados na Tabela 25 e na Tabela 26.

Tabela 25-Resultados das medições relativas após 10 ciclos na parede de blocos standard

	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
5	-0,77	0,00	-5,37	-5,31	-5,10	-7,90	-4,20	-6,50	-2,28	-2,49	-4,11	-1,92	-1,42	-3,40	-2,31	-3,70
10	-0,33	0,00	-4,00	-5,74	-5,60	-4,60	-4,00	-6,60	-2,96	-3,36	-4,12	-2,93	-1,00	-2,60	-2,23	-3,00
21	0,00	-1,00	-4,30	-5,56	-6,20	-2,30	-6,00	-5,20	-4,66	-3,66	-3,78	-3,07	-0,38	-2,00	-2,92	-2,20
20	-1,08	0,00	-4,28	-4,26	-4,80	-4,50	-2,90	-3,50	-1,97	-2,08	-2,96	-1,51	-1,37	-2,00	-2,53	-1,20
25	-0,61	-0,30	-2,80	-5,79	-4,20	-4,10	-4,70	-3,90	-3,09	-0,41	-7,69	-2,93	0,07	-3,60	-1,82	-1,00
30	-0,30	0,00	-2,49	-5,48	-3,90	-3,80	-4,30	-3,60	-2,78	-0,10	-7,38	-2,62	0,38	-3,30	-1,51	-0,70
35	-0,62	0,00	-2,90	-3,33	-3,40	-3,60	-4,70	-5,20	-2,98	-0,84	-3,33	-2,05	-2,09	-3,70	-1,71	-2,40
40	-0,85	-0,20	-2,88	-2,98	-3,80	-2,90	-4,80	-4,70	-4,39	-3,35	-2,78	-0,40	-0,82	-1,90	-1,91	-1,50
45	-0,26	-0,30	-2,99	-3,37	-3,80	-2,80	-5,70	-4,30	-1,43	-0,69	-1,28	-0,73	0,00	-0,80	-1,73	-1,00
50	-1,13	-1,10	-3,73	-5,01	-4,80	-5,20	-4,40	-2,80	-2,62	-1,20	-2,15	-1,18	-0,88	0,00	-1,34	-1,20

Tabela 26-Resultados das medições relativas(continuação)

	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66
5	-2,53	-0,5	-0,62	-1,19	-1,61	-0,94	-2,09	-1,86	-1,29	-1,08	-1,31	-1,43	-0,58	-2,65	-2,58	-2,63	-3,32
10	-2,56	0,1	-2,16	-2,02	-2,2	-1,64	-1,82	-1,65	-2,49	-1,98	0,47	-4,66	-0,2	-6,13	-0,87	-0,78	-1,52
15	-1,91	-1,7	-1,91	-1,52	-1,44	-1,55	-2,23	-2,15	-1,21	-2,69	-1,27	0,02	-0,52	-3,23	-2,11	-1,26	-2,01
20	-1,4	-0,5	-1,18	-1,14	-2,12	-1,41	-1,32	-1,62	-1,98	-2,41	-0,68	-1,28	-1,05	-2,26	-3,28	-5,02	-2,56
25	-1,3	-0,1	-0,04	0,36	-1,22	-0,21	0	-0,31	-0,58	-1,13	-0,88	0,61	-0,55	-0,93	-1,13	-0,38	-0,31
30	-0,99	0,23	0,27	0,67	-0,91	0,1	0,31	0	-0,27	-0,82	-0,57	0,92	-0,24	-0,62	-0,82	-0,07	0
35	-1,75	-1,9	-1,04	-1,63	-1,38	-1,04	-1,36	-1	-0,98	-1,31	-1,33	-0,33	-1,72	-0,63	-0,81	-2,12	-1,28
40	-0,52	-0,4	-0,01	-0,65	-0,84	0	-0,07	-0,5	-0,55	-0,84	0,09	0,45	-1,08	-1,72	-1,5	-2,48	-0,64
45	-1,19	-0,6	-0,52	-1,33	-1,05	-0,88	-0,44	-0,83	-0,58	-0,69	-0,23	-0,16	-0,43	-0,51	-1	-1,45	-0,35
50	-1,11	-2	-1,3	-1,7	-0,7	-1,1	-0,83	-1,29	-1,32	-1,97	-0,77	-0,44	-0,85	-1,33	-1,92	-3,05	-1,57

Considerando que praticamente todas as profundidades foram negativas em relação ao plano tomado como referência(maior valor obtido em cada linha avaliada), a média geral neste bloco foi de -1,95 mm após os 10 ciclos de ensaio.

Inferindo sobre as duas medições, uma no final do 5º ciclo e outra no final do 10º ciclo, houve um crescimento de 56% do desgaste que não se mostrou um crescimento linear com o tempo de exposição, porém crescente. Pode ser justificado pela dificuldade de a água verter pelas zonas mais desgastadas e com isso o arrasto provocado pelo filme de água fica menor quando comparada com a superfície mais lisa.

3.4.4.2 AVALIAÇÃO DO DESGASTE SUPERFICIAL NA PAREDE DE BLOCOS HIDRO

A avaliação dos níveis de desgaste realizado na parede construída com blocos hidro, conforme procedimento apresentado no item 3.4.4.1, demonstrou que dois blocos pseudo-hidro, localizados na segunda fiada, não se comportaram como blocos hidro, facilmente detectáveis após a realização do 1º ciclo de ensaio de choque térmico. Neste sentido, como forma de avaliação paralela, sob as mesmas condições de exposição, foram realizadas nas medições nos ciclos 5º e 10º em um bloco hidro e outro em um bloco pseudo hidro.

As medições foram realizadas sob mesma metodologia, alterando-se apenas as distâncias entre medições, neste caso a distância horizontal entre pontos medidos foi de uma polegada (25,4 mm), totalizando, por

bloco, 26 medidas por faixa e se mantendo a distância entre faixas verticais de 5 cm.

A Figura 64 e a Figura 65 mostram aspectos das medições nos blocos hidro e pseudo hidro respectivamente.



Figura 64-Aspectos de medição de desgaste superficial parede bloco hidro



Figura 65- Aspecto de medição de desgaste superficial bloco pseudo hidro

Os valores das medições após o 5º ciclo no bloco hidro estão apresentados na Tabela 27 e Tabela 28.

Tabela 27-Resultados das medições relativas após o 5ºciclo

	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
5	0,00	-0,05	-0,24	-0,30	-1,16	-1,26	-1,27	-1,04	-0,99	-0,98	-1,11	-0,70	-0,80
10	0,00	-0,38	-0,36	-0,74	-0,35	-0,36	-0,54	-0,68	-0,68	-0,83	-0,88	-1,06	-0,97
15	-0,05	-0,42	-0,30	-0,71	-0,42	-0,49	-0,24	-0,19	-0,45	-0,45	-0,57	-0,59	0,00
20	0,00	-0,19	-0,26	-0,49	-0,72	-0,39	-0,56	-0,49	-0,50	-0,60	-0,63	-0,59	-0,65
25	0,00	-0,04	-0,11	-0,12	-0,25	-0,35	-0,14	-0,19	-0,54	-0,56	-0,58	-0,64	-0,70
30	0,00	-0,38	-0,19	-0,26	-0,22	-0,26	-0,22	-0,40	-0,38	-0,28	-0,36	-0,53	-0,47
35	-0,04	-0,32	-0,41	0,00	-0,10	-0,41	-0,22	-0,40	-0,44	-0,36	-0,45	-0,42	-0,41
40	0,00	-0,29	-0,01	-0,27	-0,07	-0,27	-0,30	-0,28	-0,28	-0,39	-0,62	-0,44	-0,02
45	-0,15	-0,15	-0,19	-0,15	-0,02	-0,06	0,00	-0,24	-0,41	-0,21	-0,13	-0,34	-0,21
50	0,00	-0,03	-0,42	-0,18	-0,37	-0,34	-0,11	-0,19	-0,30	-0,33	-0,50	-0,34	-0,34

Tabela 28-Resultados das medições relativas após 5ºciclo(continuação)

	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52
5	-1,01	-1,10	-0,43	-0,73	-0,79	-0,94	-1,09	-1,11	-1,12	-1,16	-1,07	-1,35	-1,62
10	-0,99	-0,47	-0,58	-0,65	-0,91	-0,84	-0,71	-0,90	-0,89	-0,78	-0,97	-1,16	-1,24
15	-0,02	-1,03	-0,93	-0,79	-0,79	-0,46	-1,40	-1,20	-1,47	-1,53	-1,83	-2,23	-1,60
20	-0,74	-0,77	-0,65	-0,68	-0,76	-0,81	-0,80	-0,83	-0,85	-0,80	-0,88	-1,01	-0,93
25	-0,44	-0,54	-0,62	-0,62	-0,64	-0,66	-0,30	-0,23	-0,19	-0,18	-0,31	-0,44	-0,39
30	-0,48	-0,20	-0,54	-0,51	-0,46	-0,37	-0,39	-0,49	-0,53	-0,71	-0,44	-0,75	-0,69
35	-0,36	-0,52	-0,65	-0,48	-0,53	-0,64	-0,37	-0,31	-0,40	-0,58	-0,67	-0,73	-0,72
40	-0,19	-0,33	-0,54	-0,39	-0,43	-0,44	-0,59	-0,49	-0,60	-0,65	-0,70	-0,63	-0,41
45	-0,37	-0,58	-0,46	-0,56	-0,37	-0,30	-0,32	-0,33	-0,39	-0,35	-0,21	-0,32	-0,43
50	-0,17	-0,10	-0,11	-0,11	-0,13	-0,38	-0,30	-0,17	-0,15	0,00	-0,15	-0,30	-0,45

Após o 5º e o 10º ciclos foram realizadas medições de profundidade, segundo a metodologia descrita. Os valores foram operados de forma a tomar como referência o valor mais elevado em cada linha, geralmente localizado na faixa de canto, onde a ação da água é bem menos atuante.

Realizando o mesmo procedimento na avaliação das medições, o valor médio das profundidades após o 5ºciclo no bloco hidro foi de 0,53 mm.

Os valores das medições após o 5ºciclo no bloco pseudo hidro estão apresentados na **Tabela 29**.

Tabela 29- Resultados das medições após 5ºciclo no bloco pseudo hidro

	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
5	0,00	-0,12	-0,28	-0,60	-0,39	-0,50	-0,54	-0,75	-0,54	-0,77	-0,81	-0,77	-1,38
10	-0,50	-0,50	-0,01	0,00	-0,01	-0,16	-0,06	-0,08	-0,21	-2,25	-2,29	-0,87	-4,98
15	0,00	-0,04	-0,70	-0,79	-0,92	-1,16	-1,45	-1,64	-2,00	-2,82	-2,96	-3,03	-2,48
20	-0,26	0,00	-0,29	-0,28	-0,56	-0,70	-1,63	-1,39	-2,20	-7,70	-3,06	-7,05	-3,82
25	-0,55	0,00	-0,28	-0,24	-0,46	-0,89	-1,28	-1,08	-2,54	-4,11	-4,05	-3,27	-4,94
30	-0,26	0,00	-0,45	-0,86	-0,97	-0,30	-0,51	-1,44	-2,72	-3,15	-3,53	-3,26	-4,07
35	-0,96	-0,87	0,00	-0,03	-0,25	-0,37	-0,85	-1,30	-1,83	-2,26	-6,66	-6,88	-7,83
40	0,00	-0,14	-0,19	-0,27	-0,97	-1,28	-1,69	-2,30	-2,75	-4,10	-0,51	-0,38	-2,44
45	-0,05	0,00	-0,44	-0,29	-0,09	-0,01	-0,35	-0,49	0,00	-1,29	-1,43	-2,02	-2,30
50	0,00	-0,46	-0,51	-0,73	-1,15	-1,17	-1,95	-2,06	-2,00	-2,72	-3,29	-4,12	-4,10

Na avaliação das medições neste mesmo 5º ciclo no bloco pseudo-hidro, o valor médio das medições de um bloco foi de 1,33 mm. Neste momento é possível verificar que a degradação no bloco pseudo hidro é 5 vezes maior que a do bloco hidro.

As profundidades de degradação após o 10ºciclo para o bloco hidro estão apresentadas na Tabela 30 e na Tabela 31.

Tabela 30-Resultados das medições após 10ºciclo nos blocos hidro

	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
5	0,00	-0,26	-0,16	0,57	-0,01	-0,34	-0,06	-0,21	-0,50	-0,42	-0,60	-0,48	-0,63
10	0,00	-0,17	-0,54	-0,80	-1,28	-1,47	-1,60	-1,61	-1,81	-1,90	-2,34	-1,25	0,07
15	-0,04	0,00	-0,28	-0,54	-0,83	-0,99	-1,17	-1,41	-0,95	-1,50	-1,17	-1,25	-0,98
20	0,00	-0,15	-0,16	-0,29	-0,35	-0,42	-0,59	-0,84	-0,73	-0,55	-0,84	-1,05	-0,20
25	0,00	-0,08	-0,20	-0,30	-0,56	-0,51	-0,67	-0,37	-0,45	-0,40	-0,72	-0,90	-0,72
30	0,00	-0,28	-0,41	-0,78	-1,13	-1,19	-0,78	-1,22	-1,43	-1,52	-1,91	-1,96	-1,12
35	0,00	-0,04	-0,28	-0,19	-0,33	-0,24	-0,44	-0,48	-0,28	-0,40	-0,60	-0,75	-1,17
40	-0,11	0,00	-0,38	-0,46	-0,63	-0,16	-0,13	-0,27	-0,42	-0,38	-0,37	-0,31	-0,52
45	0,00	-0,45	-0,68	-0,91	-1,12	-1,29	-1,32	-1,45	-1,51	-1,30	-1,14	-1,43	-1,43
50	-0,13	-0,05	0,00	-0,40	-0,36	-0,63	-0,68	-0,95	-0,49	-0,43	-0,46	-0,39	-0,47

Tabela 31-Resultados das medições após 10ºciclo nos blocos hidro(continuação)

	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52
5	-0,85	-0,40	-0,89	-0,88	-1,09	-1,21	-0,79	-0,40	-0,53	-0,43	-0,17	0,05	-0,35
10	0,20	0,02	-0,01	-0,13	-0,23	-0,38	-0,37	-0,46	-0,68	-0,98	-0,59	-0,70	-0,80
15	-0,65	-0,59	-0,61	-0,61	-0,29	-0,37	-0,46	-0,38	-0,35	-0,50	-0,71	-0,77	-0,99
20	-0,05	-0,10	-0,26	-0,32	-0,66	-0,98	-1,09	-1,32	-1,40	-1,34	-1,54	-1,49	-2,08
25	-0,29	-0,28	-0,32	-0,60	-0,57	-0,71	-1,15	-1,29	-1,58	-1,89	-1,97	-1,01	-0,94
30	-0,78	-0,65	-0,64	-0,68	-0,90	-1,01	-1,05	-1,24	-1,35	-1,74	-1,63	-1,91	-1,73
35	-0,79	-0,68	-0,35	-0,27	-0,27	-0,31	-0,15	-0,32	-0,41	-0,62	-0,40	0,09	-0,37
40	-0,49	-0,64	-0,47	-0,79	-0,86	-0,15	-0,42	-0,44	-0,59	-0,76	-1,07	-0,97	-1,26
45	-0,24	-0,47	0,00	-0,16	-0,28	-0,35	-0,48	-0,61	-0,70	-0,80	-0,47	-0,65	-0,64
50	-0,69	-0,27	-0,40	-0,45	-0,33	-0,16	-0,33	-0,45	-0,43	-0,35	-0,27	-0,26	-0,22

Neste caso a média das profundidades das medições foi de 0,65 mm no bloco hidro, caracterizando um crescimento da ordem de 22,6% entre o 5º e o 10º ciclo.

Os resultados das medições das profundidades após o 10ºciclo no bloco pseudo hidro estão apresentados na Tabela 32 e na Tabela 33.

Tabela 32-Resultados das medições após o 10ºciclo no bloco pseudo hidro

	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
5	-0,57	0,00	-0,11	-0,38	-0,01	-0,05	-0,28	-0,68	-1,47	-1,64	-1,35	-2,22	-3,97
10	-0,33	0,00	-0,76	-1,12	-0,31	-0,83	-0,96	-2,30	-2,48	-3,13	-2,97	-2,56	-2,12
15	-0,38	0,00	-0,43	-0,17	-0,28	-0,12	-0,29	-0,76	-1,31	-2,42	-1,51	-1,97	-3,19
20	-0,07	0,00	-0,40	-0,53	-0,14	-0,37	-1,14	-1,55	-3,41	-4,75	-3,80	-3,26	-5,37
25	-0,22	0,00	-0,06	-0,29	-0,25	-1,24	-1,38	-2,45	-3,40	-3,91	-3,83	-3,26	-4,94
30	-0,29	0,00	-0,12	-0,45	-0,79	-1,47	-0,59	-2,38	-2,86	-3,27	-2,06	-3,53	-5,73
35	0,00	-0,59	-0,61	-0,77	-0,86	-1,12	-1,21	-2,63	-1,91	-2,97	-6,50	-3,51	-4,75
40	0,00	-0,11	-0,38	-0,52	-0,68	-0,84	-1,21	-1,47	-1,81	-3,42	-2,75	-3,42	5,45
45	0,00	-0,14	-0,40	-0,75	-1,00	-1,25	-1,48	-1,43	-0,74	-1,17	-2,44	-2,48	-1,77
50	0,00	-0,22	-0,47	-0,87	-1,08	-1,51	-1,71	-2,47	-2,42	-1,64	-2,09	-2,45	-1,99

Tabela 33-Resultados das medições após o 10º ciclo no bloco pseudo hidro(continuação)

	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52
5	-2,16	-3,43	-1,95	-3,01	-3,26	-2,88	-4,03	-3,85	-2,35	-2,20	-4,48	-6,01	-4,30
10	-5,74	-2,58	-3,55	-4,32	-3,03	-5,03	-5,16	-4,90	-2,19	-3,33	-4,68	-4,53	-3,00
15	-3,19	-1,85	-2,33	-2,77	-2,99	-4,28	-6,59	-3,18	-1,42	-1,85	-2,34	-2,50	-1,73
20	-5,55	-3,54	-3,56	-2,73	-3,33	-3,72	-4,33	-4,99	-2,84	-2,32	-5,36	-5,26	-5,17
25	-4,89	-2,48	-2,63	-2,66	-2,15	-3,62	-4,15	-4,76	-3,57	-3,57	-3,14	-1,58	-8,99
30	-5,54	-4,75	-7,47	-2,80	-3,33	-8,89	-8,82	-5,58	-7,91	-7,83	-9,30	-6,03	-5,44
35	-6,21	-8,18	-4,02	-3,18	-3,14	-4,10	-4,18	-5,09	-3,34	-7,43	-8,60	-9,44	-4,93
40	-2,96	-2,14	-2,95	-2,07	-2,89	-3,40	-3,34	-3,21	-2,56	-3,56	-3,49	-4,52	-4,32
45	-2,34	-1,92	-2,79	-2,71	-3,19	-3,43	-3,99	-2,12	-3,17	-4,43	-3,33	-6,96	-4,45
50	-3,23	-3,07	-3,08	-0,76	-0,47	-0,75	-1,53	-3,20	-2,03	-2,90	-3,66	-7,73	-8,27

Neste caso a média das profundidades das medições, após 10 ciclos, foi de 2,74 mm em um bloco pseudo hidro caracterizando um crescimento da ordem de 4,21 vezes em relação ao desgaste observado no bloco hidro para a mesma ação de exposição até ao 10º ciclo.

Fazendo-se uma análise da degradação entre o 5º ciclo e o 10º ciclo no bloco pseudo hidro, a ampliação do desgaste teve um crescimento inferior, da ordem de 3,4%.

Ao comparar o desgaste entre ciclos da parede de blocos standard com a parede de bloco pseudo hidro, a primeira apresenta uma degradação menor, da ordem de 40%, possivelmente decorrente da inserção de corante sem a devida colocação de impermeabilizante.

3.4.5. AVALIAÇÃO DA CURVA DE FALHA

O ensaio de durabilidade à ação de choque térmico se constitui como principal critério da Norma NBR 15575 (ABNT, 2013), relacionado a avaliação de desempenho, com relação à ação do meio ambiente externo. Como indicador de avaliação do nível de deterioração ao longo dos ciclos foram utilizados as medidas de desgaste superficial e os sintomas de infiltrações nas alvenarias construídas com diferentes tipos de blocos.

Procedendo à avaliação do comportamento dos desgastes superficiais das diferentes paredes, após o 5º e 10º ciclos, cujos resultados médios estão apresentados na Tabela 34 e representada no gráfico 15, é possível perceber que as curvas de desgaste superficial se assemelham ao padrão de falha de uma curva de probabilidade condicional, associada a uma distribuição de Weibull, conforme a classificação de Moubray (1997).

Tabela 34- Resultados da média de desgaste por ciclos de ensaio

Bloco\ciclos	0	5	10
Standard	0	1,25	1,95
Pseudo Hidro*	0	1,33	2,27
Hidro	0	0,53	0,65

* Bloco na cor azul (característico de blocos hidro), porém sem aditivo impermeabilizante

A Figura 66 apresenta as curvas de tendência dos desgastes médios superficiais nos três tipos de blocos avaliados.

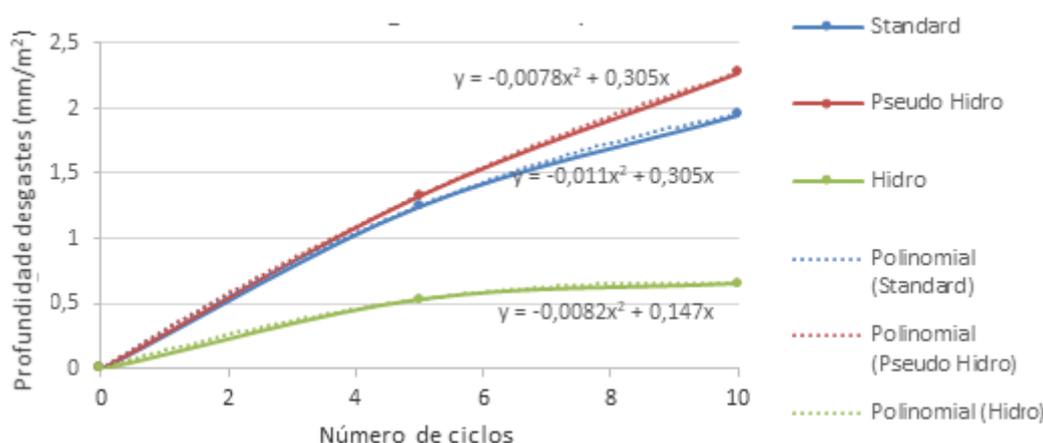


Figura 66 - Desgaste médio dos tipos de blocos por ciclos de ensaio

Observa-se nestas curvas que o comportamento de desgaste dos blocos standard e pseudo hidro mostram similaridade quanto a velocidade, tendo uma atenuação um pouco menor para os identificados como standard, podendo-se concluir que os identificados pela cor como hidro (azul), sendo estes blocos standard, não devendo possuir aditivos impermeabilizantes em sua composição.

Quando se compara o comportamento entre os blocos standard e os blocos hidro se constata uma velocidade de desgaste 40% maior dos blocos standard e sem mostrar tendência de estabilização, como mostrado no comportamento dos blocos hidro.

Quando se observa o comportamento das infiltrações pela alvenaria ao longo dos ensaios foi constatado durante os ensaios das alvenarias construídas com blocos standard, que as juntas constituem-se na região mais vulnerável, em algumas destas, foi possível observar infiltração de água. Foi constatado que esta movimentação na região das fissuras é crescente com os ciclos, aumentando as infiltrações de água pelas juntas. Outro aspecto observado no final do 10º ciclo foi a formação de fissura em um dos blocos, corroborando com a constatação que a umidade diminui as resistências mecânicas dos blocos saturados.

Já na alvenaria construída com blocos hidro, exceto os dois pseudo hidro, é possível observar os aspectos da face exposta diferenciada entre o comportamento entre estes blocos, ver Figura 60, constatando-se a infiltração quase que instantânea através dos blocos pseudo hidro enquanto estanques nos blocos hidro. As juntas entre blocos, sem quase gesso cola, pode ser também reflexo da movimentação higrotérmica dos blocos, contribuindo para a lixiviação e perda da adesividade da massa colante.

3.5 ENSAIO DE ESTANQUEIDADE

Os ensaios de estanqueidade à água seguem as recomendações apresentadas no anexo C da NBR 15575-4 (ABNT, 2013). Foram instalados sensores de umidade em três profundidades distintas, entre faces, ao longo da espessura. Foram realizadas medições de profundidade em áreas degradadas na superfície exposta à ação da água, de forma a possibilitar uma comparação do comportamento entre paredes de blocos standard e blocos hidro, bem como com o comportamento observado no protótipo construído no campus do ITEP.

Este ensaio consiste em submeter um trecho de parede, de área útil de exposição de 1,0m x 1,0m, a pressão de vento constante de 50Pa e uma vazão de água distribuída na superfície de 3 l/min. O método de ensaio segue as recomendações constantes no anexo C da NBR 15575-4 (ABNT, 2013). Neste, o principal critério de avaliação consiste na avaliação das áreas infiltradas, as quais não devem apresentar mais de 10% da área total (1,0 m²) com manchas de infiltração após 7 horas de ensaio.

Os testes de estanqueidade têm como princípio a ação combinada de pressão de ar, simulando ventos direcionais, com ação da água, simulando a chuva. A norma de desempenho NBR 15575-4 considera as

condições de exposição a ação de ventos e chuvas conforme apresentado na Figura 23-Condições de exposição de ventos nas regiões brasileiras (NBR 15575-4, anexo E, (ABNT, 2013)) e na **Tabela 14**.

A Figura 67 apresenta o esquema da câmara de ensaios de estanqueidade à água, segundo recomendações normativas. Os testes preveem a aplicação da pressão e a vazão da água durante 7 horas de duração, sendo investigado seu comportamento quanto ao surgimento de manchas e sua quantificação na face posterior de exposição.



Figura 67-Esquema da câmara de estanqueidade

3.5.1 ESTUDO COMPARATIVO ENTRE ALVENARIAS DE BLOCOS STANDARD E HIDRO

Com o objetivo de investigar com mais profundidade o avanço da umidade ao longo da espessura durante os ensaios, foram incorporados sensores de umidade em três profundidades distintas entre faces, ao longo da espessura.

Semelhante aos procedimentos do ensaio anterior, foram inseridos em cada tipo de bloco três sensores de umidade nas profundidades de 7,5 cm, 5,0 cm e 2,5 cm, da face exposta de forma a possibilitar o monitoramento dos níveis de umidade x tempo x profundidade.

Após a realização dos ensaios foram também investigados os níveis de degradação dos blocos através das alterações na superfície e nas juntas.

Objetivando avaliar comparativamente o avanço da umidade nas paredes de blocos standard e hidro, sob as mesmas condições de exposição, sendo construída uma parede mista em alvenaria única com blocos hidrofugados (caracterizados como hidro, segundo NBR 16494, e como h2, segundo ISO 12859), fabricados com 2,5% de aditivos hidrofugantes (a base de silicone) em um lado e colado a esta uma parede de alvenaria construídas com blocos standard (caracterizados como standard segundo NBR 16494, e como h3 segundo ISO 12859) fabricados sem aditivos hidrofugantes no outro.

A Figura 68 apresenta o esquema do ensaio onde mostra os principais dispositivos presentes no equipamento de ensaio bem como, as características da composição da parede construída com blocos standard (brancos) e hidro (azul). O posicionamento dos sensores de umidade. Em um total de seis, sendo três inseridos nos blocos standard e três nos blocos hidro são mostrados.

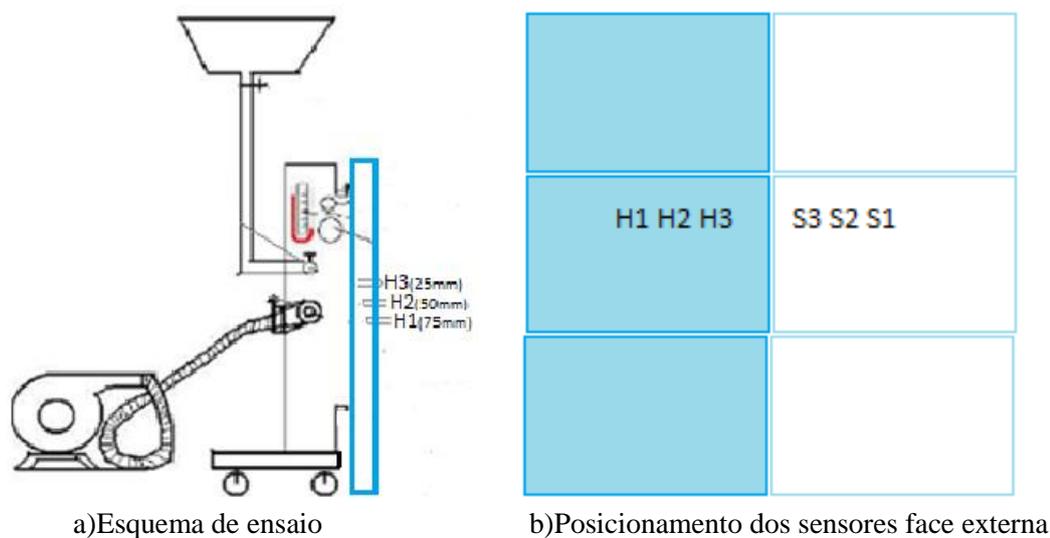


Figura 68-Esquema do ensaio de estanqueidade realizado

Na realização deste ensaio foram utilizados 6 sensores sendo três inseridos no lado da parede hidro (H1,H2 e H3) e três no lado da parede standard (S1,S2 e S3). Um programa em arduino foi desenvolvido para registrar os sinais dos sensores no mesmo instante. O template do programa está apresentado na Figura 69.

```
#define pinSensorH1 A0
#define pinSensorH2 A1
#define pinSensorH3 A2
#define pinSensorS1 A3
#define pinSensorS2 A4
#define pinSensorS3 A5
#define interval 1// intervalo de tempo
unsigned long next;

void setup() {
pinMode(pinSensorH1, INPUT);
pinMode(pinSensorH2, INPUT);
pinMode(pinSensorH3, INPUT);
pinMode(pinSensorS1, INPUT);
pinMode(pinSensorS2, INPUT);
pinMode(pinSensorS3, INPUT);
Serial.begin(9600);
}
```

Continuação:

```
void loop() {
Serial.print(" H1:");
Serial.print(analogRead(pinSensorH1));
Serial.print(" H2:");
Serial.print(analogRead(pinSensorH2));
Serial.print(" H3:");
Serial.print(analogRead(pinSensorH3));
Serial.print(" S1:");
Serial.print(analogRead(pinSensorS1));
Serial.print(" S2:");
Serial.print(analogRead(pinSensorS2));
Serial.print(" S3:");
Serial.print(analogRead(pinSensorS3));
Serial.print(next);
delay(30000);
next = millis()/1000+interval;
Serial.println();
}
```

Figura 69-Programa utilizado para registro dos sensores de umidade na plataforma Arduino

A disposição dos sensores da parede no ensaio de estanqueidade está apresentada na Figura 70.



Figura 70-Aspectos da parede durante ensaio de estanqueidade

Muito embora o procedimento de ensaios realizados segundo a NBR 15575-4 (ABNT, 2013) Anexo C, considere o tempo de exposição em 7 horas, o tempo do ensaio foi prolongado para possibilitar uma avaliação do comportamento do desgaste ao longo do tempo bem como um acompanhamento dos registros de umidade de todos os sensores.

Registros de manchas de umidade na face exterior das paredes de blocos standard foram registradas e marcadas, a Figura 71 mostra as manchas na face externa e a Figura 72 mostra aspectos destes da degradação diferenciada na face interior, submetida a ação direta da água e pressão do ar.

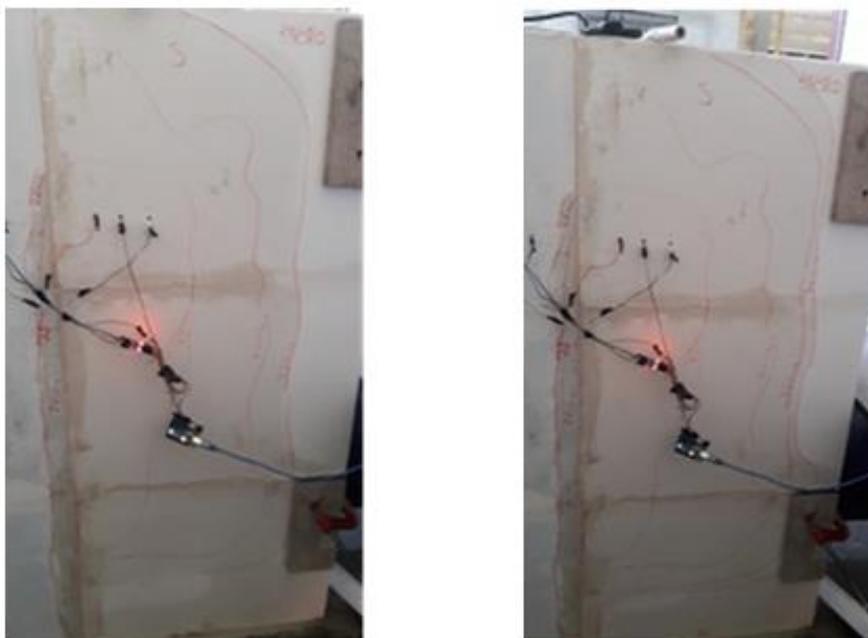


Figura 71-Aspectos da face externa da parede mostrando a evolução das manchas de umidade

A Tabela 35 apresenta os principais registros das medições nos seis sensores. É possível observar que os sensores inseridos no lado da parede construído com blocos standard rapidamente mostram presença de umidade e atingem a saturação. Já os sensores inseridos no lado da parede construída com blocos hidro demoram muito tempo para registrar presença significativa de umidade.

Tabela 35-registros dos sensores de umidade em ensaio de estanquidade

Tempo (S ^{1/2})	H1 (%)	H2 (%)	H3 (%)	S1 (%)	S2 (%)	S3 (%)
4	0,72	0,48	0,24	0,98	0,48	0,00
8	1,00	2,92	1,48	1,02	2,92	1,24
15	0,84	1,68	0,36	1,48	1,48	26,68
20	0,36	0,72	0,24	1,48	24,16	37,00
24	0,36	0,24	0,36	54,28	40,6	70,96
30	0,48	0,36	0,36	90,28	87,88	91,36
40	0,48	0,48	0,36	97,24	94,56	97,12
50	0,72	0,84	0,72	99,04	97,8	97,96
75	0,84	0,96	0,84	99,28	97,56	98,68
100	0,72	0,84	0,84	98,08	97,2	97,48
125	0,72	0,84	0,84	97,6	97,08	97,72
150	0,00	0,00	2,64	Deixou de registrar por estarem completamente enxarcados podendo comprometer os sensores		
200	0,00	1,32	4,20			
250	0,96	0,48	3,24			
300	2,28	2,52	98,64			
340	0,24	1,56	98,52			
380	0,24	2,40	98,64			
401	0,24	38,88	98,64			
406	0,12	55,8	98,64			
Finalização da ação da água por transpassamento da parede de blocos standard mantida ação do ar						
408	0,24	55,56	97,56			
410	0,24	51,72	95,16			
415	0,12	40,56	93,00			
419	0,12	39,6	91,56			

Durante o ensaio foi observada degradação continuada da superfície dos blocos standard, as juntas de gesso cola simples também mostravam degradação continuada, provocando vazamentos por estas.

A Figura 72 mostra aspectos do interior da câmara, no início e no final do ensaio. Destaque para a degradação por solubilização da parede construída com blocos standard e apenas a formação de manchas na superfície da parede construída com blocos hidro.



Figura 72-Aspecto da face no interior da câmara aos 75min e após 24horas

A Figura 73 apresenta os registros de todos os sensores de umidade ao longo de todo ensaio.

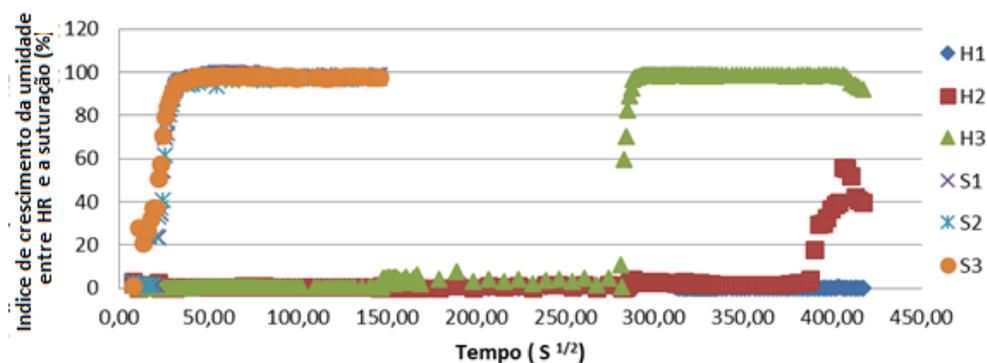


Figura 73 - Comportamento dos sensores de umidade na face exposta

Observa-se um comportamento bastante diferenciado no avanço da umidade forçada entre os blocos standard e os hidro. Nos primeiros 10 minutos todos os sensores de umidade instalados nos blocos standard mostravam-se encharcados (~100% de umidade relativa). A Figura 74 mostra um recorte deste comportamento nos primeiros 10 minutos de ensaio.

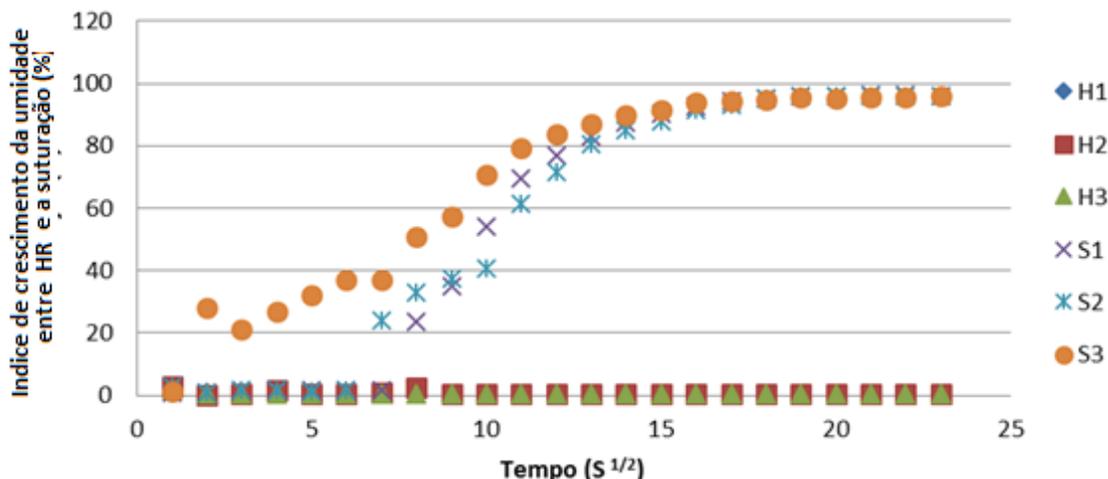


Figura 74 - Comportamento dos sensores de umidade na face exposta nos 10 primeiros minutos

Observando o comportamento dos sensores de umidade instalados nos blocos hidro se constata início da presença de umidade no sensor H3 (instalado a 25 mm da face interna mais próximo da ação da água/ar, após 21 horas de iniciado o ensaio). O segundo sensor só mostra presença de umidade após 22 horas do início.

O ensaio foi interrompido após 45,7 horas, quando foi detectado um vazamento provocado por degradação de uma área próxima à junta entre blocos standard e hidro. Neste instante foi fechada a água deixando por mais alguns minutos a ação da pressão do ar. Sendo observado queda de umidade continuada nos sensores H3 e H2. Já o sensor H1, instalado a 7,5 cm da face interna, exposta à ação da água/ar, não mostrou nenhum sinal de presença de umidade.

Aspecto da face interna da parede, face de exposição a ação da água e ventos, mostrada na Figura 75, apresenta diferenças significativas de desgaste dos blocos standard em relação aos blocos hidro. Fenômeno atribuído a solubilização do gesso dos blocos standard comparado a ação protetiva dos aditivos a base de silicone, constantes nos blocos hidro.



Figura 75- Aspectos da parede após 45 horas da ação do ensaio de estanqueidade-detalhe de parte bloco standard

É possível observar degradação bastante acentuada nos blocos standard em relação aos blocos hidro. Na região da ação da água mais direta observa-se a formação de cavidades no local dos furos por onde a água é lançada junta a parede, também mais acentuada nos blocos standard. Ainda é possível observar o vazio formado no bloco standard que provocou vazamento que impediu a continuidade do ensaio.

As paredes de alvenaria construídas com blocos de gesso hidro, caracterizadas pela norma NBR 16494 (ABNT, 2017) como h2, apresentam resistência ao avanço da umidade bastante superior aos blocos standard, o que corrobora com os resultados da pesquisa citada em relação à adsorção e elevação capilar.

A resposta dos blocos hidro à ação direta de água corrente e renovada foi surpreendente, mesmo em regiões onde a pressão do jato atingiu os blocos hidro, resistindo por um longo tempo.

Os sensores de umidade em diferentes posições da face sob ação direta da água revelaram um avanço rápido nos blocos standard e muito lento nos blocos hidrofugados. Nestes últimos, mesmo sob pressão do ar e ação da água corrente, necessitou de mais de 21 horas para avançar 2,5 cm nos blocos hidro.

Cabe ressaltar que existem no mercado blocos repelentes à água com maior percentual de impermeabilização do que pela norma nacional do Brasil a NBR 16494 (ABNT, 2017). A norma internacional ISO 12859 (EN, 2008) considera o nível h1 caracteriza os níveis de absorção de água abaixo de 2,5%, melhorando respostas ainda mais positivas à resistência e durabilidade da água.

3.5.2 INFLUÊNCIA DE TRATAMENTOS SUPERFICIAIS

Foi também avaliada a influência de alguns tipos de tratamentos e pintura aplicada nas alvenarias de blocos standard na perspectiva de avaliar as que apresentam resultados mais favoráveis quando submetidas a ensaios de estanqueidade.

Para esta avaliação comparativa foram realizados os seguintes experimentos:

- Uma amostra construída em alvenaria nas dimensões de (1200 x 1200) mm, com blocos hidrofugados sem tratamento na sua face de exposição;
- Uma série de amostras construídas em alvenaria nas dimensões de (1200 x 1200) mm com blocos standard, submetida a tratamentos na sua face de exposição com os seguintes procedimentos de sistemas de pintura:

- a) Sem qualquer tipo de tratamento e pintura;
- b) Preparado com selador acrílico (1ª diluída 50% e 2ª diluída 10%) e posteriormente pintada com tinta PVA látex específica em duas demãos (1ª diluída 50% e 2ª diluída 10%);
- c) Preparado com selador acrílico (1ª diluída 50% e 2ª diluída 10%) e posteriormente pintada com tinta PVA látex de linha em duas demãos (1ª diluída 50% e 2ª diluída 10%);
- d) Preparado com selador acrílico (1ª diluída 50% e 2ª diluída 10%) e posteriormente pintada com tinta acrílica a base de água em duas demãos (1ª diluída 50% e 2ª diluída 10%);
- e) Preparado com fundo preparador de paredes (1ª diluída 50% e 2ª diluída 10%) e posteriormente pintada com tinta acrílica em duas demãos (1ª diluída 50% e 2ª diluída 10%);
- f) Preparado com fundo preparador (1ª diluída 50% e 2ª diluída 10%) e posteriormente pintada com tinta PVA látex de linha em duas demãos (1ª diluída 50% e 2ª diluída 10%).

A Tabela 36 apresenta as características das amostras ensaiadas, considerando o tipo de bloco e o tratamento superficial aplicado, bem como os resultados obtidos com a realização dos ensaios normalizados. Na sequência estão apresentadas da contendo as fotos com a caracterização das amostras ensaiadas.

Tabela 36- Caracterização das amostras ensaiadas e resultados obtidos

Amostra	Tratamento	% de manchas na face posterior	Observações complementares
Bloco hidro	Sem tratamento	Sem manchas após 7:00 h de ensaio	Figura 76 A e B
Blocos simples	Sem tratamento	0:30h → 10% manchas; 1:00 h → infiltração	0:05h, 1ª manch Figura 77 C e D
	Preparação: Selador acrílico ¹ em 2 demãos; Pintura: tinta latex específica ³ em 2 demãos	2:00 h → 4% manchas; 3:00 h → 18% manchas; 5:00 h → infiltração; 7:00 h → 90% manchas	1:20 h, 1ª mancha Figura 78 E e F
	Preparação: Selador acrílico ¹ em 2 demãos; Pintura: tinta latex a base água ⁴ em 2 demãos	1:00 h → 8% manchas; 1:30 h → 50% manchas	0:45h, 1ª mancha e formação de bolha na pintura. Figura 79 G e H
	Preparação: Selador acrílico ¹ em 2 demãos; Pintura: tinta acrílica a base de água ⁵ em 2 demãos	2:00 h → 3% manchas; 3:00 h → 5% manchas; 4:00 h → 15% manchas; 6:00 h → 30% manchas	1:15 h, 1ª mancha e pequenas falhas na pintura. Figura 80 I e J
	Preparação: Fundo preparador ² em 2 demãos; Pintura: tinta acrílica a base de água ⁵ em 2 demãos	Sem apresentar manchas após 7:00 h de ensaio	Figura 81 L M
	Preparação: Selador acrílico ³ em 2 demãos; Pintura: tinta látex a base de água ⁴ em 2 demãos	1:00 h → 2% manchas; 2:00 h → 5% manchas; 4:00 h → 10% manchas; 7:00 h → 20% manchas	1:00 h, 1ª mancha e falhas na região da junta entre blocos. Figura 82 N e O
(1) Fundo Preparador: Resina vinílica modificada, aditivos, microbiocidas não metálicos e água.		(3) Tinta latex à base de água	
(2) Selador acrílico: Resina acrílica estirenada, pigmentos ativos e inertes, coalescentes, espessantes, surfactantes, microbiocidas não metálicos e água.		(4) Tinta Látex à base d'água	
		(5) Tinta acrílica à base de água. (CORAL, 2017)	



Figura 76- teste de estanqueidade em parede de blocos hidro



Figura 77- Teste de estanqueidade em parede de blocos standard sem tratamentos-

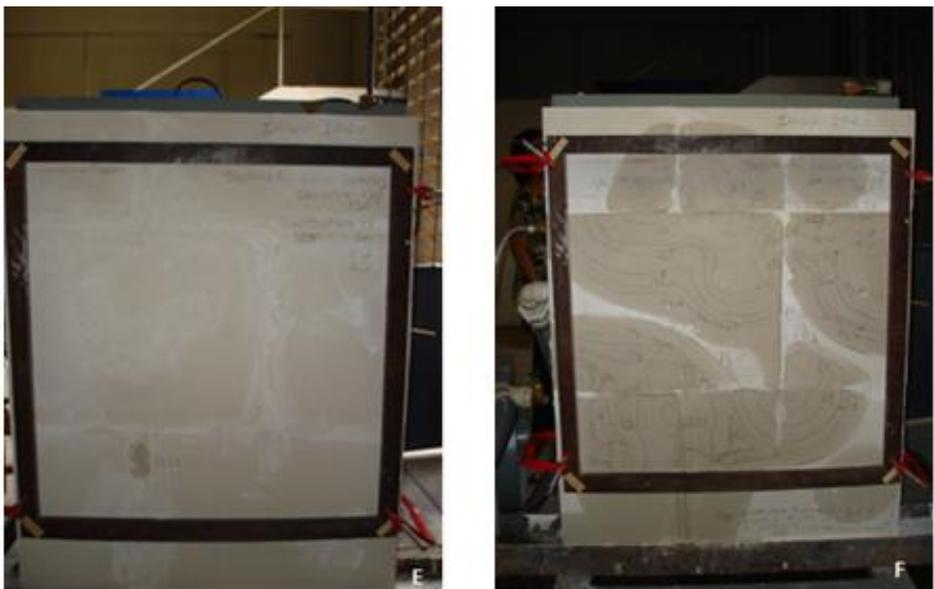


Figura 78- Teste de estanqueidade parede blocos standard com selador acrílico, tinta latex



Figura 79-Teste de estanqueidade parede de blocos standard com selador acrílico e tinta acrílica



Figura 80- Teste de estanqueidade parade de blocos standard com selador acrílico e tinta latex



Figura 81-Teste de estanqueidade parede de blocos standard com fundo preparador e tinta latex



Figura 82-Teste de estanqueidade parede de blocos standard com fundo preparador e tinta acrílica

Com base nos resultados e comportamento dos experimentos realizados é possível concluir:

- As alvenarias construídas com blocos hidro apresentam estanqueidade a água e atendem aos requisitos da norma NBR 15575-4 (ABNT,2013), podendo ser enquadrada como nível de desempenho intermediário(I) ou superior(S);
- As alvenarias construídas com blocos standard, em tese, não apresentam estanqueidade a água por não atender aos requisitos mínimos de estanqueidade de Norma. Dos tratamentos realizados apenas o tratamento com base em fundo preparador (duas demãos) e pintura em tinta acrílica (duas demãos) conseguiu atender ao requisito de estanqueidade de Norma.
- Os demais tratamentos não promoveram melhorias significativas que possibilitasse o atendimento aos requisitos de Norma.

Uma das preocupações com a utilização de tratamento superficial é a possibilidade de sofrer desgaste por ações de degradação por UVA e UVB ou mesmo por intervenção externa que possa ferir a superfície e a partir desta a possibilidade de infiltração de água.

3.5.3 INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO SUPERFICIAL NA DEGRADAÇÃO POR LIXIVIAÇÃO

Considerando que alguns tratamentos realizados sobre os blocos de gesso tipo standard, sofreram degradação superficial por lixiviação, foram realizadas novas séries de ensaios de estanqueidade incorporando a cada ciclo de 1,0 hora de exposição, medições da profundidade de degradação, semelhante à realizada após os ensaios de choque térmico e a inserção de um sensor de umidade, no interior do bloco,

na profundidade de 5 cm, para identificar o avanço da frente de umidade.

Em um mesmo painel de (1,0 x 1,0) m foram aplicados seis tipos de tratamentos sobre blocos standard, sendo estes denominados:

ST- sem tratamento superficial, ficando o bloco standard natural;

C- selador acrílico aplicado sobre a superfície (resina acrílica estirenada, sem pigmentos, coalescentes, espessantes, surfactantes, microbicidas não metálicos e água), aplicado em duas demãos;

L- pintura com tinta látex à base de emulsão acrílica, com pigmento inerte na cor verde, aplicada em duas demãos sobre o bloco standard;

LC- pintura com tinta látex à base de emulsão acrílica, com pigmento inerte na cor verde, aplicada em duas demãos sobre o bloco standard, previamente pintada com selador acrílico;

E- pintura com esmalte sintético, com pigmento inerte na cor branca, aplicada em duas demãos sobre o bloco standard;

EC- pintura com esmalte sintético, com pigmento inerte na cor branca, aplicada em duas demãos sobre o bloco standard, previamente pintada com selador acrílico;

A Figura 83 mostra o esquema do ensaio realizado, detalhando os setores de tratamento na face exposta à ação da água e pressão do ar e o posicionamento das sondas de umidade localizado na parte central de cada setor do painel na profundidade de 5,0 cm da face posterior. Cada setor possuía uma área de exposição de (0,40 x 0,30) m, posicionados conforme indicado na Figura 83.

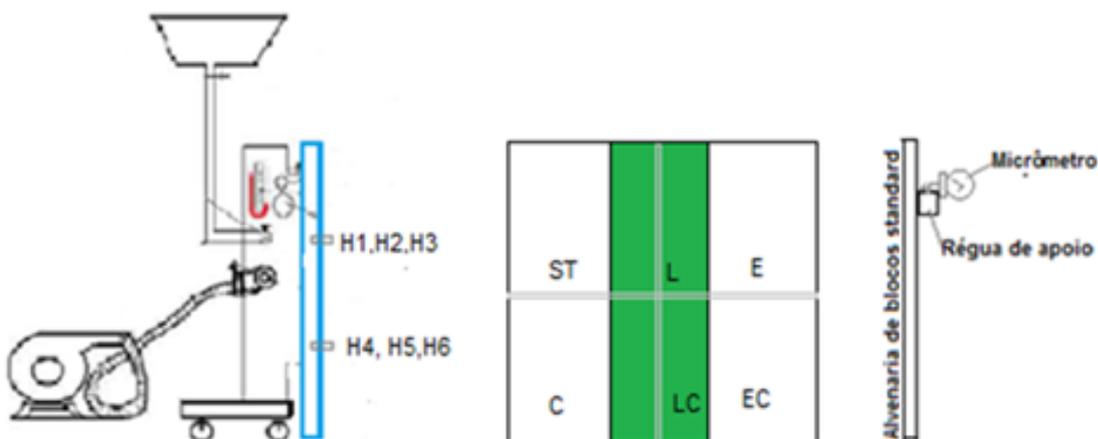


Figura 83- Ensaio de estanqueidade associado a medidas de degradação

O ensaio realizado seguindo as recomendações do anexo C da NBR 15575-4 (ABNT, 2013), consistiu em submeter um trecho de parede, de área útil de exposição de 1,0m x 1,0m, a pressão de vento constante de 50 Pa e uma vazão de água distribuída na superfície de 3 l/min. A variante deste método consistiu em não só avaliar a percentagem de infiltração, limitada a 10% da área, mas mensurar o avanço da umidade ao longo de ciclos de 1,0 h de duração por dia e mensurar a profundidade de degradação a cada ciclo, em um total de 12 ciclos.

3.5.3.1 AVANÇO DA UMIDADE NO INTERIOR DOS BLOCOS

Na região central de cada um dos seis setores, tratados diferentemente por pintura superficial sobre bloco standard, foi inserido um sensor de umidade na profundidade de 5,0 cm, ponta se estendendo até a face posterior. Para o registro do avanço da umidade em cada sensor foi utilizado um programa em sistema arduino. A Figura 84 apresenta o aspecto do ensaio ao final do 1º ciclo e o template do programa. Nesta é

possível observar o registro temporal do avanço das manchas de infiltrações e o registro na tela de computador das medições realizadas.

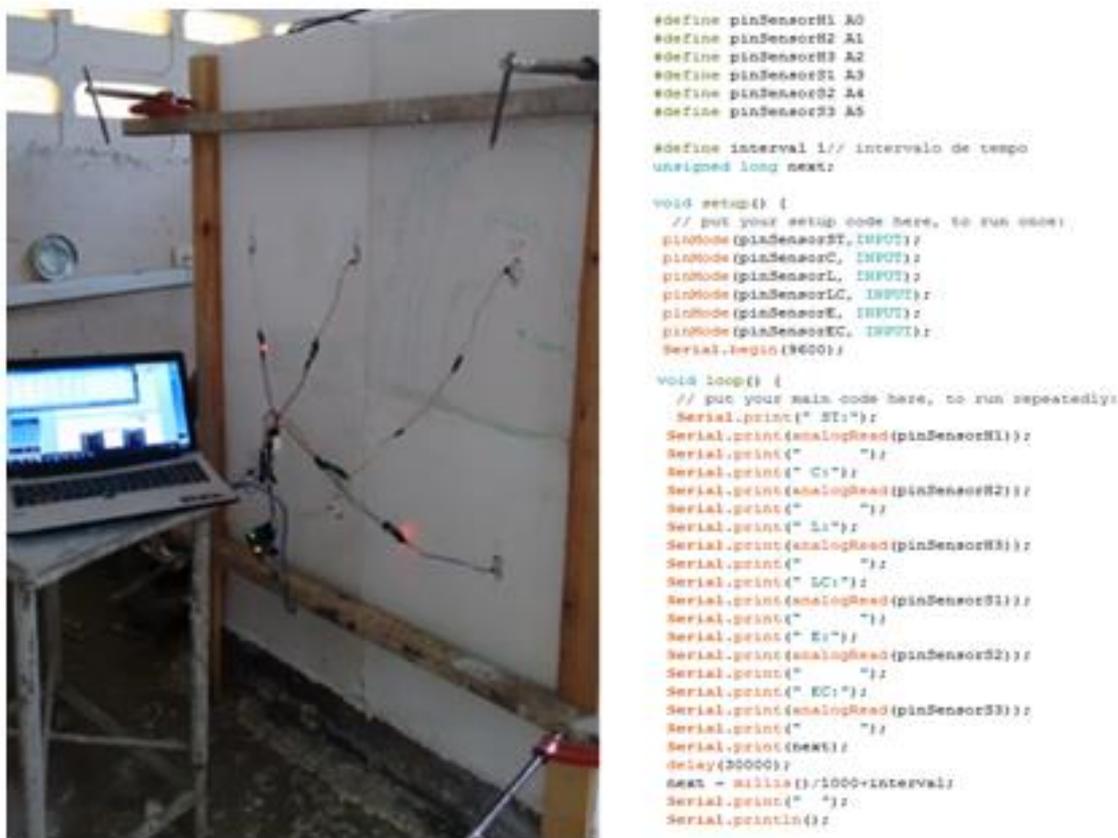


Figura 84- Aspecto do registro das infiltrações e programa de registro da umidade

O Figura 85 apresenta os resultados do avanço da umidade, através de cada setor tratados diferentemente, durante o 1º ciclo.

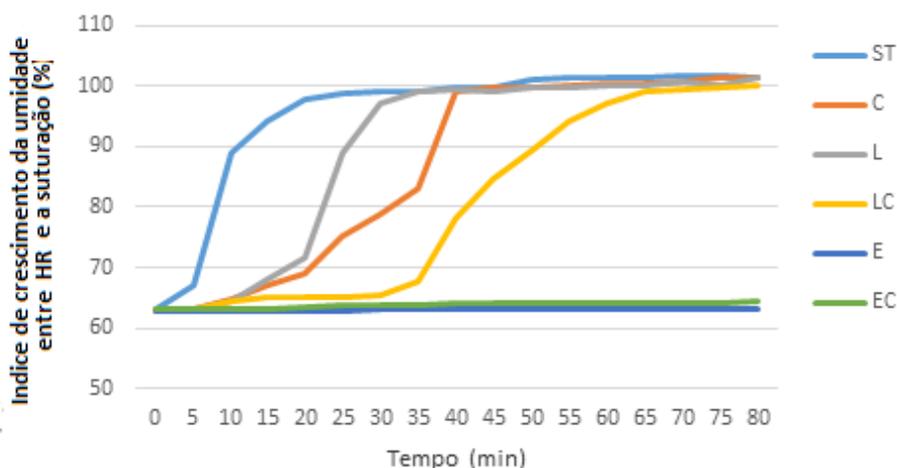


Figura 85 - Comportamento dos sensores de umidade na face posterior, para cada tipo de tratamento, após 1º Ciclo

Há de considerar que ocorreu infiltração transversal no interior do bloco standard, afetando os sensores localizados por trás dos setores de tratamento C- apenas com selador; L- tratado com pintura látex; e LC-

tratado com pintura látex sobre o selador.

Ainda na Figura 85 é possível observar que logo aos primeiros 5 minutos o sensor posicionado no centro do bloco atrás do setor da superfície sem tratamento (ST) já se registra sensibilidade da umidade. Aos 10 minutos os registos apontam para proximidade da saturação e aos 20 minutos, há saturação quase que completa, o que corrobora com a identificação da primeira mancha de umidade que ocorreu na face posterior aos 22 minutos.

No terceiro ciclo já se observa avanço da umidade em quase todos os setores, conforme mostra a Figura 86.

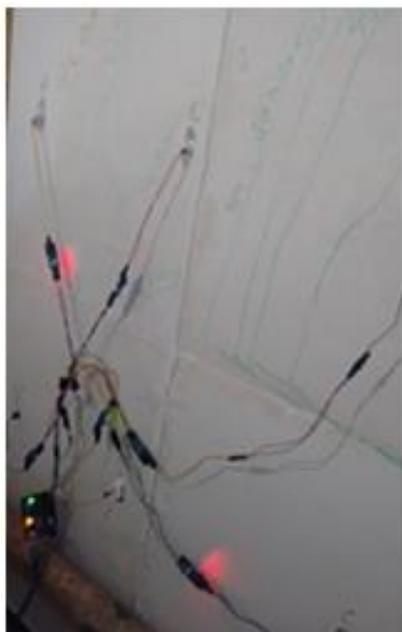


Figura 86- Aspectos do avanço das manchas de umidade ao final do 3º ciclo

O Figura 87 apresenta os resultados do avanço da umidade, através de cada setor tratado diferentemente, durante o 3º ciclo.

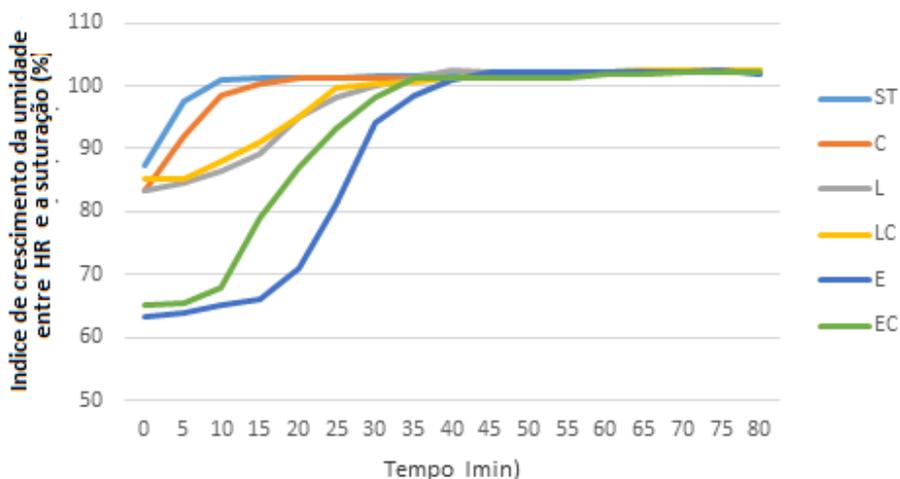


Figura 87 - Comportamento dos sensores de umidade, na face posterior ppra cada tipo de tratamento, após 3º ciclo

Na Figura 87 é possível observar que a umidade acumulada no interior dos blocos, adquirida na realização dos dois ciclos anteriores, interferiu nos índices iniciais dos setores que sofreram infiltração, mesmo de

forma indireta pelo interior dos blocos. Também é possível observar que neste 3º ciclo os sensores instalados nos setores pintados com esmalte sintético, E- apenas esmalte sobre bloco sem tratamento e EC- esmalte sobre tratamento prévio com selador, mostraram que a umidade atingiu de forma indireta estes sensores, o que pode ser observado na Figura 88.

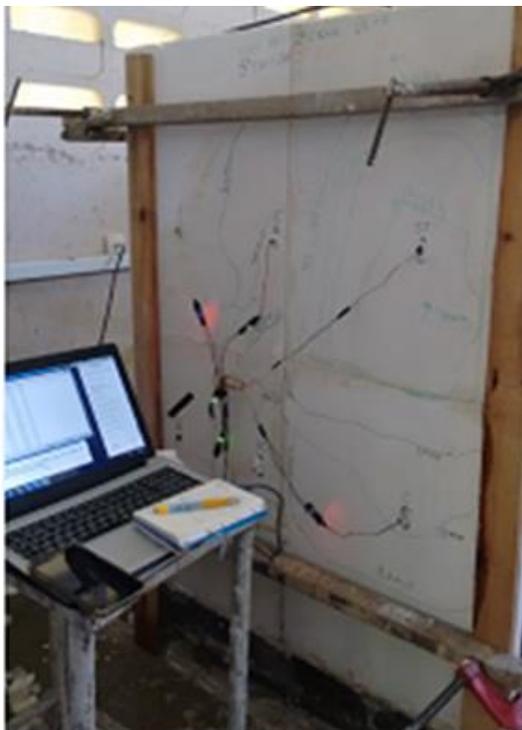


Figura 88- Aspecto da face posterior com a indicação das manchas de infiltração no 3º ciclo

Os sensores de umidade identificaram o avanço da umidade no interior dos blocos sob tratamentos diferenciados, registrando inicialmente o crescimento da umidade no setor sem tratamento (ST), antecipando as manchas na face posterior, estando coerente com os ensaios de estanqueidade realizados segundo a norma, ver item 3.5.2., porém, as infiltrações no interior dos blocos contaminaram com a umidade os demais setores, prejudicando a análise específica de cada um. Os setores mais próximos do setor ST mostraram primeiro o avanço da umidade.

3.5.3.2 AVANÇO DA DEGRADAÇÃO POR LIXIVIAÇÃO APÓS CICLOS DE ENSAIO DE ESTANQUEIDADE

Ao final de cada ciclo de ensaio foram realizadas medições da profundidade da degradação, utilizando procedimento similar ao empregado no item 3.4.4.. A face exposta foi demarcada virtualmente em malha de (5,0 x 5,0) cm e foram realizadas medições com micrômetro apoiado em régua de alumínio estruturada (5,0 x 5,0) cm, tendo perfis laterais para evitar contato direto com a superfície do bloco. A Figura 89 mostra aspectos deste procedimento utilizado.

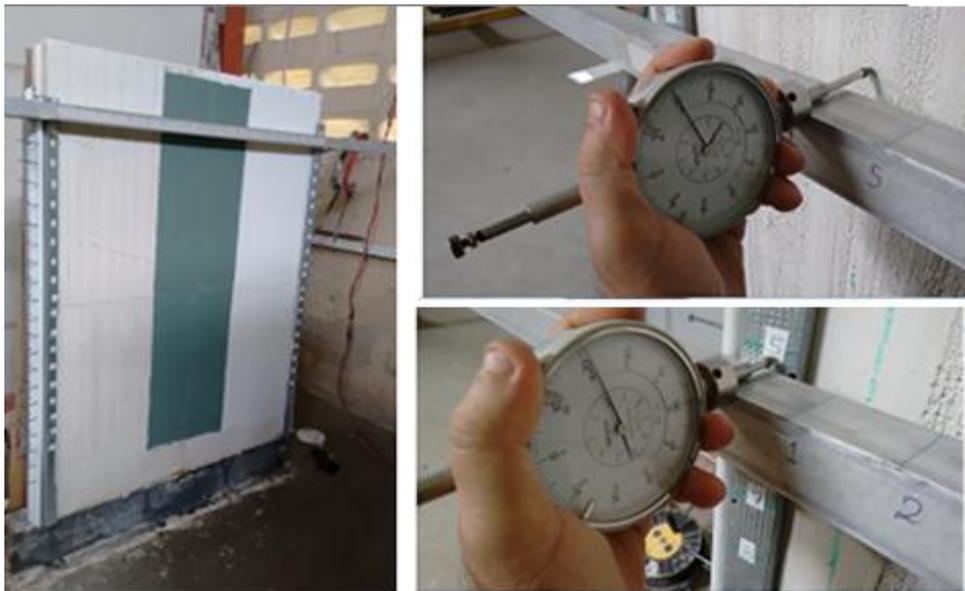


Figura 89- Processo de medição das profundidades de degradação

Os resultados das medições no início dos ensaios, tomado como referência, estão apresentados na Tabela 37.

Tabela 37-Resultados das medidas de profundidade antes dos ensaios

Zero E	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	Zero D
Setor sem tratamento superficial						Setor tratado com pintura latex						Setor tratado com esmalte acrílico							
3927	2590	2582	2579	2584	2549	2550	2459	2520	2488	2511	2458	2429	2454	2430	2410	2410	2372	2457	3699
4069	2535	2493	2592	2556	2503	2480	2427	2481	2444	2465	2447	2378	2422	2418	2420	2366	2357	2394	3709
4026	2584	2467	2457	2535	2593	2524	2483	2489	2482	2465	2418	2406	2451	2405	2409	2381	2361	2367	3654
3997	2533	2452	2545	2521	2500	2574	2433	2367	2398	2431	2463	2400	2437	2321	2387	2327	2343	2368	3689
4033	2421	2420	2440	2532	2442	2518	2429	2374	2414	2432	2430	2390	2448	2394	2392	2364	2367	2364	3767
4033	2421	2420	2440	2432	2442	2518	2429	2374	2414	2432	2431	2390	2448	2394	2392	2364	2373	2360	3767
3953	2455	2456	2442	2393	2409	2485	2394	2342	2368	2419	2391	2396	2468	2430	2403	2402	2441	2369	3795
4030	2445	2384	2405	2366	2398	2474	2380	2351	2355	2353	2367	2414	2452	2436	2353	2364	2408	2367	3712
4005	2418	2362	2321	2322	2312	2400	2410	2242	2304	2338	2308	2498	2492	2374	2389	2382	2403	2378	3859
3975	2381	2363	2390	2339	2311	2363	2375	2350	2346	2419	2359	2464	2330	2365	2362	2382	2411	2420	3811
4021	2440	2450	2423	2497	2388	2400	2389	2393	2400	2487	2438	2443	2399	2348	2449	2436	2445	2409	3945
3997	2499	2434	2410	2459	2384	2434	2372	2334	2420	2447	2383	2454	2405	2477	2433	2500	2426	2430	3821
Setor tratado com selador						Setor tratado com latex sobre selador						Setor tratado com esmalte sobre selador							
4018	2458	2450	2452	2427	2421	2532	2437	2427	2451	2452	2378	2428	2442	2508	2519	2519	2499	2467	3840
3995	2431	2472	2497	2408	2506	2555	2478	2442	2446	2452	2427	2339	2440	2430	2444	2424	2495	2376	3859
4092	2536	2452	2445	2500	2507	2580	2508	2424	2511	2494	2436	2495	2495	2453	2450	2442	2443	2511	3894
4010	2530	2418	2454	2570	2483	2545	2563	2470	2514	2475	2409	2422	2393	2458	2468	2465	2438	2469	3918
4039	2489	2411	2512	2531	2587	2510	2568	2477	2459	2455	2430	2440	2409	2500	2503	2483	2489	2402	3913
3972	2492	2428	2420	2428	2547	2547	2526	2420	2416	2400	2441	2468	2445	2500	2500	2480	2472	2501	3912
4009	2503	2480	2432	2435	2436	2458	2644	2437	2506	2441	2471	2471	2467	2556	2544	2541	2545	2545	3873
3982	2578	2409	2455	2454	2460	2496	2672	2566	2443	2448	2498	2498	2564	2468	2458	2517	2521	2519	3922

A Figura 90 mostra aspectos das superfícies expostas e por setores no início dos ensaios.



Figura 90-Aspectos da superfície antes da sequência de ensaios

Os resultados das medições no início dos ensaios, tomado como referência, estão apresentados na Tabela 38. A Figura 91 mostra aspecto das superfícies expostas e por setores no início dos ensaios.

Tabela 38- Resultados das medidas de profundidade após o 12º ciclo

Zero E	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	Zero D
Setor sem tratamento superficial						Setor tratado com pintura latex						Setor tratado com esmalte acrílico							
4040	2514	2520	2375	2244	2309	2298	2478	2468	2440	2439	2499	2461	2412	2425	2435	2497	2501	2543	3991
4048	2546	1861	1856	1807	2041	2185	2376	2405	2378	2351	2356	2381	2416	2435	2491	2551	2591	2635	4001
4076	2508	1826	1798	1812	1848	1847	1923	2374	2356	2427	2373	2420	2390	2465	2500	2508	2576	2589	3908
4056	2372	1835	1807	1892	1832	1943	2337	2370	2326	2365	2389	2407	2393	2436	2470	2494	2502	2568	3990
4017	2246	1767	1876	1837	1842	1999	1908	2429	2425	2423	2394	2423	2345	2419	2451	2515	2495	2570	3985
4089	2208	1784	1831	1851	1829	1856	2408	2409	2417	2470	2372	2454	2312	2500	2503	2487	2495	2509	3952
4027	2292	1748	1797	1805	1837	1861	2174	2381	2380	2369	2372	2389	2312	2335	2409	2456	2491	2504	3990
4097	2176	1888	1814	1717	1798	1631	2458	2452	2414	2208	2430	2393	2338	2391	2401	2422	2467	2520	3963
4047	2220	1772	1749	1704	1931	1736	2354	2461	2371	2436	2408	2326	2359	2381	2388	2475	2505	2353	3950
4069	2235	1771	1711	1797	1892	1971	2417	2409	2487	2435	2412	2426	2355	2398	2432	2511	2491	2522	3914
4081	1738	1953	1821	1849	1897	1832	2406	2420	2404	2391	2397	2356	2347	2440	2466	2520	2556	2558	3924
4085	2105	1853	1919	1884	1923	1850	2352	2349	2412	2154	2462	2462	2206	2397	2465	2470	2531	2557	3928
Setor tratado com selador						Setor tratado com latex sobre selador						Setor tratado com esmalte sobre selador							
4021	2329	2052	2065	2071	2158	2146	2315	2412	2346	2404	2412	2386	2364	2376	2455	2520	2581	2539	3934
4059	2330	2139	2044	2005	2155	2109	2386	2355	2366	2121	2506	2422	2414	2459	2536	2590	2568	2555	3935
4052	2315	2164	2036	2117	2139	2157	2371	2412	2435	2495	2441	2397	2477	2488	2520	2521	2521	2555	3949
4058	2332	2103	2187	2087	2127	2221	2389	2361	2370	2470	2440	2478	2458	234	2522	2562	2400	2532	3954
4089	2342	2037	2011	2134	2156	2125	2418	2413	2481	2487	2430	2480	2578	2541	2538	2560	2549	2526	3980
4071	2319	2115	1712	2183	2195	2132	2409	2413	2397	2440	2445	2520	2620	2444	2546	2591	2577	2590	3942
4055	2333	2075	2045	2042	2115	2154	2456	2422	2489	2458	2484	2518	2670	2520	2512	2573	2542	2507	3925
4069	2360	2035	2041	2043	2086	3138	2489	2450	2410	2434	2530	2535	2703	2582	2567	2542	2511	2561	3931

Os destaques em amarelo representam indicativos de obturações que ocorreram na superfície decorrente de

vazios localizados e de desgaste na região das juntas.



Figura 91- Aspecto da superfície exposta após o 12º ciclo

A Figura 92 mostra o aspecto de cada setor ao final do 12º ciclo de ensaio, neste é possível observar desgaste bem mais acentuado na superfície do bloco não tratada, inclusive com fissuras em duas posições fruto da fragilização do bloco de gesso standard saturado. Também é possível observar degradação por lixiviação na superfície tratada apenas com selador acrílico, que embora tenha retardado o início da degradação, perdeu sua proteção durante os ciclos.

As juntas mostraram sua maior fragilidade e degradação em relação á superfície do bloco, os tratamentos de pintura PVA-látex (L) e esmalte (E) diretamente sobre a superfície do bloco mostraram mais aderência e estabilidade, embora a pintura látex tenha apresentado uma rugosidade maior.

As superfícies tratadas com pintura sobre o tratamento com selador mostraram formação de bolhas, algumas destas rompendo e abrindo espaço para a superfície do bloco, como mostrado na Figura 92e (PVA-látex sobre selador (LC)). Os 12 ciclos não foram suficientes para provocar rompimento das bolhas formadas pelo esmalte sobre o selador, ver f)esmalte sobre selador (EC), porem interferiu nos resultados das medidas das profundidades.



Figura 92-Aspecto das superfícies após o 12ºciclo

Os resultados das medições acumuladas por tipo de tratamento superficial estão apresentados na Tabela 39 e representados no Figura 93. Estes resultados foram obtidos pela média dos pontos distribuídos em malha sobre cada superfície tratada, descontada as medidas das duas extremidades.

Tabela 39- Resultados relativos e acumulados dos desgastes por ciclo, em mm

	ST	C	L	Lc	E	Ec
inicio	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1º ciclo	0,150	0,010	0,061	0,011	0,053	-0,002
2º ciclo	0,201	0,017	0,060	-0,012	0,006	-0,010
3º ciclo	0,253	0,015	0,057	0,031	0,050	0,043
4º ciclo	0,297	0,096	0,068	0,065	0,058	0,052
5º ciclo	0,339	0,155	0,079	0,076	0,053	0,038
7º ciclo	0,438	0,253	0,073	0,112	0,049	0,056
9º ciclo	0,566	0,360	0,128	0,109	0,058	0,014
12ºciclo	0,689	0,430	0,137	0,077	0,053	0,036

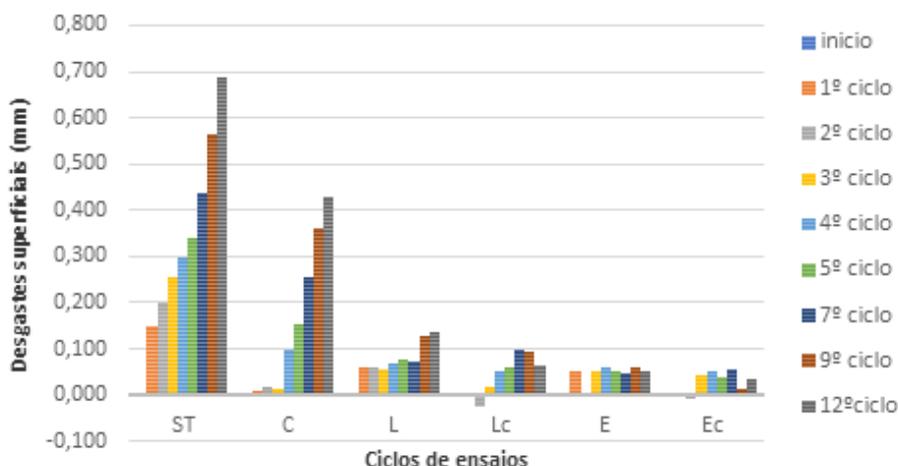


Figura 93 - Desgastes por lixiviação nas suerfícias expostas com diferentes tratamentos

Com base nos resultados e comportamento dos experimentos realizados é possível concluir:

- As medições da profundidade, por tipo de tratamento, mostraram que o setor sem tratamento (ST) apresentou desgaste por lixiviação crescente desde o primeiro ciclo, atingindo 0,7 mm ao final do 12º ciclo, já o setor tratado apenas com selador (C) resistiu aos três primeiros ciclos de ensaio, porém, após estes ciclos iniciais mostraram crescimento com tendência semelhante à superfície não tratada.
- Os resultados das pinturas, tanto com tinta látex quanto com esmalte, sobre a superfície previamente tratada com selador, mostraram formação de bolhas e posteriormente falhas por ruptura da camada, sendo mais acentuada na pintura látex sobre selador.
- Os melhores resultados foram obtidos com as pinturas utilizando esmalte sintético, resistindo aos 12 ciclos de ensaio sem mostrar desgaste superior às medidas de dispersão inerentes ao processo de medição.

Analisando o comportamento do progresso da profundidade dos desgastes com o tempo de exposição à ação da água e à pressão de vento, apresentado na Figura 94, é possível observar uma tendência parabólica do desgaste superficial da superfície sem tratamento (ST), crescente desde o início de exposição.

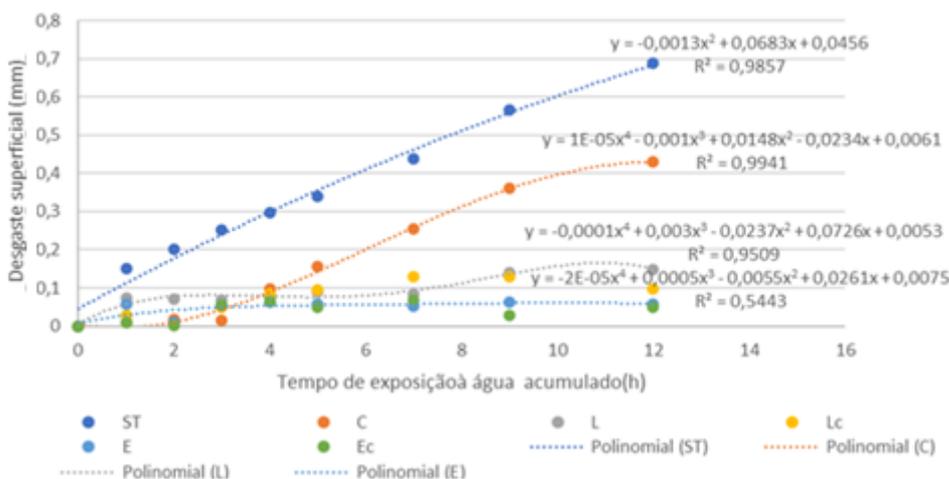


Figura 94-Desgastes nas superfícies tratadas por tempo de exposição

Já a superfície tratada com apenas selador (C) apresenta uma tendência polinomial de ordem 4, bastante expressiva tendo no início um crescimento modesto e após o 3º ciclo segue a tendência de desgaste similar a superfície sem tratamento (ST).

Os demais tratamentos mostram tendências de crescimento polinomial, cujos R^2 estão associados às curvas polinomiais de ordem 4, também com menor crescimento nos ciclos iniciais e que mostram oscilações decorrentes do surgimento de bolhas e do rompimento destas, no decorrer dos ciclos e das medições realizadas.

3.6 SÍNTESE DOS ENSAIOS LABORATORIAIS

Neste capítulo foram realizados ensaios com o objetivo de identificar e caracterizar o comportamento das alvenarias de blocos standard e de blocos hidro frente a exposição acelerada à ação do calor e da água (choque térmico) e ação da água sob pressão de ar (estanqueidade), segundo metodologia normalizada, como função de dose-resposta, preconizada na norma ISO 15856-2 (ISO, 2011).

Para avaliar o avanço da frente de umidade no interior dos blocos foram instalados sensores de umidade e de temperatura como forma de monitorar os registros através de programas desenvolvidos em sistemas Arduino. Para verificação da eficiência dos sensores e do programa simulador foram utilizados os sensores em ensaios de capilaridade, segundo a ISO 15148 (ISO, 2002). Os resultados obtidos para os coeficientes de absorção de água e os índices de ascensão capilar para os blocos standard e hidro mostraram coerência com os apresentados por Santos (2016).

A instalação de três sensores equidistantes das faces dos blocos nas paredes sob ensaio de choque térmico e de estanqueidade possibilitou avaliar o comportamento diferenciado das movimentações hídricas entre os blocos standard e hidro. Nos ensaios de choque térmico os blocos standard mostraram presença de umidade quase que instantaneamente quando da ação da água, logo após a ação do calor, sendo o sensor mais próximo da face exposta o primeiro a responder e os demais minutos depois. Já os blocos hidro não responderam à presença de umidade, mesmo após longo tempo da ação da água e o prolongamento do ensaio, mostrando um comportamento de baixa permeabilidade à água.

Percebeu-se no primeiro ciclo do ensaio de choque térmico com a parede de blocos standard que, em menos de 10 minutos, após ação da água de molhagem, houve um crescimento da umidade no sensor instalado a 2,5 cm da superfície exposta, seguido do crescimento similar nos demais sensores (instalados a 5,0 cm e 7,5 cm) desta face. Nos demais ciclos a umidade presente, decorrente dos ciclos anteriores, provocaram elevação no valor inicial, porém mantendo a tendência.

Já os ensaios de choque térmico nas paredes de bloco hidro, mesmo após 110 minutos da ação da água de molhagem os sensores não registram umidade significativa, e mesmo após os 10 ciclos de ensaios não foram registradas mudanças deste comportamento, mostrando que mesmo sob temperatura, favorecendo a mobilidade da água no interior dos componentes, não houve a detecção da presença de umidade no sensor localizado a 2,5 cm da face exposta e nos demais sensores.

Por outro lado, as juntas na parede de blocos hidro mostram vulnerabilidade por infiltração da água, como aconteceu nas alvenarias com blocos standard, porém com menos intensidade visto que a degradação dos blocos hidro nas juntas são bem menores. Possivelmente esta também é a explicação para ter sido observado fissura no bloco standard, decorrente da fragilização pela variação termo-higroscópica, o que não ocorreu nas paredes de blocos hidro.

Para mensuração dos níveis de desgaste superficial foi proposto o método de medição direta com a utilização de micrômetro. Resultados mostraram diferença substancial entre os dois tipos de blocos. Os blocos standard apresentaram desgaste superficial maior, da ordem de duas a três vezes em relação aos blocos hidro, além disso, o comportamento da curva de desgaste dos blocos hidro mostraram uma tendência de estabilização a partir do 5º ciclo, o que não foi percebida na curva de comportamento dos blocos standard.

Uma constatação observada foi com relação aos blocos pseudo hidro, isto é, blocos na cor de hidro(azul), apresentando comportamento similar ao blocos standard, porém mostraram desgaste ainda maior que os blocos standard, da ordem de 4,5 vezes a do bloco hidro.

Nos ensaios de estanqueidade, a norma NBR 15575-4 (ABNT, 2013) Anexo C preconiza o tempo de duração de 7 horas, porém para avaliar o comportamento do avanço da umidade nos blocos hidro foi necessário se estender para 45 horas. Os resultados mostraram um comportamento bastante diferenciado entre a alvenaria de blocos standard, que mostraram avançada solubilização e um rápido avanço de umidade, com relação à alvenaria de blocos hidro, que não sofreram solubilização com a ação da água, exceto para os pontos de pressão dos jatos de água e um lento avanço de umidade no interior dos blocos.

Quanto a tratamentos superficiais, quando analisados a luz da Norma 15575-4 (ABNT, 2013), os blocos hidro atenderam aos requisitos de norma e apenas os blocos standard tratados com pintura acrílica sobre selador apresentaram atendimento aos requisitos de norma, os demais tratamentos não apresentaram estanqueidade em 7 horas de exposição.

Quanto a influência dos tratamentos superficiais em blocos standard no comportamento do desgaste sob ensaios de estanqueidade foi possível constatar que as pinturas com esmalte sintético mostram pouca degradação, já as pinturas com tinta látex aplicada diretamente sobre o blocos mostraram mais estabilidade ao desgaste que estas aplicadas sobre selador.

As superfícies não tratadas, sem pintura, apresentaram desgastes acentuados com tendência de crescimento polinomial, semelhante à curva de probabilidade condicional associada a uma distribuição de Weibull, na forma de expressão poligonal do 2º grau, similar aos observados nos ensaios de choque térmico. A aplicação de selador acrílico sobre os blocos standard retardam o início da degradação, porém, após algumas horas de exposição(no caso 3 horas) apresentou curva de degradação similar a superfície não tratada.

Procedendo uma correlação dos resultados de desgaste por ciclo entre os ensaios de choque térmico e os ensaios de estanqueidade é possível perceber que a ação da água após ação do calor é bem mais lixiviante que apenas ação da água à temperatura ambiente. Após cinco ciclos da ação da água sobre o bloco standard aquecido a 80°C o desgaste médio foi de 0,53 mm, enquanto sobre o mesmo tipo de bloco sem calor, o desgaste médio foi de 0,34 mm, representando uma diferença em torno de 35% menor quando não se considera a ação do calor, corroborando com as informações levantadas no item 2.4.5.1-Solubilidade dos produtos de gesso.

4

AVALIAÇÃO NO PROTÓTIPO CONSTRUÍDO

4.1 ENQUADRAMENTO

A proposta de investigação no protótipo tem por objetivo avaliar o nível das manifestações patológicas (degradação superficial, fissuras, manchas) que mostraram evolução ao longo de tempo no período de 12 anos em exposição natural e comparar estas com as respostas dos ensaios acelerados. O protótipo de casa térrea, construído no Campus do ITEP em 2007, foi acompanhado desde sua construção, sendo monitorado em anos subsequentes, tendo como principal objetivo correlacionar a evolução das manifestações patológicas, associada às ações climáticas ocorridas nesse período.

As respostas dos ensaios acelerados, notadamente os de choque térmico, buscou associar os níveis de degradação superficial avaliados no protótipo e as formas de degradação com as encontradas nos vários ciclos de exposição do ensaio.

A influência dos tratamentos superficiais aplicados sobre blocos de gesso standard foram avaliados, considerando a ação da chuva dirigida nas fachadas, associando aos níveis de desgaste observados no protótipo.

4.2 DESCRIÇÃO DO PROTÓTIPO

O protótipo de casa térrea de alvenaria de blocos de gesso foi construída em uma área do Campus experimental do ITEP utilizada para realização de ensaios experimentais ao lado de outros protótipos, similares na arquitetura e diferentes nos sistemas construtivos, ao lado do Laboratório de Tecnologia Habitacional. A Figura 95 mostra detalhes o posicionamento dos protótipos para avaliação da durabilidade de seus componentes.

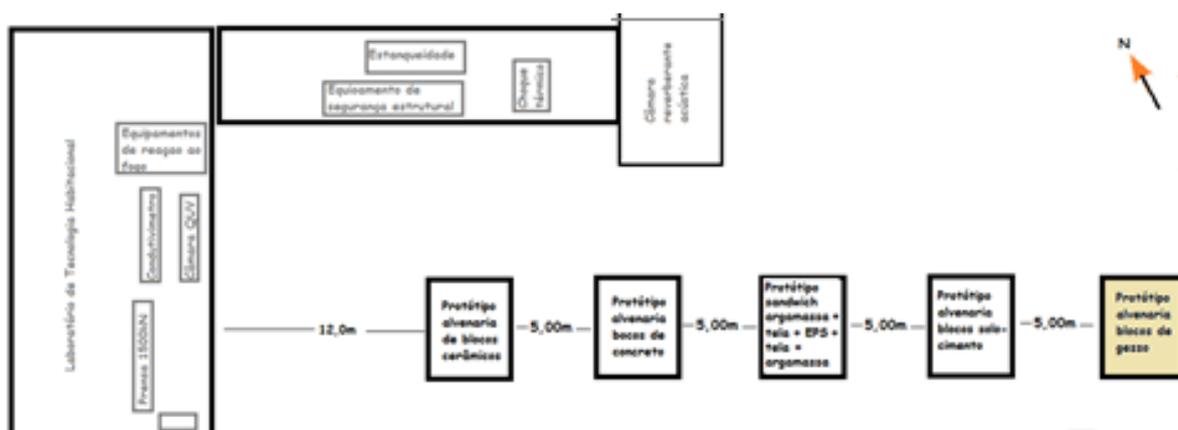


Figura 95- Localização do protótipo no Campus experimental do ITEP

O protótipo construído conforme planta baixa apresentada na Figura 96, é constituído de uma sala, dois quartos, uma cozinha e um BWC, totalizando 38 m². Foi construído com fundação em laje radier de

concreto armado de 12 cm de espessura com duas malhas (20 x 20) cm e fios 4.2 mm de diâmetro. O concreto foi fabricado em canteiro com resistência estimada em 25 Mpa.

As paredes externas em alvenaria de blocos maciços de 10cm de espessura e a dimensão dos blocos são de (666,7 x 500 x 100) mm. As paredes internas, também de blocos maciços de 7 cm de espessura e dimensões de (666,7 x 500 x 70) mm. Os blocos são unidos por gesso-cola e a primeira fiada é construída com blocos hidro, sendo as demais com blocos standard.

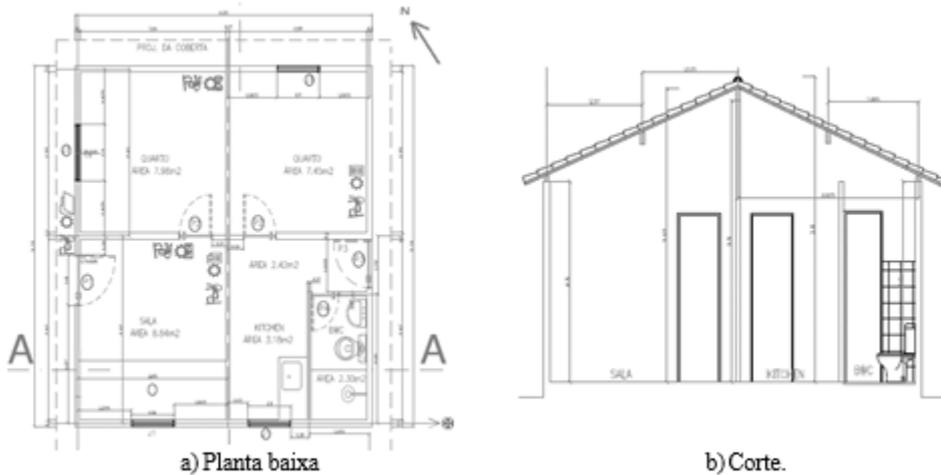


Figura 96- Aspectos arquitetônicos do protótipo

4.3 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS CONSTATADAS NO PROTÓTIPO APÓS 12 ANOS DE EXPOSIÇÃO

A sequência de fotos apresentadas na Figura 97 à Figura 100 mostram aspectos do comportamento do protótipo às ações de intempéries, sem uso, aberto apenas para visitas e inspeções, e em avaliação desde 2007.



a) Fachada frontal (FF-NE) – vista geral



b) FF(NE) – detalhe da fissura no encontro de blocos sobre paredes em verga.



c) FF/Fachada Lateral Direita(FLD)- NE/SE- vista geral - localização sudeste (ventos e chuva)



d) FLD(ESE) – detalhe degradação contorno da janela; degradação no encontro dos blocos da 2ª e 3ª fiada

Figura 97- Vista geral das fachadas



a)FLD- detalhe da degradação entre blocos da 2º e da 3º fiada- ambos blocos standard.



b)fachada posterior(FP) e FLD- vista geral



c)canto inferior entre FP e FLD – detalhe da degradação superficial dos blocos hidro (h2)



d) canto inferior FP – detalhe degradação da pintura e degradação superficial dos bloco hidro



e)fachada Posterior(FP)- Vista geral



f)FP- fissura sobre porta; encontro de blocos sem verga, recebendo carga

Figura 98-Detalhes das manifestações patológicas



a) fachada Lateral Esquerda (FLE)(direção W)-
vista geral



b)FLE – detalhe da fissura no canto superior
onde recebe carga da coberta, na empena



c)FLE – fissura no canto inferior junto a parede
da fachada frontal.



d)FLE -detalhe da fissura no canto superior.



e)PIF – detalhe da fissura junto a porta e no canto
no encontro de blocos ao lado fissura central(C5)



f) parede interna do quarto posterior- detalhe
das manchas de umidade.

Figura 99-Outros detalhes das manifestações patológicas no protótipo



Figura 100- Manifestações patológicas no interior do protótipo

Algumas considerações sobre as manifestações patológicas observadas no protótipo:

A simples colagem de blocos sobre os vãos de portas, sem a presença de vergas, quando esta região sofre ação de carregamento vertical, a fissura é inevitável. A Figura 100 mostra a deformação sofrida na região superior da porta e a fissura vertical formada. O seguimento de parede sobre o vão recebe cargas dos caibros que apoiam as telhas; além do peso próprio, há uma ação dinâmica provocada pelos ventos atuando sobre as telhas.

É importante considerar que as alvenaria de blocos de gesso são muito rijas, apresentando módulo de elasticidade da ordem de 80Mpa, 69% superior as da alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais revestidos com argamassa a base de cimento (Sobrinho *et al.*, 2010). Thomaz (1989) mostra que as tensões provocadas por cargas aplicadas sobre vãos de porta de janela tendem a se distribuíu para as regiões suportes, gerando tensões de tração sobre os vãos, principalmente nos vértices, e uma maior concentração de tensões de compressão nas regiões suporte. Comportamento semelhante foi constatado no artigo sobre inspeção e modelagem numérica de alvenarias não estruturais nas regiões de vão de janelas e em outras regiões que apresentam concentração de tensões por Esteves (Esteves; Flores-Colen & Silva, 2018).

Soluções para minimizar o surgimento deste tipo de fissura foram estudadas e incorporadas as normas técnicas EN 13914 (CEN, 2016) e NBR 16657 (ABNT, 2017), que recomendam a utilização de bandagem com telas aplicado com pasta de gesso aditivado, funcionando como um enrijecedor e dessuador de fissuras. As telas de poliéster de malha curta (1x1) mm, quando aplicada com argamassa polimérica ou gesso-cola possibilitam uma compatibilização e enrijecimento na região de encontro de componentes (região de maior fragilidade), além de dissuadir potenciais fissuras em microfissuras.

A fachada lateral voltada para sudeste, direção que mais recebe vento e chuva, mostra indicativos de degradação de maior significado. A Figura 98 mostra aspectos diferenciais entre blocos simples e hidrofugados. Os blocos simples sofrem com a degradação de águas renováveis (águas de chuva) após a perda da eficácia da pintura a base de PVA.

As formas de degradação aparecem principalmente na região de encontro (juntas) entre blocos simples, sendo menos evidente em áreas lisas, sem ponto de acúmulo (Figura 97c com detalhe na Figura 98a). Nos ensaios acelerados de choque térmico este comportamento foi observado, mostrando que as juntas

constituem região de fragilidade e de maior potencial infiltração de água. Essa região de contato entre blocos, muitas vezes não preenchida completamente pela pasta, é também mais rugosa que a superfície dos blocos, favorecendo de sobre maneira a penetração e o acúmulo das águas.

Uma vez infiltrada e tendo o acúmulo de água como contributo, o mecanismo de degradação por solubilização e liviviação está formado, contribuindo de forma evolutiva para a degradação, como mostra a Figura 98.

Mesmo com o detalhe de declividade do canto da calçada e considerando que as paredes se apoiaram sobre lajes, potencialmente impermeabilizadas, basta uma pequena depressão, com possibilidade de acúmulo de água, para potencializar a degradação, porém com menos intensidade, já que a primeira fiada fora construída com blocos hidro. A força do vento e a região que sofre com muita intensidade de chuva contribui para isso, esta situação pode ser comprovada quando se compara as intensidades dos ventos na direção sudeste com a direção noroeste.

As manchas formadas no ambiente interno, como mostra as Figura 99 e a Figura 100, são originadas das infiltrações, que internamente são evidentes, mais pronunciado nas partes das paredes construídas com blocos standard (acima da primeira fiada), já que não existe as condições de secagem superficial como existem na face externa (ventos, calor e umidade). Embora não vistas na face externa, o material internamente se mantém úmido e estas manifestações patológicas não só afetam a estética, como principalmente a salubridade do ambiente e potencializam a formação de fungos. Uma sistematização e o desenvolvimento de uma metodologia de análise da formação de manchas e suas consequências foram sistematizadas por Flores-Colen *et al.* (2008).

4.4 AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO SUPERFICIAL NAS PAREDES DO PROTÓTIPO

A Figura 101 mostra a localização do protótipo de casa térrea, construída em blocos de gesso, com destaque para as orientações das fachadas quanto as direções cardeais. Detalhe para a fachada na direção Leste-Sudeste (ESE) por se localizar a direção preferencial das chuvas dirigidas. A Figura 101 mostra o posicionamento desta fachada segundo a orientação cardeal.



Figura 101-Posicionamento das fachadas do protótipo quanto as direções cardeais

4.4.1 ASPECTOS CLIMÁTICOS

Objetivando associar evidências de degradação nas paredes de uma casa térrea, tomada como protótipo de investigação monitorado ao longo de 12 anos sob exposição natural, essas paredes foram tomadas como referência para comparação com ensaios acelerados.

No sentido de considerar as intervenções climáticas atuantes durante este período de análise foram utilizados dados climáticos obtidos entre os anos de 2007 a 2018 na estação N° 82900, localizada a 3 km

do ITEP, pela INMET (INMET, 2019).

A Tabela 40 apresenta a quantidade de precipitação de chuvas acumulada mensal no período de 2007 a 2018, período de exposição do protótipo construído no Campus do ITEP.

Tabela 40- Precipitação pluviométrica a 3 km do Campus ITEP (mm/mês)

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Total
2007	83,5	199,0	139,0	347,3	208,2	390,8	331,0	223,7	127,0	24,0	40,0	30,6	2143,5
2008	85,7	32,3	291,0	314,2	415,7	391,8	374,3	294,4	47,6	53,6	16,0	18,3	2334,9
2009	85,2	376,0	143,0	351,8	410,1	333,0	386,8	290,2	83,5	16,3	49,9	47,8	2573,5
2010	193,4	45,2	92,7	273,3	114,3	543,9	259,4	191,2	74,3	37,4	23,5	84,8	1933,4
2011	139,3	337	130,0	647,4	755,7	303,9	544,4	201,8	35,7	34,6	75,0	41,8	3245,7
2012	198,6	190	139,0	55,8	190,2	296,5	261,7	163,5	19,7	54,4	9,9	25,1	1604,0
2013	95,7	47,7	98,8	229	316,9	491,4	416,4	225,3	146,0	129,2	76,5	177,3	2450,2
2014	108,9	148,0	252	268,5	315,1	322,8	54,3	162,2	248,9	146,5	56,0	71,3	2155,1
2015	65,4	56,2	341,0	74,6	178,9	460,5	446,3	116,0	35,1	16,6	30,6	91,8	1913,2
2016	124,0	70,0	265,0	293,6	478,3	148,5	111,3	58,3	58,2	14,1	17,3	68,0	1706,7
2017	28,7	21,1	156,0	289,9	399,4	489,8	490,5	112,1	84,1	63,1	14,8	30,3	2180,0
2018	153,6	146,0	121,0	484,0	231,6	143,0	135,3	98,4	58,5	23,8	37,8	74,7	1707,5

Observa-se uma média anual em torno de 2190 mm/ano, tendo sido registrada um volume atípico de 3245 mm no ano de 2011.

A Figura 102 apresenta a distribuição das chuvas acumuladas ao longo dos meses no período de 2007 a 2018. Observa-se que os meses de março a junho concentram a maior precipitação e entre os meses de setembro a fevereiro os que menos chovem.

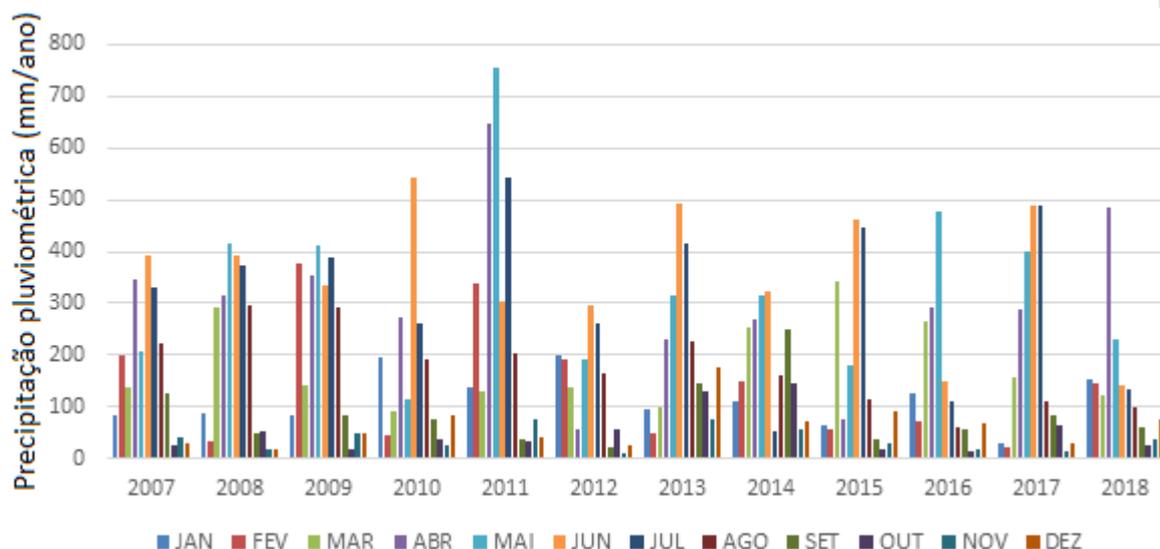


Figura 102- Distribuição da precipitação pluviométrica mensal em Recife entre 2007 e 2018

A Figura 103 apresenta o mapa de distribuição das temperaturas que atuaram no aeroporto do Recife, distante 10 km do Campus do ITEP durante o período em análise por apresentar dados mais completos e não apresentar aparentemente disparidade climática com o Campus de ITEP.

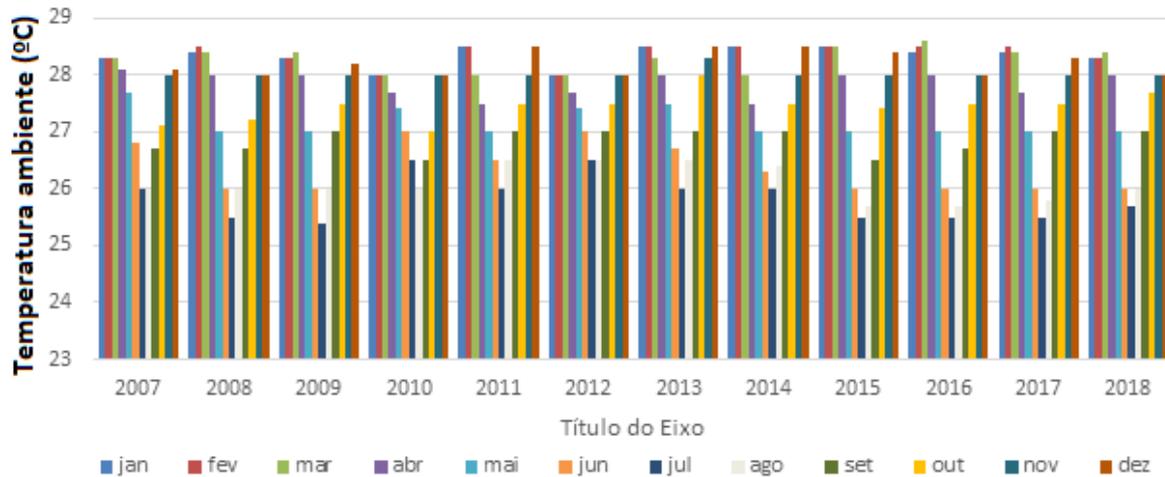


Figura 103 - Mapa de temperaturas em Recife entre 2007 e 2018

É possível observar uma variação média mensal das temperaturas ambiente entre 25,5°C e 28,5°C, com máximas entre novembro a março e mínimas nos meses de junho a agosto.

A Figura 104 apresenta o mapa das condições de umidade relativa, média mensal tomada as 12 h, entre os anos de 2007 a 2018 na estação N° 82900-Curado, localizada a 3 km do ITEP, pela INMET (INMET, 2019).

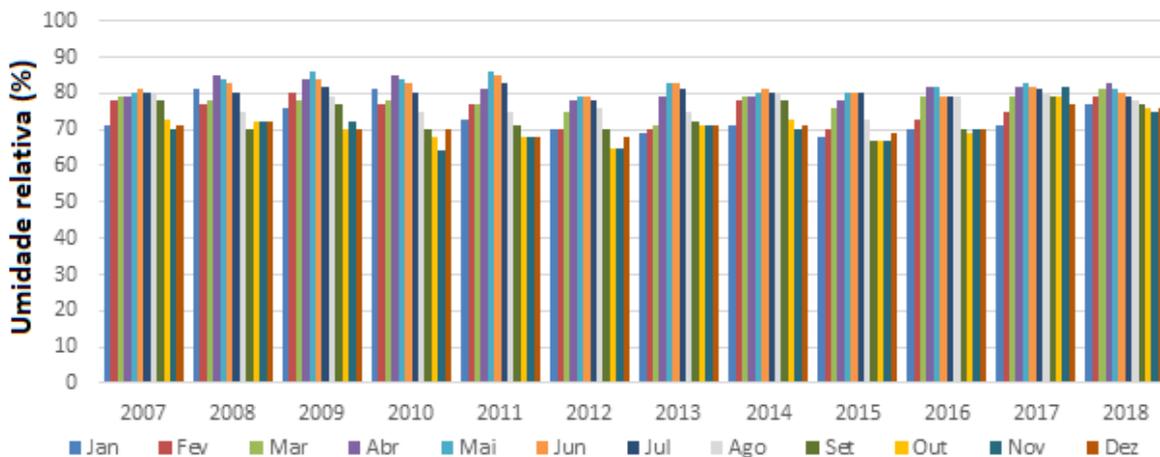


Figura 104 - Mapa de distribuição da umidade relativa em Recife entre 2007 e 2018

Observa-se que a variação da umidade média entre os meses não é muito significativa, variando entre 68% a 82%, sendo as maiores observadas nos meses de março a junho (no entorno da estação chuvosa) e as menores nos meses de setembro a janeiro (no entorno do verão).

A Figura 105 apresenta o mapa das velocidades dos ventos na estação do curado, próxima ao Campus do ITEP durante o período de 2007 a 2018.

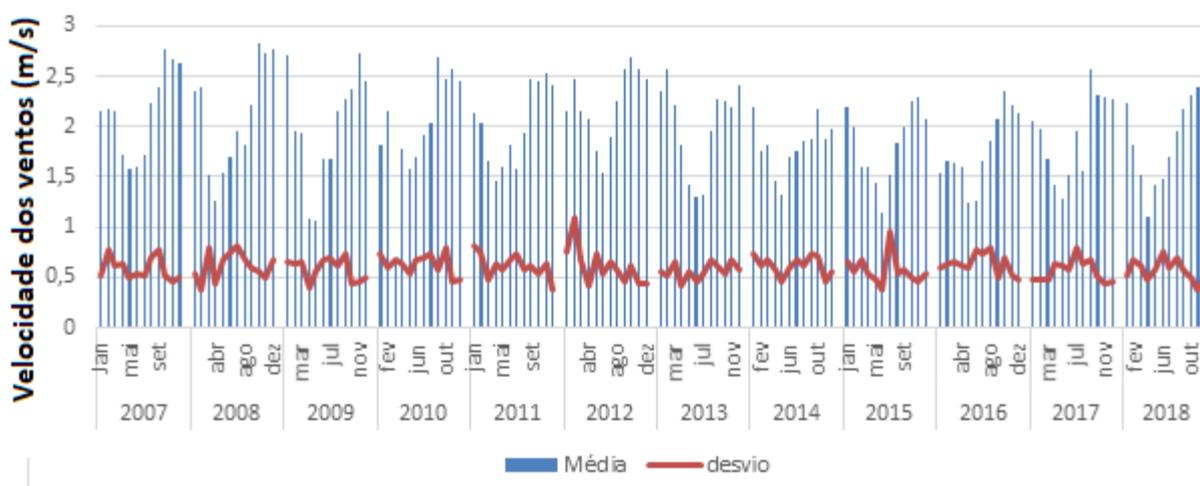


Figura 105 - Mapa de velocidade média dos ventos a 3 km do ITEP entre 2007 e 2018

Na Figura 105 é possível observar que as velocidades médias variam entre 1,0 m/s a 2,8 m/s, sendo registrado algumas velocidades momentâneas de até 3,6 m/s. Os ventos apresentam velocidades maiores entre os meses de agosto a dezembro, justamente quando são menores a precipitação pluviométrica.

A Figura 106 apresenta o mapa das direções principais dos ventos na estação Curado durante o período de 2007 a 2018. Observa-se que a direção SE-sudeste se constitui como a direção preponderante durante todos os anos apurados. Os ventos na direção N-Norte são mais observados durante a noite decorrente da proximidade do Recife ao mar.

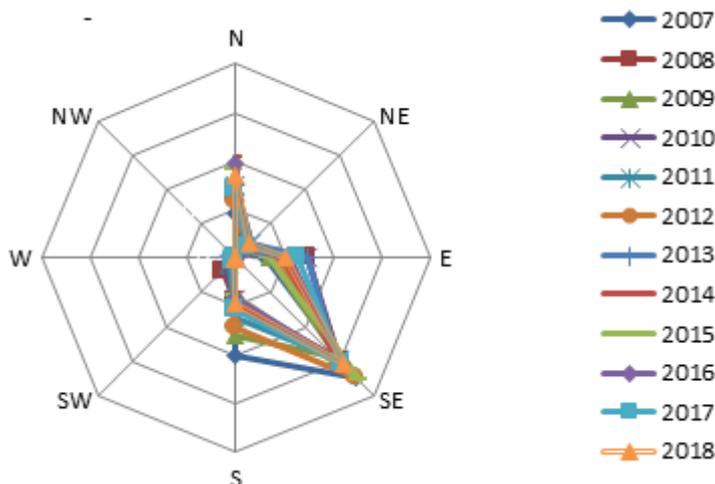


Figura 106 - Direção dos ventos a 3 km do ITEP entre 2007 e 2018

4.4.2 AÇÃO DAS CHUVAS DIRIGIDAS NAS FACHADAS DO PROTÓTIPO

Para avaliar a influência da ação das chuvas dirigidas incidentes nas paredes das fachadas, três são as principais metodologias indicadas: a) métodos experimentais (medições in situ ou em laboratório); b) métodos semi-empíricos e; c) métodos numéricos - simulações numéricas baseadas em Dinâmica dos Fluidos Computacional (Blochen&Carmeliet, 2010).

O termo semi-empírico refere-se aos métodos que usam equações de cálculo embasadas teoricamente na física das construções e com uso de coeficientes que são determinados a partir de medições experimentais in situ. Para Blochen&Carmeliet (2010), atualmente os três métodos mais utilizados e que estão mais avançados são o método semi-empírico da norma ISO 15927-3 (BS, 2009), o método semi-empírico SB-

Straube e Burnett (Straube, 2010) e os métodos de simulações numéricas baseadas em Dinâmica dos Fluidos Computacional. Ainda segundo Blocken&Carmeliet os métodos experimentais são muito dispendiosos e propensos a erro, além de se restringir a fachada e ao período analisado.

Segundo Freitas (2011), a aplicação dos vários métodos semi empíricos conduzem a resultados bastante diferentes, mesmo aqueles que utilizam registros de dados climáticos simultâneos obtidos a cada hora. As mesmas conclusões foram obtidas por Zaroni *et al.* (2018) em estudos realizados em edifício de seis pavimentos em Brasília.

Para a determinação da quantidade de chuva incidente nas fachadas do protótipo(Rwdr) foi utilizada a metodologia da norma EN ISO 15927-3 (ISO,2009), que permite calcular a provável quantidade de água de chuva incidente em uma fachada em uma dada orientação e considera os dados climáticos horários de precipitação e vento (velocidade e direção) de um determinado período, bem como os fatores de correção de rugosidade do terreno, posicionamento e forma da fachada e distância das obstruções.

A quantificação das chuvas nas fachadas pode ser realizada através de um ano típico para cada cidade, escolhido como ano representativo de uma série de dados obtidos em estações climáticas automatizadas. Segundo Roriz(2012) estes tipos de arquivo são recomendados para as simulações computacionais do comportamento higro-térmico de fachadas, visando aos estudos de degradação das edificações.

Na aplicação do método preconizado na EN ISO 15927-3 (ISO,2009), o Índice anual para campo aberto (IA) é calculado segundo a Equação 6 (detalhamento da equação 4 apresentada no capítulo 2) em [l/m²]:

$$I_A = \frac{2}{9} \frac{\sum V_{10} \cdot R_h^{0,9} \cdot \cos(D-\theta)}{N} \quad \text{[Equação 6]}$$

O Índice anual para a fachada (IWA) e determinado pela Equação 7 (detalhamento da equação 5 apresentada no capítulo 2)em [l/m²]:

$$I_{WA} = I_A \cdot C_R \cdot C_T \cdot O \cdot W \quad \text{[Equação 7]}$$

sendo:

V₁₀-Velocidade do vento de referência a 10 m acima do solo [m/s];

N- Número de anos de dados disponíveis;

R_h - Intensidade de precipitação horizontal [mm/h];

D-Direção horária média do vento a partir do Norte [°];

θ-Ângulo entre o Norte e a normal à parede [°];

C_R- Coeficiente de rugosidade;

C_T-Coeficiente de topografia;

O- Fator de obstrução;

W- Fator da fachada.

O coeficiente de rugosidade (CR) considera a velocidade do vento medida na Estação em função da altura do equipamento e da rugosidade/obstrução do terreno onde foi medida. É determinado pela Equação 8 utilizando os coeficientes de rugosidade da Tabela 41. -

$$C_R(z) = K_R \cdot \ln(z/z_0) \quad \text{[Equação 8]}$$

Tabela 41-Categoria do terreno no cálculo Cr

Categoria do terreno	Descrição	K_R	z_0	z_{min}
I	Frente de mar; margens de lagos com pelo menos 5 km de água e campo plano sem obstáculos	0,17	0,01	2
II	Terrenos agrícolas com sebes/vedações com estruturas agrícolas, casas e árvores ocasionais	0,19	0,05	4
III	Áreas suburbanas ou industriais e florestas	0,22	0,3	8
IV	Áreas urbanas em que pelo menos 15% da superfície tem edifícios com uma altura superior a 15 m	0,24	1	16

Se existir uma variação da rugosidade do terreno a menos de 1 km do local em análise, deve ser considerada a categoria de terreno menos rugosa que fornece um valor de C_r maior.

Fonte: ISO 15927-3 (BS, 2009).

Sendo:

Z-Altura acima do solo[m];

K_R - Fator de influência do terreno, obtida na Tabela 41

z_0 - Comprimento da rugosidade aerodinâmica[m], considerado na Tabela 41

z_{min} - Altura mínima a ser considerada[m]

O coeficiente de topografia (CT) considera que a velocidade do vento sofre influência com grandes saliências como colinas e escarpas, para terreno pouco acidentado, cuja declividade ($\theta=H/L$) $\leq 0,05$, considera $CT = 1$. Para terrenos pouco acidentados, $0,05 \leq \theta \leq 0,3$, $CT=1+S\theta$ e para terrenos com grande declividade, $\theta \geq 0,3$, $CT= 1 + S\theta$. Onde S é um fator de escalonamento que depende da relação entre o comprimento a montante(LU) ou a Jusante(LD), ver Tabela 42.

Tabela 42 - Comprimento efetivo de declividade

Declive a montante do vento $\theta=H/L_u$	
Raso ($0,05 \leq \theta \leq 0,3$) $L_e = L_u$	Íngreme ($\theta > 0,3$) $L_e = H/0,3$

Fonte: ISO 15927-3 (BS, 2009).

O fator W é uma forma de considerar as características da fachada (altura e características) e a variação da chuva dirigida ao longo da fachada devido ao fluxo de ar nos pontos singulares. Este fator deve ser obtido para cada posição na fachada, encontrado na Tabela 43.

Tabela 43-Fator de forma W

DESCRIÇÃO	VALOR MÉDIO	DISTRIBUIÇÃO	
2 pisos Fachada exposta: cobertura com inclinação $\geq 20^\circ$, sem beiral	0,4	↑ Topo Base	0,5 0,4 0,3 0,2
2 pisos Fachada protegida: cobertura com inclinação $\geq 20^\circ$, com beiral	0,3	↑ Topo Base	0,3 0,3 0,3
2 pisos Cobertura em terraço ou com inclinação $< 20^\circ$	0,4	↑ Topo Base	0,5 0,4 0,2
3 pisos Fachada exposta: cobertura com inclinação $\geq 20^\circ$, sem beiral	0,3	↑ Topo Base	0,5 0,4 0,3 0,3 0,2
3 pisos Fachada protegida: cobertura com inclinação $\geq 20^\circ$, com beiral	0,4	↑ Topo Base	0,4 0,4 0,4
Superior a 3 pisos Cobertura em terraço ou com inclinação $< 20^\circ$	0,2	0,5 para os 2,5 m superiores 0,2 para as demais superfícies	

Fonte: adaptada de ISO 15927-3 (BS, 2009).

Já o fator de obstrução (O) considera a influência de obstáculos próximos à fachada em análise, sendo determinado em função da distância horizontal ao obstáculo mais próximo que tem de ter, no mínimo, a altura da fachada em análise. A Tabela 44 apresenta valores para este coeficiente.

Tabela 44- Valores para coeficiente de obstrução(O)

Distância da parede à obstrução [m]	Factor de obstrução $O^{(a)}$ [-]
de 4 a 8	0,2
acima de 8 até 15	0,3
acima de 15 até 25	0,4
acima de 25 até 40	0,5
acima de 40 até 60	0,6
acima de 60 até 80	0,7
acima de 80 até 100	0,8
acima de 100 até 120	0,9
acima de 120	1,0

Para a aplicação desta metodologia há necessidade de banco de dados horários e confiáveis, nem sempre é possível ter uma massa de dados, correspondente ao período e local avaliado, em estações automatizadas próximas. Uma das estratégias utilizadas é o da utilização de uma ano meteorológico típico TMY (Typical

Meteorological Year).

Segundo Akatsu (1998), apud Zanoni (2015), a metodologia para obtenção de um TMY baseia-se na variável temperatura e consiste em excluir sucessivamente os meses mais quentes e mais frios, até que reste apenas um, considerado como o mês típico do local. O TMY é formado por 12 meses reais, podendo ser de diferentes anos, desde que o mês selecionado seja representativo dos mesmos meses observados no período de 30 anos (de preferência) ou, no mínimo, 10 anos.

No Brasil o ano meteorológico típico é confeccionado por algumas Instituições específicas que utilizam dados gerados pelo INMET. Neste trabalho foi utilizando arquivos climáticos TMY e a série 2001-2013/INMET, obtidos no site www.labeee/download/arquivosclimaticos/formato-epw, para a cidade do Recife .

A Tabela 45 apresenta o índice anual de campo aberto (I_A) calculado com base dados horários de um ano típico na estação INMET (3km do Campus do ITEP), bem como a quantificação das chuvas incidentes (R_{wdr}) considerando as direções, as características do entorno e dos aspectos de cada uma das quatro fachadas do protótipo no período de quase 12 anos, entre setembro de 2007-época da construção, e maio de 2019 época das medições de rugosidade nas paredes ESE e NWW.

Tabela 45- Índice e quantificação anual de chuva incidente por fachada

	NNE	ESE	SWW	NWW
I_A	125,31	484,78	245,40	49,95
I_{wA}	8,70	22,44	17,04	6,94
$R_{wdr}(12)$	139,20	269,27	272,61	83,23

A Figura 107 apresenta o índice anual de campo aberto(I_A) e a quantificação das chuvas incidentes(R_{wdr}) em 12 anos nas quatro fachadas do protótipo. Observa-se neste que as fachadas Este-Sudeste(ESE) e Sudoeste-Oeste (SWW) são as que mais recebem águas de chuva incidentes, já que os ventos prioritários na região onde se localiza o protótipo é Sudeste(SE).

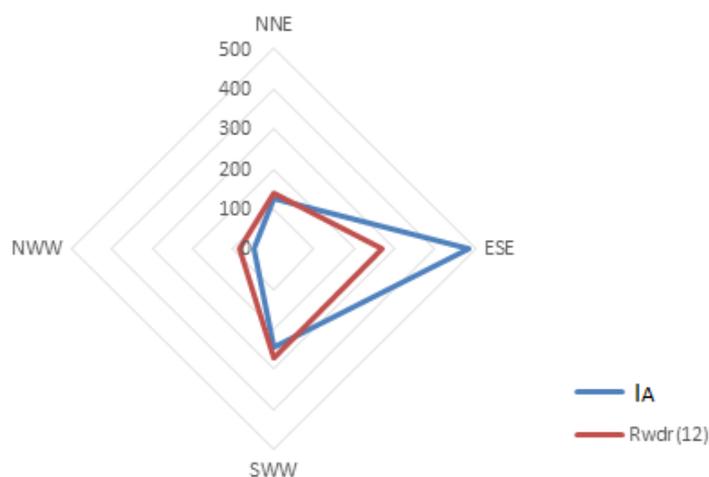


Figura 107 - Índice e quantificação das chuvas incidentes em 12 anos nas fachadas do protótipo

4.4.3 MEDIÇÃO DOS NÍVEIS DE DESGASTE SUPERFICIAL NA FACHADA LESTE-SUDESTE (ESE)

Para uma avaliação dos níveis de desgaste das paredes do protótipo foram demarcadas malhas de 5,0 cm de aresta em uma área compreendendo dois blocos standard e dois blocos hidro na fachada voltada para direção Leste-Sudeste(ESE), direção preponderante dos ventos e chuva dirigida.

As medições foram realizadas utilizando réguas e micrometro, A Figura 108 mostra aspectos do trecho de

parede da fachada voltada para direção ESE utilizado na avaliação.

A régua de maior comprimento serve como guia da régua menor, já que entre dois pontos extremos da parede não existe um plano perfeito e a régua menor que desliza sobre a maior e menos suscetível às variações ao longo do comprimento. Procedimento semelhante ao utilizado na medição dos níveis de desgaste em laboratório.



Figura 108-Trecho da parede Este-Sudeste do protótipo-régua na segunda fiada(blocos standard)

A Figura 109 mostra detalhes do procedimento de medição realizado nesta parede.



Figura 109-Medições de profundidade no trecho da segunda fiada(bloco standard)

Os resultados das medições neste trecho de parede estão apresentados nas 46 e 47.

Tabela 46- Resultados das profundidades relativas no trecho da parede ESE do protótipo - régua da segunda fiada (blocos standard)

	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
0	0,52	0,14	0,01	0,55	0,61	0,44	0,29	0,76	1,28	0,96	0,84	0,96	0,69	1,05	1,39
5	0,30	0,09	0,00	0,23	0,44	0,16	0,50	1,28	1,03	0,85	0,86	0,87	0,55	1,51	1,53
10	0,69	0,51	0,59	1,13	0,49	0,66	0,81	1,46	2,04	1,25	0,92	1,00	0,83	1,31	1,90
15	0,40	0,00	0,25	0,00	0,13	0,66	0,79	1,58	5,74	1,29	1,34	1,30	2,39	0,91	0,70
20	0,52	0,45	0,05	0,00	0,00	0,23	0,87	0,95	0,93	0,6	0,67	0,92	0,91	0,74	0,59
25	0,56	0,61	0,00	0,32	0,58	0,22	4,54	0,69	0,61	0,45	0,69	0,74	0,36	0,6	1,22
30	1,12	1,80	1,41	0,84	1,27	0,15	0,14	0,54	0,57	0,81	0,43	0,44	0,30	0,84	0,91
35	4,25	0,88	0,21	0,00	0,01	0,02	1,11	1,3	0,82	0,70	0,62	0,71	0,52	0,78	0,67
40	4,05	12,1	0,46	5,46	2,65	0,12	0,39	6,31	9,7	4,54	0,18	0,00	0,26	0,93	0,36
45	8,71	0,74	0,74	6,72	2,90	0,52	0,24	4,10	9,56	5,05	0,28	6,93	9,98	4,01	0,13
50	1,50	1,29	1,15	0,91	0,63	0,29	0,25	0,07	1,89	1,82	1,56	0,71	1,28	0,18	0,23

Tabela 47- Resultados das profundidades relativas no trecho da parede ESE do protótipo - régua da segunda fiada (blocos standard) (continuação)

	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145
0	0,64	0,47	0,79	0,70	0,44	0,65	0,66	0,9	0,65	1,02	0,87	0,51	0,51	0,62	0,00
5	1,69	1,10	1,05	1,37	0,72	11,5	0,12	0,43	0,95	1,00	1,45	1,24	1,18	1,56	1,58
10	1,67	1,34	1,24	0,83	3,28	0,00	0,04	0,20	0,08	0,53	0,44	0,37	0,34	0,35	0,24
15	0,42	1,13	1,79	2,37	2,67	1,64	1,78	1,95	1,37	2,55	2,6	2,00	1,90	0,89	0,94
20	2,96	0,46	0,77	1,06	0,66	0,46	0,5	0,51	0,38	1,32	1,10	1,14	1,20	0,14	1,66
25	0,16	0,37	0,56	0,46	2,22	0,41	0,95	1,33	1,11	0,07	0,85	1,22	1,02	0,17	0,26
30	2,09	1,81	0,63	1,25	3,81	0,51	0,21	0,50	0,89	0,41	0,87	4,27	0,98	0,00	0,55
35	0,73	0,66	0,23	0,68	2,37	1,03	0,88	0,92	0,47	0,62	1,25	1,40	0,90	0,14	0,45
40	0,02	0,10	0,55	3,21	0,89	0,73	1,01	0,99	0,84	7,08	0,98	0,54	1,18	8,87	1,84
45	0,42	2,61	8,75	2,77	7,49	0,00	1,00	0,93	0,60	3,52	0,71	0,53	0,69	0,51	0,10
50	0,4	0,31	3,28	3,11	0,00	1,48	1,15	0,84	1,16	0,69	0,36	1,33	1,34	1,51	0,04

A profundidade média resultante neste trecho de parede foi de 1,29mm.

A Figura 110 mostra a parede superior, construída em blocos standard pintados com tinta PVA, bastante desgastada, demarcada em malha 5 cm x 5 cm em uma área 1,40 m x 0,50 m.



Figura 110- Trecho da parede Este-Sudeste- régua posicionada na primeira fiada(blocos hidro)

Os resultados das medições no trecho da primeira fiada da parede construída com blocos hidro estão apresentados na Tabela 48 e Tabela 49. A profundidade média resultante nesta parede foi de 0,53mm.

Tabela 48-Valores das profundidades relativas na parede ESE do protótipo – régua na primeira fiada (blocos hidro)

	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
0	1,60	1,46	1,23	0,77	0,60	0,47	0,11	0,63	0,38	0,29	0,32	0,40	0,28	0,60	0,08
5	0,97	0,73	0,44	0,16	0,10	0,47	0,28	0,49	0,38	0,48	0,74	0,76	0,52	0,21	0,29
10	0,40	0,38	0,19	0,24	0,22	1,14	0,41	0,77	0,89	1,10	1,58	1,72	1,78	0,54	0,47
15	1,43	0,88	0,41	0,00	0,01	0,32	0,85	0,60	0,39	0,57	0,83	0,69	0,03	0,00	0,85
20	0,75	0,51	0,22	0,06	0,12	0,25	0,06	0,27	0,16	0,26	0,52	0,54	0,30	0,01	0,07
25	1,10	0,91	0,64	0,28	0,16	0,28	0,01	0,37	0,19	0,20	0,34	0,39	0,21	0,21	0,00
30	0,96	0,70	0,38	0,16	0,12	0,62	0,47	0,60	0,52	0,67	0,99	1,00	0,73	0,25	0,49
35	1,15	0,84	0,51	0,19	0,14	0,46	0,44	0,56	0,41	0,52	0,76	0,75	0,41	0,21	0,45
40	0,92	0,67	0,36	0,11	0,07	0,50	0,33	0,50	0,41	0,53	0,82	0,84	0,58	0,18	0,35

Tabela 49- Valores das profundidades relativas na parede ESE do protótipo – régua na primeira fiada (blocos hidro) (continuação)

	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145
0	0,71	0,38	0,67	0,62	0,78	0,75	0,22	0,27	0,18	0,74	0,76	1,44	1,38	0,00	0,07
5	0,31	0,22	0,70	0,56	0,47	0,30	0,22	0,57	0,45	0,57	0,59	0,79	1,09	0,47	0,33
10	0,00	0,03	0,12	0,34	0,58	0,61	0,99	1,44	1,12	0,87	0,65	0,50	0,52	1,12	0,73
15	0,75	0,78	1,83	1,24	0,56	0,05	0,04	0,53	0,57	0,62	0,88	0,95	1,89	0,82	0,71
20	0,09	0,00	0,48	0,34	0,25	0,08	0,00	0,35	0,23	0,35	0,37	0,57	0,87	0,25	0,11
25	0,32	0,11	0,50	0,40	0,43	0,33	0,03	0,23	0,13	0,47	0,49	0,93	1,05	0,05	0,01
30	0,36	0,33	0,85	0,69	0,53	0,33	0,36	0,79	0,66	0,67	0,69	0,77	1,16	0,74	0,54
35	0,48	0,40	1,01	0,76	0,54	0,29	0,18	0,57	0,49	0,62	0,70	0,90	1,34	0,56	0,44
40	0,29	0,23	0,73	0,58	0,45	0,27	0,24	0,64	0,51	0,58	0,60	0,74	1,08	0,56	0,39

4.4.4 MEDIÇÃO DOS NÍVEIS DE DESGASTE SUPERFICIAL NA FACHADA OESTE-NOROESTE(NWW)

Para uma avaliação dos níveis de desgaste das paredes do protótipo foram demarcadas malhas de 5,0 cm de aresta em uma área compreendendo dois blocos standard e dois blocos hidro na fachada voltada para direção Oeste-Noroeste(NWW), oposta a direção preponderante dos ventos e chuva dirigida. A Figura 111 mostra detalhes do procedimento de medição realizado na primeira fiada construída com blocos hidro. Os resultados das medições estão apresentadas na Tabela 50 e na Tabela 51.



Figura 111-Medições das profundidades relativas na segunda fiada.

Tabela 50- Resultados das profundidades relativas no trecho da parede NWW do protótipo - régua da segunda fiada (blocos standard)

	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
0	1,60	1,46	1,23	0,77	0,6	0,47	0,11	0,63	0,38	0,29	0,32	0,40	0,28	0,60	0,08
5	0,97	0,73	0,44	0,16	0,10	0,47	0,28	0,49	0,38	0,48	0,74	0,76	0,52	0,21	0,29
10	0,40	0,38	0,19	0,24	0,22	1,14	0,41	0,77	0,89	1,10	1,58	1,72	1,78	0,54	0,47
15	1,43	0,88	0,41	0,00	0,01	0,32	0,85	0,6	0,39	0,57	0,83	0,69	0,03	0,00	0,85
20	0,75	0,51	0,22	0,06	0,12	0,25	0,06	0,27	0,16	0,26	0,52	0,54	0,30	0,01	0,07
25	1,10	0,91	0,64	0,28	0,16	0,28	0,01	0,37	0,19	0,20	0,34	0,39	0,21	0,21	0,00
30	0,96	0,70	0,38	0,16	0,12	0,62	0,47	0,60	0,52	0,67	0,99	1,00	0,73	0,25	0,49
35	1,15	0,84	0,51	0,19	0,14	0,46	0,44	0,56	0,41	0,52	0,76	0,75	0,41	0,21	0,45
40	0,92	0,67	0,36	0,11	0,07	0,50	0,33	0,50	0,41	0,53	0,82	0,84	0,58	0,18	0,35

Tabela 51- Resultados das profundidades relativas no trecho da parede NWW do protótipo - régua da segunda fiada (blocos standard) (continuação)

	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145
0	0,71	0,38	0,67	0,62	0,78	0,75	0,22	0,27	0,18	0,74	0,76	1,44	1,38	0,00	0,07
5	0,31	0,22	0,70	0,56	0,47	0,30	0,22	0,57	0,45	0,57	0,59	0,79	1,09	0,47	0,33
10	0,00	0,03	0,12	0,34	0,58	0,61	0,99	1,44	1,12	0,87	0,65	0,50	0,52	1,12	0,73
15	0,75	0,78	1,83	1,24	0,56	0,05	0,04	0,53	0,57	0,62	0,88	0,95	1,89	0,82	0,71
20	0,09	0,00	0,48	0,34	0,25	0,08	0,00	0,35	0,23	0,35	0,37	0,57	0,87	0,25	0,11
25	0,32	0,11	0,50	0,40	0,43	0,33	0,03	0,23	0,13	0,47	0,49	0,93	1,05	0,05	0,01
30	0,36	0,33	0,85	0,69	0,53	0,33	0,36	0,79	0,66	0,67	0,69	0,77	1,16	0,74	0,54
35	0,48	0,40	1,01	0,76	0,54	0,29	0,18	0,57	0,49	0,62	0,70	0,90	1,34	0,56	0,44
40	0,29	0,23	0,73	0,58	0,45	0,27	0,24	0,64	0,51	0,58	0,60	0,74	1,08	0,56	0,39

A profundidade média resultante neste trecho de parede foi de 1,29 mm.

A Figura 112 mostra a parede superior, construída em blocos standard pintados com tinta PVA, com desgaste menos acentuado, demarcada em malha 5 cm x 5 cm em uma área 1,40 m x 0,50 m.



Figura 112-Trecho de parede do protótipo em blocos de gesso standard na face Oeste-Noroeste

As medições foram realizadas utilizando régua e micrometro, sob procedimento semelhante ao item 3.4.4.

A Figura 113 mostra detalhes do procedimento de medição realizado nesta parede. A régua de maior comprimento serve como guia da régua menor, já que entre dois pontos extremos da parede não existe um plano perfeito e a régua menor que desliza sobre a maior e menos suscetível as variações.

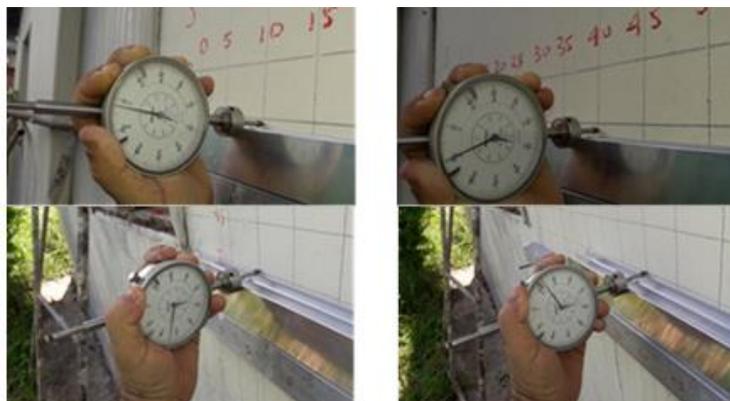


Figura 113-Medição das profundidades no trecho de parede na segunda fiada (blocos standard)

Os resultados das medições realizadas na fiada de blocos standard estão apresentadas na Tabela 52 e na Tabela 53.

Tabela 52-Valores das profundidades relativas no trecho da parede NWW do protótipo – régua na segunda fiada (blocos standard)

	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
5	1,20	1,19	1,26	0,90	1,10	1,33	1,50	1,11	1,24	1,46	0,03	0,62	0,81	0,77
10	0,00	0,20	0,31	0,24	0,96	0,50	0,47	0,36	0,69	1,08	0,66	0,66	0,25	0,38
15	0,00	0,06	0,13	0,00	0,84	0,44	0,48	0,34	0,56	0,80	0,25	0,16	0,14	0,18
20	0,00	0,29	0,44	0,29	0,60	0,40	0,34	0,15	0,56	1,09	0,35	0,77	0,08	0,26
25	0,00	0,02	0,03	0,13	1,68	0,70	0,73	0,78	0,96	1,08	1,29	0,43	0,59	0,62
30	0,00	0,30	0,44	0,45	1,19	0,59	0,50	0,44	0,87	1,36	1,17	1,11	0,41	0,61
35	0,08	0,10	0,15	0,00	0,88	0,50	0,56	0,42	0,59	0,79	0,20	0,08	0,19	0,20
40	0,00	0,16	0,25	0,20	1,07	0,53	0,52	0,43	0,73	1,06	0,74	0,58	0,30	0,41
45	0,53	0,55	0,60	0,45	1,33	0,35	0,29	0,13	0,55	1,06	0,51	0,77	0,08	0,26
50	0,00	0,59	0,84	0,94	1,30	0,68	0,44	0,40	1,09	1,92	1,88	2,13	0,57	0,96

Tabela 53- Valores das profundidades relativas no trecho da parede NWW do protótipo – régua na segunda fiada (blocos standard) (continuação)

	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145
5	0,9	0,9	0	0,53	0,58	1,03	0,66	0,88	1,08	0,73	0,72	0,84	1,08	1,03	1,37
10	0,67	0,86	0,78	0,54	0,35	0,63	0,65	0,84	0,75	0,17	0,57	0,76	0,87	1,10	1,14
15	0,41	0,49	0,15	0,16	0,18	0,47	0,38	0,55	0,35	0,07	0,26	0,42	0,49	0,67	0,79
20	0,57	0,82	0,73	0,50	0,11	0,45	0,46	0,68	0,90	0,00	0,50	0,70	0,93	1,10	1,17
25	0,86	0,94	0,89	0,62	0,82	0,97	1,04	1,16	0,44	0,52	0,71	0,87	0,75	1,09	1,07
30	0,96	1,23	1,43	0,93	0,60	0,84	0,99	1,18	1,09	0,33	0,89	1,12	1,23	1,52	1,47
35	0,40	0,45	0,02	0,11	0,20	0,50	0,37	0,54	0,30	0,11	0,24	0,38	0,45	0,60	0,75
40	0,68	0,84	0,75	0,52	0,42	0,67	0,70	0,87	0,66	0,22	0,57	0,75	0,82	1,06	1,10
45	0,59	0,84	0,85	0,53	0,16	0,47	0,52	0,73	0,85	0,00	0,52	0,73	0,92	1,13	1,16
50	1,44	1,94	2,67	1,67	0,86	1,09	1,47	1,69	1,93	0,48	1,48	1,78	2,00	2,38	2,18

A profundidade média resultante nesta parede foi de 0,69mm.

A Figura 114 mostra trecho da primeira fiada, construída em blocos hidro pintados com tinta PVA, demarcada em malha (5 x 5) cm em uma área (1,40 x 0,50) m.



Figura 114-Trecho de parede de primeira fiada na face Oeste-Noroeste(blocos hidro)

A Figura 115 mostra detalhes do procedimento de medição realizado neste trecho de parede utilizando a malha demarcada.



Figura 115-Medições realizadas no trecho de parede da primeira fiada(blocos hidro)

Os resultados das medições estão apresentadas na Tabela 54 e na Tabela 55.

Tabela 54-Valores das profundidades relativas na parede NWW do protótipo – régua na primeira fiada (blocos hidro)

	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
5	0,8	1,1	1,63	1,1	0	0,62	0,3	0,1	0	0,33	1,37	0,97	0,65	0,72
10	1,03	1,25	1,46	0,75	0,47	0,31	0,15	0,05	0,54	0,49	0,93	0,68	0,43	0,67
15	1,14	1,33	1,39	0,61	0,27	0,17	0,08	0,04	0,82	0,58	0,73	0,55	0,33	0,66
20	1,08	1,28	1,42	0,68	0,36	0,24	0,11	0,04	0,68	0,53	0,83	0,61	0,37	0,66
25	1,2	1,39	1,29	0,4	0	0,01	0	0	1,08	0,65	0,5	0,4	0,21	0,62
30	0,88	1,09	1,25	0,53	0,05	0,09	0,36	0,05	0,44	0,33	0,69	0,46	0,22	0,48
35	0,93	1,16	1,43	0,75	0,18	0,31	0,11	0,00	0,39	0,40	0,95	0,67	0,41	0,62
40	0,99	1,21	1,40	0,68	0,08	0,24	0,08	0,00	0,54	0,45	0,85	0,61	0,36	0,62

Tabela 55- Valores das profundidades relativas na parede NWW do protótipo – régua na primeira fiada (blocos hidro) (continuação)

	70	75	80	85	90	95	100	105	110	120	125	130	135	140	145
5	0,6	0,32	0,33	0,91	0,45	0,25	0	0,53	0,21	0,91	0,45	0,25	0	0,53	0,21
10	0,50	0,32	0,29	0,53	0,23	0,00	0,32	0,39	0,42	0,53	0,23	0,00	0,32	0,39	0,42
15	0,46	0,33	0,28	0,34	0,13	0,00	0,48	0,33	0,54	0,34	0,13	0,00	0,48	0,33	0,54
20	0,48	0,32	0,28	0,43	0,18	0,00	0,39	0,35	0,47	0,43	0,18	0,00	0,39	0,35	0,47
25	0,4	0,32	0,25	0,14	0,01	0,71	0,63	0,25	0,63	0,14	0,01	0,71	0,63	0,25	0,63
30	0,31	0,14	0,10	0,29	0,02	0,01	0,18	0,19	0,27	0,29	0,02	0,01	0,18	0,19	0,27
35	0,46	0,26	0,24	0,53	0,21	0,02	0,20	0,35	0,32	0,53	0,21	0,02	0,20	0,35	0,32
40	0,45	0,27	0,24	0,44	0,16	0,21	0,29	0,33	0,39	0,44	0,16	0,21	0,29	0,33	0,39

A profundidade média resultante neste trecho de parede foi de 0,45mm.

4.4.5 AVALIAÇÃO COMPARATIVA DOS NÍVEIS DE DESGASTE SUPERFICIAL NAS FACHADAS ESE e NWW

Resultados mostrados na Tabela 45 revelaram que a quantidade média anual da água incidente na fachada Leste-Sudeste(ESE) apresentou Iwa de 22,44 l/m².ano e o desgaste médio desta fachada construída com blocos standard foi de 1,29 mm/m², já o trecho construído com blocos hidro foi de 0,53 mm/m².

No que refere a fachada Oeste-Noroeste que a quantidade média anual da água incidente na fachada NWW apresentou Iwa de 6,94 l/m².ano e o desgaste médio desta fachada construída com blocos standard foi de 0,69 mm/m², já o trecho construído com blocos hidro foi de 0,45 mm/m².

Procedendo um comparativo com os ensaios acelerados, preconizado no anexo E da NBR 15575-4 (ABNT, 2013), retratado no item 3.4.3- Procedimento de ensaio, é possível considerar que para cada ciclo, ao final da fase de aquecimento, foi aplicada uma quantidade de água entre 3,0 l/min a 4,0 l/min diretamente sobre a parede por um período entre 40 min a 60 min, o que totaliza em média 135 l/ciclo.

Considerando que a parede de teste no ensaio de choque térmico é de 3,12 m² (2,6 m x 1,2 m), a quantidade de água incidente para cada ciclo no ensaio é em média 43,3 l/m² (resultado da média entre a quantidade de água pelo tempo médio utilizado para retornar a temperatura inicial), é possível considerar que a quantidade de água utilizada nos 10 ciclos de ensaio foi em média de 433 l/m².

Os resultados obtidos para a parede construída com blocos standard, após 10 ciclos de ensaio, foi de 1,95 mm/m² e para as paredes construídas com blocos hidro foi de 0,65 mm/m².

A Tabela 56 apresenta uma associação entre os resultados dos desgastes e das características de exposição entre ensaios acelerados de laboratório e as avaliações nas paredes ESE e NWW do protótipo.

Tabela 56-Resultados comparativos entre protótipo e laboratório

Características do elemento	Objeto de Avaliação	Iwa [l/m ² /(ano.ciclo)]	Exposição [ano.ciclo]	Desgaste (mm/m ²)	IDS ¹ [mm/l]*10 ⁻³
Trecho bloco standard	Fachada ESE	22,44	12	1,29	4,79
Trecho bloco hidro				0,53	1,97
Trecho bloco standard	Fachada NWW	6,94	12	0,69	8,28
Trecho bloco hidro				0,45	5,40
Parede de bloco standard	Ensaio de Choque térmico	43,30	10	1,95	4,50
Parede de bloco hidro				0,65	1,50

(1)- IDS-índice de desgaste superficial obtido pela razão entre o desgaste superficial pela quantidade média das águas escorrentes

Procedendo a uma avaliação comparativa entre os resultados, é possível concluir:

- a) Considerando o IDS entre os ensaios acelerados (laboratoriais) e a exposição natural (protótipo) é possível perceber que existe um comportamento similar entre os tipos de blocos, porém não é proporcional. Na fachada ESE do protótipo, o índice de desgaste IDS foi de 2,43 entre blocos standard e o bloco hidro, bem próximo a esta mesma relação de IDS quando dos ensaios acelerados, que foi de 3,0. Há de se considerar o efeito protetor da pintura, principalmente para as paredes de blocos standard. Na fachada NWW este índice foi de 1,54. Neste contexto, a pintura exerceu papel fundamental, já que por ser a fachada NWW submetida a baixa quantidade de água incidente, seu Iwa é 3,23 inferior a da fachada ESE, retardando de sobremaneira o desgaste, o que pode ser evidenciado pelo aspecto da pintura mostrada na Figura 99a e mais precisamente nas Figuras 97 e 98, que contribuiu para retardar a ação da solubilização nas paredes, principalmente as construídas com blocos standard.
- b) Considerando os resultados das duas fachadas ESE e NWW é possível perceber que existe uma certa relação entre o desgaste médio e a quantidade de água incidente. Na fachada ESE este IDS médio foi $6,5 \cdot 10^{-3} \text{ mm} \cdot \text{m}^2/\text{l}$, enquanto na fachada NWW este índice foi de $6,8 \cdot 10^{-3} \text{ mm} \cdot \text{m}^2/\text{l}$, muito próximos. Quando se faz uma correlação de desgaste entre tipos de blocos, percebe-se que na fachada ESE esta relação é de 2,43 e que na fachada NWW esta relação é de 1,53, possivelmente influenciado pela pintura menos desgastada na fachada NWW, favorecendo os blocos standard.

4.5 SÍNTESE DO CAPÍTULO

A casa térrea construída em alvenaria de blocos de gesso em 2007 no Campus do ITEP, segundo padrões semelhantes aos utilizados na construção das casas do sertão do Araripe, foi tomada como referência para estudos de durabilidade. Este protótipo está no entanto, submetido a condições climáticas bastante adversas quando comparadas com as construídas no Sertão e no Agreste.

Na avaliação da evolução das manifestações patológicas no protótipo foi possível observar que detalhes construtivos são importantes para evitar o surgimento de fissuras, principalmente nas regiões de concentração de cargas (sobre vedos e apoio de estrutura de cobertura), bem como a degradação acelerada nas paredes de fachada, principalmente as construídas em blocos standard, quando expostas à ação de águas de chuva ou acumuladas na base da parede, ou mesmo em falhas nas juntas entre blocos.

As manchas de umidade nas paredes de fachada, observadas no interior da edificação, mostram diferenças entre as fiadas construídas com blocos hidro (primeira fiada) e as demais fiadas construídas com blocos standard.

O protocolo de avaliação dos níveis de desgaste desenvolvido no capítulo anterior (ensaios laboratoriais), com a utilização de micrômetro associado a régua plana, foi aplicado com sucesso nas áreas tomadas como referência para os estudos comparativos no protótipo.

A parede na orientação Leste-Sudeste (ESE) do protótipo apresentou desgaste bem mais acentuado por estar na orientação prioritária das chuvas e ventos, sofrendo influência maior pela quantidade de água incidente em relação as demais fachadas, quando comparada a parede na orientação Oeste-Noroeste (NWW), o nível de degradação foi em média 60% superior. Porém, se comparar apenas os níveis de desgaste entre blocos standard esta diferença sobe para 89%.

A pintura exerce a função de proteger e essa resposta foi bastante evidenciada quando se compara o IDS entre paredes nas direções ESE e NWW, por estar submetida a ação de água incidente bem menor, a parede na direção NWW mostrou menor nível de desgaste e isto possivelmente foi a razão da diferença entre o IDS desta parede com a dos ensaios acelerados.

Com a definição do IDS- índice de desgaste superficial foi possível estabelecer uma correlação entre as

condições de exposição dos ensaios acelerados laboratoriais e a exposição natural no protótipo. Neste contexto foi possível constatar o comportamento diferenciado entre as alvenarias construídas com blocos standard e com blocos hidro com relação entre IDS relativamente semelhante entre os tipos de exposição.

5

EDIFICAÇÕES EM ALVENARIAS DE BLOCOS DE GESSO

5.1 PLANO DE INSPEÇÃO IN-SITU

Objetiva-se caracterizar indicativos de degradação das alvenarias expostas e sob intempéries características do microclima e das condições meteorológicas das regiões visitadas, bem como o resultado comportamental dos vários tipos de revestimentos utilizados em unidades habitacionais construídas nas várias regiões bioclimáticas do Estado de Pernambuco.

Foram realizadas campanhas de inspeção em unidades habitacionais situadas em regiões bioclimáticas distintas: nos municípios de Araripina, Trindade, situados na região do sertão do Estado, pertencente à região bioclimática Z7 com clima tropical (temperatura entre 18 °C e 35 °C, umidade relativa varia entre 80% no inverno que dura entre 4 a 5 meses e de 20% no verão com duração entre 7 a 8 meses, precipitação média anual de 650 mm/ano); no município de Gravatá, situado na região do agreste do Estado, pertencente a região bioclimática Z6, apresentando clima semiárido (temperatura entre 18 °C e 31 °C, umidade relativa média de 78%, precipitação média anual de 450mm/ano, basicamente concentrada em 3 a 5 meses do ano); e no município do Recife, situado na região litorânea, pertencente a região bioclimática Z8 (temperatura entre 23 °C e 31 °C, umidade relativa varia entre 68% e 83%, e precipitação média anual de 2.200 mm/ano, distribuído em quase todos os meses com concentração acentuada em 6 meses).

A Figura 116 mostra a localização das cidades onde foram inspecionadas edificações em alvenaria de blocos de gesso, em Pernambuco.

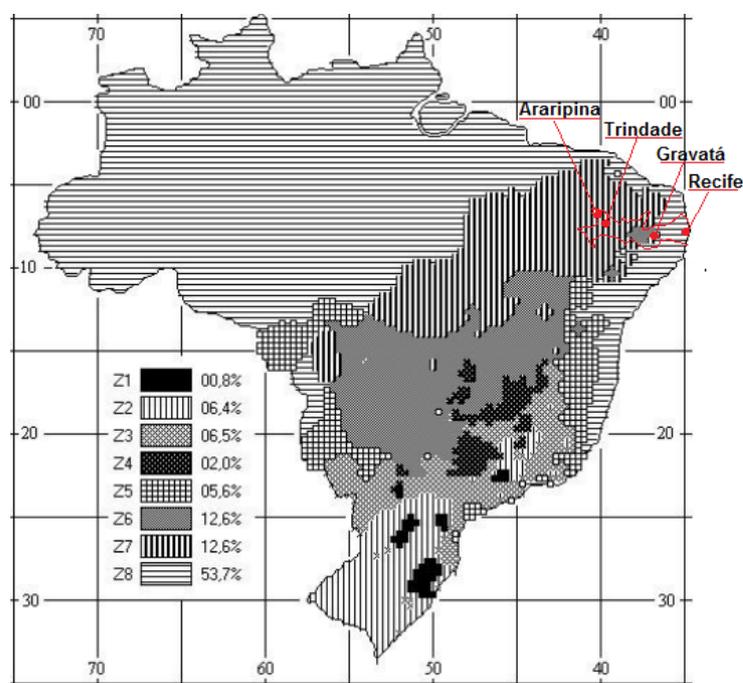


Figura 116-Mapa de localização das edificações investigadas(fonte ABNT,2013-adaptada)

No total foram investigadas 116 casas, destas 25 casas pertencentes ao conjunto habitacional Alto da Boa Vista em Araripina, 12 casa pertencentes ao Conjunto Cohab-Trindade e mais 10 edificações isoladas

construídas em alvenaria de blocos de gesso nestes municípios. Foram também investigadas 68 casas construídas em bloquete de gesso, muito utilizado pela população de baixa renda, construídas nos municípios de Araripina e Trindade. Em Gravatá, região do agreste, foram inspecionadas três casas de alto padrão construídas em alvenaria de blocos de gesso. Acrescenta-se a estas a casa protótipo construída no Campus do ITEP.

A tabela 57 apresenta as principais características dos conjuntos de casas e de casas isoladas, tomadas como referência nas investigações. Em algumas foram realizadas investigações em dois anos seguidos (2017 e 2018) no sentido de constatar a velocidade de evolução das manifestações patológicas.

Tabela 57- Caracterização das edificações investigadas selecionadas

LOCALIZAÇÃO	DESCRIÇÃO GERAL	AMOSTRAS
ARARIPINA- Conjunto Asa Branca em blocos	Conjunto de 25 casas térreas (2004), com 40 m ² , 2 quartos, estruturada em pilares de alvenaria de blocos cerâmicos nos pontos de estruturação da cobertura, com vedação externa em alvenaria de blocos de gesso maciço e interna com blocos de gesso de standard, sendo a primeira fiada construída com blocos hidrofugados e as demais simples. As casas foram pintadas com tinta PVA-latex, em colorações diferentes, diretamente sobre os blocos de gesso.	Amostra 1
		Amostra 2
		Amostra 3
		Amostra 4
		Amostra 5
ARARIPINA- casas isoladas Em blocos	Casa térrea, construída em 2017, em elevado padrão com aproximadamente 100 m ² , 3 quartos com varandas amplas, com blocos hidro na primeira fiada e demais em blocos standard	Amostra 6
	Casa térrea, construída em 2016, em padrão regular, com aproximadamente 60 m ² , 2 quartos com varandas amplas, com blocos hidro na primeira fiada e demais em blocos standard	Amostra 7
TRINDADE- Conjunto CEHAB em blocos	Conjunto com 12 casas, construídas em 2010, com 2 quartos estruturada em alvenaria de blocos de gesso, maciços todos hidro externamente e internamente standard.	Amostra 8
		Amostra 9
		Amostra 10
TRINDADE- edificações isoladas em blocos	Casa construída em 2009, com elevado padrão com todas as paredes externas em blocos maciços todos hidro e vazados internamente hidro na primeira fiada e standard nas demais.	Amostra 11
	Posto de saúde construído em 2009, paredes externas em blocos maciços hidro, pintura a base de PVA. Internamente as divisórias em blocos de gesso maciço standard revestidos com pasta de gesso.	Amostra 12
	Casa estruturada construída em 2004, em pilares de alvenaria com alvenaria de vedação com blocos de gesso maciço standard, mal conservada e abandonada.	Amostra 13
TRINDADE/ ARARIPINA Edificações isoladas em bloquetes	Casas isoladas, situadas em distritos suburbanos de Araripina e Trindade, tendo como características a utilização de bloquetes* de gesso maciços standard com dimensões médias (30x17x12) cm em formato prismático fêmea-fêmea, assentes e em algumas vezes também revestidos com argamassa a base de cimento	Amostra 14
		Amostra 15
		Amostra 16
		Amostra 17
		Amostra 18
		Amostra 19
GRAVATÁ Edificações isoladas em blocos	Casas construídas em blocos de gesso maciço, primeira fiada blocos hidro demais bloco standard, com alto padrão de construção, bem acabadas, pintadas e bem conservadas	Amostra 21
		Amostra 22
		Amostra 23
RECIFE- Protótipo	Protótipo construído no ITEP- descrito no capítulo 4..	Amostra 24

* Bloquetes de gesso- fabricados em tamanho menor (30x17x12) cm, no formato fêmea-fêmea

5.2 INVESTIGAÇÃO COMPARATIVA DE CASAS CONSTRUÍDAS EM ALVENARIA DE BLOCOS DE GESSO EM ARARIPINA

5.2.1 CARACTERIZAÇÃO DO CONJUNTO ASA BRANCA- ALTO DA BOA VISTA- ARARIPINA.

A Figura 117 mostra a localização, por imagem de satélite (junho/2018), do conjunto residencial em apreço.



Figura 117- Mapa de localização do Conjunto Alto da Boa Vista-Araripina-PE

Objetivando associar evidências de degradação nas paredes de algumas casas térreas tomadas como referência, foram realizadas duas séries de investigações, documentando em registros fotográficos em abril de 2017 e em abril de 2018, procedendo a uma avaliação comparativa em período de 1 ano.

No sentido de considerar as intervenções climáticas atuantes durante este período de análise foram utilizados dados climáticos da APAC (Agência Pernambucana de Águas e Clima), já que a Estação do INMET mais próxima está localizada no município de Ouricuri a 60 Km de Araripina.

5.2.2 CONDIÇÕES CLIMÁTICAS (2004 A 2018)

Araripina possui estação meteorológica da APAC limitada ao monitoramento hidrometeorológico em Tempo Real de estações pluviométricas e pluviométricas através das PCD's (Plataforma de Coleta de Dados) distribuídas na região do estado de Pernambuco com registro de precipitações pluviométricas e temperatura, sem coleta de ventos (PCD 32565 - ESTAÇÃO: Araripina/PE: latitude 7° 34' 41" S e longitude 40° 29' 18" O, altitude de 621 m) (Clima-APAC,2019).

A Figura 118 mostra a precipitação de chuva acumulada mensal entre os anos de 2004 e 2018, sendo observada uma variação sazonal extrema na precipitação mensal de chuva.

O período chuvoso do ano dura 7 meses, entre novembro e maio, com precipitação de chuva quase contínua. O máximo de precipitação ocorre durante os meses de fevereiro e março.

O período do ano sem precipitação dura em torno de 5 meses, de junho a outubro, e ocorrem ventos com maior intensidade.

A acumulação média de chuvas em um ano é da ordem de 633 mm/ano, tendo sido observado neste período um acúmulo máximo de chuvas de 844 mm no ano de 2004 e de um mínimo de 493 mm em 2014.

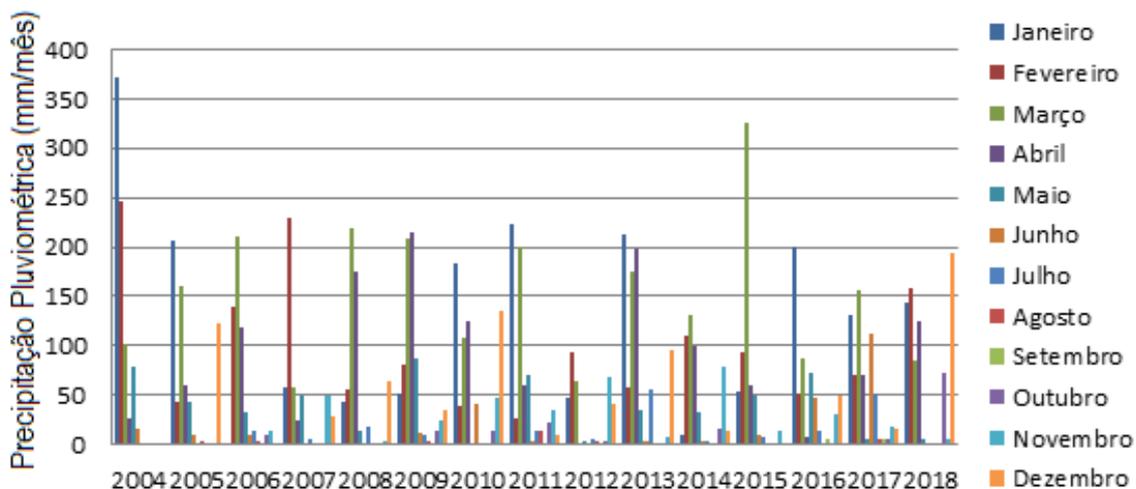


Figura 118- Média mensal de precipitação pluviométrica em Araripina(2004-2018)

Para avaliar a ação das chuvas dirigidas, que exige colata de dados meteorológicos horários, só foi possível utilizando dados da estação automatizada INMET , Estação 828860 situada no município de Cabrobó a 90 km de Trindade (Latitude 8° 30' 51" S e longitude 39° 18' 36" O, altitude 420 m) e que pertence à macro região do Araripe. Desta foi possível obter dados referente a um ano típico.

A Figura 119 e a Figura 120 mostram as velocidades horárias médias dos ventos e sua direção em área ampla a 10 metros acima do solo. A sensação de vento em um determinado local é altamente dependente da topografia local e de outros fatores. A velocidade e a direção do vento em um instante variam muito mais do que as médias horárias.

A velocidade horária média do vento em Araripina passa por variações sazonais significativas ao longo do ano. A época de maior velocidade dos ventos no ano dura 6 meses, de junho a novembro, com velocidades médias do vento acima de 3,5 m/s. O mês de ventos mais fortes é agosto, registrando mais de 4,5 m/s como velocidade média horária do vento e rajadas em torno de 8,5 m/s.

A época mais calma do ano dura 6 meses, de novembro a maio, justamente a época de que se registra a maior quantidade de precipitação na região. O mês do ano mais calmo é abril, com velocidade média de ventos inferior a 2,0 m/s.

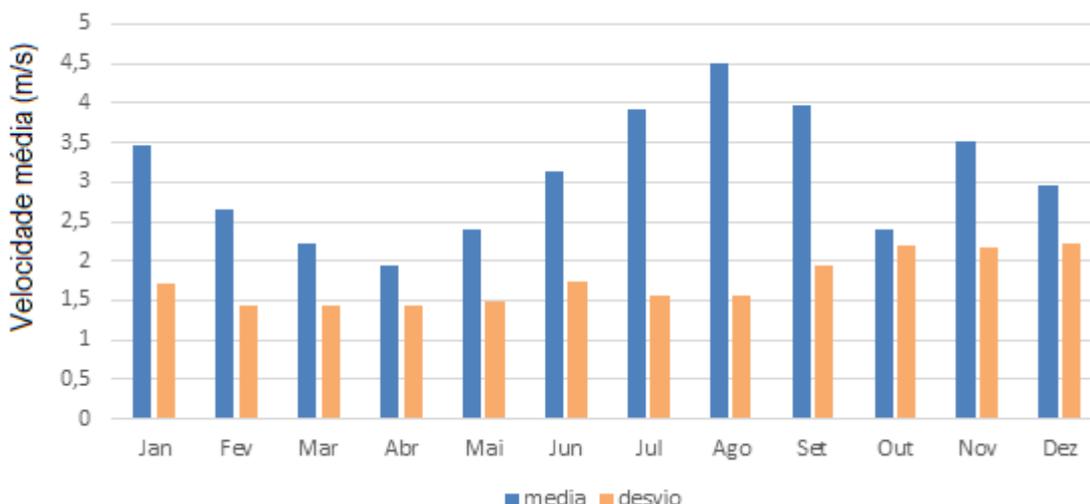


Figura 119- Velocidade dos ventos em um ano típico na região do Sertão-PE.

A direção dos ventos preponderantes na região variam em torno das direções Sudeste e Sul, tendo como direção prioritária a direção Sul-Sudeste. Sendo também estas as direções dos ventos na época de precipitação mais elevada, como mostrada na Figura 120.

Direção dos ventos em um ano típico

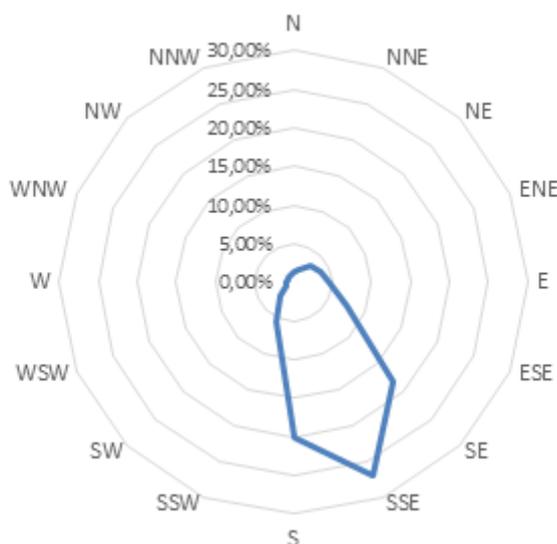


Figura 120- Direção preponderante dos ventos atuantes na região do Sertão-PE.

O período mais quente acontece nos meses de setembro a janeiro, com temperatura máxima média diária próxima de 29 °C e mínima próxima a 16 °C. O período mais ameno acontece nos meses de maio a julho, com temperatura máxima diária próxima a 24 °C e mínima próximo de 17 °C. A Figura 121 mostra o comportamento da temperatura média diária na região em um ano típico.

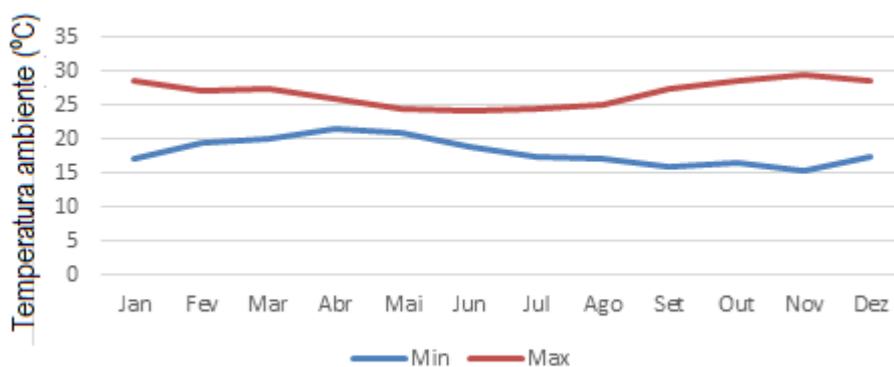


Figura 121- Temperaturas máxima e mínimas médias diárias em um ano típico na região do Sertão-PE

O período mais seco acontece nos meses de setembro a dezembro, apresentando umidade relativa próxima a 50% coincidindo com o período de menor precipitação. Entre os meses de dezembro a maio a umidade relativa volta a crescer chegando a 80%. A Figura 122 mostra o comportamento da umidade relativa na região em um ano típico.

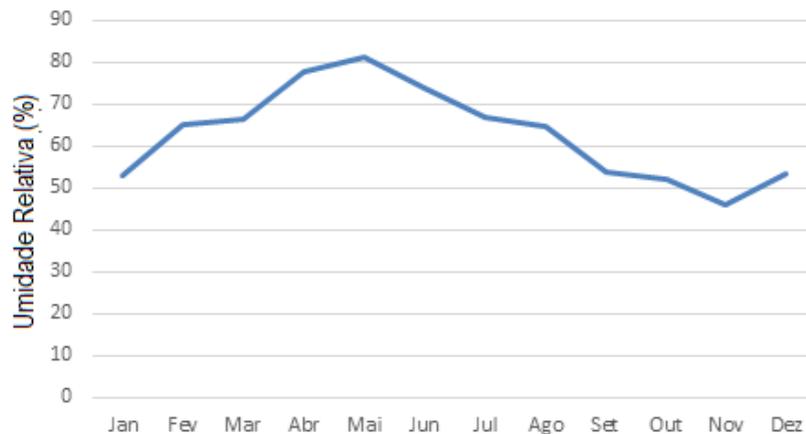


Figura 122- Comportamento da umidade relativa em um ano típico da região do Sertão-PE

5.2.3 INVESTIGAÇÃO NAS CASAS DO CONJUNTO ALTO DA BOA VISTA

5.2.3.1 AMOSTRA 1

Considerações: Observa-se que a pintura da casa diretamente sobre o bloco mostra a perda da pintura bem mais pronunciada nos blocos hidro (primeira fiada). Nas laterais observam-se manchas de umidade pouco pronunciadas na base desta fachada, perda de cerca de 50% da pintura sobre blocos standard, degradação maior nos blocos simples, indicativos de degradação com perda de massa por lixiviação e fissuras na base da fachada lateral, sob a estrutura de cobertura e no canto da janela frontal, ver Figura 123.



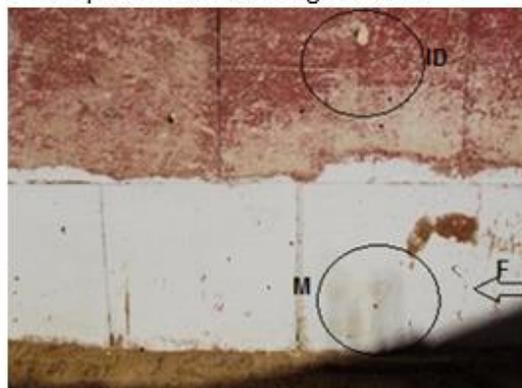
a) Vista geral



b) Perdas acentuadas 1ª fiada quase intacta no pilar de alvenaria argamassado



c) Fachada lateral, perda diferenciada 1ª fiada bem mais intensa



d) Detalhe região mais úmida e fissurada na 1ª fiada, indicativo degradação bloco standard

Figura 123- Detalhes das manifestações patológicas na amostra 1

Numa investigação comparativa entre março de 2017 e abril de 2018 foram analisadas algumas casas deste Conjunto residencial. Os registros mais significativos das investigações realizadas estão apresentados a seguir, sendo utilizado um medidor de umidade superficial de dois pinos, desenvolvido para determinação de umidade em madeiras, apenas para auxiliar na avaliação de nível de umidade comparativo entre regiões de uma mesma parede.

Em março de 2017 a casa estava desocupada e a pintura externa aplicada diretamente sobre o bloco mostrava perda da pintura bem mais pronunciada nos blocos hidro (primeira fiada). Nas laterais observa-se degradação maior nos blocos standard. Degradação com indicativos de perda de massa por lixiviação. Ver sequência de fotos apresentadas na Figura 124 mostra detalhes desta comparação.



Figura 124- Aspectos comparativos das manifestações patológicas entre março/2017 a abril/2018

5.2.3.2 AMOSTRA 2

Considerações iniciais: fissura no canto inferior de janela e na parede lateral esquerda, onde há concentração de carga de cobertura entre pilaretes. Na fachada direita este vão é menor devido ao recuo da varanda. Verificou-se degradação da pintura na primeira fiada (bloco hidro) e degradação acentuada da pintura na parede da fachada direita que recebe mais ventos/chuva (ver Figura 125).



a) fachada frontal



b) detalhe de fissura no canto da janela, manchas e degradação dos blocos



c) perda de aderência e degradação acentuada nos blocos standard



d) fissura na primeira fiada na região abaixo da carga de cobertura

Figura 125-Amostra 2-Detalhes das manifestações patológicas

5.2.3.3 AMOSTRA 3

Observação geral: comportamento similar, apresentando fissura no canto abaixo da janela, perda de massa no caminho desta fissura, degradação diferenciada da pintura entre tipos de blocos hidro e standard, além de infiltração acentuada na parede lateral direita para o interior da edificação, principalmente e mais acentuada nas fiadas de bloco simples (ver Figura 126).



a) fachada frontal



b) detalhe de fissura no canto da janela
manchas e degradação dos blocos



c) perda aderência pintura sobre blocos hidro
e degradação em blocos standard



d) detalhe perda de massa nos blocos
standard



e) manchas e indicativos de perda de massa
parede interna, sobre blocos standard



f) Detalhe manchas diferenciais entre
fiadas, menor na 1ª fiada

Figura 126-Amostra 3- Detalhes das manifestações patológicas

Numa investigação comparativa entre março de 2017 e abril de 2018 foram analisadas algumas casas deste conjunto residencial. Os registros mais significativos das investigações realizadas estão apresentadas a seguir, sendo utilizado um medidor de umidade superficial de dois pinos, desenvolvidos para determinação de umidade em madeiras, apenas para auxiliar na avaliação de nível de umidade comparativo entre regiões de uma mesma parede (ver Figura 127).



a) fachada frontal indicativos de degradação da pintura localizada e pequenos destacamentos entre blocos e acréscimo de mancha (tonalidade e região).



b) fachada lateral direita, direção nordeste, apesar da diferença de luminosidade, observa-se pouquíssimas diferenças entre as situações 2017 e 2018, umidade superior na primeira fiada, junto a base.



c) parede lateral direita- diminuição de manchas de umidade entre os anos, as manchas mostram que as infiltrações são superiores nos blocos standard, sem no entanto mostrar fissuras ou destacamentos.

Figura 127-Aspectos comparativos das manifestações patológicas entre março/2017 a abril/2018

5.2.3.4 AMOSTRA 4

Observação geral: observa-se que a pintura da casa diretamente sobre as paredes de fachada mostra a perda da pintura mais pronunciada nos blocos hidro (primeira fiada); nas laterais observa-se degradação maior nos blocos simples. A degradação tem indicativos de perda de massa por lixiviação (ver Figura 128).



a) fachada frontal- mostra crescimento muito pequeno nos indicativos de degradação da pintura e destacamentos entre blocos, embora mostra acréscimo de manchas.



b) fachada lateral direita- mostra pouco crescimento das degradações entre os registros de 2017 e 2018.



c) face interna parede da lateral- em 2017 mostra mais sinais de manchas de umidade que em 2018, as manchas mostram que as infiltrações são superiores nos blocos standard.

Figura 128-Amostra 4- detalhes das manifestações patológicas

5.2.3.5 AMOSTRA 5

Observação geral: observa-se que a pintura da casa diretamente sobre as paredes de fachada mostra a perda da pintura bem mais pronunciada nos blocos hidro (primeira fiada), fissuras disseminadas, manchas escuras e indicativo de degradação. Nas laterais observa-se degradação maior nos blocos simples. Degradação com indicativos de perda de massa por lixiviação (ver Figura 129).



a) fachada frontal mostrando fissuras, manchas e indicativos de degradação



b) fachada lateral mostrando perda da pintura sobre bloco hidro e desgaste blocos standard

Figura 129- Amostra 5- detalhe das manifestações patológicas

5.2.3.6 Comentário

Ficou constatado em todas as unidades que a pintura sobre os blocos hidro perdeu mais rapidamente a aderência quando comparada com os blocos standard, possivelmente pela presença de silicone em sua composição que torna o componente mais impermeável e/ou pouco compatível com a tinta em PVA. Porém, a perda da pintura não fez acelerar a degradação superficial dos blocos hidro como observado nos blocos standard.

A perda da pintura nos blocos standard e pequenas falhas nas juntas e/ou na superfície constitui um núcleo de degradação, visualmente detectada após 13 anos de construídos. Constatou-se também, no interior das casas, que a umidade permeia com intensidade nos blocos standard mas não nos blocos hidro, mesmo quando o ambiente não apresenta ventilação cruzada.

É possível perceber que nas paredes voltadas para a direção das chuvas, apresenta nas fiadas superiores (blocos standard) manchas de umidade bem diferenciada das observadas na primeira fiada de blocos hidro, mesmo que esta esteja assentes sobre a alvenaria de blocos cerâmicos utilizados como fundação direta.

Também é possível perceber que na primeira fiada, construída com blocos hidro, o nível de umidade superficial registrada foi sempre maior, possivelmente pelo contato direto com o solo. Registra-se que a ascensão capilar supera os 2,0 m de altura, registrados nas paredes interiores, sendo registradas nestas alturas umidades comparativas semelhantes às próximas da base. No último ano ainda foram registradas degradações, porém em menor velocidade, mostrando que este é um indicativo consistente. Internamente os fungos constatados nas paredes externas denunciam a penetração de água em períodos de chuva, sempre pelas paredes com blocos standard, a partir de segunda fiada.

As casas com mais de 16 anos apresentaram fissuras nos pontos de concentração de tensões (na região de apoio da estrutura de cobertura e cantos de janela) e baixo nível de degradação superficial, decorrente da quase nenhuma ação de manutenção, com muitas casas sofrendo ampliação e com quase nenhuma a reforma estrutural necessária.

5.2.4 CASAS ISOLADAS EM ARARIPINA

5.2.4.1 AMOSTRA 6

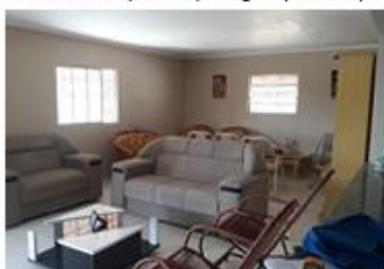
Casa em alvenaria de blocos de gesso, situada em sítio entre Araripina e Trindade, construída em 2017 com três quartos, um suite, sala ampla, cozinha, BWC, piso cerâmico, telhado em estrutura de madeira, telhas cerâmicas e forro em placas de gesso, terraço em torno da casa, pintura em PVA-látex, apresentando um padrão esmerado. Mantendo o padrão construtivo de utilizar blocos maciços (66,7x50,0x10,0) cm nas paredes externas, sendo a primeira fiada em blocos hidro e os standard (ver Figura 130).



a) fachada esquerda, direção Sudoeste-SW, base da parede protegida por rodapé



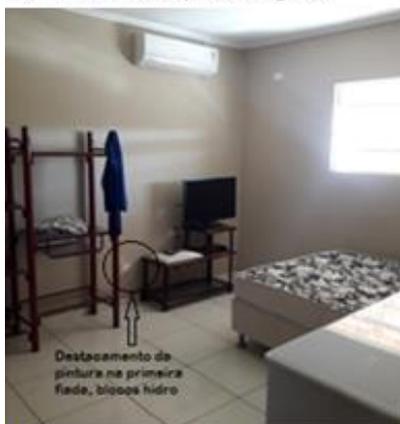
b) parte posterior da casa - detalhe de fissura pilarete de alvenaria e condicionamento do ar.



c) sala de estar, ventilação cruzada, piso cerâmico, forro em placas de gesso



d) sala de jantar e corredor, parede de bloco de gesso maciço de 10cm bem definida



e) quarto, condicionamento do ar e destacamento de pintura de parede sobre bloco hidro



f) BWC social, revestimento cerâmico piso a teto, fonte de infiltração pelo piso na parede exterior

Figura 130- Amostra 6- Detalhes das manifestações patológicas

Nesta foi possível perceber que os grandes beirais na forma de alpendres foi bem utilizado para proteger a pintura e a potencial degradação na base das paredes, mas é possível perceber destacamento da pintura (PVA-látex) na primeira fiada da parede interna de um dos quartos, fato que foi evidenciado nas inspeções das casas anteriores. Foi também observado fissura de amarração no encontro entre blocos mostraram falha de ligação, bem como falha de impermeabilização do piso do banheiro mostrou o surgimento de manchas por infiltração.

5.2.4.2 AMOSTRA 7

Casa em alvenaria de blocos de gesso, situada em sítio entre Araripina e Trindade, construída em 2016 com dois quartos, sala, cozinha, BWC, piso cerâmico, telhado em estrutura de madeira, telhas cerâmicas e forro em placas de gesso, terraço em torno da casa, pintura em PVA-látex. Mantendo o padrão construtivo de utilizar blocos maciços (66,7X50,0x10,0) cm nas paredes externas, sendo a primeira fiada em blocos hidro e nas demais paredes internas, blocos standard (ver Figura 131).



Figura 131-Amostra 7- detalhes das manifestações patológicas

Nesta os mesmos cuidados de proteção foram seguidos, porém mostrou destacamento da pintura PVA-látex na altura da primeira fiada (blocos hidro) e manchas de infiltração na base do banheiro.

5.2.4.3 COMENTÁRIO

Observam-se nas duas casas isoladas (amostras 6 e 7) que foram construídas com padrão elevado, havendo uma preocupação com a proteção das paredes externas quando construíram varandas extensas.

A perda da pintura na primeira fiada de blocos hidro é recorrente, mesmo não existindo a ação direta da umidade por água superficial, possivelmente por ação de ascensão de umidade capilar ou lavagem de piso.

As manchas de umidade por infiltração ficaram evidenciadas nas duas casas apresentadas, e na amostra 6 a fissura no encontro de blocos mostra a importância dos detalhes construtivos de amarração.

5.3 INVESTIGAÇÃO COMPARATIVA DE CASAS CONSTRUÍDAS EM ALVENARIA DE BLOCOS DE GESSO EM TRINDADE

5.3.1 CARACTERIZAÇÃO DO CONJUNTO COHAB/SINDUSGESSO- TRINDADE.

Construídas em 2008, fruto de um convênio SINDUSGESSO e CEHAB-Conpanhia de Habitação de Pernambuco, a Figura 132 apresenta o mapa de localização e vistas do conjunto de casas. Como aspecto geral as casas foram construídas com embasamento em alvenaria de blocos cerâmico e todas as paredes

externas em alvenaria de blocos de gesso hidro. Todas as paredes externas em blocos maciços (50,0x66,7x10) cm e todas as paredes internas com blocos de gesso standard com blocos de gesso vazado (50,0x66,7x7) cm, exceto as delimitantes do BWC que foi em blocos de gesso hidro. A pintura externa com pintura à base de cal e revestidas internamente com pasta de gesso simples e posteriormente pintadas. A estrutura de cobertura assenta diretamente sobre as paredes externas e a central interna.



Figura 132-Mapa de localização do conjunto COHAB em Trindade-PE

5.3.2 METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO

Objetivando associar evidências de degradação nas paredes de algumas casas térreas tomadas como referência, foram realizadas duas séries de investigações, documentando em registros fotográficos em abril de 2017 e em abril de 2018, procedendo a uma avaliação comparativa em período de 1 ano.

No sentido de considerar as intervenções climáticas atuantes durante este período de análise foram utilizados dados climáticos obtidos no site climate-data.org. encontrada no site weatherspark.com.

Os registros mais significativos estão apresentados com comentários em cada caso.

5.3.3 CONDIÇÕES CLIMÁTICAS (2004 a 2018)

O município de Trindade-PE possui estação meteorológica da APAC limitada ao monitoramento hidrometeorológico em Tempo Real de estações fluviométricas e pluviométricas através das PCD's (Plataforma de Coleta de Dados) distribuídas na região do estado de Pernambuco com registro de precipitações pluviométricas e temperatura, sem coleta de ventos (PCD 32518 - ESTAÇÃO: Trindade/PE: latitude 7° 45' 55" S e longitude 40° 16' 6" O, altitude de 515m) (Clima-APAC,2019).

A Figura 133 mostra a precipitação mensal entre os anos de 2004 e 2018, sendo observada variação sazonal elevada.

Igulmente ao observado em Araripina, o período chuvoso do ano em Trindade dura 7 meses, entre

novembro e maio, com precipitação quase contínua. O máximo de chuva ocorre durante os meses de fevereiro e março.

O período sem chuva do ano dura em torno de 5 meses, de junho a outubro, seco e que ocorre ventos com maior intensidade.

A acumulação média de chuva em um ano é da ordem de 460 mm/ano, tendo sido observado neste período um acumulo máximo de chuvas de 850 mm no ano de 2004 e de um mínimo de 317 mm em 2016.

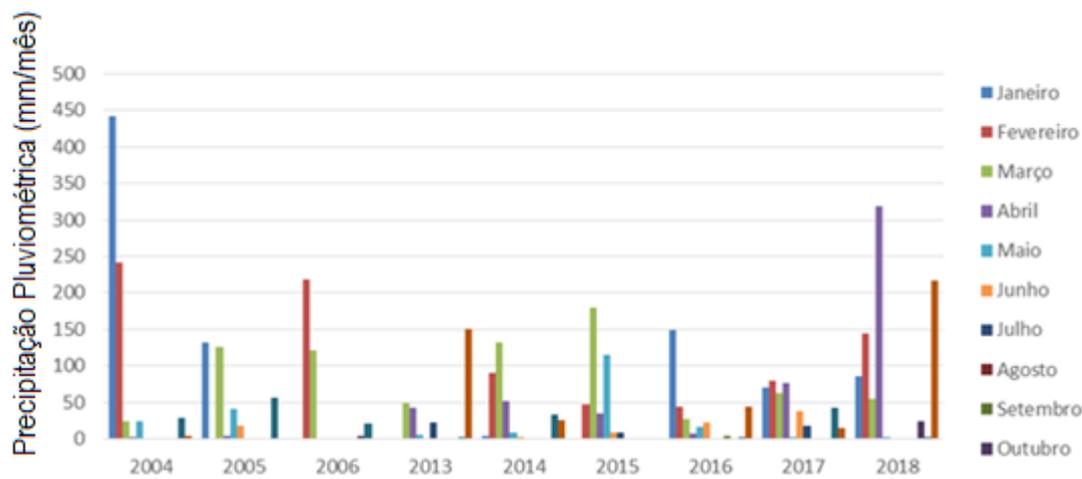


Figura 133-Precipitação pluviométrica em Trindade-PE

Igualmente ao apresentado para o município de Araripina, a coleta de dados meteorológicos dos ventos só foi possível em estação automatizada INMET, Estação 828860 situada no município de Cabrobó a 120 km de Trindade (Latitude 8° 30' 51" S e longitude 39° 18' 36" O, altitude 420m). Desta foi possível obter dados referente a um ano típico. As considerações feitas no item 5.2.2 relativas ao comportamento dos ventos se aplicam também neste município.

5.3.4 INVESTIGAÇÃO COMPARATIVA

Os registros mais significativos das investigações realizadas serão apresentadas na Figura 134, na Figura 135 e na Figura 136.

5.3.4.1 AMOSTRA 8

Em março de 2017 a casa estava ocupada e foi desocupada em 2018, pintura externa, à base da cal, sobre bloco hidro. Registra-se baixo nível de degradação, e baixíssimo crescimento dessas manifestações patológicas durante um ano de investigação comparativa. Na fachada frontal, sudoeste, as fissuras provocadas sobre os vedos de porta e janela decorrem da transferência de carga de cobertura e nas fachadas frontal e lateral da porta e as manchas de umidade decorrem da ascensão capilar que inclusive carrega manchas do solo para a base da parede.



a) fachada frontal foi observado tênue crescimento das manifestações patológicas entre os anos de 2017 e 2018



b) Na fachada lateral também não foram observadas crescimento nas manifestações patológicas

Figura 134-Aspectos comparativos das manifestações patológicas entre março/2017 a abril/2018

5.3.4.2 AMOSTRA 9

Em março de 2017 a casa estava ocupada e foi desocupada em 2018. Dispõe de pintura externa, à base da cal, sobre bloco hidro. Registra-se baixo nível de degradação, e baixíssimo crescimento dessas manifestações patológicas durante um ano de investigação comparativa (ver Figura 135). Nestas podem ser observadas a construção de uma calçada ao longo da fachada frontal, porém sem qualquer intervenção na pintura, não sendo observadas crescimento das manifestações antigas, tais como as fissuras sobre os vedos de porta e janelas, uma fissura antiga inclinada corrigida com argamassa, porém estabilizada, não sendo constatado o surgimento de novas manifestações patológicas neste período de um ano. No interior da casa é possível observar pouca intensidade das manchas de umidade.



Figura 135-Aspectos comparativos das manifestações patológicas entre março 2017 a abril 2018

5.3.4.3 AMOSTRA 10

Em março de 2017 a casa funcionava como bar, mantendo o funcionamento em 2018, revestimento externo à base de pasta de gesso e pintura PVA-látex. Registra-se um maior nível de degradação na fachada revestida à base de gesso e pintura à base de PVA-látex, quando comparada com a pintura à base de cal aplicada na fachada lateral. Foram observadas um nível de degradação da pintura acentuado em um período de um ano, como em área protegida, acredita-se que deva ter sido decorrente de desgaste superficial provocado por ação humana.



Figura 136-Aspectos comparativos na amostra 10 entre março/2017 a abril/2018

5.3.5 COMENTÁRIO

Neste período de um ano foi registrado um pequeno avanço das manifestações patológicas (manchas de umidade nas bases e fissuras na região central da parede da fachada longitudinal, possivelmente para concentração de carga da estrutura de telhado e/ou encontro de paredes).

Na base da primeira fiada se observa manchas de umidade e presença de fungos que denunciam infiltrações por vazamento pelo piso dos banheiros e acúmulo de água no encontro da parede com a base de alvenaria, que além de apresentar ressalto não foi impermeabilizada contra ascensão capilar do solo.

Também é possível perceber que a ascensão capilar supera os 2,0 m de altura, sendo registradas nestas alturas umidades, quando inferidas por medidor de umidade superficial de dois pinos. No último ano ainda foram registradas degradações, porém em menor velocidade, mostrando que este é indicativo consistente. Internamente a umidade mostra-se maior que nas paredes exteriores, principalmente na altura acima da primeira fiada (blocos hidro).

5.4 AVALIAÇÃO DE CASAS ISOLADAS EM ARARIPINA E TRINDADE

5.4.1 AMOSTRA 11

Casa construída em 2010 no município de Trindade construída em alvenaria de blocos (50,0x66,7x10,0) cm de gesso maciço hidro nas paredes externas e blocos simples (50,0x66,7x7,0)cm vazados nas paredes internas. Revestimento externo com tratamento com fundo preparado e aplicação de textura acrílica, internamente revestido com pasta de gesso simples e pintura PVA. A Figura 137 apresenta aspectos observados em visita no ano de 2018.



a) fachada frontal, externamente toda em blocos hidro e internamente blocos standard.



b) fissura inclinada canto superior da parede e descendo para canto esquerdo da janela



c) fachada lateral-detalhe revestimento em gesso cola, sem manifestações patológicas visíveis



d) posterior- revestimento barra inferior com gesso cola e pintura na barra superior. Manchas de acúmulo de água na base



e) parede interior quarto 2, manchas de umidade inferior



f) parede entre sala e quarto1, sem patologia aparente

Figura 137-Amostra 11-detalhes das manifestações patológicas

5.4.2 AMOSTRA 12

Posto de saúde construído em 2009 na zona urbana de Trindade, com embasamento em alvenaria de blocos cerâmicos argamassados, sobre este uma laje radier em concreto armado. As paredes externas em blocos maciços hidro (50,0x66,7x10,0)cm , pintura a base de PVA sobre parede revestida com argamassa. Internamente as divisórias em blocos de gesso maciço simples de (50,0x66,6x7,0) cm revestidos com pasta de gesso e sobre este peças cerâmicas até 1,8 m de altura do piso. Não foram detectadas manifestações patológicas visíveis. Apenas a lateral do muro externo, sem revestimento, mostra fissura no encontro de blocos e sinais de manchas e degradação superficial, sendo mais pronunciado nos blocos cerâmicos do embasamento e bem menor nos blocos hidro de elevação.

A Figura 138 apresenta aspectos observados em visita no ano de 2018.



Figura 138- Amostra 12- detalhes das manifestações patológicas

5.4.3 AMOSTRA 13

Casa que possui a estrutura de cobertura apoiada em pilares de alvenaria com alvenaria de vedação com blocos de gesso maciço standard (50,0x66,7x10,0) cm, revestimento em pasta de gesso e pintura a base de cal, mal conservadas e abandonada, sem proteção junto a base, apresentando paredes muito úmidas, com fungos e indicativos de degradação. Construção no ano de 2004. A Figura 139 apresenta aspectos observados em visita no ano de 2018.



Figura 139-Amostra 13- detalhe das manifestações patológicas

5.4.4 COMENTÁRIO

Observou-se na amostra 11 que é uma casa urbana, com alvenaria externa toda construída em blocos hidro e com revestimento externo em textura, manteve as paredes estanques, sem manchas e sem fissuras, exceto quanto a ascensão capilar em uma destas paredes, possivelmente um dos blocos pseudo hidro, já que está bem distante dos demais.

Já na amostra 13 que é uma casa rural, construída com blocos maciços standard porém sem cuidados com a base, mostram manchas, fungos e degradação bastante acentuada em toda sua extensão e principalmente na primeira fiada com blocos standard.

A amostra 12 que se constitui em um posto de saúde mostrou que revestimentos e pintura à base de tinta a PVA acrílica até 1,8m e manteve estável e sem mostrar nenhuma manifestação patológica. Já o muro divisorio construído em blocos maciços hidro sobre uma alvenaria de embasamento em blocos cerâmicos mostraram mais estáveis, mesmo com umidade por ascensão capilar que degradou os blocos cerâmicos.

5.5 INVESTIGAÇÃO DE CASAS CONSTRUÍDAS EM ALVENARIA DE BLOQUETE DE GESSO

Casas construídas em anos variados por praticos das comunidades que moram em distritos suburbanos dos municípios de Araripina e Trindade. Na construção destas casas foram utilizados bloquetes de gesso

standard nas dimensões médias de (30x17x12) cm em formato prismático na disposição fêmea-fêmea, fabricados em pequenas fábricas, sendo assentes com argamassa a base de cimento. A grande maioria são geminadas, de um ou dois quartos e com revestimento, na grande maioria das vezes apenas na fachada frontal, com pinturas a base de PVA ou de Cal. Telhado de duas águas em telhas cerâmicas ou de fibrocimento

5.5.1 AMOSTRA 14

Casa de esquina, construída em 2011 com dois quartos, sala-cozinha e BWC, estruturada em alvenaria de bloquetes de gesso assentes com argamassa a base de cimento e areia, telhado de duas águas em telhas cerâmicas, forro em placas de gesso, embasamento em alvenaria de bloquete de gesso, com porta e uma janela frontal e porta nos fundos, sem ventilação cruzada, piso cimentado com revestimento interno em pasta de gesso e revestimento externo em argamassa à base de cimento apenas na fachada frontal, a fachada lateral e de fundos sem revestimento. A Figura 140 mostra a disposição e detalhes das manifestações patológicas.



Figura 140-Amostra 14 - detalhe das manifestações patológicas

5.5.2 AMOSTRA 15

Casa com geminação dupla, construída em 2001 com dois quartos, sala-cozinha e BWC, estruturada em alvenaria de bloquetes de gesso assentes com argamassa à base de cimento e areia, telhado de duas águas em telhas cerâmicas, embasamento em alvenaria de bloquete de gesso, com porta frontal e porta nos fundos, sem ventilação cruzada, piso em revestimento de cerâmica, com revestimento interno em pasta de gesso e revestimento externo em argamassa à base de cimento apenas na fachada frontal. A Figura 141 mostra a disposição e detalhes das manifestações patológicas.



Figura 141-Amostra 15-detalle das manifestações patológicas

5.5.3 AMOSTRA 16

Casa com geminação dupla, construída em 2006 com dois quartos, sala-cozinha e BWC, estruturada em alvenaria de bloquetes de gesso assentes com argamassa a base de cimento e areia, telhado de duas águas em telhas cerâmicas, embasamento em alvenaria de bloquete de gesso, com porta e janela frontal e porta nos fundos, sem ventilação cruzada, piso cimentado, com revestimento interno em pasta de gesso e revestimento externo em argamassa à base de cimento apenas na fachada frontal, sem forro. A Figura 142 mostra a disposição e detalhes das manifestações patológicas.



Figura 142-Amostra 16-detalle das manifestações patológicas

5.5.4 AMOSTRA 17

Casa com geminação lateral, construída em 2010 com dois quartos, sala-cozinha e BWC, estruturada em alvenaria de bloquetes de gesso assentes com argamassa à base de cimento e areia, telhado de duas águas em telhas onduladas de fibrocimento, embasamento em alvenaria de tijolos cerâmicos, com porta e janela frontal e porta nos fundos, sem ventilação cruzada, piso cimentado, com revestimento interno em pasta de gesso e revestimento externo em argamassa a base de cimento apenas na fachada frontal, sem forro. A Figura 143 mostra a disposição e detalhes das manifestações patológicas.



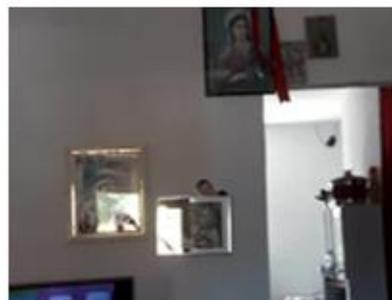
a) fachada frontal com revestimento pintado, sem indicativo de degradação, com calçada elevada



b) fachada lateral sem revestimento, detalhe de embasamento de tijolos cerâmicos degradados



c) fachadas posterior e lateral, sem revestimentos, verga sobre porta



d) sala mostrando revestimento interno em pasta de gesso pintado, sem indicativo de manchas

Figura 143-Amostra 17-detalhe das manifestações patológicas

5.5.5 AMOSTRA 18

Casa com geminação lateral, construída em 2014 e com ampliação em 2018, com dois quartos + 1, sala-cozinha e BWC, estruturada em alvenaria de bloquetes de gesso assentes com argamassa à base de cimento e areia, telhado de duas águas em telha cerâmica, embasamento em bloquetes, com porta e janela frontal e porta nos fundos, sem ventilação cruzada, piso cimentado, com revestimento interno em pasta de gesso e sem revestimento externo, com forro em placas. A Figura 144 mostra a disposição e detalhes das manifestações patológicas.

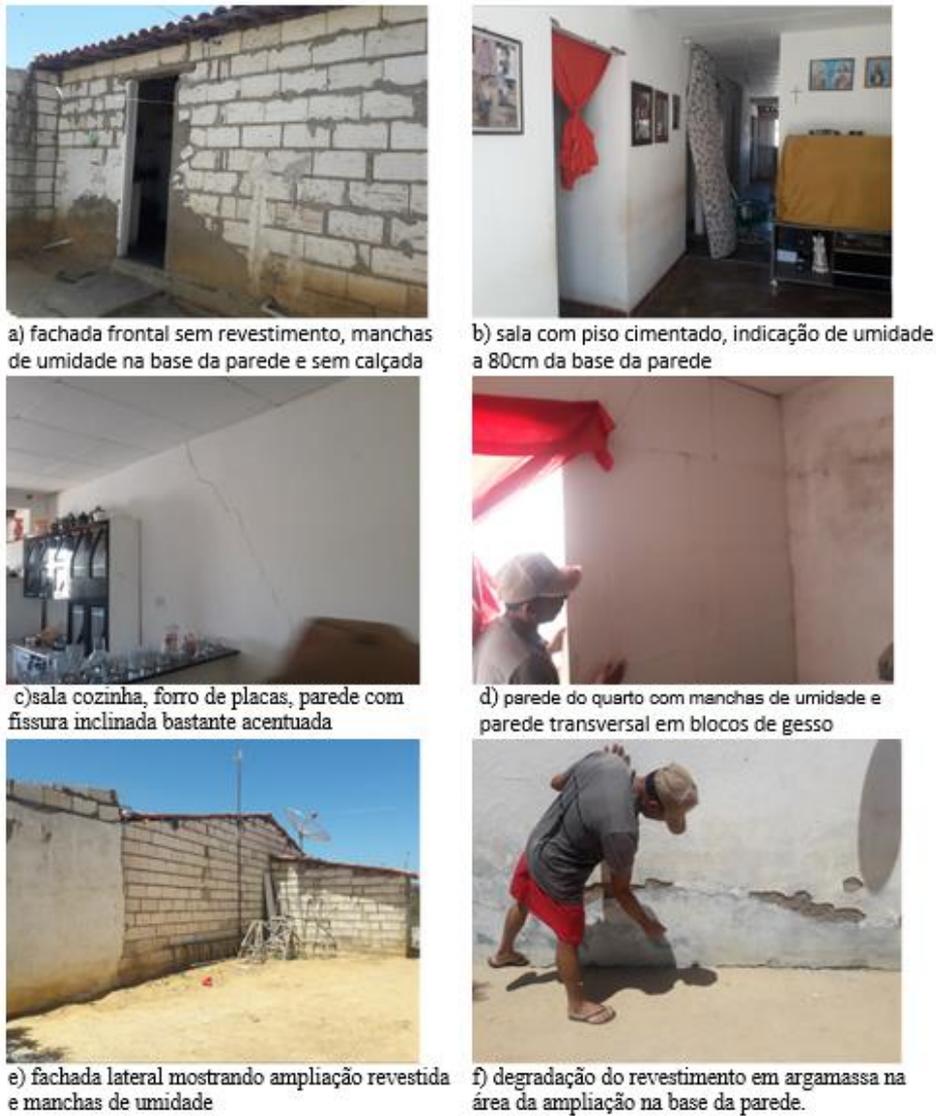


Figura 144-Amostra 18-Detalhe das manifestações patológicas

5.5.6 AMOSTRA 19

Casa sem geminação lateral, construída em 2013, com dois quartos, sala-cozinha e BWC, estruturada em alvenaria de bloquetes de gesso assentes com argamassa a base de cimento e areia, telhado de duas águas em telhas de cerâmica, embasamento em tijolos cerâmicos, com porta e janela frontal e porta nos fundos, sem ventilação cruzada, sem revestimento externo. A Figura 145 mostra a disposição e detalhes das manifestações patológicas.



a) fachada frontal embora manchada pelos respingos de chuva os bloquetes não mostra elevado nível de degradação



b) fachada lateral, embasamento em tijolos cerâmicos com certo grau de degradação muito maior que os bloquetes.

Figura 145-Amostra 19-detalhes das manifestações patológicas

5.5.7 AMOSTRA 20

Casa com geminação lateral de esquina, construída em 2003, com dois quartos, sala-cozinha e BWC, estruturada em alvenaria de bloquetes de gesso assentes com argamassa a base de cimento e areia, telhado de duas águas em telhas de telha cerâmica, embasamento em tijolos cerâmicos, com porta e garagem frontal e porta nos fundos, sem ventilação cruzada, sem revestimento apenas frontal em argamassa a base de cimento e pintura a base de cal. A Figura 146 mostra a disposição e detalhes das manifestações patológicas.



a) fachada frontal em argamassa de cimento e pintura à base de cal, degradação da pintura na base



b) fachada lateral revestimento falho, chapisco em argamassa parcial, pouca degradação



c) sala-cozinha, revestimento em argamassa, mostra retoques posteriores, estrutura de telhado apoiando diretamente sobre parede



d) quarto com revestimento interior em argamassa, mostra retoques posteriores em várias etapas/momentos

Figura 146- Amostra 20- detalhe das manifestações patológicas

5.5.8 COMENTÁRIO

As idades de construção das casas são variadas. Desde 2001, a mais antiga, até as mais recentes, possuem um padrão construtivo similar, com embasamento em tijolos cerâmico e as paredes em alvenaria de bloquetes de gesso standard. O padrão arquitetônico é de dois quartos, sala-cozinha, alguns com janela frontal, mas todas sem ventilação cruzada, telhado em duas águas com a estrutura de madeira apoiando diretamente sobre as paredes. O revestimento interno, quando existe, varia em argamassa a base de solo e cimento e em pasta de gesso. O piso quase sempre cimentado, uma ou outra em placas cerâmicas. Observam-se manchas de umidade por ascensão capilar que muitas vezes degradam a pintura e o

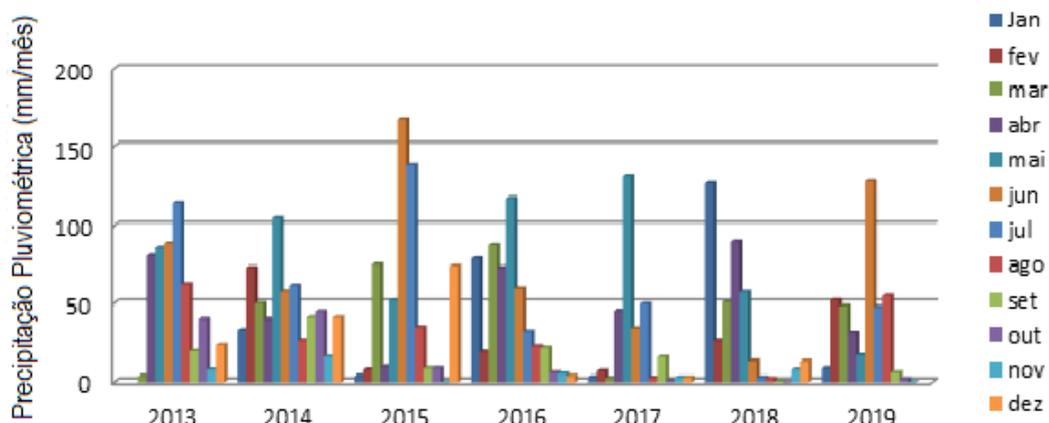


Figura 148-Precipitação pluviométrica em Gravatá-PE

Não existindo estação meteorológica automatizada no município de Gravatá, a coleta de dados meteorológicos dos ventos só foi possível em estação automatizada INMET, Estação 828950 situada no município de Caruarú a 45 km de Gravatá (Latitude 08° 17' 00" S e longitude 35° 58' 34" O, altitude 554 m). Desta foi possível obter dados referente a um ano típico.

A Figura 149 mostra a direção dos ventos em um ano típico registrado em Caruaru, observa-se que mais de 50% dos ventos entre as direções Sul e Sudeste.

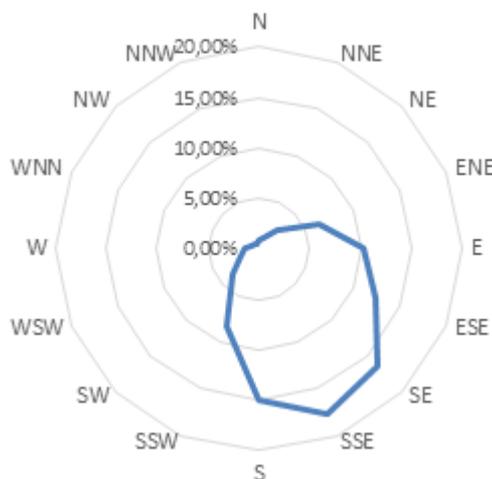


Figura 149-Direção dos ventos em ano típico na região próxima

A Figura 150 apresenta a distribuição das velocidades do vento em um ano típico registrados em Caruaru a cerca de 45 km onde mostra que há pouca variação em relação aos meses do ano, variando entre 2,2 m/s a 3,4 m/s. Sendo maiores entre os meses de outubro a janeiro e mais calmo nos meses entre março e maio, período em que ocorrem a maior quantidade de chuvas.

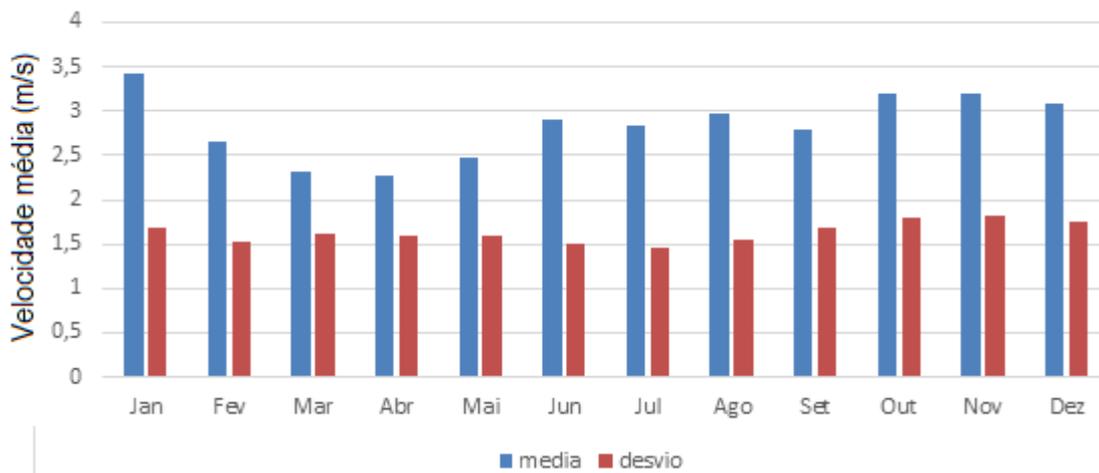


Figura 150-Velocidade dos ventos em 2018 em Gravatá-PE

5.6.3 AMOSTRA 21

A Figura 151 apresenta detalhes de construção de uma das cinco casas existentes no condomínio, construídas entre os anos de 2009 a 2010. Observa-se que o pavimento inferior, estruturado em pórtico de concreto armado e vedações em blocos de concreto, em parte funciona como arrimo de parte do solo. O pavimento enterado e que em parte serve de garagem está estruturado em pilares e lajes de concreto armado, com as alvenarias em blocos de gesso maciço de 10 cm de espessura funcionando como vedação e suportando cargas transmitidas pelas vigas. Já os dois pavimentos superiores estão estruturados em alvenaria de blocos de gesso maciço de 10 cm. A primeira fiada de blocos de gesso são em blocos hidro e as demais fiadas em blocos standard. A pintura externa em esmalte sintético aplicado sobre revestimento em pasta de gesso, telhado com beirais extensos (~60 cm). A Figura 152 mostra a edificação concluída.

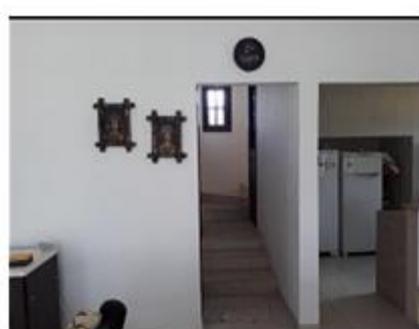


Figura 151-Amostra 21-aspectos construtivos de uma casa em alvenaria de blocos de gesso



Figura 152-Amostra 21-aspectos da casa concluída e em uso no Condomínio N.S.do Carmo

Em visita no ano de 2018 mostram aspectos do interior da casa habitada e sem mostrar manifestações patológicas. A Figura 153 mostra detalhes interiores.



a) parede divisória hall cozinha em blocos maciços, revestimento em cerâmica



b) viga de concreto sobre parede de blocos maciços, completado com blocos de gesso



c) quarto com acabamento em pasta de gesso e pintura PVA

Figura 153- Amostra 21-aspectos da edificação após 8 anos de uso

Visualmente não foram encontrados registros de manifestações patológicas típicas de degradação das alvenarias e revestimentos. O proprietário mantém limpeza diária, relata que considera o clima interno muito confortável no verão e no inverno.

5.6.4 AMOSTRA 22

Em outro condomínio encontram-se casas térreas estruturadas em alvenaria de blocos de gesso maciço de (50,0 x 66,7 x 10,0) com as mesmas características da amostra 21. A primeira fiada é em blocos hidro e as demais em blocos standard, com a estrutura de telhado apoiando diretamente sobre as paredes e com beiral com extensão de (~50 cm). A pintura externa é em PVA acrílica. A Figura 154 mostra a casa térrea em 2010, na fase de construção, e esta após conclusão.



Figura 154 - Amostra 22 - aspectos construtivos e casa concluída no Conjunto Baviera em Gravatá-PE

5.6.5 AMOSTRA 23

Em outro condomínio, existem casas térreas estruturadas em alvenaria de blocos de gesso maciço de (50,0 x 66,7 x 10,0) cm construídas em 2011, com as mesmas características das anteriores, construída pela mesma empresa de engenharia, com a primeira fiada em blocos hidro e as demais em blocos standard, com a estrutura de telhado tendo um beiral com extensão de (~50 cm) apoiando diretamente sobre as paredes em alvenaria de blocos de gesso, pintura externa em PVA acrílica.



Figura 155- Amostra 23 - aspetos da casa após 6 anos de utilização

Encontra-se hospedado no site www.casadegesso.com.br parte 5, uma entrevista com a proprietária da casa em 2016, onde mora desde a construção, e relata as vantagens de morar em uma casa construída

com blocos de gesso. As fotos na Figura 155 mostram aspectos da casa habitada sem registros de manifestações patológicas.

5.6.6 COMENTÁRIO

As casas construídas em Gravatá foram realizadas por uma mesma construtora que prima por um padrão de excelência, por serem casas bem construídas. Estas são privilegiadas por estarem inseridas em um ambiente bastante seco e com precipitação pluviométrica média anual abaixo de 450 mm/ano. Mesmo após 9 anos de utilização, mesmo não tendo havido manutenção/reaplicação de pintura, não apresentam manifestações patológicas típicas visíveis como fissuras, manchas ou destacamento.

5.7 SÍNTESE CRÍTICA DO ESTUDO IN-SITU

As edificações situadas no sertão de Estado estão sob condições climáticas bem menos severas [Z7: PP 650 mm/a; HR (20-80)%; Vv: (20-4,5) m/s; T:(18-35) °C] que as do protótipo construído no Campus do ITEP, litoral do Estado [Z8: PP: 2200 mm/a; HR:(68-83)%; Vv:(0,5-1,5) m/s; T:(25-28) °C] de forma que mesmo com as casas do sertão expostas desde 2004 (período de 14 anos de avaliação) apresentaram níveis de degradação bem menores que o protótipo construído em 2007 (período de 11 anos de avaliação).

De uma forma geral as alvenarias externas construídas em blocos hidro na primeira fiada apresentaram nível de degradação pequeno quando comparadas as demais fiadas construídas com blocos standard, mesmo considerando que a condição de exposição e ação de água por capilaridade do solo ou acúmulo de água na base da parede é potencialmente mais degradante.

As fachadas mostram maior nível de degradação da pintura segundo a orientação prioritária dos ventos(sudeste); nas faces internas as manchas de infiltração são maiores segundo esta orientação, porém bem mais pronunciado das fiadas construídas com blocos standard.

Nas casas construídas no conjunto habitacional em Araripina, a alvenaria externa só utilizou blocos hidro na primeira fiada e as demais, em blocos standard e pintura a base de PVA. Nas casas do conjunto habitacional em Trindade, todas as alvenarias externas utilizaram apenas blocos hidro e pintura a base de cal. É possível perceber que as primeiras mostraram manchas por infiltrações acima da primeira fiada, através dos blocos standard enquanto não foram observadas infiltrações nas paredes construídas inteiramente com blocos hidro.

Por outro lado, a pintura PVA aplicada sobre os blocos hidro perdeu com muito mais precocidade sua aderência quando comparada a aplicada sobre os blocos standard, possivelmente pela maior absorção dos blocos standard quando da aplicação da pintura e/ou alguma incompatibilidade silicone/PVA. Já as pinturas à base de cal mostraram maior aderência, mesmo sobre os blocos hidro. É possível se observar que as fachadas dirigidas para direção preponderante dos ventos (S-SSE-SE), sofrem maior degradação e, como consequência, possibilita maior infiltração para o ambiente interno, verificado pelas manchas de umidade e proliferação de fungos.

A pintura a base de cal não perde aderência, mas sofre perda de efetividade por lixiviação, por outro lado, as pinturas à base de esmalte sintético e base PVA acrílica, como observado nas casas construídas em Gravatá, mostraram aderência e proteção aos blocos de gesso (hidro e standard).

As paredes revestidas com pasta de gesso e pintadas com tinta PVA sobre blocos standard mostraram um menor crescimento nas manchas de umidade quando comparada a aquelas apenas com pintura PVA diretamente sobre os blocos, possivelmente decorrente de uma melhor compatibilidade e regularidade da pasta em relação às características dos blocos, bem como a promoção da uniformidade/acabamento quando da aplicação da pasta, inclusive nas juntas entre blocos.

As umidades absolutas apresentam níveis menores nas fachadas voltadas para direção nordeste (direção contrária aos ventos prioritários), quando as comparadas com as fachadas voltadas a direção sudeste,

principalmente quando observadas na parte interna das paredes. Foram registrados níveis de umidade elevados na base das paredes do BWC, porém sem mostrar degradação significativa no período de um ano de avaliação consecutiva.

As casas dos dois conjuntos residenciais investigados em Araripina e Trindade, revelaram que mesmo sem manutenção mostraram baixos níveis de degradação ao longo dos anos, mesmo após 16 anos, sem mostrar indicativos de perda de massa dos blocos. Após vencer a pintura, as juntas ou falhas construtivas se tornam caminho crítico de avanço da umidade. As fissuras por concentração de carga nas paredes decorrentes da estrutura de cobertura é mais pronunciada nas paredes voltadas para sudeste. Os aspectos estéticos de degradação superficial das pinturas e formação de manchas foram mais pronunciados quando aplicados sobre blocos hidro na primeira fiada, condição de maior exposição a ação das águas por ascensão capilar e respingo das águas de chuva.

As casas construídas com bloquetes de gesso mostram comportamento de degradação similar ao dos blocos standard, porém como os bloquetes têm espessura maior (~12 cm) e se utiliza argamassa espessa à base de cimento para seu assentamento, sofre menos com a concentração de cargas de cobertura e/ou a concentração de tensões em cantos de vedos, mostrando quase nenhuma fissura decorrente destas ações.

Outro aspecto diferencial entre as casas construídas em bloquetes com as casas construídas com blocos é o padrão arquitetônico. Na maioria das edificações construídas em bloquetes de gesso são geminadas e sem revestimento, quando muito tem apenas revestimento na fachada frontal, o que minimiza o surgimento de fissuras e degradação do revestimento/pintura.

As casas construídas com bloquetes mostram um padrão construtivo e arquitetônico realizado por práticos da região e refletem um padrão social homogêneo. Uma possível razão se deve ao tamanho menor dos bloquetes e sua união se fazer com utilização de argamassa com espessura próxima a 2,0 cm; além disso, os bloquetes apresentam espessura maior (12 cm) que a dos blocos (10 cm). Já nas paredes construídas com blocos, os vãos são geralmente maiores, e os blocos são unidos por fina camada de gesso-cola, tornando-as mais rijas e sem possibilidade de aceitar deformações.

Quanto às casas localizadas no município de Gravatá, construídas mais recentemente com utilização de blocos de gesso, não são observados indicativos de degradação significativos, mesmo após 7 a 9 anos de habitadas e sem manutenção. Deve-se considerar que as condições climáticas do agreste (Z6) são bem menos severas que as localizadas no sertão (Z7) e do Litoral (Z8), sendo caracterizado com a menor precipitação pluviométrica (450 mm/a), umidade relativa média de 78% e velocidade dos ventos média de 3 m/s. Outra característica diferenciada que contribuiu para a não detecção de manifestações patológicas nestas casas foram a utilização de detalhes construtivos de cobertura (beirais extensos) e a utilização de pintura à base de esmalte sintético ou tinta acrílica. Relatos dos moradores chamam a atenção pelo nível de conforto térmico interno, tanto no verão (21-31) °C quanto no inverno (18-26) °C.

A utilização de técnicas construtivas esmeradas, blocos hidro (pelo menos na primeira fiada), sistema de pintura à base de esmalte sintético ou acrílica, proteção da fachada com beirais, observados em algumas casas isoladas construídas no Sertão e nas casas no Agreste mostraram níveis de degradação mínimos.

6

CONTRIBUTOS PARA A ESTIMATIVA DA VIDA ÚTIL DE ALVENARIAS DE GESSO

6.1 ENQUADRAMENTO

A previsão da vida útil, de elementos que compõem uma edificação, necessita de uma metodologia que considere a influência dos mecanismos depreciativos que interferem no desempenho ao longo do tempo. Isso possibilitará a definição do momento necessário ao restabelecimento dos requisitos de desempenho que não mais atendem aos especificados ou aos padrões de qualidade adquiridos e/ou não mais atendem aos requisitos normativos.

Para os elementos com comportamento tradicionalmente conhecidos, bastante estudados, tem nas normas e/ou nos manuais técnicos informações suficientes (através de testes específicos ou indicativos de sintomas detectados) para estimar o momento de intervir para reparar ou substituir um determinado componente e/ou elemento construtivo.

Já para elementos ou componentes de que não se tem domínio de seu comportamento frente às ações a que estão submetidos, conhecidas ou estimadas, necessitam de metodologias que possam estimar o tempo de vida para que este produto atenda aos requisitos mínimos especificados, sabendo que logo após sua concepção e sua entrada em serviço já se inicia o processo depreciativo.

De uma forma resumida, existem duas abordagens para previsão de vida útil. A linha de natureza probabilística considera que os fenômenos que governam o processo de deterioração seguem um processo estocástico (variáveis de comportamento aleatório), não contempladas por equações diferenciais ordinárias e a linha de natureza determinística onde considera que as variáveis apresentam comportamento que podem ser associadas às características ação-resposta, sendo os fenômenos potencialmente equacionáveis.(unifac, 2019).

Segundo Gaspar & de Brito, (2008) os métodos probabilísticos tendem a ser bastante complexos, credíveis, mas também difíceis de implementar, enquanto as metodologias determinísticas (e principalmente o método fatorial) superam sua simplicidade em expressar fenômenos complexos com sua aplicabilidade por todos os atores do “cluster” de construção (Moser 2004). Os métodos determinísticos apresentam abordagens mais diretas, cujos resultados são normalmente expressos através de uma única formulação, porém incapaz de expressar toda a dispersão que atua no processo.

A metodologia de análise fatorial procura definir, em um estudo com muitas variáveis, conjuntos de variáveis altamente correlacionadas, conhecidos como fatores. Os fatores têm o objetivo de resumir as diversas variáveis em um conjunto menor de dimensões com uma perda mínima de informação, sendo possível tornar mais simples um estudo complexo, reduzindo um grande número de variáveis correlacionadas em fatores com baixa correlação entre si (Oper, 2019).

O método dos fatores desenvolvido pelo Instituto de Arquitetura do Japão (AIJ, 1993) é a metodologia mais utilizada nos estudos sobre estimativa de vida útil das edificações e serve de referência para a norma ISO 15686 (ISO, 2014) na estimativa de vida útil de ativos construídos. Este método apresenta

um procedimento de determinar a Vida Útil Estimada (VUE) de um determinado ativo construído, tendo por base uma Vida Útil de Referência (VUR). Caracteriza-se como a vida útil esperada em condições normais de uso e manutenção, sendo esta corrigida por fatores modificadores, variáveis de baixa correlação e estimadores de influência que interferem na estimativa da vida útil da edificação ou de suas partes.

A vida útil de referência é normalmente a mais difícil de ser estimada, e exerce importância fundamental na formulação. Um caminho possível de se estimar é através de testes de envelhecimento natural, com ou sem associação de ensaios laboratoriais acelerados. Porém, a transposição dos dados dos testes para os padrões reais de vida útil deve ser considerada com reservas, porque a complexidade total dos fenômenos da vida real não são facilmente reproduzidas (Bordass et al., 2001; Carlsson *et al.*, 2002 apud Gaspar & de Brito, 2008). Esta também foi uma das conclusões do capítulo 4.

Outro caminho, que está em grande desenvolvimento na comunidade de pesquisas sobre estimativa de vida útil de sistemas construídos, tendo no ITS (Instituto Técnico Superior de Lisboa) uma linha de pesquisa bastante avançada, mostram resultados satisfatórios para vários sistemas de revestimento de fachada (Gaspar & de Brito, 2008; Gaspar & de Brito, 2011; Emídio *et al.*, 2014; Galbusera *et al.*, 2014). São norteados pela obtenção da vida útil de referência (RSL) através do levantamento de danos em edificações construídas em condições similares e procedendo à análise de regressão para curvas de degradação estimadas com indicadores quantificados e definindo padrões de aceitação.

A quantificação dos níveis de degradação, denominado ODL (*Overall Degradation Level*), apresentado em Gaspar & de Brito (2008), é realizada através da soma ponderação dos defeitos (falhas) quantificados, em níveis discretos, por investigação visual em sistemas de edificações submetidas a condições climáticas similares.

Este procedimento permite fazer comparações de resultados para diferentes cenários, buscando avaliar a influência dos principais fatores qualificados e quantificados quanto ao nível de degradação, sendo a VUE obtida através do uso de curvas de degradação, conforme apresentado por Moubrey (1991), desenvolvido por Shohet *et al.* (2002) e aperfeiçoada por Gaspar & de Brito (2005, 2008, 2011).

Outro caminho, na busca da determinação da VUR, consiste na determinação do grau de severidade de degradação de um determinado sistema (revestimento de fachada), que representa uma indicação do grau de degradação do sistema investigado (Gaspar & de Brito, 2011), similar ao anterior, possibilitando considerar ponderações no estado de degradação das falhas investigadas.

O objetivo deste capítulo é definir uma metodologia para determinar a VUE de casas térreas construídas com componentes de gesso, tendo por base a campanha de inspeção realizada nas edificações da região do Araripe, por ser esta região a que mais concentra casas térreas construídas com blocos e bloquetes de gesso no Brasil.

6.2 METODOLOGIA

Considerando as fachadas como os elementos mais sujeitos aos agentes de degradação, sendo estas a primeira barreira de proteção para os demais elementos/sistemas de uma edificação, foram observadas as fachadas das casas tomadas como objeto de avaliação da determinação da vida útil.

A metodologia fatorial foi empregada tendo por base resultados obtidos na campanha de inspeção em 115 edificações construídas em componentes de gesso em três regiões do estado de Pernambuco, região responsável por 90% do gesso produzido no Brasil e onde se concentra a maior quantidade de casas térreas construídas com este componente. A Norma ISO 15686-1 (ISO, 2014) considera que o método fatorial é uma referência para a estimativa da vida útil de um componente, de um elemento ou mesmo de uma edificação.

A aplicação deste método permite determinar a VUE para um elemento ou sistema construtivo, sob condições específicas. Tem como base uma VUR, e sobre esta, a aplicação de uma série de fatores modificadores relacionados com as variáveis, de baixa correlação, que dizem respeito a ações ou

condições específicas que agem sobre o produto em avaliação. O método fatorial é expresso pela equação 9:

$$VUE = VUR \times \text{Factor A} \times \text{Factor B} \times \text{Factor C} \times \text{Factor D} \times \text{Factor E} \times \text{Factor F} \times \text{Factor G} \quad [\text{Equação 9}]$$

Onde: VUE - Vida Útil Estimada; VUR - Vida Útil de Referência; Fator A - fator relacionado à qualidade do material/componente; Fator B - fator relacionado à qualidade do projeto; Fator C - fator relacionado à qualidade da execução no local; Fator D - fator relacionado às condições ambientais internas; Fator E - fator relacionado às condições ambientais externas; Fator F - fator relacionado às condições de uso da construção; e Fator G - fator relacionado ao nível de manutenção.

A VUR, principal quantificador da VUE, foi determinada através do levantamento de falhas nas edificações investigadas e ratificada através da validação dos resultados utilizando análises de regressão para curvas de degradação, estas estimadas através de indicadores quantificados.

Posteriormente são aplicados os fatores modificadores relacionados com as variáveis que potencialmente possam interferir no envelhecimento das edificações, geralmente definidos com base na expertise da equipe que tenha um conhecimento acumulado sobre os objetos em pauta.

6.2.1 DETERMINAÇÃO DO VUR

6.2.1.1 FORMULAÇÕES UTILIZADAS

Para a determinação da VUR foram utilizadas a quantificação dos níveis de degradação, denominado ODL (*Overall Degradation Level*), apresentado em Gaspar&de Brito (2008), e a determinação do indicador de severidade de degradação (S) que representa uma indicação do grau de degradação do sistema investigado (Gaspar&de Brito, 2011).

As equações 10 e 11 apresentam as formulações para a determinação dos dois quantificadores de degradação utilizados:

$$ODL = \frac{\sum n_{i,j}}{ni} \quad \begin{array}{l} \text{ODL- nível geral de degradação, onde } ODL \in K \\ ni - \text{número de defeitos associado a falha } j, j \in J \\ J - \text{Escala de falha } \{0,1,2,3,4\}, \text{ para cada falha específica } \\ j; e \\ K - \text{Espaço das condições gerais de falha } [0,00 - 4,00] \end{array} \quad [\text{Equação 10}]$$

$$S = \frac{\sum (A_n \cdot K_n \cdot K_{an})}{(A \cdot K)} \quad \begin{array}{l} S - \text{Indicador de severidade da degradação;} \\ A_n - \text{área da fachada afetada pela anomalia } n \text{ [m}^2\text{]}; \\ K_n - \text{Constante de ponderação das anomalias } n, \\ K_n \in [0,1,2,3,4]; \\ K_{an} - \text{Constante de ponderação relativo ao peso} \\ \text{da anomalia, definida em função dos custos de reparação,} \\ K_{an} \in R; \\ K - \text{Constante de ponderação igual ao } K_n \text{ mais elevado;} \\ A - \text{Área total investigada.} \end{array} \quad [\text{Equação 11}]$$

Em ambas as formulações o tempo é usado como variável independente, quantificado como a idade das edificações investigadas, e associado a ODL ou S. Cada edificação avaliada apresenta um nível geral de degradação (ODL) formado pela composição da quantificação do número de falhas observadas ponderada pelo nível de degradação considerado, ou pelo indicador de severidade da degradação (S) que considera esta quantificação através das áreas atingidas, ponderada pelo nível de degradação e pela extensão desta degradação referente a área total avaliada.

Para possibilitar uma comparação dos resultados entre as duas formulações foi utilizada a caracterização do percentual das áreas afetadas/investigadas e sua parametrização aos níveis de severidade macro, no espaço das condições gerais de falha $K \in [0,00 - 4,00]$.

A distinção entre os níveis das falhas foi definida com base em evidências, associado-as aos processos normais de degradação. A Tabela 58 apresenta os níveis de falhas considerados e sintetizados em quatro níveis, utilizado pelas duas formulações:

- a) grau de degradação incipiente (nível 1) ($K = 1$) associado a danos visuais iniciais, como a manchas e perda de tonalidade na pintura, quando existe, o que indica o primeiro sintoma de degradação;
- b) indicativos de baixa degradação (nível 2) ($K = 2$) associada a indicadores relacionados à constatação de manchas que indicam presença de água e de perda de pintura sobre blocos hidrofugados e/ou com revestimento de argamassa, visto que sobre estas condições o contato direto da água é de menor poder degradador; manchas de umidade sobre os componentes e a detecção de micro fissuras, só perceptível em olhar bem próximo desta falha;
- c) degradação instalada (nível 3) ($K = 3$) representada pela identificação da perda da proteção (revestimento/pintura) sobre componentes standard e manchas de umidade com indicação de fungos (presença constante) sobre todos os componentes, bem como fissuras detectadas visualmente com facilidade (olhar rápido); e
- d) degradação extensa (nível 4) ($K = 4$) associada a constatação de fissuras dos componentes e fissuras indicadoras de movimentação da edificação ou bastante intensa.

A extensão de danos, utilizado para diferenciar os diferentes tipos de falhas pertencentes a um mesmo nível de degradação, está proposto para variar entre 0,8 e 1,4, considerado em função da intensidade do tipo de de falha . Já o coeficiente que expressa o diferencial de custos potenciais de reparo da falha foi considerado 0,8 para correção de manchas de umidade; 1,0 Para correção de danos na pintura/revestimento; 1,1, para correção de fissuras; e 1,2, para correção de indicativos de degradação.

Na avaliação dos indicadores de severidade da degradação, foram ainda considerados dois cenários. O cenário 1, denominado S1, que não considera os custos potenciais de recuperação, aplicando apenas o coeficiente de extensão dos danos, e o cenários 2, denominado S2, que considera os custos potenciais de recuperação.

A Figura 156 apresenta as principais tipologias dos indicadores de degradação (sintomas) referente às falhas causadas pela degradação do sistema de revestimento/pintura, considerados para o enquadramento dos níveis macro de degradação, sendo estes utilizados como facilitadores nas investigações do trabalho em campo.

Tabela 58-Níveis de falha em fachadas construídas em alvenaria de componentes de gesso

Nível de degradação macro	Características da falha	Constante de ponderação anomalias(kn)	Fator de ponderação de custos (Kan)	Nota breve
0-Sem dano				
1- Degradação incipiente	Pintura sem danos, indicativos de variação de tonalidade	0,8	1,0	Sem preocupação maior
	Mancha de umidade incipiente na base da fachada	0,9	1,0	Corrigir fonte ou declividade calçada
	Mancha de umidade localizada saída tubulação/dreno	1,0	1,1	Corrigir impermeabilização
2- Baixa degradação	Perda de pintura PVA sobre blocos hidro	1,0	1,1	Substituir por pintura acrílica/esmalte sintético
	Perda de pintura sobre componentes standard revestidos	0,9	1,1	Reaplicar pintura compatível /revestimento
	Manchas de umidade sobre bloco hidro	0,8	1,0	Sem maiores danos, corrigir fonte
	Mancha de umidade sobre componente standard	1,0	1,2	Corrigir fonte, proteger bloco
	Micro fissuras só perceptível muito perto	1,1	1,0	Verificar causas acompanhar evolução
3- Degradação instalada	Perda de pintura sobre componentes standard sem revestimento	1,1	1,1	Substituir por pintura acrílica/esmalte sintético
	Indicador de degradação de componentes standard	1,1	1,1	Corrigir fonte, aplicar ou substituir revestimento por sistema mais eficaz
	Manchas escuras de umidade em blocos hidro	1,0	1,0	Investigar fonte de umidade perene
	Mancha de umidade sobre componentes standard com indicativo degradação.	1,1	1,1	Corrigir fonte, aplicar ou substituir revestimento por sistema mais eficaz
	Fissuras detectadas visualmente oriundas de concentração de cargas	1,1	1,2	Inserir elemento dissuador (colchão, contra verga) e corrigir revestimento
4- Degradação extensa	Constatação de degradação em componentes de gesso standard	1,1	1,1	Corrigir fonte, aplicar ou substituir revestimento por sistema mais eficaz
	Manchas generalizadas com indicativo de degradação	1,0	1,1	Corrigir fonte e substituir por pintura acrílica/esmalte sintético
	Indicativos de degradação em blocos hidro	1,1	1,1	Corrigir fonte e substituir por pintura acrílica/esmalte sintético
	Fissuras detectadas visualmente por movimentação da estrutura	1,2	1,2	Corrigir fonte, reestruturar base e/ou coberta

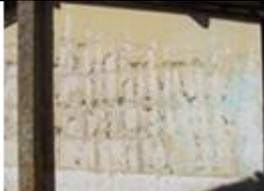
Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
			
Pintura com tons diferentes	Perda de pintura PVA sobre bloco hidro	Perda de pintura PVA sobre blocos standard	Degradação localizada em alvenaria de componentes standard
			
	Perda de pintura cal sobre blocos hidro	Manchas escuras e fissura com fácil detecção	Degradação generalizada em alvenaria de blocos de gesso
			
	Perda inicial de pintura sobre revestimento argamassado	Perda extensa de pintura sobre revestimento argamassado	Degradação generalizada na alvenaria de bloquetes

Figura 156- Aspectos dos indicadores dos sistemas de proteção por níveis de degradação

As principais características utilizadas para diferenciação dos níveis de degradação nos sistemas de proteção (revestimento/pintura) aplicados sobre os componentes de gesso são:

- os sistemas de revestimento/pintura, no contexto da durabilidade, têm como função principal a proteção das alvenarias, quer por dificultarem a infiltração da água, quer por evitarem o contato direto da água com os componentes de gesso;
- as pinturas à base PVA apresentam aderência pouco durável quando aplicadas aos componentes de gesso hidrofugado, por estes serem fabricados com aditivos impermeabilizantes à base de silicone. Por outro lado, estes aditivos conferem aos componentes uma estanqueidade à infiltração da água e uma maior resistência à degradação por solubilização e lixiviação;
- as pinturas à base de PVA sobre componentes standard apresentam maior aderência, quando comparada com as aplicadas sobre blocos hidro. Porém, a perda do poder de cobertura possibilita as infiltrações de água e uma maior degradação por solubilização;
- as pinturas à base de cal não apresentam diferenças significativas quando aplicadas aos diferentes tipos de componentes, sendo sua perda considerada como um indicador de avanço da degradação; e
- os revestimentos à base de argamassa apresentam menor aderência aos componentes lisos e de maior dimensão (blocos), unidos com cola de gesso, quando comparado aos revestimentos

aplicados sobre alvenaria de componentes mais rugosos e de menor dimensão (bloquetes), por estes últimos exigirem juntas mais largas e com utilização de argamassa. A perda da pintura ou mesmo parte da áreas de revestimento revelam avanço da degradação.

A Figura 157 apresenta as principais tipologias dos indicadores de degradação (sintomas) referente às falhas causadas pelo avanço da umidade consideradas para o enquadramento dos níveis macro de degradação.

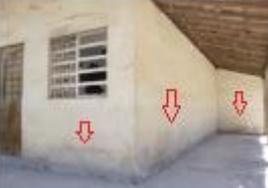
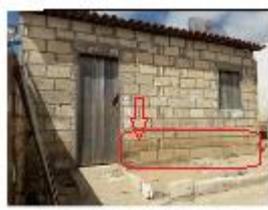
Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
			
Mancha de umidade incipiente na base da parede com pintura	Manchas incipiente de umidade em blocos hidro sem revestimento	Manchas de umidade em blocos hidro com cores escuras	Manchas generalizadas escuras com indicativo de degradação
			
Mancha de umidade localizada na saída de dreno/BWC	Mancha de umidade na base de blocos standard revestido	Mancha de umidade em blocos standard com cores escuras	
			
	Manchas de umidade em bloquetes sem revestimento, sem indicativo de degradação	Manchas/marcas de umidade em bloquetes sem revestimento, com indicativo de degradação	

Figura 157- Aspectos dos indicadores da presença de umidade por níveis de degradação

Os aspectos que envolvem o avanço da umidade sobre as alvenarias de componentes de gesso, com e sem revestimentos, constituem-se em indicativos de degradação na medida em que podem revelar não só a fonte que origina a umidade (infiltração por capilaridade, acúmulo de água na base), mas também o estágio que se mostra quanto ao poder de degradação, bem como o aspecto da existência de um microclima potencial a degradação.

A elevação da umidade diminui as resistências dos componentes em gesso e potencializa a solubilidade, principalmente nos componentes standard, já que o silicone utilizado na fabricação dos blocos hidro contribui para diminuir a permeabilidade e com isso a solubilidade e perda de resistências.

A Figura 158 apresenta as principais tipologias dos indicadores de degradação (sintomas) referentes às falhas causadas pela fissuras observadas, consideradas para o enquadramento dos níveis macro de degradação.

Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
A constatação de qualquer tipo de fissura já demonstra falha com certa gravidade			
	Microfissuras só perceptíveis bem de perto	Fissuras detectadas visualmente sem dificuldades	Fissura oriunda de recalque, observada internamente
			
	Fissura em parede que apoia coberta	Fissura no encontro entre blocos	Fissura oriunda de falha construtiva grave
			
		Fissura sobre vão de porta, apoio da coberta	

Figura 158- Aspectos dos indicadores da forma e intensidade de fissuras por níveis de degradação

As fissuras são indicativas de fragilidade associados a concentração de tensões, geralmente localizadas, ou falha de ligação. As principais causas que originam as fissuras nas alvenarias das casas construídas com componentes de gesso são:

- concentração de cargas da estrutura de coberta depositadas diretamente sobre as paredes, principalmente as paredes longas e sobre vãos (portas e janelas);
- ausência de vergas nas portas e vergas e contravergas nas janelas;
- constatação de recalque por observação de fissuras inclinadas nas paredes de fachada; e
- união de blocos de gesso com gesso-cola, já que a união com argamassa, observada na união de bloquetes, diminuem esta rigidez.

6.2.1.2 APLICAÇÃO DAS FORMULAÇÕES AOS DADOS OBSERVADOS

Na campanha realizada foram inspecionadas 62 casas térreas, localizadas nos municípios de Araripina e Trindade. A região que os constitui é considerada homogênea, classificada como zona bioclimática Z7 (ABNT, 2005). Destas, 58 casas estão localizadas na zona bioclimática Z7 (sertão do Araripe), 3 casas localizadas no município de Gravatá, na zona bioclimática Z6, e o protótipo construído no Recife, na zona bioclimática Z8.

Os resultados aplicados às 116 edificações estão apresentados na Tabela 59 e representados na Figura 159.

Tabela 59- Resultados das investigações

	idade	ODL	S1	S2		Idade	ODL	S1	S2
Conjunto de casas em blocos Alto da Bela Vista - Araripina	15	2,29	2,47	2,50	Casas isolada em bloco - Trindade	9	1,83	1,88	2,10
	15	2,43	2,52	2,55		10	2,00	1,83	2,01
	15	2,43	2,49	2,53		19	2,86	2,82	3,10
	15	2,43	2,46	2,51		8	2,00	1,86	2,03
	15	2,43	2,49	2,54		17	2,63	2,54	2,83
	15	2,43	2,17	2,13		13	2,17	2,23	2,52
	15	2,43	2,30	2,29		9	2,17	2,03	2,29
	15	2,43	2,25	2,24		15	2,43	2,38	2,67
	15	2,29	2,10	2,08		6	2,00	2,05	2,27
	15	2,57	2,51	2,49		10	2,17	1,87	2,09
	15	2,43	2,30	2,32		16	2,43	2,18	2,47
	15	2,43	2,41	2,42		7	2,00	1,94	2,15
	15	2,43	2,41	2,40		15	2,17	2,08	2,29
	15	2,43	2,49	2,54		15	2,20	1,99	2,24
	15	2,43	2,55	2,59		14	2,50	2,40	2,69
	15	2,43	2,40	2,41		10	2,17	2,03	2,29
	15	2,43	2,47	2,50		9	2,17	2,00	2,25
	15	2,43	2,47	2,50		11	2,17	2,03	2,29
	15	2,43	2,39	2,35		9	2,17	1,94	2,19
	15	2,43	2,47	2,50		11	2,20	2,12	2,40
15	2,43	2,49	2,54	7	2,00	1,87	2,10		
Casas isoladas em blocos - Araripina	2	1,60	1,35	1,40	7	2,17	2,07	2,34	
	3	1,75	1,50	1,57	8	2,20	2,01	2,25	
Conjunto de casas em blocos COHAB - Trindade	11	2,13	2,18	2,39	8	2,17	2,03	2,29	
	11	2,25	2,32	2,54	8	2,17	2,03	2,29	
	11	2,00	2,05	2,21	Casas isoladas em blocos - Gravatá	10	0,57	1,12	1,03
	11	2,00	1,83	2,01		9	0,57	1,05	0,96
	11	2,25	2,22	2,40		9	0,57	1,05	0,96
	11	2,25	2,19	2,36	Casa protótipo ITEP	12	2,78	2,65	2,93
	11	2,25	2,22	2,39					
	11	2,13	2,13	2,29					
	11	2,29	2,25	2,42					
	11	2,29	2,25	2,42					
	11	2,29	2,25	2,42					

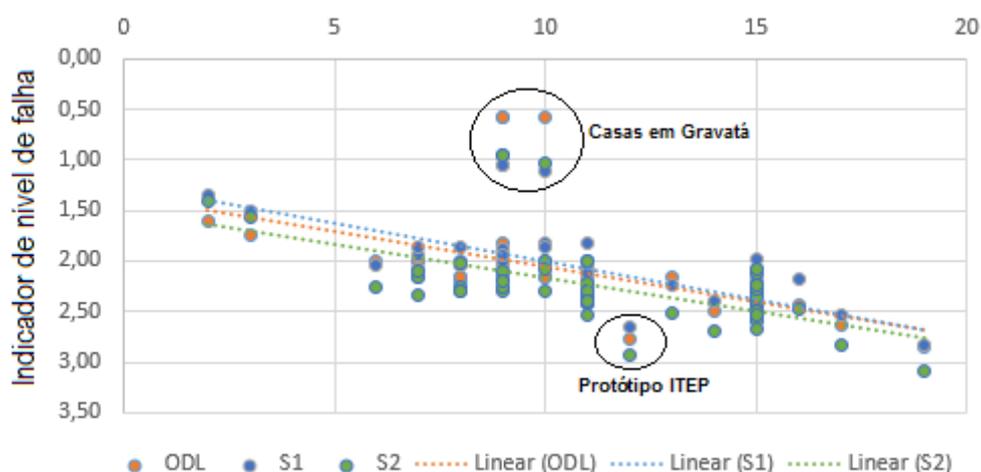


Figura 159- Resultados dos indicadores versus idade das edificações

Observa-se também que o comportamento dos indicadores ODL (*Overall Degradation Level*) e os Si (Grau de Severidade de degradação) mostram comportamento e valores similares.

Observa-se que os últimos resultados referentes às casas construídas em alvenaria de blocos em Gravatá e a casa protótipo, também construída em alvenaria de blocos em Recife, mostraram resultados bastante destoantes do universo das edificações avaliadas.

Constata-se que o comportamento destes indicadores refletem uma diferença de padrão, tanto cultural quanto climático. As casas em Gravatá foram construídas por uma Empresa para família de alto padrão econômico utilizando acabamento com matérias de elevada qualidade (massas e pinturas), além de estarem localizadas em uma região bioclimática que apresenta menor intensidade de chuvas (Z6). Já o protótipo, embora construído com materiais e técnicas similares às do Sertão não é habitada (sem uso e manutenção) e é localizado em uma região com intensidade de chuvas três vezes maior.

A influência climática é sem dúvida o principal fator que influencia nos resultados. A zona bioclimática Z6 (região do agreste: Gravatá) apresenta as menores precipitações pluviométricas, menor velocidade média dos ventos e umidade média relativa intermediária entre as demais regiões consideradas. Já a casa protótipo do ITEP, situada na Zona bioclimática Z8 (Região do Litoral: Recife), apresenta as maiores precipitações pluviométricas e as maiores velocidades médias de vento e uma umidade relativa sempre superior a 65%.

Outro fator que possivelmente tenha influenciado na minimização das manifestações patológicas das casas localizadas em Gravatá foi o sistema de pintura empregado nas fachadas (pintura a base de esmalte sintético e tinta acrílica), corroborando com os ensaios de estanqueidade/desgastes realizados no ítem 3.5.3.

Analisando dentro da mesma região bioclimática do Sertão (Z7), em um universo de 112 casas, é possível perceber que os três indicadores apresentam comportamento similar, não existindo disparidade maior entre valores porém, os indicadores que representam graus de severidade S1 e S2 conseguem assimilar as variações das extensões das manifestações patológicas atuantes, exigindo maior sensibilidade dos avaliadores na determinação das áreas afetadas. A Figura 160 mostra o comportamento dos indicadores apenas situados na região do sertão pernambucano (Z7).

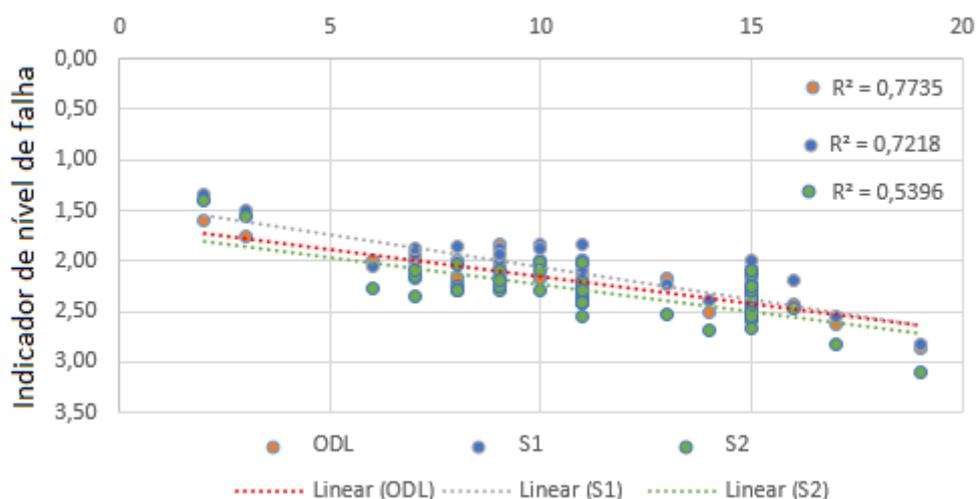


Figura 160- Comportamento dos indicadores de níveis de degradação e severidade para as casas do sertão

Na análise do comportamento das linhas de tendência referente apenas aos resultados das quantificações realizadas nas edificações localizadas na zona Z7, envolvendo os municípios de Araripina e Trindade, é possível perceber que o modelo ODL apresentou $R^2 = 0,77$, indicando que a aderência do modelo

baseado em quantificação de falhas só responde por 77% em relação à idade das edificações. Isto quer dizer que a idade das edificações influencia na quantificação das falhas.

Já os modelos S1 e S2 apresentam uma aderência dos resultados nos modelos avaliados com $R^2 = 0,72$ para o modelo S1 (cenários 1-sem considerar ponderação dos custos de recuperação) e $R^2 = 0,54$ para o modelo S2 (cenários 2-com ponderação dos custos).

As tendências dos modelos mostram similaridade e proximidade, porém foi observado, após expurgo das amostras pertencentes as zonas Z6 (agreste) e Z8 (litoral) um melhor comportamento do indicador de falha ODL e do grau de severidade S1.

O indicador de severidade S2 é quase sempre maior que o indicador S1, mostra uma variação diferenciada, já que os fatores amplificadores consideram estimativas de custos de intervenção para correção ou minimização do dano.

Com estes últimos é possível considerar que o modelo do grau de severidade que considera a quantificação das falhas por área afetada, ponderada em relação à área total investigada, sendo aplicados níveis de degradação macro (S1), ou mesmo considerando as ponderações específicas considerando custos de intervenção (S2), apresentam uma maior sensibilidade em relação a intensidade de extensão das falhas. Já o modelo de níveis gerais de degradação (ODL) apresenta uma maior facilidade de aplicação sem depender da expertise/sensibilidade do investigador.

6.2.1.3- DETERMINAÇÃO DA VUR

A vida útil de referência (VUR) depende do conceito relativo do "nível mínimo de desempenho exigido" que varia de acordo com o contexto, status de propriedade, orçamento disponível e outros critérios subjetivos (Gaspar&de Brito, 2008). Se for considerado que o desempenho mínimo seja o que indique a necessidade de recuperação, identificado com a constatação dos níveis de degradação instalada, o nível de degradação para o desempenho mínimo é 3.

Desta forma pode-se determinar a VUR como resultado da intersecção entre a curva de tendência dos indicadores de degradação e a linha que delimita o final do nível 3, neste caso, VUR foi obtido através da extrapolação das curvas de tendência, utilizando a expressão da regressão linear ODL (modelo que apresentou melhor coeficiente quadrático de Pearson R^2), $y=0,0537x+1,6136$ aplicando $y=3,0$ tem-se $x=25,8$ anos.

Há de considerar que este valor da VUR de 25,8 anos constitui a única referência para este tipo de elemento (alvenaria externa). Desta forma, ficou inferior ao limite mínimo especificado para a Vida Útil de Projeto (VUP) prescrita na NBR 15575-4 (ABNT, 2013), em caráter informativo, sugere que a VUP para alvenaria externa seja superior a 40 anos quanto ao requisito de durabilidade e manutenibilidade.

Esta VUR diz respeito diretamente às edificações investigadas no sertão (Z7), porém pode ser aplicada com reservas para as outras edificações construídas nas demais zonas bioclimáticas. Neste caso os coeficientes dos fatores modificadores do método dos fatores terão como valor unitário (peso base) as condições que refletem as características majoritárias encontradas nas casas do Sertão.

A pouca quantidade de casas existentes, tanto na zona bioclimática Z6 (três casas em Gravatá), quanto na zona bioclimática Z8 (um protótipo em Recife) inviabiliza a realização de análise de tendência global, por conseguinte, a determinação de uma vida de referência aplicável a todas as regiões.

A expectativa é que, em se utilizando a VUR, determinada em função de uma quantidade representativa de casas e que cuja distribuição mostre um comportamento aceitável ($R^2 > 0,70$), seja possível ponderar a influência climática aplicando o fator E (fator que considera as condições ambientais externas) na determinação da vida útil estimada (VUE) do método dos fatores.

6.3- DEFINIÇÃO DOS FATORES MODIFICADORES

Após a determinação da Vida Útil de Referência (VUR), outras variáveis de baixa correlação com o tempo devem ser incorporadas, muitas originárias do processo/etapa de construção e outras do uso e climas (interno e externo). Nem todas apresentadas na formulação do método dos fatores (ISO 15686-1,2011) merecem ser consideradas, quer seja pela constatação da pouca influência, que pela ausência de dados disponíveis.

6.3.1 Qualidade de materiais/componentes (fator modificador A)

Os resultados laboratoriais mostraram que o tipo de componente (hidro ou standard) é de extrema relevância no trato da durabilidade, tanto na velocidade de degradação, na aderência do revestimento/pintura, quanto na permeabilidade de umidade, sob ação desfavorável do clima.

Os principais atributos a serem considerados para este fator são:

- Tipo de bloco/bloquete: a) hidro (fabricado com hidrofugante) - maior resistência ao desgaste superficial e muito mais estanque à passagem da água ; b) standard (fabricado sem aditivos) - menor resistência ao desgaste superficial e permeável à água; c) maciço (sem vazios interiores) – apresenta, teoricamente, maior resistência ao desgaste acentuado que possa atingir os vazios, porém, quando comparado aos vazados são mais permeáveis a água, já que os vazios dificultam pontualmente a permeabilidade; d) espessura do bloco - existem três espessuras encontradas, sejam 12 cm, 10 cm e 7 cm. Destas, a de 12 cm é característica dos bloquetes, a de 10 cm, dos blocos de fachada, ambos maciços, e a de 7 cm é característica dos blocos standard aplicados nas vedações internas.
- Tipo de revestimento: a) revestimento em argamassa - protege os componentes quanto ao desgaste e dificulta a permeabilidade da água; b) pintura à base de tinta PVA (latex) - quando aplicada diretamente sobre os blocos retarda a degradação e possui maior aderência aos blocos standard, porém menos duráveis que as de base acrílica; c) pintura à base de cal - quando aplicada diretamente sobre os blocos retarda a degradação, tem um pouco mais de aderência aos blocos hidro, porém ainda maior aderência aos blocos standard, mas é mais permeável que as pinturas PVA; d) pinturas de base acrílica mostraram ser mais aderentes aos blocos hidro, são mais impermeáveis e mais resistentes ao desgaste quando comparadas às pinturas anteriores.

Considerando a relevância deste atributo na durabilidade foi considerada a variação entre 0,8 e 1,2 nos valores dos coeficientes modificadores. A Tabela 60 apresenta o peso dos coeficientes considerados para este atributo.

Tabela 60- Coeficiente modificador, fator A (materiais e componentes)

FATOR	REQUISITO	CARACTERÍSTICA/PESO					
A- Qualidade de materiais/ compo- nentes	Fachada (1 fiada)	Hidro	1,0	Standard	0,8	Bloquete	0,8
	Fachada(demais fiadas)	Hidro	1,0	Standard	0,9	Bloquete	0,9
	Revestimento em argamassa	Todas	1,2	Só frontal	1,0	Sem	0,9
	Revestimento em pintura	Só Pintura	1,0	Sobre argamassa.	1,2	Sem	0,8
	Espessura do componente	12 cm	1,1	10 cm	1,0	7 cm	0,9

6.3.2 Qualidade de projeto (fator modificador B)

Os aspectos considerados neste atributo dizem respeito aos elementos que possam influenciar positivamente ou negativamente na proteção das fachadas, como por exemplo a presença de elementos que minimizem a fissuração (ver item 5.2.3) por concentração de cargas de coberta ou ausência de cintas ou ausência de vergas ou contravergas em janelas. Na molhagem das fachadas ou empossamento na base destas, as presenças de calçadas auxiliam o não empossamento da água junto às paredes. Este fator foi considerado complementar e de menor relevância que o fator A.

A Tabela 61 apresenta o peso dos coeficientes considerados entre 0,8 e 1,1 para este atributo.

Tabela 61-Coeficiente modificador, fator B (qualidade de projeto)

FATOR	REQUISITO	CARACTERÍSTICA/PESO					
B- Qualidade de Projeto	Embasamento em relação ao solo	Elevado	1,0	Mesmo	0,9	Abaixo	0,8
	Presença de calçadas	Em todas	1,1	Só frontal	1,0	Sem	0,9
	Fissuras fruto de ausência de cintas	Não	1,1	Pouco perceptível	1,0	Muitas	0,9
	Presença de calhas do telhado	Toda extensão	1,1	Limitada a trechos	1,0	Sem	0,9

6.3..3 Qualidade de execução (fator modificador C)

Os aspectos considerados deste atributo dizem respeito a detalhes construtivos observados quanto ao esmero e acabamento, já que falhas construtivas foram avaliadas como início propagador de degradação (ver item 4.4.3), bem como o aspecto geral das fachadas. Este atributo é considerado complementar e de menor relevância que o fator A. A Tabela 62 apresenta o peso dos coeficientes considerados entre 0,8 e 1,1 para este atributo.

Tabela 62-Coeficiente modificador, fator C (qualidade da execução)

FATOR	REQUISITO	CARACTERÍSTICA/PESO					
C- Qualidade de Execução	Constatação de falhas construtivas	Sem	1,0	Poucas	0,9	Muitas	0,8
	Acabamento	Bom	1,1	Razoável	1,0	Ruim	0,9

6.3.4 Condições ambientais internas (fator modificador D)

Os aspectos relacionados às condições ambientais internas considerados como facilitadores ou não da renovação do ar interior, que reduz a umidade interior e minimiza a proliferação de fungos, são considerados indicadores da permeabilidade da umidade do exterior para o interior (ver item 5.2.3). O condicionamento de ambientes com equipamentos de renovação forçada diminuem a umidade interior e das paredes. Já a umidade na base da parede indica falhas de projeto ou execução que contribuem para o condicionamento interior, também é considerado fator complementar.. A Tabela 63 apresenta o peso dos coeficientes considerados entre 1,1 e 0,9 para este atributo.

Tabela 63- Coeficiente modificador, fator D (ambiente interno)

FATOR	REQUISITO	CARACTERÍSTICA/PESO					
D- Condições ambientais internas	Condicionamento de ar interno	Sim	1,1	Misto	1,0	Não	1,0
	Ventilação cruzada	Sim	1,1	Parcial	1,0	Não	0,9
	Umidade na parede	Sem	1,1	Pouca	1,0	Muita	0,9

6.3.5 Condições ambientais externas(fator modificador E)

Os aspectos relacionados ao clima, como precipitação pluviométrica, velocidade e direção dos ventos, temperatura e umidade, atuam como principais agentes de degradação, sendo considerados extremamente significativos na formulação dos pesos modificadores. São considerados de extrema relevância visto que influenciam fortemente a origem do processo de degradação. Para cada região foram levantados a precipitação pluviométrica, a velocidade e direção do vento, e cada edificação avaliada foi observada a direção da fachada. Neste caso foi considerado como importância significativa entre 1,2 e 0,7, visto o comportamento diferenciado identificado pelos indicadores de degradação (Figura 159), como peso dos

coeficientes considerados para este atributo, como mostra a Tabela 64.

Tabela 64-Coeficiente modificador fator E (ambiente externo)

FATOR	REQUISITO	CARACTERÍSTICA/PESO					
E- Condições ambientais externas	Pluviometria anual	<600	1,2	600- 1200	1,0	>1200	0,7
	Número de meses de chuva	<=2	1,2	2 a 6	1,0	>6	0,8
	Velocidade do vento	<2,0	1,2	2,0-4,0	1,0	>4,0	0,8
	Direção do vento preponderante	Perpendicular Fachada	0,8	Inclinada Fachada	1,0	Contra Fachada	1,2

Os demais fatores potencialmente modificadores como: fator F - fator relacionado às condições de uso da construção e fator G - relacionado ao nível de manutenção ficaram prejudicados por falta de informações consistentes, já que na população investigada o tempo de utilização varia entre 5 e 18 anos e não foi precedido de estudos de acompanhamento sistemático. Há de considerar que a maioria dos casos investigados não mostraram indicativos de ter havido renovação de revestimento e/ou pintura nas paredes de fachada.

6.4 DETERMINAÇÃO DA VIDA ÚTIL ESTIMADA (VUE)

Os coeficientes modificadores foram aplicados a cada uma das amostras considerando as condições ambientais da região onde a edificação estava construída, suas características construtivas, seus aspectos de acabamento e manifestações patológicas constatadas nos períodos de inspeção, realizados em abril/2007 e abril/2008.

A Tabela 65 e o Figura 161 mostram os resultados obtidos comparativos entre as idades do tempo de construção e a idade estimada calculada.

Analisando os resultados observam-se que as casas construídas em blocos de gesso pertencentes ao conjunto de casas em Araripina mostram que a vida útil estimada é maior que a idade de construção, com uma pequena variação decorrente principalmente das condições ambientais internas (uso), perda de rigidez da estrutura de coberta no tempo (fissuras por concentração de carga) e alguns indicativos de degradação ainda de forma inicial, observada em algumas casas.

Já as casas isoladas construídas em blocos em Araripina, destacam-se das demais por apresentar qualidade de projeto e de construção. Sua expectativa de vida útil foi estimada em 32,6 anos, bem superior a sua pouca idade construída, bastante coerentes com o observado.

O terceiro conjunto de resultados dizem respeito ao conjunto de casas construídas em blocos hidro em Trindade, que apresentam VUE que varia entre 27 e 32 anos, na época, em 2018, estas casas tinham 11 anos de construídas. Embora apresentem algumas fissuras por concentração de carga de coberta e sobre vedos, não mostram indicativos de degradação nem infiltração de água. A utilização de blocos hidro em todas as alvenarias externas(fachadas) associada a pintura a base de cal mostraram maior resistência às intempéries.

Outras amostras são de casas isoladas em blocos de gesso construídas em Trindade. A casa urbana mostra aspectos de uma boa construção, assim como o Posto de Saúde, apresentando VUE acima de 32 anos. Já a casa construída na zona rural de Trindade reflete seu estado de degradação acentuado, tendo ultrapassado sua expectativa de vida VUE << Idade.

Tabela 65- Resultado da aplicação de método fatorial da vida útil estimada

	Amostra	Idade	VUE			Amostra	Idade	VUE
Casas construídas em blocos no conjunto residencial - Araripina	1/21	15	25,5		Casas em blocos Trindade	1/3	9	29,9
	2/21	15	22,1			2/3	10	33,9
	3/21	15	22,7			3/3	19	17,8
	4/21	15	21,4					
	5/21	15	22,0		Casas em bloquetes	1/22	8	24,3
	6/21	15	20,9			2/22	17	20,5
	7/21	15	22,0			3/22	13	20,8
	8/21	15	20,9			4/22	9	25,7
	9/21	15	19,3			5/22	15	18,4
	10/21	15	20,3			6/22	6	20,4
	11/21	15	22,0			7/22	10	26,4
	12/21	15	22,3			8/22	16	23,3
	13/21	15	22,5			9/22	7	22,1
	14/21	15	21,4			10/22	15	22,7
	15/21	15	19,3			11/22	15	24,6
	16/21	15	22,0			12/22	15	25,7
	17/21	15	21,4			13/22	10	29,4
	18/21	15	20,9			14/22	9	26,5
	19/21	15	22,0			15/22	11	29,4
	20/21	15	22,6			16/22	9	22,6
	21/21	15	22,6			17/22	9	20,4
Casas isoladas em blocos - Araripina				18/22		7	22,0	
	1/2	2	29,2	19/22		7	22,0	
	2/2	3	29,9	20/22		8	22,0	
				21/22		8	22,1	
				22/22		8	20,9	

Tabela 66 – Resultado da aplicação do método fatorial da Vida Útil Estimada (continuação)

	Amostra	Idade	VUE			Amostra	Idade	VUE
Casas em blocos conjunto residencial - Trindade	1/10	11	24,8		Casas em blocos Gravatá	1/3	10	33,2
	2/10	11	24,8			2/3	9	33,2
	3/10	11	28,2			3/3	8	33,2
	4/10	11	26,2					
	5/10	11	27,5		Protótipo	1/1	12	7,51
	6/10	11	25,5					
	7/10	11	25,5					
	8/10	11	27,5					
	9/10	11	28,2					
	10/10	11	27,5					

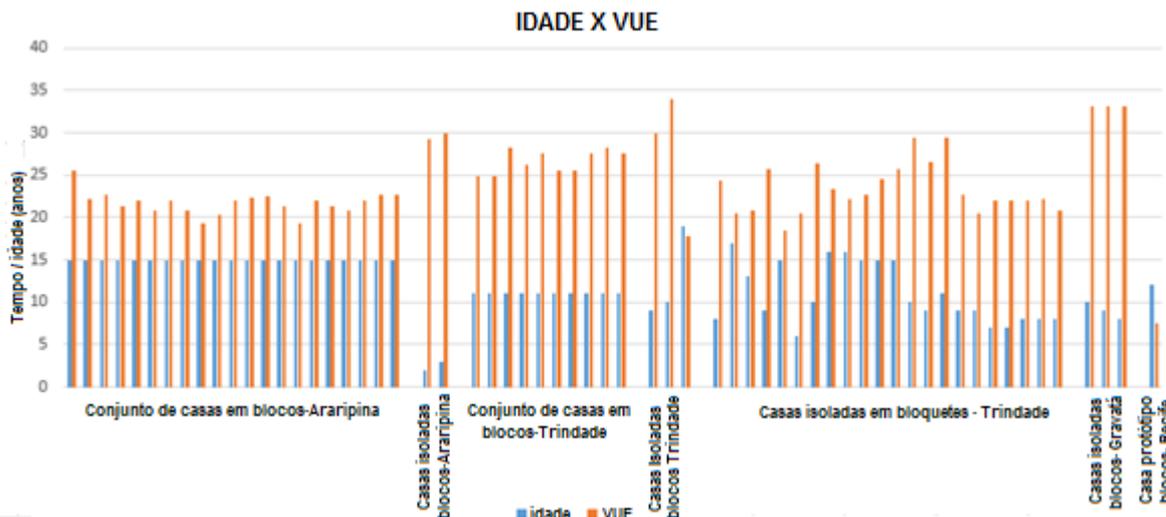


Figura 161 - Avaliação comparativa (Idade x Vida Útil Estimada)

O conjunto de casas construídas em bloquetes, embora apresentem aspecto rústico e sem revestimento, algumas apenas com revestimento na fachada principal, mostram-se quase sem degradação e refletem a cultura da realidade local, tendo as casas investigadas apresentando idades de construção bastante variadas, mas com $VUE > Idade$, algumas mostram próxima a estimativa, decorrente das intervenções, ambiente interno e cuidados com manutenção ao longo dos anos.

As casas construídas com blocos em Gravatá, com elevado padrão construtivo, são as que apresentam VUE mais elevado, próximo a 37 anos, bem superior à idade de construção, não mostrando nenhum indicativo de falha grave. Isto se deve principalmente as condições climáticas mais favoráveis e a qualidade dos materiais e técnicas construtivas.

A casa protótipo mostrou que a VUE (7,5 anos) ficou inferior a idade da construção (12 anos), que embora tenha sido construída com materiais e técnica construtiva semelhante as casas construídas no sertão, sofreu maiores intempéries decorrente principalmente pelas condições climáticas, mostrando degradação diferenciada nas diferentes direções cardeais, sendo as maiores degradações registradas nas fachadas voltadas para direção preponderante dos ventos (ESE), associada a enorme diferença entre precipitações pluviométricas ($Z8 \sim 2.200\text{mm/ano}$ contra $Z7 \sim 600\text{mm/ano}$).

As manifestações patológicas registradas no protótipo, ver item 4.3, corroboram com o fim da VUE, com degradação acentuada na fachada sudeste, infiltrações pelas paredes da fachada, perda de componentes de contorno da janela, fissuras generalizadas sobre portas e encontros de paredes.

6.5 SÍNTESE DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram analisados os principais contributos que podem auxiliar na formulação da metodologia da determinação da vida útil de referência, utilizando o processo gráfico de quantificação por análise de regressão linear dos diversos indicadores de falhas, bem como os critérios para quantificar os fatores modificadores da formulação semi-empírica do método dos fatores aplicado-os às casas térreas construídas em alvenaria de blocos de gesso.

Estudos acelerados realizados nos capítulos 3 e 4 constataram uma diferença significativa entre as alvenarias construídas com blocos hidro em relação às com blocos standard, sendo as primeiras mais estanques e menos sujeitas a degradação superficial. Um outro aspecto constatado é que as pinturas retardam o início da ação de degradação, e a depender das características e do processo de aplicação, estas podem ser mais ou menos efetivas. Os blocos hidro são extremamente mais estanques, porém apresentaram menor capacidade de manter a aderência das pinturas quando comparados aos blocos

standard, principalmente quando estas são a base de tintas PVA-látex.

Estas informações somadas aos resultados das investigações realizadas durante a campanha de inspeção realizada em 112 casas térreas visitadas nos municípios do sertão do Araripe, associada a expertise de quem trabalha com gesso a mais de 33 anos, propiciaram a formulação dos critérios julgados relevantes para a aplicação da metodologia fatorial sugerida pela ISO 15686-1 (ISO, 2011), complementada pelas demais partes da Norma.

A metodologia utilizada para determinação da VUE das edificações construídas em componentes de gesso, associando os modelos de quantificação de falhas para encontrar o modelo que rege os níveis de degradação, sendo identificado e quantificado pelos sintomas no sistema de revestimento, forma e intensidade das manchas de umidade e forma e intensidade de fissuras, foi utilizada com sucesso na determinação da VUR.

Na aplicação do processo gráfico de regressão linear foi possível constatar, no caso estudado, que o comportamento dos indicadores ODL (*Overall Degradation Level*) e os Si (Grau de Severidade de degradação) mostram comportamento similares, sendo possível identificar a influência decisiva das condições climáticas das casas construídas nas três zonas bioclimáticas investigadas.

Expurgando as amostras de outras regiões, foi possível determinar a VUR através da utilização da grande massa de dados de uma região característica (Z7), obtendo das curvas de tendência, cujo R^2 foi de 0,77, bastante aderente ao modelo analisado, sendo no entanto tomado como referência as características construtivas e climática desta região como base para definição dos pesos de referência para o método dos fatores. Desta forma foi possível fazer a extrapolação das demais (Z6 e Z8), aplicando a estas os fatores específicos.

As tendências dos modelos mostram similaridade e proximidade, porém foi observado que os indicadores do grau de severidade (Si) mostram maior sensibilidade às intensidades de extensão das manifestações patológicas, já o indicador baseado na quantificação das falhas (ODL) mostraram maior facilidade de aplicação. O indicador de severidade S2 é quase sempre maior que o indicador S1, já que os fatores amplificadores consideram estimativas de custos de intervenção para correção ou minimização do dano aplicado-os sobre os resultados S1.

Dos 7 fatores modificadores contemplados no método dos fatores, apenas o que diz respeito ao uso e manutenção não foram considerados pela ausência de informações sistematizadas, os demais foram qualificados e quantificados considerando as informações colhidas no desenvolvimento dos três capítulos anteriores. Destes, os que refletem a qualidade dos blocos, o sistema de revestimento e, principalmente, as condições climáticas, interferem mais fortemente na modificação da Vida Útil Estimada (VUE) em relação à Vida Útil de Referência (VUR).

CONCLUSÕES

7.1 PRINCIPAIS CONCLUSÕES DESTE ESTUDO

Esta pesquisa visou conhecer os mecanismos de degradação dos blocos de gesso hidrofugados (hidro) e standard e definir parâmetros para avaliação de sua vida útil por meio de ensaios laboratoriais direcionados a avaliação da durabilidade, de acordo com a NBR 15575, associando à avaliação de desempenho de um protótipo construído e monitorado no Campus do ITEP e as edificações construídas em diferentes regiões bioclimáticas em Pernambuco-Brasil, para consolidar uma metodologia de estimativa de vida útil para casas construídas em alvenaria de componentes de gesso.

Com relação aos ensaios laboratoriais, foi verificado que a presença de aditivos impermeabilizantes na fabricação dos blocos de gesso altera o comportamento destes quanto a mobilidade hídrica e a solubilidade na presença de água. Os blocos hidrofugados (h2), caracterizados nas normas com absorção de água inferior a 5% após duas horas de imersão. Apresentaram coeficiente de ascensão capilar 60 vezes inferior ao dos blocos standard, que não utilizam aditivos impermeabilizantes em sua composição.

Comportamento similar foi observado nos ensaios acelerados de estanqueidade. A principal razão da alteração de comportamento é justificada pela ação do silicone, que possui uma baixa tensão superficial e consegue recobrir a superfície dos poros do material sem formar película. Como consequência, reduz-se as forças capilares e a penetração de água.

Nos ensaios acelerados de choque térmico os desgastes superficiais registrados nos blocos hidro mostraram velocidade de degradação bem inferior quando comparado aos dos blocos standard. As curvas de desgaste superficial dos blocos de gesso se assemelham ao padrão de falhas de probabilidade condicional associada a distribuição de Weibull, conforme classificação de Moubrey (1997), porém, com intensidade no tempo distintos.

A utilização de sensores de umidade e térmicos, associados a sistemas de aquisição de dados, possibilitam um monitoramento do avanço da umidade e do calor ao longo da espessura dos blocos e refletiram com sensibilidade este processo, possibilitando o estudo mais criterioso do avanço higrotérmico nos materiais.

A utilização de sensores de umidade a base de tensão, comercialmente desenvolvidos para registros de umidade em solo (sensor 9SS19), bem como os sensores de temperatura (sensor LM35), instalados no interior dos blocos, quando associados a sistemas de aquisição de dados, possibilitaram registrar o avanço da umidade e da temperatura, em profundidades distintas, quando da realização de ensaios acelerados de estanqueidade e de choque térmico, com sensibilidade e reprodutibilidade.

Também foi feita uma avaliação do desgaste superficial, proposto neste trabalho, realizado tanto nas amostras das alvenarias, submetidas aos ensaios acelerados, quanto às verificadas nas paredes de fachada do protótipo. Foi verificado um comportamento de degradação similar nas formas de desgaste, na tendência de fragilização das juntas e na permeabilidade diferencial entre os dois tipos de blocos. Porém, não foi possível estabelecer, com exatidão, uma correlação direta entre os ensaios acelerados de choque térmico realizados em amostras de alvenaria de blocos standard e de blocos hidro com o comportamento das paredes de fachada do protótipo, construído no “campus” do ITEP, sob exposição natural.

Os principais fatores que potencialmente possam ter interferido entre ensaios acelerados e na exposição natural foram investigados, tendo a influência da pintura (existentes nas paredes do protótipo e não nos experimentos), a ação do calor excessivo e ação corrente da água (preconizado no ensaio normalizado de choque térmico) como os principais influentes.

A ação protetiva da pintura interfere na prorrogação da ação degradante da água sobre os blocos e depende do tipo e do sistema de pintura e do tipo de bloco que compõe a parede. Os sistemas de pintura utilizando esmalte sintético ou tinta acrílica mostraram maior proteção que os sistemas a base de pintura látex. Estas constatações também foram observadas nas campanhas de inspeção realizadas nas edificações construídas no interior do estado de Pernambuco. Por outro lado, a ação da água aplicada logo após a alvenaria ficar exposta à temperatura de 80 °C, induz a um poder lixiviante muito intenso, quando comparado aos ensaios de estanquidade, com exposição prolongada, de água a temperatura natural.

Pode-se concluir que a avaliação combinada dos ensaios acelerados de choque térmico e de estanquidade à água aplicados aos elementos de alvenaria de blocos de gesso mostrou ser possível identificar a tendência e a forma do comportamento de degradação das alvenarias, quando comparadas a casa construída no ITEP, com exposição natural. Porém, considera-se que no ensaio de choque térmico a água corrente aplicada sobre a parede a 80 °C se constitui em uma ação bastante intensa. No caso das alvenarias de blocos de gesso esta ação não atua apenas para promover o esfriamento e provocar o choque térmico, mas atua principalmente para acelerar a lixiviação por solubilização do material. Sendo esta a principal razão da diferença de comportamento entre a ação acelerada e a exposição natural.

Quanto às inspeções realizadas nas alvenarias de blocos de gesso de edificações construídas em diferentes regiões bioclimáticas em Pernambuco, foi observado que a rigidez é uma propriedade inerente a este material e ao elemento de alvenaria em blocos de gesso, pois, não aceitam concentração de cargas concentradas principalmente sobre vedos e em encontros de elementos com carregamento diferenciado. As juntas de ligação entre blocos se constitui uma região de fragilidade, concentradoras de fissuras.

A permeabilidade a água, diferenciada entre os tipos de blocos, mostra a formação de manchas de umidade nas paredes de fachada construída com blocos standard, não sendo observado este sintoma nas paredes construídas com blocos hidro. As juntas de ligação entre blocos também se constituem como a região mais sensível à permeabilidade e degradação por lixiviação.

O sistema de pintura empregado diretamente sobre os blocos mostrou diferenças significativas. A pintura a base de PVA (látex) sofre perda de aderência sobre os blocos hidro, mas não se mantém estável sobre os blocos standard. As pinturas a base de cal desgasta em velocidade igual nos dois tipos de blocos, já a pintura a base de esmalte sintético ou de base acrílica são mais resistentes, fatos confirmados nas inspeções em campo e nos ensaios laboratoriais.

As manifestações patológicas identificadas nas edificações investigadas constituem-se como indicadores de fragilidades das construções em alvenaria de componentes de gesso, sendo necessário dar a devida atenção nas regiões de concentração de cargas e de proteção contra ação da água. Referências normativas e da literatura devem ser consideradas na construção de novas edificações e reabilitação das edificações existentes.

As casas dos conjuntos residenciais investigadas em Araripina e Trindade revelaram que, mesmo sem manutenção, houve baixos níveis de degradação ao longo dos anos, e mesmo após 16 anos, não houve indicativos de perda de massa dos blocos. Também foi observado que, após vencer a pintura, as juntas, as falhas construtivas e os blocos standard se tornam caminho crítico de avanço de umidade.

As fissuras por concentração de carga nas paredes decorrentes da estrutura de cobertura é mais pronunciada nas paredes que possuem vedos (janelas e portas). Os aspectos estéticos de degradação superficial das pinturas foram mais pronunciados quando aplicados sobre blocos hidro na primeira fiada, já a formação de manchas de umidade foram mais pronunciados nos trechos de paredes com blocos standard e condição de

maior exposição as águas de chuva, direção sudeste.

As casas construídas com bloquetes de gesso mostram comportamento de degradação similar ao dos blocos standard, porém, como os bloquetes têm espessura maior e se utiliza argamassa espessa à base de cimento para seu assentamento, sofre menos com a concentração de cargas de coberta e/ou a concentração de tensões em cantos de vedos, mostrando quase nenhuma fissura decorrente destas ações.

A utilização de técnicas construtivas esmeradas, como a utilização de blocos hidro (pelo menos na primeira fiada), sistema de pintura a base de esmalte sintético ou acrílica, proteção da fachada com beirais e a utilização de elementos que evitem a concentração de cargas sobre as alvenarias, minoram sobremaneira a formação de falhas e degradação.

A metodologia fatorial, de base estatística, utilizada para determinação da Vida Útil Estimada (VUE) das edificações construídas em componentes de gesso, associando os modelos de quantificação de falhas e do grau de severidade como modelo para determinação da Vida Útil de Referência (VUR), mostrou resultados bastante coerentes com o comportamento apresentado nas casas investigadas.

O modelo de determinação dos níveis de degradação por quantificação de falhas (ODL), aplicados às casas construídas na mesma zona bioclimática (Z7), mostrou aderência ($R^2 = 77\%$) similar ao modelo de quantificação por grau de severidade S1 ($R^2 = 72\%$). Quando utilizados para a determinação da VUR para casas construídas em alvenaria de componentes de gesso, independente do tipo, o indicador ODL é de mais fácil aplicação, porém mostra menor sensibilidade às intensidades das manifestações patológicas.

No caso específico deste estudo, onde existe uma grande massa de dados referente a uma determinada região, os resultados mostraram um comportamento coerente, destoantes de resultados de outras regiões, com quantidade de amostras bastante inferior. Essas regiões apresentam diferenças culturais e ambientais significativas, propondo-se determinar a VUR para a região alvo, fixando os pesos unitários para os fatores modificadores nas características desta região alvo e ajustando valores para os demais pesos, visando refletir as características específicas observadas nas demais regiões.

Dos fatores modificadores analisados, o fator referente à influência do ambiente externo foi o que mais ponderou na determinação da VUE, já que considerou os aspectos da influência deste nas amostras pertencentes às três zonas bioclimáticas bastante diferenciadas: (Z7~600 mm/ano; Z3~400 mm/ano; e Z8~2200 mm/ano).

Os resultados obtidos da VUE para as edificações investigadas mostraram resultados bastante aderentes às expectativas de vida útil das edificações, sendo identificadas as influências do padrão construtivo (qualidade dos blocos e do sistema de revestimento empregado), do comportamento cultural e das condições climáticas no comportamento das edificações.

7.2 PERSPECTIVAS PARA INVESTIGAÇÃO FUTURA

O ensaio acelerado mais próximo, o de choque térmico, mostrou aspectos questionados, principalmente quanto à temperatura máxima de equilíbrio, devendo levar em consideração a capacidade térmica tipo de material, coloração e a forma de resfriamento. As variantes aos ensaios acelerados da durabilidade para sistemas/componentes de base mineral não convencional, já que são excassos nas normas internacionais deve merecer estudos mais aprofundados.

Decorrente da limitação da não fabricação no Brasil de blocos hidrofugados, caracterizados na norma ISO 12859 (ISO, 2011) como h1 (absorção inferior a 2,5%), seria interessante investigar o comportamento deste tipo de bloco quanto a mobilidade hídrica e desgaste por lixiviação superficial.

A influência da umidade e de sua mobilidade interna nas resistências das alvenarias de blocos standard e de blocos aditivados deve ser avaliada. É necessário quantificar as potencialidades e as limitações das alvenarias de blocos de gesso em sua utilização como elemento estrutural para casas térreas ou de vedação

para fachadas em edificações de multipavimento.

A campanha de inspeção em edificações construídas em alvenaria de blocos de gesso deve ser aplicada a outros Estados e/ou Países, bem como os modelos de estimativa da vida útil utilizando indicadores de severidade de degradação, visando o ajustamento desses modelos para investigações futuras.

Estudos sobre correlação entre ensaios acelerados utilizando variantes nas metodologias dos ensaios de choque térmico e de estanqueidade associado a exposição natural controlada devem ser estudadas, visando o desenvolvimento de uma metodologia que quantifique adequadamente a durabilidade para alvenarias de blocos de gesso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDI (2006) [http://www.abdi.com.br/Estudo/caderno 03 - Nota Técnica Subsetor Cimento.pdf](http://www.abdi.com.br/Estudo/caderno%2003%20-%20Nota%20T%C3%A9cnica%20Subsetor%20Cimento.pdf) [Online]. - www.abdi.com.br. [acesso 20.11.2014]
- ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1988) - NBR 6123- Forças devidas ao vento em edificações– Procedimento. Rio de Janeiro, .
- ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1989). - NBR 10636-Paredes divisórias sem função estrutural - Determinação da resistência ao fogo - Método de ensaio. Rio de Janeiro, Brasil: ABNT.
- ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2001) - NBR 14432-Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimento. Rio de Janeiro, Brasil: ABNT.
- ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2005) - NBR 15220-Desempenho térmico de edificações:Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, Brasil: ABNT.
- ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2013) - NBR 15575-1 Edificações Habitacionais. *Parte 1- requisitos gerais*. Rio de Janeiro, Brasil: ABNT.
- ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2013) - NBR 15575-2 Requisitos para os sistemas estruturais. *NBR 15575-2 Requisitos para os sistemas estruturais*. Rio de Janeiro, Brasil: ABNT.
- ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2013) - NBR 15575-4-Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas — SVVIE. Rio de Janeiro, Brasil: ABNT.
- ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2017a) - NBR 16494 Bloco de gesso para vedação vertical — Requisitos. *nbr 16494-Bloco de gesso para vedação vertical — Requisitos*. Rio de Janeiro, BRasil: ABNT.
- ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2017d) - NBR 16575-Gesso-cola — União de elementos pré-fabricados de gesso — Requisitos. *ABNT NBR 16575-Gesso-cola — União de elementos pré-fabricados de gesso — Requisitos*. Rio de Janeiro, Brasil: ABNT.
- AIJ-ARCHITECTURAL INSTITUTE OF JAPAN. (1993). *Principal Guide for Service Life Planning of Buildings*. AIJ.
- ANGELI F.B., CARDOSO S.R. e SANTOS P.S (1982) - As gipsitas brasileiras e sua aplicação como gesso na indústria cerâmica-part 1. *Cerâmica*, vol 29 (157), pp 23-28 ISSN 0366-6913 - Rio de Janeiro : [s.n.], 1983.
- ASTM American Society For Testing And Materials. (1981) - ASTM E-632- Standard recommended practice for short-term accelerated tests for prediction of the service life of building components and materials. Pensilvânia, USA.
- ASTM, American Society For Testing And Materials (2007) - Standard test method for wood preservatives by laboratory soil-block cultures. *ASTM 1413*. Pensilvania, Pensilvania, USA: ASTM.
- BAJAY, S., WALTER, A., FERREIRA, A., CARVALHO, E., & AGRA, D. (1995) - *Relatório da Atividade I: Caracterização Técnica, Econômica e Energética dos Onze Setores Industriais Energo-Intensivos*. Campinas-SP: UNICAMP. 88 pg. ISBN 978-85-7957-011-7
- BAUER, E. (1987) - Resistência a Penetração da Chuva em Fachadas de Alvenaria de Materiais Cerâmicos- Uma Análise de Desempenho. Dissertação de Mestrado. São Paulo: USP.
- BLOCKEN, B., & CARMELIET, J. (2004) - Review of wind-driven rain research in building science. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* vol 92(13), pp 1079-1130 DOI10.1016 / j.jweia.2004.06.003
- BLOUNT, C. W. (1965). The solubility of anhydrite in the systems CaSO₄-H₂O and CaSO₄-NaCl-H₂O and its geologic significance. Ph.D. thesis, University of California, Los Angeles, 179 pp

- BOCK, E. (1961). On the solubility of anhydrous calcium sulphate and of gypsum in concentrated solutions of sodium chloride at 25 °C, 30 °C, 40 °C, and 50 °C. *Canadian Journal of Chemistry*, vol 26 (39), pp 1446-1451.
- BOLOGNA J. (1988)-The Book Before Gutemberg. - New York .Pentalic, ISBN-10: 0500235287
- BRANCO,F., PEDRO PAUL, P. GARRIDO,M Vida Útil en la Construcción Civil. Boletim Técnico nº4, Revista Alconpat Internacional, Mérida, 2013
- BRANDT, L. M. (1987). Prediction of service life of building materials and components. *Technical Committee, CIB W80/RILEM 71-PSL Final Report*. RILEM.
- BREEAM. (1921). <https://www.breeam.com/>. Acesso em 02 de FEVEREIRO de 2017, disponível em world's leading sustainability assessment method.
- BRUNDTLAND, E. "NOSSO FUTURO COMUM" (1991)– Definição e princípios. Comissão Mundial Sobre Meio Ambiente E Desenvolvimento. FGV. 430 pg
- BS 7543. (2003). Guide to durability of buildings and building elements, products and components. London, UK: BSI.
- BS British Standards. (15 de agosto de 1992). BS 8104-Code of Practice for Assessing Exposure of Walls to Wind-Driven Rain. *Code of Practice for Assessing Exposure of Walls to Wind-Driven Rain*. London: BSI Group.
- BS British Standards. (2008). EN 13279-1 Gypsum binders and gypsum plasters. Definitions and requirements. London, UK: BSI Privacy Notice.
- BS British Standards. (2014). EN 13279-2-Gypsum binders and gypsum plasters. Test methods. *BS EN 13279-2 British Standards*. London, UK: BSI Corporate.
- BS British Standards. (2011). EN 12859 Gypsum blocks – Definitions, requirements and test methods.. London, UK: BSI Corporate
- CAVANI, G. (1889). Certificado de homologação como instrumento para o controle da qualidade de produtos e sistemas construtivos inovadores . *Dissertação de Mestrado*. São Paulo, Brasil: USP.
- CEN. (2010). CEN TC 350 Sustainability of construction works- integrated assessment of building performance. *COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION TC 350-Sustainability of construction works- integrated assessment of building performance*. genova, Italia.
- CEN, -C. E. (2010). *Sustainability of construction works- integrated assessment of building performance*.
- CEN – TC 241-EN 13279-1 (2008)- Gypsum blocks- Definitions, requirements and test methods, Lisboa.
- CINCOTTO, M. A.; AGOPYAN, V.; FLORINDO, M. C. O gesso como material de construção: composição química. In: EDIFICAÇÕES IPT. Tecnologia de edificações. São Paulo: EDIFICAÇÕES IPT, 1988. p. 53-56.
- COST - European Cooperation in Science & Tecnology 25 (2011) - Proceedings of the International Conference Sustainability of Constructions Towards a Better Built Environment. Final Conference of the COST Action C25. Innbruck,
- DANIOTTI, B; SPAGNOLO,S.L; CHORIER, J.H.L. (2008). Service Life Estimation using Reference Service Life Databases and Enhanced Factor Method . Proceedings of 11 DBMC –International Conference on Durability Materials and Componentes, Istanbul , pp. 1312-1320.
- DANIOTTI, B. & CECCONI, F.R- (2011- State of the art report on accelerated laboratory test procedures and correlation between laboratory tests and service life data.cib W80- CIB-report: publication 331, Milão- Italia, ISBN: 978-90-6363-062-1
- DBMC- International Conference on Durability of Building Materials and Components. (1999). *Anais do 8º Conferência Internacional*. Vancouver-CA: RILEM.
- DNPM-Departamento Nacional da Produção Mineral. Sumário Mineral, Brasília, (2015). Disponível em:<<http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=68&IDPagina=64>>Acesso em: mai 2016

- DNPM. Departamento Nacional da Produção Mineral. Sumário Mineral, Brasília, (2010). Disponível em:<<http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=68&IDPagina=64>>Acesso em: mai 2014.
- EDNA, P. &. (2013). Desempenho, Durabilidade E Vida Útil das Edificações: Abordagem Geral. *Revista tecnico-científica CREA-PR*.Ed.25 ISSN-2358-5420
- EMÍDIO, F., BRITO, J., GASPAR, L., & SILVA, A. (2014). Application of the factor method to the estimation of the service life of natural stone cladding. *Construction and Building Materials*, Volume 66, 2014, pp. 481-493.
- ESTEVES, T.; FLORES-COLEN, I.; SILVA, C.M.(2018)- Inspection and Numerical Modeling of Cracking in Existing Nonbearing Walls. *American Society of Civil Engineers*.Vol 32 n.4, pp 1996-2021.
- FLORES-COLEN I. (2009) -Metodologia de avaliação do desempenho em serviço de fachadas rebocadas na óptica da manutenção predictiva // Tese de doutoramento. –UPORTO-Portugal : <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/91762>
- FLORES-COLEN, I., Brito, J. d., & Freitas, V. (2010). Ensaios in-situ e em laboratório para caracterização do desempenho em serviço de rebocos pré-doseados aplicados em fachadas de edifícios correntes. *3º Congresso Português de argamassas de construção*, (p. 11). Lisboa.
- FOLIENSTE, G. C., LEICESTER, R. H., WANG, C., & MACKENZIE, C. (2001). Durability design for wood construction. *Forest Products Journal*.Vol 52 n1- pp 10-19. Austrália
- FREITAS, A.S.S.L.A.(2011)- Avaliação do comportamento higrotérmico de revestimentos exteriores de fachadas devido à acção da chuva incidente. Dissertação de Mestrado, FEUP.Porto-PT, 170 p
- FREITAS, V. & GUIMARAES, A.S. (2014). Tratamento da humidade ascensional no património histórico. *Revista Alconpat internacional*, Vol 4, nº1, pp 1-13. Mérida-México. <https://doi.org/10.21041/ra.v4i1.57>
- GALBUSERA, M., BRITO, J. D., & SILVA, A.(2014). The importance of the quality of sampling in service life prediction.pp 19-29. *Construction and Building Materials*. Ed. Elsevier, vol 66, pp 19-29. Doi 10.1016/j.conbuidmat 2014.05.045.
- GARBOCZI, E. J. (1995). Microstructure and transport properties of concrete. Em J. K. 12 (Ed.), *Performance Criteria for Concrete Durability*. London: editors. London:E & F.N. Spon.
- GASPAR, P; de BRITO, J.(2005). Assessment of the overall degradation level of an element based on field data, 10 DBMC- *International Conference on Durability of Building Materials and Components*, pp. 1043–1050 Lyon , France.
- GASPAR, P; de BRITO, J.(2008). Service life estimation of cement-renders facades, *Building Research & information*, Vol 36 (1),pp, 44-55. DOI:10.1080 / 09613210701434164
- GASPAR, P; de BRITO, J.(2008)- Quantifying environment effects on cement-rendered facades: a comparison between different degradation indicators. *Building and Environment*, vol 4, n 11, pp 1818-1828,
- GASPAR, P; de BRITO, J.(2011). Limit states and service life of cement renders facades *Journal of Materials in Civil Engineering*.
- GIACERDI, L. A. (2008). Outdoor Wall Painting Semi-Natural Test.- *Proceeding of 11 DBMC-international Conference on Durability of Building Materials and Componentes* (pp. 788-795). Istanbul.
- GRACE. (10 de Junho de 2015). www.grace.com/construction/pt. Acesso em 10 de junho de 2015, disponível em graceconstruction.com.
- GRAY, J. & KERNOHAN, D. (1995). *How to plan and conduct evaluation*. Building Evaluation Techniques.320 pg. ISBN-10 : 0070033080
- GROSS, J. (1996). *Developments in the application of the performance concept in building*. : Proc. 3rd CIB-ASTM-ISO-RILEM Inter. Symp. R. Becker and M. Paciuk, eds. Vol. 1. National Building Research Institute, Haifa, Israel.

- GROVES, A.W (1958)-Gypsum and anhydrite.Her mejesty's stationery office.London, p 108.
- GOURDIN, W. H.; KINGERY, W. D. (1975)-The Beginnings of Pyrotechnology: Neolithic and Egyptian Lime Plaster. Journal of Field Archaeology. Boston, doi.org/10.1179/009346988791974501
- HAUKE, B. (2007). Environmental Product Declaration for structural steel as basis for sustainability assessment of constructions. *International Conference on Durability of Building and Components* (p. 111). Istambul: DBMC-Rilem.
- HINCAPIE, A., & CINCOTTO, M. A. (1997). Efeito do ácido cítrico no endurecimento das pastas de gesso propriedades de gesso aditivado. . *Gypsum fair,I Encontro Nacional do Gesso na Construção Civi* (pp. 94-100). Olinda..
- HENAO A.M.H e CINCOTTO M.A.(1997)- Seleção de substâncias retardadoras do tempo de pega do gesso de construção [Relatório]. - São Paulo : USP-BT/USP/184,
- HOVDE, P. &. (2004). *performance based methods for service life prediction*. Toronto-CA: CIB p 102. <http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB1305.pdf>
- HUNTZER, R.A-(1983)- The Chemistry and Tecnology of Gypsum- ASTM Special technical publication p.861, Atlanta, U.S.A,
- IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia Estatistica (2016)- Pesquisa-nacional-por-amostra-de-domicilios: Sintese de indicadores, Rio de Janeiro, 474pg . [ISBN 978-85-240-4365-9](https://doi.org/10.1887/9788524043659)
- IPCC. Climate Change (2014) -Mitigation of Climate Change Summary for Policymakers and Technical Summary. In: Working Group III Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponível em: . Acesso em: 20 mar. 2017. 2015.
- INMET. (2019). http://www.inmet.gov.br/sim/abre_graficos.php. Acesso em 08 de setembro de 2019, disponível em gráficos climatológicos do INMET: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=tempo/graficos>
- IPT. (2003). *Relatório Técnico 906.840-Ensaio de resistência ao fogo de paredes de blocos de gesso*. São Paulo: IPT-- Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo.
- IPT. (2004). *Relatório Técnico nº914.030- Ensaio de isolamento acústico em paredes de blocos de gesso*. São Paulo: IPT- Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São apulo.
- IPT-Instituto de Pesquisas Tecnológicas. (1998). Critérios mínimos de desempenho para habitações térreas de interesse social. *Critérios mínimos de desempenho para habitações térreas de interesse social*. São Paulo, Brasil: IPT.
- IQNET. (1990). *International certification network*. Acesso em fevereiro de 02 de 2017, disponível em <https://www.iqnet-certification.com/>
- ISO International Organization for Standardization.-. (2008).- ISO 2810- Paints and varnishes — Natural weathering of coatings — Exposure and assessment. *London-UK*
- ISO International Organization for Standardization. (1984). ISO 6241-Performance standards in building — Principles for their preparation and factors to be considered. Genova, Suíça:
- ISO International Organization for Standardization. (1984). ISO 6242- *Building construction -- Expression of users' requirements -- Part 1: Thermal requirements*, Genova, Suíça:
- ISO International Organization for Standardization. (2011). ISO 15686-1*Buildings and constructed assets - Service life planning.Part 1: General principles and framework...* INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARD. Genova, Suíça:
- ISO International Organization for Standardization. (2011). ISO 15686-2 *Buildings and constructed assets - Service life planning. .Part 2: Service life prediction procedures-* Genova, Suíça:
- ISO International Organization for Standardization. (2006). ISO 15686-7-*Buildings and constructed assets — Service life planning — Part 7: Performance evaluation for feedback of service life data from practice*. Genova, Suíça:

- ISO International Organization for Standardization. (2008). ISO 15686-5-Buildings and constructed assets —Service-life planning. *Parte 5-Life-cycle costing*. Geneva, Suíça
- ISO International Organization for Standardization. (2009). ISO 15927-3- Hygrothermal performance of buildings - Calculation and presentation of climatic data — Part 3: Calculation of a driving rain index for vertical surfaces from hourly wind and rain data. *Hygrothermal performance of buildings* . Genova, Itália:
- ISO International Organization for Standardization. (2014). ISO 16283-1- Acoustics — Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements — Part 1: Airborne sound insulation. Geneva, Suíça:
- ISO International Organization for Standardization.(2004) – ISO 2810-. Paints and varnishes-natural weathering of coatings-exposure and assessment. . Genova, Suíça.
- ITEP. (2007c). *Relatório Técnico nº 021579- Ensaio para determinação da capacidade resistente de paredes e paredinhas em alvenaria de blocos de gesso*. Recife: ITEP-Instituto de Tecnologia de Pernambuco.
- ITEP Instituto de Tecnologia de Pernambuco. (2007b). *Relatório Técnico nº 021579 // Ensaio para determinação da capacidade resistente de paredes e paredinhas em alvenaria de blocos de gesso*. - Recife : [s.n.], 2007. - p. 32ps. Recife: ITEP.
- ITEP-Instituto de Tecnologia de Pernambuco. (2007a). *Relatório Técnico nº021977* . Recife: ITEP.
- JERNBERG, P., C. SJOSTROM, C., LACASSE, M., BRANDT, E., & SIEMES, T. (2004). *Guide and Bibliography to service life and durability research for buildings and components*. p 160. Rotterdam: RILEM & CIB.
- JOHN, V. & SATO, N.M.N (2006). Durabilidade de componentes da construção . *Coletânea habitare*, Vol. 07.pp 20-57. ISBN 85-89478-14-9
- KARNI, I. J. (1985). Gypsum in construction-origin and properties. Em SPRINGER, *Materials and structures* (pp. 92-100). SPRINGERLINK.
- KLIMCHOUCK, A. (1996). The Dissolution And Conversion Of Gypsum And Anhydrite. Em A. KLIMCHOUCK, *Cap.1.Dissolution And Conversion Of Gypsum And Anhydrit* (pp. 431-442). Ukrainian: Ukrainian Speleol.
- KURUGOL, S. &. (2008). Biofilm Effect and Microbiological Deterioration on the Material Surface. Proceeding of 8 DBMC-international Conference on Durability of Building Materials and Components. Istanbul.
- LABEEE-Laboratório de Eficiência Energética-UFSC, Acesso em fevereiro de 2020,site disponível em HYPERLINK "<http://www.labeee/download/arquivosclimaticos/formato-epw>"
www.labeee/download/arquivosclimaticos/formato-epw
- LNEC (1982) -Performance concept in building, advances in the development of the concept and its applications in rehabilitation // Performance concept inbuilding. – Lisboa-Portugal
- LEED-U.S.GREEN BUILDING COUNCIL. (1998). *LEED professional credentials*. Acesso em 02 de FEVEREIRO de 2017, disponível em <https://new.usgbc.org/leed>: <https://new.usgbc.org/>
- MANIKHIN, V. (1966). On the question of solubility of calcium sulphate under high pressures. *Geokhimicheskie Materialy*, Vol 13 (1), pp. 193-196.
- MARANHÃO, F.L.(2009) – Método para redução de manchas em vedações externas de edifícios. Tese de doutorado USP-Brasil, 2009, 107pg
- MATOS, M.J.S (2007)-Durabilidade como critério de projecto -O Método Factorial no contexto português. Dissertação de Mestrado, FEUP-PT, Porto-Portugal, pp 116.
- MASTERS, L. W. (1989). Systematic methodology for service life prediction of building materials and components. *Materials and Structures*. DOI: 10.1007 / BF02472509
- McVAY, T. (1968). A study of hard finish gypsum plasters. Em E. V. LYON, *The Literature of Cement, Lime, Plaster, and Gypsum* (pp. 122-141). Washington DC: ACS publication.

- MITIDIÈRE, C. (1988). Avaliação de desempenho de sistemas construtivos inovadores destinados a habitações térreas unifamiliares. *Dissertação ed Mestrado*. São Paulo, Brasil: USP.
- MONICH, C.R.; TAVARES, S.F (2010)-Energia e CO₂ embutidos na fabricação dos materiais de construção: panorama atual no Brasil e exterior. Anais XIII Encontro nacional do Ambiente Construído, Canela, RS., pp 927-936
- MOSER, Konrad, (2002) Engineering design methods for service life prediction. CIB W80 / Rilem 175 - SLM (Service Life Methodologies) TG 'Performance Based Methods of Service Life Prediction' Report, Zurich, 30 pg.
- MOUBRAY, J. (1997). *Life cycle costs for building and civil engineering work—principles and classification*. Ed Industrial Press.
- NAJIM, T., ABDUHUSSEIN, A., & YASIN, S. (2011). Physical and mechanical properties of polymer-gypsum composite. *ReserarchGate*, 12 pg
- NETWORK, I. -I. (2017). <https://www.iqnet-certification.com/>. Acesso em 02 de fevereiro de 2017, disponível em IQNET - International certification network.
- NOHIER, Marc (1986) Construire en plâtre [Livro]. –ed.L' Harmattan, 310 pg. ISBN : 2-85802-784-6
- OPER (2019)- Sistema de análise de dados. www.operdata.com.br
- PACIUK, I., M. SHOHET AND MONICA (2006) Service life prediction of exterior cladding components. Ed Taylor&Francis Journal, Vol 22, n 10, pp 1081-1090. <https://doi.org/10.1080/0144619042000213274>
- PAULO, P. (2009). A Building Management System (BuildingsLife): Application of deterministic and stochastic models with genetic algorithms to building façades. *Tese de Doutorado*, LIsboa, Portugal: Instituto Superior Técnico. 121 pg.
- PBE-EDIFICA. (2003). Acesso em 02 de FEVEREIRO de 2017, disponível em <http://www.pbeedifica.com.br/>: <http://www.pbeedifica.com.br/>
- PINHEIRO, C. (2013). Modelos de gestão da degradação de fachadas em pedra de edifícios antigos. *Dissertação de Mestrado-Instituto Técnico Superior de Lisboa-Portugal*, 159 pg.
- PLÂTRE SINDICAT NATIONAL DES INDUSTRIES DU LE PLÂTRE(1982)- Physico-chimie fabrication-Empois [Livro]. - Paris : EYROLLES.
- ROCHA S.A.L(2007). O gesso na industria da construção civi-considerações econômicas sobre a utilização dos blocos de gesso // Dissertação de mestrado-UFPE. – Recife, Brasil,104 pg. <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/5143>
- RORIZ, M.(2012)- Correções nas irradiancias e iluminâncias nos arquivos EPW na base ANTAC. www.labee.ufsc.br/download/arquivosclimaticos/formato-epw.
- ROY, B. (1996). *Multicriteria Methodology for Decision Aiding* (SPRINGER ed.). (R. BERNARD, Ed.) ISBN 978-1-4757-2500-1
- SAID, M.N.A(2007).-Measurement methods of moisture in building envelopes – a literature review, *International Journal of Architectural Heritage*, v. 1, no. 3, Ontario, Canada, pp. 293-310,
- SANTOS, A.N. (2016). Comportamento higrotérmico de paredes em gesso – avaliação da adequabilidade a zonas climáticas do Brasil . *tese doutorado FEUP*. Porto, Portugal: 210 pg. <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/99355>
- SANTOS M.R.P. (2010) Metodologias de previsão da vida útil de materiais, sistemas ou componentes da construção // Dissertação de mestrado. – FEUP -Porto-Portugal , 149 pg.
- SANTOS, T.; FARIA, P.; SILVA, V.(2019)- Can an earth plaster be efficient when applied on different masonries?. *Journal of Building Engineering*, vol23,pp 314-323.
- SANTOS, V., & PARENTE, A. (1997). Efeito do teor de hemidrato nas propriedades de gesso aditivado. Anais I Encontro Nacional do Gesso na Construção Civil, Pp: 61-65.Olinda-Brasil. *Gypsum Fair 97-Anais I Encontro Nacional do Gesso na Construção Civil* (pp. 61-65). Olinda-Brazil

- SAYIL, B. & ÇOLAK.A.(1999). Durability of polimer modified and impregnated gypsum . *Proceeding of 8 DBMC- International ility of buiding materials and componentsconference on durability*. Vancouver. Public Works and Government Services Canada.
- SHIRAKAWA, M. A. ; AIHARA, E. Y. ; DIAS, C. M. R. ; GAYLARDE, C. C. ; JOHN, V. M (1999)- Fungal coonization on fiber cement exposed to the elements in a tropical climate. *Proceedings of 11 DBMC –International Conference on Durability Materials and Componentes* Istanbul
- SHOHET, I.(2004). Service life prediction of exterior cladding components under standard conditions. *Construction Management and Economics*, v 24, n 2, pp. 1081-1090.
- SHOHET, I. E., & PACIUUK, M. (2006). Service life prediction of exterior cladding components.*Construction Management and Economics. Taylor&Francis Journa*, pp. 113-142.
- SHOHET, I., & PACIUUK, M. (2004). Service life prediction of exterior cladding components under standard conditions. *Construction Management and Economics*, Vol. 22, issue 10, pp. 1081-1090.
- SHOHET, I., Y. ROSENFELD, Y., PUTERMAN, M., & and GILBOA, E. (1999). Deterioration patterns for maintenance management –a methodological approach. *Proceedings of 8 DBMC – International Conference on Durability Materials and Componentes*. Vancouver pp.1666-1678.
- SJOSTROM, C. &. (2004). *Recent advances in methods for service life prediction of building materials and components – an overview*. Toronto: CIB, pp 1-10.
- SILVA, A.; de BRITO; GASPAS(2011) Service life prediction model applied to natural stone wall cladding(directy adhered to the substrate). *Construction and Building Materials*.Vol 25, N 9, pp.3674-3684.
- SJÖSTRÖM, C., & BRANDT, E. (1991). Collection of In-service Performance data: State-of-the-Art Approach. *Materials and Structures*, Vol. 24, No. 139, pp 70-76.
- SOBRINHO, C. W. A. P.(1986). Análise dos fatores que interferem na consistência, tempo de pega e resistência do gesso. *Revista Pernambucana de Tecnologia*, pp.39-58.
- SOBRINHO, C. W. A. P.(1987). Potencialidades do gesso na construção civil . *Simpósio Internacional de tecnologia para habitação* (pp. 121-131). São Paulo: IPT.
- SOBRINHO C.W.A.P [2018] Utilização de divisórias internas de edifícios em alvenaria de blocos de gesso-foco na sustentabilidade. *Construção2018, FEUP, Porto-PT* (http://www.itep.br/images/img_noticias/pdf/artigo-principal-carlos.pdf)
- SOBRINHO, C.W.A.P, RAMOS, N.M.M(2018)- Estanqueidade de paredes em blocos de gesso. *Construção2018, FEUP, Porto-PT* (http://www.itep.br/images/img_noticias/pdf/artigo-carlos.pdf)
- SOUZA, R. (1983). contribuição do conceito de desempenho para a avaliação do edifício e suas partes; aplicação as janelas de uso habitacional. *Dissertação de mestrado USP*. São Paulo, Brasil: USP.
- SUPERGESSO -Manual Sistema construtivo superwall. Supergesso ind. Com(2004). Acesso junho 2017, disponível em www.supergesso.com.br.
- TARIQ NAJIM. (2011). Physical and mechanical properties of polymer-gypsum composite. *RESEARCHGATE*, 12. DOI: [10.1016 / j.matlet.2005.12.062](https://doi.org/10.1016/j.matlet.2005.12.062)
- THOMAZ, E(1989) Trincas em edifícios- causas, prevenção e recuperação. Ed. PINI 1989, São Paulo. eISBN:978-65-86235-14-2
- TIDBLAD,J, KUNCERA, A., HENRIKSEN, J., YATES.T, & STOCKLE, B. (2000). UN ECE ICP Materials: Dose-Response Functions on Dry and Wet Acid Deposition Effects After 8 Years of Exposure. *ACID RAIN*, 1457-1462. <https://doi.org/10.1023/A:1013965030909>
- TORRES, M.I., GUIMARÃES, A.S. e FREITAS,V.P (2008).- Humidade ascensional, editora FEUP, . ISBN: [9789727521012](https://doi.org/10.1016/j.matlet.2005.12.062)

- TORRES, M.I (2008)- Humidade ascensional em paredes de construções históricas. Tese de doutorado, Universidade de Coimbra- Portugal. <http://hdl.handle.net/10316/1708>
- TREVO, G. (2016). <http://www.trevogesso.com.br/>. Acesso em 2016, disponível em <http://www.trevogesso.com.br/>
- UNIFAC (2019). http://www.unifac.edu.br/imagensmateriais_de_apoiadmestatisticaapostila_estatistica_2_cap_1_2_3.pdf. Acesso em 2019. Acesso em 2019.
- WIKIMEDIA(2019).http://pt.wikipedia.org/wiki/processo_estocastico.
- ZANONI, V.A.G (dezembro 2015)- Influência dos agentes climáticos de degradação no comportamento higrotérmico de fachadas em Brasília. Tese de doutorado, UNB, Brasília-Brasil, . <http://dx.doi.org/10.26512/2015.12.T.19579>