



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

FERNANDA CAVALCANTI FERREIRA

**ESTUDO DE CARACTERIZAÇÃO DO GESSO PARA
REVESTIMENTO PRODUZIDO NO POLO GESSEIRO DO
ARARIPE**

Recife
2017

FERNANDA CAVALCANTI FERREIRA

**ESTUDO DE CARACTERIZAÇÃO DO GESSO PARA
REVESTIMENTO PRODUZIDO NO POLO GESSEIRO DO
ARARIPE**

Dissertação apresentada à Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade de Federal de Pernambuco, como exigência parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Estruturas com ênfase em construção civil

Orientador: Prof. Dr. Arnaldo Manoel Pereira Carneiro

Recife
2017

Catálogo na fonte
Bibliotecária: Rosineide Mesquita Gonçalves Luz / CRB4-1361 (BCTG)

F383e Ferreira, Fernanda Cavalcanti.

Estudo de caracterização do gesso para revestimento produzido no Polo Gesso do Araripe / Fernanda Cavalcanti Ferreira. – Recife, 2017.
204f.: il., fig. tab.

Orientador: Prof. Dr. Arnaldo Manoel Pereira Carneiro

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, 2017.
Inclui Referências e Apêndices.

1. Engenharia Civil. 2. Gesso. 3. Gesso para revestimento. 4.
Revestimento de gesso. I. Carneiro, Arnaldo Manoel Pereira (Orientador).
II. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ESTUDO DE CARACTERIZAÇÃO DO GESSO PARA
REVESTIMENTO PRODUZIDO NO POLO GESSEIRO DO ARARIPE**

FERNANDA CAVALCANTI FERREIRA

Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco e aprovada em 04 de agosto de 2017.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Arnaldo Manoel Pereira Carneiro – UFPE
(orientador)

Prof. Dr. José Getúlio Gomes de Sousa – UNIVASF
(examinador externo)

Prof. Dr. Valcedir Ângelo Quarcioni – IPT-SP
(examinador externo)

À minha amada mãe.

AGRADECIMENTOS

Nessa etapa que está se cumprindo, agradeço, primeiramente, a Deus, por me conceder boas oportunidades, por me guiar e dar força, sabedoria e mãos amigas para me ajudar nesse caminho.

À minha vó Lia (*in memoriam*), que sinto muitas saudades e que sei que está lá de cima me guiando.

À minha mãe, Ivanise, por ser exemplo de força, vontade, caráter, honestidade e resiliência. Melhor inspiração possível para mim! Obrigada por esse amor único, incentivo e todo suporte.

Ao meu noivo, Mário Filho, pelo companheirismo, por sempre estar ao meu lado em todos os momentos e pelas muitas vezes que encontrou formas de me ajudar. Obrigado por tanta dedicação e paciência. Seu apoio foi imprescindível para eu realizar este trabalho.

Ao meu irmão, Caio, que sempre esteve disposto a me auxiliar e me incentivar nesta jornada. Obrigado por tanta torcida e boas energias.

Ao meu orientador, professor Dr. Arnaldo Carneiro, pela confiança em meu trabalho, por todas orientações e oportunidades recebidas durante todo o mestrado, pelas sensatas observações e conhecimentos passados nesse projeto.

Ao professor Dr. José Getúlio por me inserir e incentivar na pesquisa desde a minha graduação, pelo apoio incansável, dúvidas sanadas, estímulo e especial atenção, sou muito grata.

A Silvio e Ricardo, técnicos do Laboratórios de Ensaios de Materiais e Técnicas Construtivas (LABMATEC), pelo auxílio na realização dos ensaios. Obrigada por toda presteza.

Ao meu primo Augusto, pelo auxílio no desenvolvimento de ensaios e pelas dúvidas tiradas, o meu muito obrigada.

À professora Dra. Andréa Ferraz pelo auxílio nas dúvidas e por estar sempre aberta a me ajudar.

Aos meus sogros pelo apoio e pela torcida.

Ao professor Dr. Nélon Cárdenas por ser tão solícito para me ajudar na execução dos ensaios mecânicos.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFPE, por todos os conhecimentos compartilhados e pela contribuição à minha formação.

À UNIVASF, pelos laboratórios cedidos para realização dos ensaios.

Aos laboratórios NEGLABISE e LTM, em nome dos professores Valderez Ferreira e Pedro Guzzo, pela disponibilidade em realizar os ensaios de fluorescência de raio X, difração de raio X e termogravimetria.

Aos colegas que fiz durante o mestrado, pela amizade e discussões engrandecedoras: Hellykan, Thiago, Diego, Priscila, Georgenes, Moaby, Mário e Gabriel.

À CAPES, pelo subsídio financeiro.

Às minhas amigas dos tempos da UNIVASF, Jailly, Helzalyce e Sandrine, pela apoio, incentivo e conselhos dados.

Aos meus amigos e familiares pela torcida, que de alguma forma, por estarem presentes em minha vida, tornaram este momento possível.

A todos que contribuíram, direta ou indiretamente, na realização deste trabalho.

*Se você esperar pelas condições perfeitas,
você nunca conseguirá fazer nada!*

Eclesiastes 11:4

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo fazer um estudo de caracterização e avaliação de conformidade com as normas brasileiras de gessos para revestimento, comercializados no Polo Gesseiro do Araripe, coletados aleatoriamente de empresas pequenas às com grande controle de produção, de modo a se conhecer melhor o material fornecido nesta região. Neste contexto, o programa experimental do estudo se dividiu em duas etapas: estudo de caracterização do gesso para revestimento e avaliação da capacidade aderente dos revestimentos executados em pasta de gesso. Foram coletadas 10 amostras de gesso em pó para revestimento de diferentes produtores na região. Na primeira etapa, o estudo de caracterização se procedeu com avaliações no estado anidro, através de ensaios de granulometria, massa unitária, massa específica, teores de água livre e de cristalização, difração de raio X, fluorescência de raio X e termogravimetria; no estado fresco, por meio de ensaios de consistência normal, tempo de pega e calorimetria; e no estado endurecido, por ensaios de dureza e resistência à compressão. Na segunda etapa, foram realizados ensaios de resistência de aderência à tração em revestimentos de pasta de gesso executados em base cerâmica, produzidos com e sem pré-umedecimento da base. Com os resultados, verifica-se que os gessos não atendem a todos os requisitos normativos, havendo sempre uma especificação não conforme, entre elas, os tempos de pega, que se mostram curtos e variáveis. Entretanto, os gessos são de grande pureza e apresentam desempenhos satisfatórios e semelhantes, independente do fabricante, quanto às propriedades mecânicas e de aderência.

Palavras-chave: Gesso. Gesso para revestimento. Revestimento de gesso.

ABSTRACT

The present work has as objective to make a study of characterization and evaluation of compliance with Brazilian standards of conformity of gypsum plaster, commercialized in the Gypsum's Pole in Araripe, randomly collected from companies of different sizes, in order to better understand the material supplied in this region. In this context, the experimental program of the study was divided in two stages: a study of the characterization of the gypsum plaster and evaluation of the bond strength of the coatings executed in gypsum paste. Ten samples of gypsum plaster in powder were collected in different producers in the region. In the first stage, the characterization study was carried out with an anhydrous state evaluation, using granulometry, unit mass, specific mass, free and crystallization water contents, X-ray diffraction, X-ray fluorescence and thermogravimetry; in the fresh state, through tests of standard consistency, setting time and calorimetry; And in the hardened state, by avaluations of hardness and compressive strength. In the second step, bond strength tests were performed on gypsum plaster pastes produced on ceramic-base with and without pre-wetting of the base. With the results, it is verified that the gypsum plasters don't accord with all the normative requirements, always having a nonconforming specification, among them, the setting time, that are short and variable. However, the plasters are of high purity and exhibit satisfactory and similar performances, independent of the manufacturer, for mechanical and bond properties.

Keywords: Gypsum. Gypsum plaster. Gypsum plaster paste.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura	Página
Figura 2.1 – Mapa dos Municípios da Região do Araripe em Pernambuco.....	27
Figura 2.2 – Variedades de gipsita do tipo Jonhson encontrada na região do Araripe Pernambuco.....	33
Figura 2.3 – Variedades de gipsita do tipo cocadinha encontrada na região do Araripe Pernambuco.....	33
Figura 2.4 – Variedades de gipsita do tipo rapadura encontrada na região do Araripe Pernambuco.....	33
Figura 2.5 – Variedades de gipsita do tipo estrelinha encontrada na região do Araripe Pernambuco.....	34
Figura 2.6 – Variedades de gipsita do tipo selenita encontrada na região do Araripe Pernambuco.....	34
Figura 2.7 – Variedades de gipsita do tipo alabastro encontrada na região do Araripe Pernambuco.....	34
Figura 2.8 – Variedades de gipsita do tipo boro encontrada na região do Araripe Pernambuco.....	34
Figura 2.9 – Amostra de anidrita encontradas na região do Araripe Pernambuco.....	35
Figura 2.10 – Principais jazidas e minas do Polo Gesseiro do Araripe.....	36
Figura 2.11 – Lavra de gipsita na região do Araripe Pernambucano.....	39
Figura 2.12 – Fluxograma dos produtos da desidratação da gipsita.....	41
Figura 2.13 – Partículas a) hemi-hidrato α e b) hemi-hidrato β	43
Figura 2.14 – Alguns fornos intermitentes utilizados na produção do gesso beta: a) marmita vertical; b) marmita horizontal.....	43
Figura 2.15 – Fornos rotativos para calcinação do gesso beta: a) contínuo; b) batelada.....	43
Figura 2.16 – Fenômenos envolvidos no processo de hidratação do gesso.....	47
Figura 2.17 – Micrografia obtida em microscópio eletrônico de varredura da fratura do gesso β di-hidratado (relação a/g= 0,6).....	47
Figura 2.18 – Etapas da reação de hidratação através da calorimetria adiabática e tempo útil estimado.....	48
Figura 2.19 – Fenômeno da retração/expansão do gesso durante a hidratação.....	50
Figura 2.20 – Influência da temperatura da água no tempo de pega da pasta de gesso.....	53
Figura 2.21 – Esquema dos dois sistemas de revestimento em pasta de gesso: a) sem camada de ancoragem; b) com camada de ancoragem.....	63
Figura 2.22 – Solicitações impostas às superfícies das edificações revestidas com pasta de gesso.....	64
Figura 2.23 – O desenvolvimento da resistência dos gessos α e β	74

Figura 2.24 – Origem dos problemas patológicos em edificações.....	80
Figura 2.25 – Principais sistemas de proteção a utilizar nos revestimentos de gesso.	85
Figura 2.26 – Perfil de proteção em PVC.....	86
Figura 2.27 – Processo de execução do revestimento de gesso em base preparada com chapisco.	90
Figura 2.28 – Esquema de acoplamento do dinamômetro à tração no revestimento.	94
Figura 2.29 – Resistência de aderência dos revestimentos de gesso sobre substrato cerâmico em função da relação a/g.	96
Figura 2.30 – Variação dos valores de resistência de aderência à tração em função da parede revestida.	98
Figura 3.1 – Massa retida em cada uma das peneiras e no fundo no ensaio de granulometria do gesso A na ordem de maior malha para de menor, incluindo o fundo.	105
Figura 3.2 – Sequência de ensaio para determinação da massa unitária do gesso: a) aparelhagem necessária (peneira, funil, recipiente de volume conhecido); b) passagem do gesso em pó pela peneira; c) enchimento do recipiente de volume conhecido com gesso; d) rasamento da superfície do recipiente; e) pesagem do gesso para cálculo da massa.....	106
Figura 3.3 – Sequência de ensaio para determinação da massa específica do gesso: a) banho maria de frasco de Le Chatelier preenchido com querosene entre as marcas 0 e 1 cm ³ ; b) massa de gesso conhecida; c) colocar quantidade “b” no frasco auxílio de um funil; d) leitura do volume final.....	107
Figura 3.4 – Aparelho de Vicat modificado utilizado para o ensaio de determinação da consistência normal.	109
Figura 3.5 – Aparelho de Vicat modificado utilizado para o ensaio de determinação do tempo de pega.	110
Figura 3.6 – Aparelhagem para ensaio de calorimetria.	111
Figura 3.7 – Ilustração esquemática do calorímetro pseudoadiabático.	111
Figura 3.8 – Aparelhagem e sequência de moldagem dos corpos de prova para ensaio de resistência à compressão e dureza: a) molde; b) produção da pasta; c) rasamento da superfície (sem alisar).	112
Figura 3.9 – Ensaio de dureza das pastas de gesso.....	112
Figura 3.10 – Ensaio de resistência à compressão.....	114
Figura 3.11 – Fluxograma do estudo em revestimentos de gesso.	116
Figura 3.12 – Alvenarias executadas sobre o piso.....	116
Figura 3.13 – Polvilhamento do gesso na água.	117
Figura 3.14 – Ferramentas e sequência de execução do revestimento: a) régua de alumínio, desempenadeira e espátula; b) base e moldura para garantir espessura uniforme do revestimento; c) retirada de excesso de revestimento com régua de alumínio; d) desempenamento da superfície; e) revestimento acabado.....	118
Figura 3.15 – Secagem dos revestimentos durante 28 dias.	118

Figura 3.16 – Dinamômetro utilizado.....	119
Figura 3.17 – Cortes circulares a seco na alvenaria para colagem das pastilhas.....	119
Figura 3.18 – Pastilhas coladas nos corpos de prova.	120
Figura 3.19 – Dinamômetro acoplado na pastilha para aplicação de uma força de tração. ...	120
Figura 3.20 – Formas de ruptura no ensaio de resistência de aderência à tração para um sistema de revestimento sem chapisco.	121
Figura 3.21 – Determinação das massas dos testemunhos para determinação da umidade. ...	122
Figura 4.1 – Curvas granulométrica dos gessos.	123
Figura 4.2 – Módulo de finura dos gessos.....	124
Figura 4.3 – Massa unitária dos gessos.	127
Figura 4.4 – Massa específica dos gessos.	128
Figura 4.5 – Teor de água de cristalização dos gessos.	130
Figura 4.6 – Difratoograma de raio X do gesso C.....	131
Figura 4.7 – Difratoograma de raio X do gesso E.	131
Figura 4.8 – Difratoograma de raio X do gesso H.....	131
Figura 4.9 – Curvas de TGA e DTA do gesso C.....	133
Figura 4.10 – Curvas de TGA e DTA do gesso E.	133
Figura 4.11 – Curvas de TGA e DTA do gesso H.....	133
Figura 4.12 – Consistência normal dos gessos em ordem crescente de valor.	138
Figura 4.13 – Início de pega das pastas relação água/gesso da consistência normal e 0,8. ...	140
Figura 4.14 – Fim de pega das pastas relação água/gesso da consistência normal e 0,8.	141
Figura 4.15 – Leitura no aparelho de Vicat x tempo das pastas de gesso.	144
Figura 4.16 – Curvas de hidratação de pastas de gessos produzidas com relação a/g para consistência normal.	145
Figura 4.17 – Curvas de hidratação de pastas de gessos produzidas com relação a/g de 0,8.	145
Figura 4.18 – Corpos de prova após ensaio de dureza (NBR 12129 (2017)) produzidos com relação água/gesso dada pela consistência normal.	148
Figura 4.19 – Dureza dos gessos para relação água/gesso de 0,8.	149
Figura 4.20 – Resistência à compressão dos gessos para relação água/gesso dada pela consistência normal e de 0,8.....	150

LISTA DE QUADROS

Quadro	Página
Quadro 2.1 – Propriedades e benefícios do gesso.	27
Quadro 2.2 – Características do Polo Produtor de gesso de Pernambuco.	37
Quadro 2.3 – Tipos de revestimentos correntes com base em gesso.	60
Quadro 2.4 – Classificação das exigências funcionais para revestimentos dosados de gesso para paredes e tetos internos.	66
Quadro 2.5 – Classificação dos materiais frente ao fogo.	72
Quadro 2.6 – Procedimento de obra de preparo das pastas de gesso observado em obra – etapa I.	87
Quadro 2.7 – Procedimento de obra de preparo das pastas de gesso observado em obra – etapa II.	89
Quadro 2.8 – Observações a respeito de colas utilizadas no ensaio de resistência de aderência à tração.	98
Quadro 3.1 – Caracterização do gesso no estado anidro (pó).	102
Quadro 3.2 – Caracterização do gesso no estado fresco (pasta).	103
Quadro 3.3 – Caracterização do gesso no estado endurecido.	103
Quadro 3.4 – Codificação e origem das amostras de gesso.	104
Quadro 4.1 – Hipótese simplificada para determinação dos compostos constituintes do gesso por meio do teor de água de cristalização.	130
Quadro 5.1 – Principais conclusões e observações do estudo de caracterização dos gessos para revestimento.	160

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
Tabela 1.1 – Consumo per capita de gesso em alguns países no ano de 2005.	22
Tabela 2.1 – Produção nacional de gipsita entre 1972 e 1981.	29
Tabela 2.2 – Produção de gipsita por município em 1981.	30
Tabela 2.3 – Produção Brasileira de Gipsita por Estados (1996 a 2009).	31
Tabela 2.4 – Reserva e produção mundial.	32
Tabela 2.5 – Produção e consumo de alguns minerais não-metálicos e produtos derivados no Brasil.	38
Tabela 2.6 – Requisitos físicos do gesso para construção civil (tempo de pega).	56
Tabela 2.7 – Exigências químicas do gesso sem aditivos para a construção civil.	56
Tabela 2.8 – Requisitos físicos do gesso para construção civil (granulometria via seca).	56
Tabela 2.9 – Requisitos físicos e mecânicos do gesso para construção civil.	57
Tabela 2.10 - Impedância de diversos materiais utilizados na construção civil.	71
Tabela 2.11 – Desvios máximos de prumo, nível e planeza para os substratos que vão receber revestimento de gesso.	84
Tabela 4.1 – Massa unitária e específica dos gessos.	126
Tabela 4.2 – Água livre e de cristalização dos gessos.	129
Tabela 4.3 – Comparação dos valores de água livre e de cristalização dados pelo método de NBR 12130 (1991) e por termogravimetria.	134
Tabela 4.4 – Resultados de análises químicas semi-quantitativas (FRX) dos gessos coletados (% em massa).	136
Tabela 4.5 – Teores de CaO e de SO ₃ (%) dos gessos estudados.	136
Tabela 4.6 – Consistência normal dos gessos.	137
Tabela 4.7 – Tempos de início e fim de pega para gesso de consistência normal.	139
Tabela 4.8 – Tempos de início e fim de pega para gesso de relação água/gesso de 0,8.	140
Tabela 4.9 – Estimativa de tempo útil das pastas.	143
Tabela 4.10 – Tempos de pega das pastas: calorimetria x aparelho de Vicat.	147
Tabela 4.11 – Resistência de aderência à tração dos revestimentos executados com e sem pré-umedecimento da base.	154

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIACÕES

a/g	Relação água/gesso em massa
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
água/gesso	Relação água/gesso em massa
ANOVA	Análise de variância
APL	Arranjo Produtivo Local
ASSOGESSO	Associação Nacional dos Fabricantes e Comerciantes de Gesso
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i> (EUA)
BS EN	<i>British Standard European Norm</i>
CaO	Óxido de cálcio ou cal livre
CaSO ₄	Anidrita II ou anidrita insolúvel
CaSO ₄ .0,5H ₂ O	Sulfato de cálcio hemi-hidratado
CaSO ₄ .2H ₂ O	Sulfato de cálcio di-hidratado (gipsita)
CaSO ₄ .εH ₂ O	Anidrita III ou anidrita solúvel
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CT	Centro Tecnológico
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
DRX	Difração de raio X
DTA	<i>Differential Thermal Analysis</i> (Análise térmica diferencial)
FRX	Fluorescência de raio X
H ₂ O	Água
ITEP	Instituto de Tecnologia de Pernambuco
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil (Portugal)
NBR	Norma Brasileira
pH	Potencial hidrogeniônico
PROAPL	Programa de Produção e Difusão de Inovações para a Competitividade de Arranjos Produtivos Local
SINDUSGESSO	Sindicato das Indústrias de Extração e Beneficiamento de Gipsita, Calcários, Derivados de Gesso e de Minerais Não-Metálicos do Estado de Pernambuco
SO ₃	Anidrido sulfúrico
TGA	<i>Thermogravimetric Analysis</i> (Análise termogravimétrica)

SUMÁRIO

Capítulo		Página
1	INTRODUÇÃO	20
1.1	JUSTIFICATIVA.....	22
1.2	OBJETIVOS.....	25
1.2.1	Objetivo Geral.....	25
1.2.2	Objetivos específicos.....	25
2	REVISÃO DE LITERATURA	26
2.1	GESSO	26
2.1.1	Polo Gesseiro do Araripe	27
2.1.1.1	<i>Aspectos históricos da região</i>	<i>28</i>
2.1.1.2	<i>Aspectos Mineralógicos</i>	<i>32</i>
2.1.1.3	<i>Potencial de crescimento</i>	<i>35</i>
2.1.2	Produção do gesso	39
2.1.2.1	<i>Processamento da gipsita.....</i>	<i>39</i>
2.1.2.2	<i>Calcinação da gipsita e obtenção do gesso</i>	<i>40</i>
2.1.3	Tipos de gesso	44
2.1.4	Hidratação do gesso	46
2.1.5	Importância do controle tecnológico de calcinação da gipsita e de preparo do gesso	50
2.1.6	Aplicações	53
2.1.7	Normatização	54
2.2	SISTEMAS DE REVESTIMENTO EM PASTA DE GESSO.....	60
2.2.1	Funções do revestimento.....	64
2.2.1.1	<i>Estanqueidade à água</i>	<i>67</i>
2.2.1.2	<i>Conforto térmico</i>	<i>69</i>
2.2.1.3	<i>Conforto acústico</i>	<i>70</i>
2.2.1.4	<i>Resistência ao fogo.....</i>	<i>71</i>
2.2.1.5	<i>Propriedades mecânicas</i>	<i>72</i>
2.2.2	Especificação de acabamento.....	75
2.2.3	Fatores que influenciam no desempenho do revestimento de gesso.....	76
2.2.3.1	<i>Qualidade dos materiais constituintes</i>	<i>76</i>

2.2.3.2	<i>Características da base</i>	77
2.2.3.3	<i>Capacitação da mão de obra</i>	80
2.2.3.4	<i>Condições de exposição</i>	81
2.2.4	Procedimento de execução do revestimento	82
2.2.4.1	<i>Preparação da base</i>	82
2.2.4.2	<i>Dosagem e mistura da pasta de gesso</i>	86
2.2.4.3	<i>Execução do revestimento</i>	88
2.2.4.4	<i>Avaliação do produto acabado – Resistência de aderência à tração</i>	92
2.3	DESTAQUES DO LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO	99
3	PROGRAMA EXPERIMENTAL	102
3.1	ETAPAS DO PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	102
3.2	MATERIAIS UTILIZADOS E CRITÉRIOS PARA ESCOLHA	103
3.3	MÉTODOS DE ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO UTILIZADOS	104
3.3.1	Caracterização física e química no estado anidro (pó).....	104
3.3.2	Caracterização da pasta	109
3.3.3	Caracterização do gesso no estado endurecido	111
3.4	AVALIAÇÃO DE REVESTIMENTOS EM PASTA DE GESSO - RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO.....	115
3.4.1	Variáveis de estudo	115
3.4.2	Execução das bases cerâmicas	116
3.4.3	Dosagem e mistura da pasta	117
3.4.4	Aplicação da pasta.....	117
3.4.5	Ensaio de resistência de aderência à tração.....	118
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	123
4.1	RESULTADOS DE CARACTERIZAÇÃO NO ESTADO ANIDRO	123
4.1.1	Granulometria e módulo de finura	123
4.1.2	Massa unitária e específica.....	126
4.1.3	Água livre e de cristalização	128
4.1.4	Difração de raio x (DRX).....	131
4.1.5	Termogravimetria.....	132
4.1.6	Fluorescência de raio x (FRX)	135
4.2	RESULTADOS DE CARACTERIZAÇÃO NO ESTADO FRESCO	137
4.2.1	Consistência normal	137

4.2.2	Tempo de pega	139
4.2.3	Calorimetria.....	144
4.3	RESULTADOS DE CARACTERIZAÇÃO NO ESTADO ENDURECIDO...	148
4.3.1	Dureza	148
4.3.2	Resistência à compressão	150
4.4	RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO.....	153
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	156
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	161

REFERÊNCIAS	162
--------------------------	------------

APÊNDICES.....	174
-----------------------	------------

APÊNDICE A – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE GRANULOMETRIA	175
--	-----

APÊNDICE B – ANÁLISE POR ANOVA – FATOR ÚNICO DOS RESULTADOS DE MÓDULO DE FINURA.....	177
--	-----

APÊNDICE C – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE MASSAS ESPECÍFICA E UNITÁRIA.....	178
--	-----

APÊNDICE D – CORRELAÇÃO ENTRE RESULTADOS DE MASSA UNITÁRIA E GRANULOMETRIA	179
--	-----

APÊNDICE E – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE DETERMINAÇÃO DE ÁGUA LIVRE E DE CRISTALIZAÇÃO	180
--	-----

APÊNDICE F – ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS DE ÁGUA DE CRISTALIZAÇÃO PELO TESTE DE TUKEY	181
--	-----

APÊNDICE G – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE TEMPO DE PEGA....	182
--	-----

APÊNDICE H – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE DUREZA.....	183
--	-----

APÊNDICE I – ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS DE DUREZA PELO TESTE DE TUKEY	184
---	-----

APÊNDICE J – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	185
---	-----

APÊNDICE K – ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DAS PASTAS DOSADAS PARA CONSISTÊNCIA NORMAL PELO TESTE DE TUKEY	186
---	-----

APÊNDICE L – ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DAS PASTAS DOSADAS PARA RELAÇÃO ÁGUA/GESSO DE 0,8 PELO TESTE DE TUKEY	187
---	-----

APÊNDICE M – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO	188
--	-----

APÊNDICE N – RESULTADOS DE UMIDADE DOS REVESTIMENTOS EM PASTA DE GESSO	195
APÊNDICE O – ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO PELO TESTE DE TUKEY – INFLUÊNCIA DO FABRICANTE	197
APÊNDICE P – ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO PELO TESTE DE TUKEY – INFLUÊNCIA DO PRÉ-UMEDECIMENTO DA BASE.....	199

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a Construção Civil tem passado por um desenvolvimento tecnológico em busca de qualidade nos seus produtos e processos. As empresas do setor buscam substituir o empirismo do processo construtivo pelos conceitos de base científica. Atualmente, essa evolução deve ser implementada por meio de ações organizacionais e operacionais que objetivem aumentar os níveis de produtividade e qualidade (AKKARI, SOUZA, 2005).

O desenvolvimento dos diversos segmentos acontece quando há uma necessidade satisfeita, que causa o aparecimento de tecnologias novas adequadas para transpor as limitações existentes no setor. O que não é diferente com a construção civil: percebe-se o surgimento de novas técnicas construtivas, ocorrendo pela necessidade de produzir mais, em pouco tempo, com baixo custo e qualidade.

Além disso, como uma forma de contribuição, entrou em vigor Norma de Desempenho de Edificações - NBR 15.575 em 2013, que estabelece o nível de desempenho mínimo de elementos da edificação ao longo de uma vida útil. Assim, dessa forma, exige-se uma maior qualidade nos serviços e materiais utilizados, e, neste caso em questão, dos gessos para revestimentos.

Diversos são os tipos de sistemas de revestimentos empregados no mundo. No Brasil, um dos mais empregados são aqueles com argamassas inorgânicas contendo cimento como ligante principal. Porém, este começa a dividir espaço com a pasta de gesso para revestimento.

O sistema de revestimento com base em gesso apresenta semelhanças com o sistema de revestimento em argamassa de cimento no que tange as funções, propriedades, execução, entre outros. No entanto, o gesso apresenta condições de competitividade bastante satisfatórias, entre elas o endurecimento rápido, que permite uma elevada produtividade e a lisura da superfície endurecida que beneficia a qualidade do acabamento final (JOHN, CINCOTTO, 2007).

Somado a este contexto, o nordeste brasileiro exhibe vantagem em relação as demais regiões do país, pois apresenta abundância e qualidade da matéria prima do gesso, especialmente, no Polo Gesseiro do Araripe, o que incentiva o emprego desse material.

O revestimento à base de gesso de construção, no entanto, caracterizava-se pela falta de especificações técnicas dos locais de sua aplicação e pela inexistência de cadernos de práticas de execução de serviços. Essa atividade era considerada apenas para efeito arquitetônico e não

levando em conta seus requisitos de durabilidade e desempenho (DIAS, CINCOTTO, 1995). Percebe-se que esse cenário ainda é atual, sendo verificados pequenos avanços.

Conforme Almeida (2014), é sabido que a necessidade geralmente antecede o estudo e com a popularização do gesso como revestimento ocorrendo nacionalmente, de maneira inevitável surgem anseios por regulamentações de controle de produção, aplicação e qualidade do produto final.

A ABNT apresenta somente a NBR 13867 (1997) - Revestimento interno de paredes e tetos com pasta de gesso - Materiais, preparo, aplicação e acabamento - voltada para gesso com funções de revestimento; contudo, apresenta 20 anos sem revisão, além de não tratar assuntos necessários e suficientes para a qualidade final do sistema de revestimento em pasta de gesso (execução, aplicação, avaliação do produto acabado) e, outras normas da ABNT fazem avaliação do gesso apenas como material.

Kazmierczak, Brezezinski e Collatto (2007) consideram a aderência um dos requisitos fundamentais para um revestimento. Costa e Carasek (2009) afirmam que o ensaio de resistência de aderência à tração é um dos principais parâmetros para avaliação do desempenho de revestimentos de argamassa. Entretanto, a NBR 13207 (2017) – Gesso para construção civil - Requisitos veio apenas no final do primeiro semestre de 2017 especificar esta avaliação em revestimentos de pasta de gesso, porém, não faz indicação do método de ensaio.

Quando se compara com a quantidade de normas semelhantes direcionadas a argamassas inorgânicas, principalmente com base em cimento, nota-se que ainda existe um longo caminho a ser percorrido.

Neste contexto, a pesquisa foi elaborada buscando-se uma ampla caracterização do gesso para revestimento produzido na Região do Araripe, com o objetivo de fazer uma avaliação de conformidade com as normas da ABNT. O estudo foi desenvolvido a partir da coleta de variadas amostras de diferentes produtores. Com o material coletado foram realizados os ensaios nos estados anidro, fresco e endurecido, além de avaliações da resistência de aderência à tração de revestimentos produzidos, através da adequação da adaptação da NBR 13528 (2010) - Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas: Determinação da resistência de aderência à tração.

Dos estudos já desenvolvidos depreende-se que ainda são incipientes os trabalhos que propõem um estudo de avaliação de variados gessos dessa região, sobre as características físicas, químicas e mecânicas, bem como de avaliação do gesso para revestimento como produto acabado.

O estudo de gesso na construção civil, segundo Leitão (2005), trata-se de uma área de estudos, que oferece muitas opções para linhas de pesquisa, até mesmo de mestrado e doutorado, além de gerar inúmeras possibilidades para atividades de extensão no campo da engenharia com o objetivo de aperfeiçoar processos ou de capacitar mão de obra especializada.

1.1 JUSTIFICATIVA

Vários pontos justificam a realização desta pesquisa, a saber:

- Necessidade e importância do incentivo ao uso de gesso

Qualquer nação com grandes reservas de matéria-prima deve aproveitá-la de modo a torná-las viáveis econômica e tecnicamente. Entretanto, segundo Barbosa, Ferraz e Santos (2014), o Brasil possui uma das maiores jazidas de gipsita e não aproveita seu potencial, seja na indústria ou na área acadêmica, o que é bem diferente de outros países.

A Tabela 1.1 mostra o baixo consumo per capita de gesso no Brasil quando comparado a outros países mais avançados. Segundo Miranda Neto (2012), este pode ser um indicador importante do potencial de crescimento de consumo no país, podendo a indústria desenvolver novas tecnologias para uso do produto.

Tabela 1.1 – Consumo per capita de gesso em alguns países no ano de 2005.

País	Consumo Anual (kg/Habitante)
Estados Unidos	82,0
Europa	60,0
Chile	41,0
Argentina	21,0
Brasil	9,3

(Fonte: SINDUSGESSO (2005) *apud* MIRANDA NETO (2012))

Conforme Galvão (2005) *apud* Miranda Neto (2012), o estado de Pernambuco apresenta um grande número de segmentos industriais com grande potencialidade de crescimento em bases competitivas e com significativo potencial exportador, entre os principais relaciona-se a indústria do gesso e derivados.

Segundo DNPM (2014), em 2013, a produção brasileira de gipsita bruta ROM¹ alcançou 3.332.991 t, uma redução de 11,1 % em relação ao ano anterior. Pernambuco é o principal estado produtor de gipsita do Brasil, sendo responsável, em 2013, por 87,6 % do total produzido.

Assim sendo, pode-se afirmar que há necessidade de se potencializar a exploração e uso de gesso no Brasil, como forma de movimentar a economia nacional, bem como pela possibilidade de se conhecer mais o material e utilizá-lo em aplicações de maior valor agregado.

- Uso de revestimento de gesso – vantagens técnicas e econômicas

Quando se aborda revestimento interno de paredes, os principais ligantes usados no Brasil são cimento, cal e gesso, com maior destaque para o primeiro (DIAS, CINCOTTO, 1995). No entanto, o uso da argamassa de cimento começa a dividir com o gesso para revestimento, que apresenta inúmeras vantagens. O revestimento em gesso é aplicado em camada única, substituindo as camadas (emboço, reboco) do sistema tradicional, diminui a carga da parede, pouca necessidade de massa corrida no acabamento final, reduz o número de operários na execução; é um material isolante térmica e acusticamente, apresenta menor custo em relação a outros aglomerantes, como o cimento, entre outras. Todas essas vantagens podem ser convertidas em atrativos econômicos.

- Carência normativa

Segundo a NBR 13867 (1997), a pasta de gesso é definida como uma mistura pastosa de gesso e água, que possui capacidade de aderência e endurecimento. A referida norma trata de conceitos e especificações técnicas acerca da aplicação da pasta de gesso, entretanto de modo bem sucinto, não abordando, por exemplo, especificações de aplicação e critérios de desempenho que o revestimento deve atender e como avaliá-los, como um ensaio de resistência de aderência à tração, sendo este um importante parâmetro de controle de qualidade para

¹ Minério bruto obtido da mina, sem sofrer beneficiamento (*Run of Mine*).

argamassas, conforme método indicado para argamassas na NBR 13528 (2010) - Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração.

Diante do contexto de avanço do uso de revestimentos em pasta de gesso, surgem anseios por regulamentações de controle como forma de garantia de qualidade do produto acabado.

- Polo Gesseiro do Araripe

Segundo o Sindicato da Indústria do Gesso do Estado de Pernambuco – SINDUSGESSO (2017), o polo do Araripe, que engloba as cidades de Araripina, Trindade, Ouricuri, Ipubi e Bodocó, todas pertencentes a Pernambuco, é responsável por 84,3 % da produção de gesso do país, que gera cerca de 13.900 empregos diretos e 69.000 indiretos.

De acordo com as estratégias do governo do Estado de Pernambuco, o Polo Gesseiro da Região do Araripe é um dos focos para os Arranjos Produtivos Locais (APLs), pois junto com o corpo técnico do Instituto de Tecnologia de Pernambuco (ITEP), desenvolve o Programa de Produção e Difusão de Inovações para a Competitividade desse APL, ou seja, do gesso, para que a região cresça economicamente e socialmente.

Desse modo, incentivos à produção de gesso na região é uma possibilidade de desenvolvimento da economia do local, logo são bem-vindos estudos e pesquisas que tratem da divulgação da qualidade e potencial do material.

De acordo com Miranda Neto (2012), as alternativas de escoamento da produção da Chapada do Araripe são diversas. Em um raio de 300 km do principal Polo de mineração – Araripina, existem os seguintes modais disponíveis para suplementar a logística de transportes: i) Aeroporto internacional de Petrolina, com estrutura para aviões cargueiros; ii) Hidrovia do São Francisco a partir do porto de Petrolina/Juazeiro a montante em direção ao estado de Minas Gerais; iii) Entroncamentos de rodovias nacionais norte-sul e leste-oeste; e iv) Terminal ferroviário em implantação - Transnordestina - no município de Salgueiro.

O Instituto Tecnológico de Pernambuco (ITEP) é de fundamental importância para realização de pesquisas sobre a viabilidade sócio-técnica-econômica, pois possui um Centro Tecnológico (CT) em Araripina, com estrutura física e laboratorial, contudo até o momento tem realizado poucas pesquisas aplicadas para o setor gesseiro.

Além disso, a região conta com a presença de várias universidades próximas como forma de apoio à pesquisa; Universidade Federal do Cariri, do Vale do São Francisco e de Pernambuco.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a conformidade do gesso para revestimento produzido no Polo Gesseiro do Araripe, bem como a capacidade de aderência de revestimentos de pasta desses materiais.

1.2.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos, podem ser listados:

1. Avaliar a conformidade do gesso para revestimento produzido no Polo Gesseiro do Araripe com as normas ABNT que tratam do tema;
2. Criar rotina de avaliação da capacidade aderente de pastas de gesso por meio de ensaio de resistência de aderência à tração;
3. Avaliar a resistência de aderência de pasta de gesso como revestimento aplicado em substratos de blocos cerâmicos, considerando a influência do tipo de tratamento, com ou sem pré-umedecimento, aplicado no substrato.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 GESSO

O gesso é o mais antigo ligante de que se tem notícia (ANTUNES, 1999). Kanno (2009) relata que é conhecido e empregado pela humanidade desde o período neolítico. Descobertas recentes arqueológicas na Anatólia, onde hoje é a Turquia, revelaram que este material já era utilizado para fabricação de recipientes e rebocos (com cal) para fins decorativos por volta 9000 a.C.. As técnicas de calcinação do gesso já eram conhecidas pelos egípcios, que utilizavam este material em argamassas para construção. O filósofo Teofrasto (372-287 a.C.) escreveu o que parece ser o mais antigo e o mais bem documentado artigo sobre o gesso: “Tratado de Pedra”. Ele cita a existência de polos de gesso em Chipre, na Fenícia e na Síria e também indica que o gesso era utilizado em reboco, afrescos, ornamentação e esculturas em baixo-relevo, assim como na estatuária; destacando ainda as qualidades e o poder aglutinante que possibilita a recuperação dos rebocos ou das obras antigas através de uma nova cozedura, possibilitando a reutilização do gesso.

Na Europa, o uso do gesso na construção civil difundiu-se a partir do século XVIII, época em que também passou a ser utilizado como corretivo de solos. Após 1885, o emprego do gesso na construção civil foi estimulado pela descoberta de processo para retardar o tempo de pega (BALTAR, BASTOS, LUZ, 2005).

O gesso é um aglomerante aéreo, ou seja, depois de endurecido, não resiste à ação da água, e, se utiliza de uma única matéria-prima, o mineral gipsita (sulfato de cálcio di-hidratado – $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), para sua fabricação. Bauer (2000) comenta que o termo genérico gesso é usado para definir uma família de aglomerantes simples produzida a partir da calcinação da gipsita, sendo composta por sulfatos de cálcio com variadas condições de hidratação (hemi-hidrato e anidritas), além de impurezas, como sílica, alumina, óxido de ferro, carbonatos de cálcio e magnésio.

Este material apresenta amplo uso na construção civil dada às suas propriedades físicas e mecânicas, além de baixo custo energético de produção (JOHN, CINCOTTO, 2007).

O PROAPL (2009) - Programa de Produção e Difusão de Inovações para a Competitividade de Arranjos Produtivos Local do Estado de Pernambuco descreve as propriedades do gesso e seus respectivos benefícios (Quadro 2.1).

Quadro 2.1 – Propriedades e benefícios do gesso.

Propriedades	Benefícios
<ul style="list-style-type: none"> • Atóxico • Não combustível • Absorção hidrotérmica e liberação de ar úmido • Moldagem e conformação • Fácil uso e instalação 	<ul style="list-style-type: none"> • Inofensivo para seres humanos • Uso em proteção contra incêndio • Aumenta conforto na mediação da umidade do ar • Formas esteticamente agradáveis • Produtos e sistemas de baixo custo e de fácil aplicação

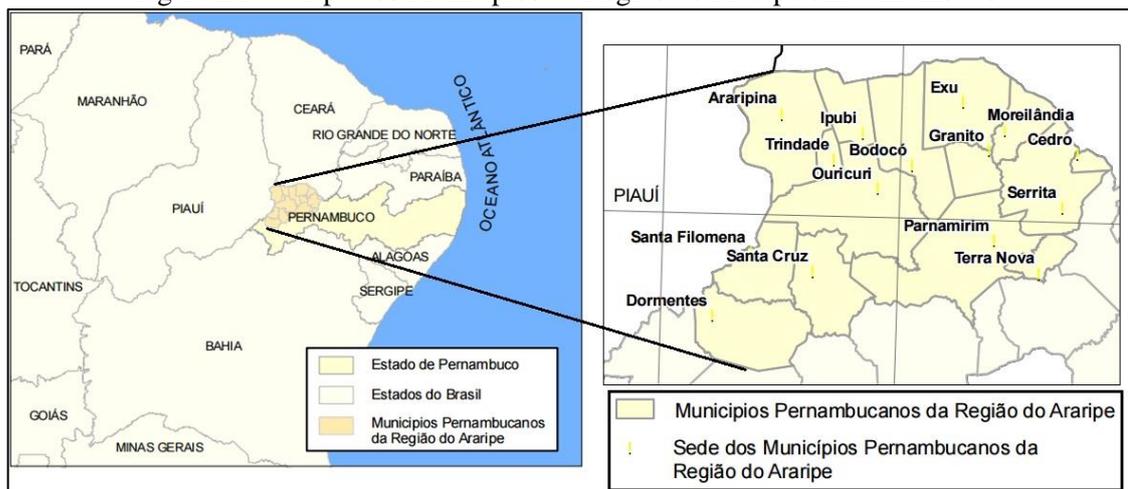
(Fonte: PROAPL (2009))

A discussão das propriedades e características do gesso são objetos desta pesquisa e serão discutidas nos próximos tópicos.

2.1.1 Polo Gesseiro do Araripe

A Bacia Sedimentar do Araripe possui uma área aproximada de 8.000 km² e parte compõe o Polo Gesseiro do Araripe (ARAÚJO, 2004). Segundo o SINDUSGESSO (2014), o Polo do Araripe engloba cidades pertencentes a Pernambuco, conforme mostra a Figura 2.1. A região dista, aproximadamente, 680 km da capital pernambucana.

Figura 2.1 – Mapa dos Municípios da Região do Araripe em Pernambuco.



(Fonte: adaptação FUPEF, 2007)

A área de exploração de gipsita de maior importância no Brasil se encontra no entorno da Chapada do Araripe, entre os Estados de Pernambuco, Ceará e Piauí. Destes, destaca-se o Estado de Pernambuco como maior produtor brasileiro (ARAÚJO, 2004).

A região apresenta algumas peculiaridades no que diz respeito aos aspectos socioeconômicos, diferenciando-a dos demais espaços dos sertões pernambucano e nordestino (ARAÚJO, 2004). Serão expostos sucintamente alguns aspectos do povoamento e das atividades econômicas da região.

2.1.1.1 Aspectos históricos da região

De acordo com Araújo (2004), a mineração constitui a atividade mais recente, com cerca de meio século de existência na região, uma vez que a agropecuária existe na região há cerca de três séculos.

Até 1961, predominava o Rio Grande do Norte como maior produtor de gesso (NUNIS, 1971). Quase todo o gipso consumido no Brasil era originário das minas do antigo distrito de Sebastianópolis, atual município de Governador Dix-Sexp Rosado, no Rio Grande do Norte (COSTA, ANJOS, 1962).

As reservas do Ceará, Pernambuco e Piauí são geologicamente pertencentes a formação chamada de Formação Santana. Em 1963 e 1964, o Ceará foi o maior produtor. Talvez essa grande participação se deva ao fato da região do Crato, Juazeiro do Norte, Barbalha, onde ocorre a gipsita, ser muito povoada na época, e as jazidas sido descobertas há mais tempo. No entanto, o acesso era difícil para caminhões em algumas épocas do ano e, com a entrada cada vez maior de Pernambuco no mercado em virtudes das facilidades de extração e acesso durante todo o ano, com estradas razoáveis e proximidades dos maiores centros consumidores, a produção do Ceará caiu, passando o estado de Pernambuco a dianteira em 1965 (NUNIS, 1971). Assim, houve, conseqüentemente, um declínio da produção do gesso norte-riograndense e um aumento crescente na do Araripe (COSTA, ANJOS, 1962).

As primeiras explorações no Estado de Pernambuco foram realizadas no município de Ouricuri, nas Fazendas de Pitombeiras e Pajeú, por volta de 1942 (COSTA, ANJOS, 1962). De acordo com Araújo (2004), a primeira concessão de lavra data de 1943, outorgada à Companhia de Materiais Sulfurosos - Matsulfur.

Houve um aumento gradativo na produção pernambucana de gipsita a partir de 1956. A exploração era bastante deficitária quanto ao nível técnico, com falta de industrialização local e grandes distâncias aos centros consumidores. Todo minério bruto era distribuído em Pernambuco, São Paulo e Minas Gerais, que a utilizam em maior parte, nas fábricas de cimento,

dada a falta de um beneficiamento local. Naquela época, começaram a surgir, então, as fábricas que utilizassem o gesso *in situ* na região (COSTA, ANJOS, 1962).

No final da década de 70, surgiu o gesso químico ou fosfogesso, um subproduto da indústria do ácido fosfórico, como um forte competidor do gesso, pelo baixo preço e proximidade com o mercado consumidor, levando a uma queda na produção deste último, entretanto, apresentava remoção das impurezas onerosa (ARAÚJO *et al.*, 1983). A Tabela 2.1 mostra um aumento gradativo da produção de gipsita entre os anos de 1972 e 1977; em seguida, nos anos de 1978 e 1979, uma queda da produção devido a produção do fosfogesso, porém, a produção da gipsita volta a subir nos anos seguintes.

Tabela 2.1 – Produção nacional de gipsita entre 1972 e 1981.

Ano	Brasil (t)	Pernambuco (t)	Porcentagem de produção Pernambucana (%)
1972	237.964	195.384	82
1973	352.055	304.563	87
1974	395.753	329.065	83
1975	403.847	366.581	91
1976	545.463	478.867	88
1977	543.046	507.873	94
1978	474.732	421.837	89
1979	481.732	437.583	91
1980	576.824	532.315	92
1981	692.289	641.198	93

(Fonte: DNPM, 1982 *apud* ARAÚJO *et al.*, 1983)

De acordo com Araújo *et al.* (1983), dada a crise que se iniciava com a gipsita do Araripe, o Governo de Pernambuco através das Secretarias de Planejamento e de Indústria, Comércio e Minas, apoiou uma série de iniciativas que visavam trazer novas perspectivas para sua exploração. Estudos de viabilidade também foram realizados com apoios de diversas instituições, autoridades e universidades juntos aos pequenos e médios mineradores e calcinadores, denominado "Programa de Apoio aos Pequenos e Médios Mineradores e Calcinadores para aproveitamento das Reservas de Gipsita do Araripe", grupo ao qual se juntou ao ITEP, como órgão de tecnologia do Sistema Estadual de Indústria, Comércio e Minas. A crise entre 1977 e 1979 então foi revertida a partir de 1980 e confirmou-se em 1981. A produção por município em 1981 pode ser visualizada na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Produção de gipsita por município em 1981.

Município	Nº de Minas	Minas em Produção	Produção (t)
Ipubi	12	6	283.903
Ouricuri	8	7	279.301
Araripina	8	2	44.050
Bodocó	4	3	33.944
Exu	1	-	-
Total	33	18	641.198

(Fonte: DNPM, 1982 *apud* ARAÚJO *et al.*, 1983)

Na metade dos anos 80, houveram oscilações que descreveram uma nova fase para o setor. A ampliação da produção respondeu à demanda do setor, representado pelas calcinadoras, que aumentaram o consumo gradativamente. No final da década, essas empresas chegaram a superar o consumo do setor cimenteiro, que era o maior consumidor do produto bruto. A produção brasileira de gipsita cresceu significativamente depois da segunda metade da década de 90 (ARAÚJO, 2004).

O Brasil conseguiu superar um milhão de toneladas extraídas das minas em 1996 devido aos investimentos realizados no processo de extração, através da mudança tecnológica, compra de equipamentos e máquinas de eficiência produtiva maior, melhor organização da lavra, que aconteceu nas maiores empresas mineradoras, dados os mecanismos de financiamentos do Estado (ARAÚJO, 2004).

Conforme dados disponibilizados pelo DNPM, de acordo com a Tabela 2.3, a produção de gipsita vem gradualmente crescendo, embora tenha revelado um 'efeito gangorra', que sobe e desce, alternando fases de crescimento e redução em um curto prazo.

A calcinação também foi beneficiada pelos mesmos mecanismos de financiamentos e investimentos, permitindo, na metade da década 90, a compra de equipamentos e fornos pelas maiores calcinadoras da região, como a Supergesso S.A. e a Gipsita S.A., entre outras. A Gipsita S.A. foi comprada pelo grupo francês Lafarge Gypsum. Assim, a produção de gesso também aumentou consideravelmente, com cerca de dez novas calcinadoras num intervalo de dois anos. A presença de empresas metalúrgicas no Polo Gesseiro do Araripe favoreceu a fabricação e compra dos fornos e suas engrenagens, sendo um fator a reduzir o preço em relação aos praticado pelas empresas estrangeiras e do Centro-Sul (ARAÚJO, 2004).

Tabela 2.3 – Produção Brasileira de Gipsita por Estados (1996 a 2009).

Ano	Estados e Produção (t)								Brasil (t)
	AM	BA	CE	MA	PE	PI	RN	TO	
1996	24.921	0	41.024	29.804	1.024.512	320	0	5.525	1.126.106
1997	23.385	0	47.899	139.589	1.287.071	0	0	9.170	1.507.114
1998	25.950	0	66.408	53.476	1.376.292	0	0	9.831	1.531.957
1999	24.165	20.000	74.603	60.612	1.336.512	0	0	11.698	1.527.599
2000	30.600	0	54.325	56.074	1.342.132	0	0	14.642	1.497.790
2001	15.180	0	64.867	54.647	1.357.185	0	0	14.740	1.506.619
2002	47.900	0	69.942	48.532	1.463.236	0	0	11.746	1.641.356
2003	2.363	0	65.303	42.162	1.408.170	0	0	11.674	1.529.672
2004	26.600	0	72.037	51.445	1.317.220	0	0	9.033	1.476.335
2005	17.800	0	69.979	52.869	1.332.347	0	0	16.830	1.489.225
2006	21.600	0	60.622	118.730	1.555.229	0	0	9.023	1.765.204
2007	30.000	0	0	128.387	1.718.439	0	0	7.054	1.883.880
2008	34.577	0	0	111.903	2.089.478	0	0	2.687	2.238.645
2009	27.656	0	0	142.639	2.178.095	0	0	0	2.348.390

(Fonte: DNPM, 1997 a 2010)

Desde então a produção de gipsita cresce. Segundo DNPM (2014), em 2013, a produção brasileira de gipsita bruta alcançou 3.332.991 t (Tabela 2.4), uma redução de 11,1 % em relação ao ano anterior. Pernambuco como principal estado produtor de gipsita do Brasil, foi responsável, em 2013, por 87,6 % do total produzido.

De acordo com DNPM (2015), no ano de 2013, 35 empresas declaram ter produzido gipsita. As empresas que mais produziram gipsita no Brasil foram: Mineradora São Jorge S/A, Rocha Nobre Mineração LTDA, Mineração Pernambucana de Gipsita Ltda, Alencar & Parente Mineração LTDA, Votorantim Cimentos N/NE S.A, Mineradora Rancharia LTDA, Mineração Alto Bonito LTDA, CBE - Companhia Brasileira de Equipamento (Grupo João Santos) e Royal Gipso Ltda. Em conjunto essas empresas foram responsáveis por 63 % da produção nacional em 2014.

Tabela 2.4 – Reserva e produção mundial.

Discriminação	Reservas (t)	Produção (t)		
		2013	2014	(%)
Países	2014	2013	2014	(%)
Brasil	400.000.000	3.330.000	3.450.000	1,4
China	nd	129.000.000	132.000.000	53,7
Estados Unidos da América	700.000.000	16.300.000	17.100.000	7,0
Irã	nd	15.000.000	13.000.000	5,3
Turquia	nd	8.300.000	8.300.000	3,4
Espanha	nd	6.400.000	6.400.000	2,6
Tailândia	700.000.000	6.300.000	6.300.000	2,6
Japão	nd	5.500.000	5.500.000	2,2
Rússia	nd	5.100.000	5.300.000	2,2
México	nd	5.090.000	5.000.000	2,0
Itália	nd	4.100.000	4.100.000	1,7
Índia	69.000.000	4.690.000	3.500.000	1,4
Austrália	nd	3.540.000	3.500.000	1,4
Omã	nd	2.790.000	3.000.000	1,2
França	nd	2.300.000	2.300.000	0,9
Outros países	nd	27.260.000	27.250.000	11,1
TOTAL	nd	245.000.000	246.000.000	100,0

nd – dado não disponível.

Nota: Os dados do ano de 2014 são preliminares.

(Fonte: DNPM, 2015)

2.1.1.2 Aspectos Mineralógicos

O Serviço Geológico do Brasil (CPRM) executa desde 2009 o Projeto Gesso na Chapada do Araripe, com o objetivo de caracterizar a tipologia do minério da região, apresentando informações a respeito da gênese dos depósitos, bem como o potencial de novas reservas de gipsita na Bacia do Araripe (BARROS *et al.*, 2014).

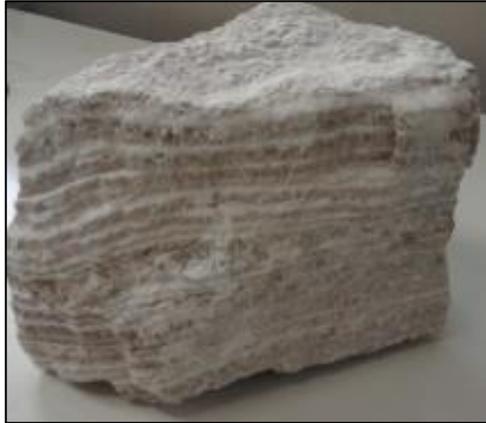
Nas jazidas do Araripe, em Pernambuco, ocorrem as variedades mineralógicas de gipsita, conhecidas na região com os nomes de Johnson, cocadinha, rapadura, estrelinha, selenita e alabastro, além da anidrita e do boro que podem ser vistas nas Figuras de 2.2 a 2.9 (Baltar *et al.*, 2004b *apud* Baltar, Bastos, Luz, 2005).

Figura 2.2 – Variedades de gipsita do tipo Johnson encontrada na região do Araripe Pernambuco.



(Fonte: MELO, 2013)

Figura 2.3 – Variedades de gipsita do tipo cocadinha encontrada na região do Araripe Pernambuco.



(Fonte: MELO, 2013)

Figura 2.4 – Variedades de gipsita do tipo rapadura encontrada na região do Araripe Pernambuco.



(Fonte: MELO, 2013)

Figura 2.5 – Variedades de gipsita do tipo estrelinha + Johnson encontrada na região do Araripe Pernambuco.



(Fonte: BALTAR, BASTOS, LUZ, 2004)

Figura 2.6 – Variedades de gipsita do tipo selenita encontrada na região do Araripe Pernambuco.



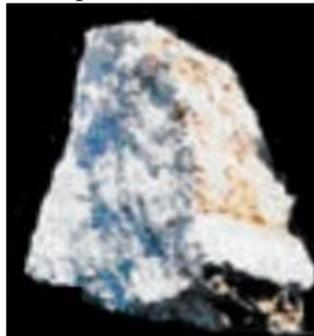
(Fonte: OLIVEIRA *et al.*, 2012)

Figura 2.7 – Variedades de gipsita do tipo alabastro encontrada na região do Araripe Pernambuco.



(Fonte: BALTAR, FREITAS, 2012)

Figura 2.8 – Variedades de gipsita do tipo boro encontrada na região do Araripe Pernambuco.



(Fonte: BALTAR, FREITAS, 2012)

Figura 2.9 – Amostra de anidrita encontrada na região do Araripe Pernambuco.



(Fonte: BALTAR, BASTOS, LUZ, 2004)

Baltar, Bastos e Borges (2004) descrevem as variedades mineralógicas da gipsita da região como:

- Pedra Johnson, que é a mais pura, de coloração variando de branco a creme estruturada com “nódulos” e “estrelas”;
- Cocadinha, que é estratificada com filmes de argila verde raros;
- Rapadura, que é estratificada com filmes milimétricos de argila verde;
- Estrelinha, que apresenta cristais radiados em forma de estrela;
- Selenita, que é variedade placosa, incolor e transparente;
- Alabastro, que é transparente e maciça. A variedade apresenta problemas na calcinação por seu caráter fibroso, que causa anisotropia².

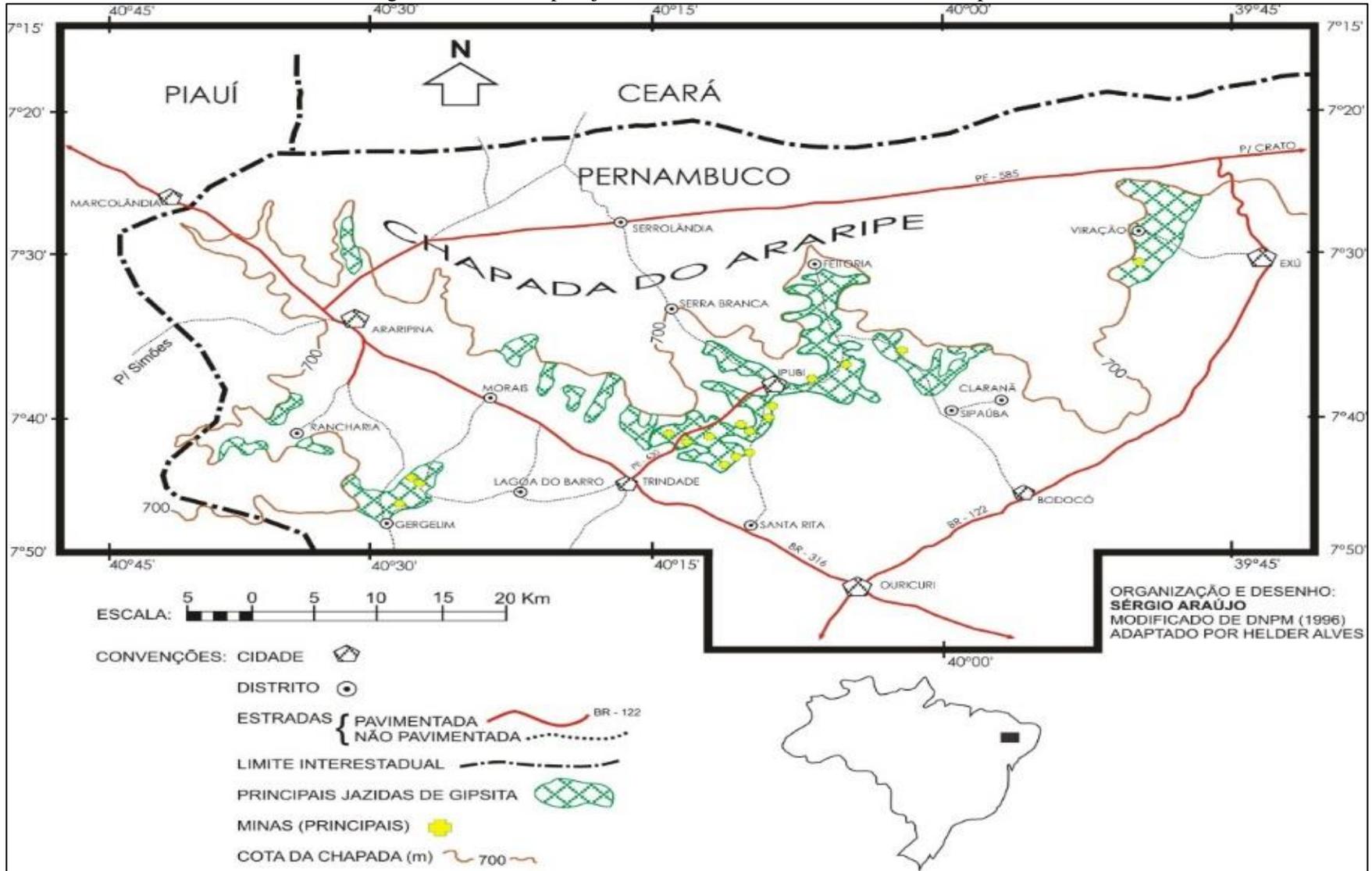
A anidrita natural ou pedra ruim se apresenta com várias cores (RIBEIRO, 2011) e o boro é a gipsita misturada com argila.

2.1.1.3 *Potencial de crescimento*

Segundo o SINDUSGESSO (2017), o polo do Araripe é responsável por 84,3 % da produção de gesso do país, possuindo 42 mineradoras, 174 calcinadoras e 750 produtores de pré-moldados, que geram cerca de 13.900 empregos diretos e 69.000 indiretos. Leitão (2005) afirma que a região ocupa esta posição em função da magnitude de suas reservas, da alta qualidade do minério ali encontrado e pela instalação de um parque industrial de porte no local. A Figura 2.10 mostra as principais jazidas e minas da região.

² Característica de alguns materiais de apresentarem variação de propriedades com a direção.

Figura 2.10 – Principais jazidas e minas do Polo Gesso do Araripe.



(Fonte: ARAÚJO, MARTINS, 2012)

O beneficiamento da gipsita para a produção do gesso, na região do Araripe, varia de acordo com a dimensão da empresa e com o tipo de gesso a ser produzido (FREITAS, BALTAR, 2012). O polo gesseiro apresenta empresas de diversos portes, que variam desde aquelas com grandes estruturas às de produção bastante rudimentar, com recursos limitados ao controle tecnológico ideal. Segundo Miranda Neto (2012), Araripina é uma das cidades do Polo que mais apresenta uma tendência de crescimento (Quadro 2.2).

Quadro 2.2 – Características do Polo Produtor de gesso de Pernambuco.

Municípios	Características
Araripina	Reúne a maior quantidade de micro, pequenas e empresas de maior porte, inclusive multinacionais. As pequenas empresas não competem diretamente com as de maior porte, uma vez que o mix de produtos é diferente.
Trindade	Segundo município em termos de importância para a atividade gesseira. Conta com empresas ligadas a grupos cimenteiros, de maior porte, e um conjunto mais restrito de micro e pequenas empresas, voltadas majoritariamente para a produção de placas de gesso.
Ouricuri/Ipupi	Atividade menos desenvolvida, mas com potencial de crescimento em virtude das reservas minerais comprovadas. Reduzida atividade empresarial, reflexo da concentração nos demais municípios do Polo.

(Fonte: SEBRAE, 2005 *apud* MIRANDA NETO, 2012)

Estima-se, de acordo com o Sumário Mineral disponibilizado pelo DNPM (2008b), que aproximadamente de 98,0 % das reservas brasileiras estão concentradas nos estados da Bahia (42,7 %), Pará (30,3 %) e Pernambuco (25,1 %); o restante distribuído, em ordem decrescente, entre o Maranhão, Ceará, Piauí, Amazonas e Tocantins. No Brasil, no ritmo da produção de 2014, há reservas de gipsita estimadas para mais de um século de exploração (DNPM, 2015).

De forma geral, os fabricantes de gesso têm mantido sua tendência de crescimento lento, refletida no fraco desempenho dos indicadores de uso do gesso (PROAPL, 2009).

Da produção de gipsita calcinada do Araripe cerca de 61 % é destinado à fabricação de blocos e placas, 35 % para revestimento, 3 % para moldes cerâmicos e 1 % para outros usos (SCHMITZ, TAVARES, 2009; LYRA SOBRINHO *et al.*, 2002).

O Brasil se destaca mundialmente ainda, na produção de minerais não-metálicos e produtos derivados, como cimento, cal e caulim, além de produzir e consumir grande volume de agregados para concreto (ARAÚJO, 2004). Dias e Cincotto (1995) já afirmavam que o consumo de gesso no Brasil é insignificante, quando comparado aos demais aglomerantes (Tabela 2.5).

Tabela 2.5 – Produção e consumo de alguns minerais não-metálicos e produtos derivados no Brasil.

Produtos	Produção (t)				Consumo Aparente (t)	
	Brasil		Mundo		Brasil	
	2013	2014	2013	2014	2013	2014
Areia	377.209.028	391.765.746	-	-	377.209.028	391.765.746
Brita e Cascalho	293.434.553	308.828.808	-	-	293.434.553	308.828.808
Cal	8.419.000	8.152.000	331.600.000	331.900.000	8.429.000	8.207.000
Caulim	6.461.000	5.883.000	40.296.000	40.090.000	2.139.000	2.055.000
Cimento	69.975.000	71.000.000	4.080.000.000	4.180.220.000	69.975.000	71.000.000
Gipsita	3.332.991	3.447.012	245.000.000	246.000.000	3.332.991	3.447.012

Nota: Os dados do ano de 2014 são preliminares.

(Fonte: DNPM, 2015)

Tal deficiência pode, contudo, ser vista como um interessante potencial, uma vez que a penetração dos produtos de gesso no setor de construção civil pode crescer com facilidade. As edificações do Brasil são semelhantes às encontradas na Europa e nos Estados Unidos, indicando, portanto, que os produtos de gesso podem atingir o mesmo nível de difusão encontrado nestas regiões (PROAPL, 2009).

Ao final de 2008, existiam 78 minas no País, das quais 34 em atividade e 44 paralisadas, destas sendo 28 no estado de Pernambuco (DNPM, 2009b), o que é mais um indicador do potencial de produção da região, que opera abaixo de sua capacidade.

Neste contexto, questiona-se o fato do Brasil apresentar uma das maiores reservas mundiais de gipsita e não explorar. O que ocorre é um prejuízo grande para indústria. Países com menores reservas, por exemplo, a Índia, apresentam um consumo maior que o Brasil.

Considerando-se o baixo consumo per capita de gesso no Brasil em relação aos países mais avançados, este pode ser um indicador importante do potencial de crescimento de consumo no país. A indústria poderá desenvolver novas tecnologias de uso do produto, principalmente, nos segmentos que mais consomem o mineral não-metálico: construção civil e agropecuária (MIRANDA NETO, 2012).

Outro fator de questionamento e de potencial para o crescimento do setor de manufaturados de gesso é que, segundo Lyra sobrinho *et al.* (2010) *apud* Miranda Neto (2012), a Argentina foi o maior fornecedor de manufaturados de gesso ao Brasil, equivalente, a 76,0 % da importação brasileira deste produto em 2010. É sabido que, manufaturados de gesso são produtos que apresentam maior valor agregado, o que sustenta a primazia do comércio internacional argentino de gesso no Brasil.

Araújo (2004) salienta que a produção brasileira vem num ritmo crescente, embora possa alcançar um nível de maior destaque na economia internacional na produção bruta de gipsita, gesso e seus derivados. Necessita-se apenas de maiores investimentos e estudos viabilizando a racionalização da produção, das técnicas e gestão do meio ambiente. As alternativas de escoamento da produção da Chapada do Araripe são diversas (MIRANDA NETO, 2012).

2.1.2 Produção do gesso

2.1.2.1 Processamento da gipsita

O aproveitamento de um recurso mineral se inicia com a pesquisa mineral, fase que visa à determinação das reservas disponíveis para se verificar a viabilidade técnica e econômica da exploração e requerer a concessão de lavra. Em seguida, são engendrados desmatamentos, escavações, abertura de vias de acesso, remoção da vegetação e do capeamento de solo e obras como cortes e aterros. Ainda nesta fase, é feita a instalação de equipamentos e a construção de prédios, para criar a estrutura do empreendimento para desmonte, transporte e beneficiamento (ARAÚJO, MARTINS, 2012).

A gipsita é adquirida por meio de lavra subterrânea ou a céu aberto, empregando métodos e equipamentos convencionais (JORGENSEN, 1994 *apud* BALTAR, BASTOS, LUZ, 2005). No Brasil, o método de lavra utilizado é a céu aberto, por meio de bancadas simples (Figura 2.11) (PERES *et al.*, 2001 *apud* BALTAR, BASTOS, LUZ, 2005).

Figura 2.11 – Lavra de gipsita na região do Araripe Pernambucano.



(Fonte: BALTAR, FREITAS, 2012)

Na Empresa Mineradora São Jorge, em Ouricuri-PE, as bancadas são desenvolvidas com aproximadamente de 20 m de altura e talude de inclinação de 15°. O trabalho é mecanizado e a recuperação na lavra é de 90 % com relação estéril:minério é de 1:2. A espessura média do capeamento é de 13 m (LUZ *et al.*, 2001 *apud* BALTAR, BASTOS, LUZ, 2005). O desmonte é feito por explosivo obedecendo um plano de fogo (BALTAR, BASTOS, LUZ, 2005).

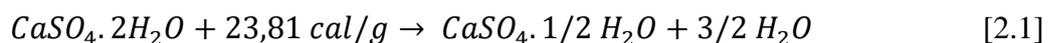
Na Empresa INGESEL, o minério, ainda em blocos, passa ainda na mina, por um processo de catação manual onde a espécie conhecida como boro (gipsita misturada com argila) é separada das espécies conhecidas como cocadinha, rapadura e estrelinha. O boro é utilizado como “gesso” agrícola. (BALTAR, BASTOS, DA LUZ, 2005).

2.1.2.2 Calcinação da gipsita e obtenção do gesso

Após saída da mina, a gipsita vai para a unidade calcinadora, onde, o minério em blocos passa por um conjunto de processos mecânicos e físico-químicos (ARAÚJO, MARTINS, 2012). Esses processos podem envolver catação manual, britagem, rebritagem, peneiramento, ensilamento, calcinação, estabilização térmica em silos, moagem e ensacamento (BALTAR, BASTOS, LUZ, 2004).

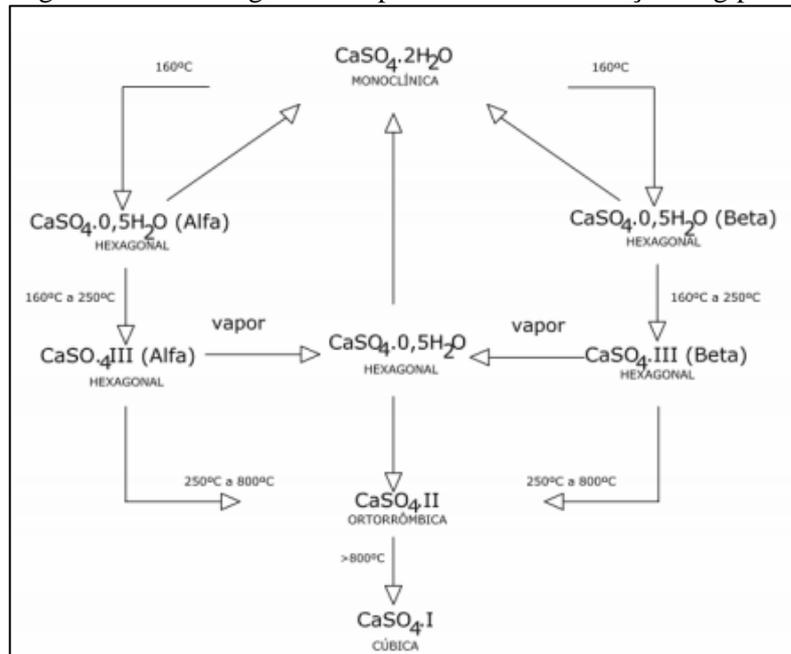
O gesso, em alguns casos, pode passar por um período de ensilamento, denominado de estabilização, que segundo Peres *et al.* (2001) *apud* Araújo e Martins (2012), tem a finalidade de obter maior homogeneização na composição final do produto.

Uma das etapas mais importantes do processo de produção de gesso, é a calcinação, que consiste no processo de desidratação da gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). É um processo térmico pelo qual o mineral gipsita é desidratado. O material é calcinado numa faixa de temperatura de 140°C a 160°C, para que 75 % da água de cristalização seja retirada da estrutura para obter o hemihidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$), conforme mostrado na Equação [2.1] (BARBOSA, FERRAZ, SANTOS, 2014).



O processo de calcinação da gipsita para obtenção do gesso envolve a quebra de ligações, a autodifusão da água entre os poros, bem como a reordenação dos íons Ca^{2+} SO_4^{2-} (GARCIA-GUINEA *et al.*, 2008). Assim sendo, ocorrem mudanças no sistema cristalino dos produtos obtidos, conforme esquema da Figura 2.12.

Figura 2.12 – Fluxograma dos produtos da desidratação da gipsita.



(Fonte: SILVA, 2010)

Para calcinação, além da escolha adequada da variedade mineralógica, há a necessidade de controle de parâmetros operacionais importantes, tais como: tipo de forno, temperatura de calcinação, tempo de cozimento, tipo e concentração de aditivos, entre outros, que vão exercer influência no tipo e qualidade do gesso produzido (BALTAR, BASTOS, BORGES, 2004).

Há ainda impurezas que precisam ser controladas, tais como (CALVO, 2003 *apud* OLIVEIRA *et al.*, 2012):

- Pirita, responsável pela presença de manchas escuras na rocha. Seu teor é tolerável até 1%.
- Anidrita, material inerte que forma nódulos duros. É tolerável apenas na fabricação de gesso beta para revestimento, controlando-se o seu teor de acordo com o tempo de pega desejado. Ela também pode se formar durante a calcinação da gipsita, se a temperatura ultrapassar determinados limites (800°C).

Para a produção do hemi-hidrato α , utiliza-se a variedade mineralógica de gipsita conhecida por pedra Jonhson e para o hemi-hidrato β , utilizam-se as variedades conhecidas com cocadinha, rapadura e estrelinha, todas com teores de pureza acima de 90 % (BALTAR, BASTOS, BORGES, 2004).

Segundo Araújo e Martins (2012), a calcinação é uma atividade que exige um contingente considerável de trabalhadores, sendo geralmente necessário algum que disponha de

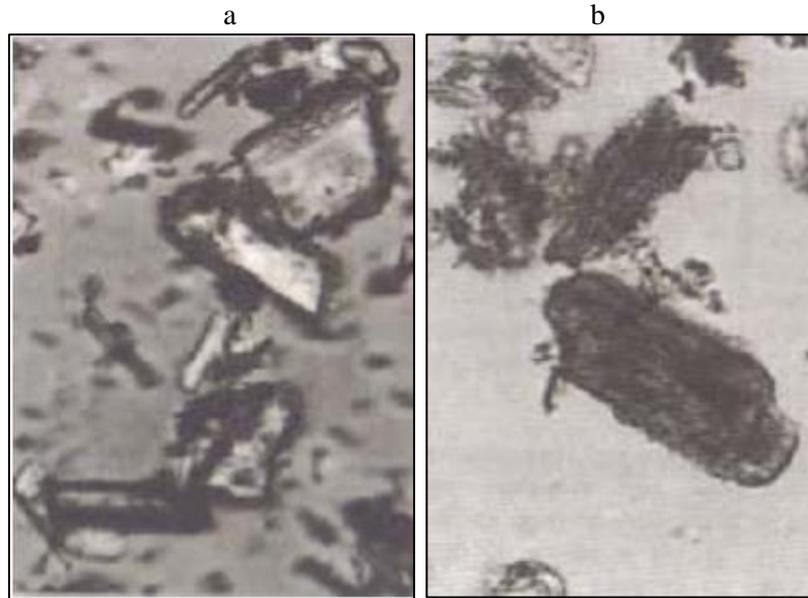
conhecimentos para operar as fornalhas, fazer o carregamento dos fornos, controlar o tempo da fornada, entre outras etapas. No entanto, nem sempre se observa essa qualificação, porque os operadores de máquinas e equipamentos aprendem no dia-a-dia, na prática, com os demais operários que têm mais tempo de serviço.

Baltar, Bastos e Luz (2005) relatam que o processo pode ser realizado em diferentes tipos de fornos, os quais devem assegurar uma distribuição e desidratação regular do material. A calcinação pode ser obtida por via seca ou por via úmida. O funcionamento pode ser intermitente (batelada) ou contínuo. A calcinação da gipsita pode ocorrer em fornos sob pressão atmosférica ou em autoclaves (BALTAR, BASTOS, LUZ, 2005). Se o minério for calcinado a seco sob pressão atmosférica, ou baixa pressão, será obtido o hemi-hidrato β (calcinação via seca). Se ocorrer sob pressão de vapor de água saturante, será obtido o hemi-hidrato α (calcinação via úmida).

O gesso α , devido ao seu processo de produção, apresenta aplicações mais nobres (gesso hospitalar e odontológico) e, conseqüentemente, alcança preços mais elevados (BARBOSA, FERRAZ, SANTOS, 2014). O preço de hemi-hidrato α é cerca de 6 vezes maior do que o do hemi-hidrato β (REGUEIRO E LOMBARDEIRO, 1997 *apud* BALTAR, BASTOS, LUZ, 2005). O gesso alfa é caracterizado por apresentar cristais compactos, regulares e resistentes (Figura 6a) (BALTAR, BASTOS, BORGES, 2004; OLIVEIRA, 2014).

Os fornos para a produção do gesso β operam a uma temperatura entre 125 e 160°C. Nessas condições, a água de cristalização é liberada, rapidamente, produzidos cristais mal formados e porosos, resultando em um produto que se caracteriza pela forma irregular e natureza esponjosa dos seus cristais (Figura 6b) (BARBOSA, FERRAZ, SANTOS, 2014; OLIVEIRA, 2014). O gesso β , com custo de produção mais baixo, predomina na construção nacional (BARBOSA, FERRAZ, SANTOS, 2014). Dentre os tipos de gesso β , destacam-se os de fundição (tipo A) e os de revestimento (tipo B), sendo ambos produzidos no Brasil sem a adição de aditivos químicos (BALTAR *et al.* 2004a *apud* BALTAR, BASTOS, LUZ, 2005).

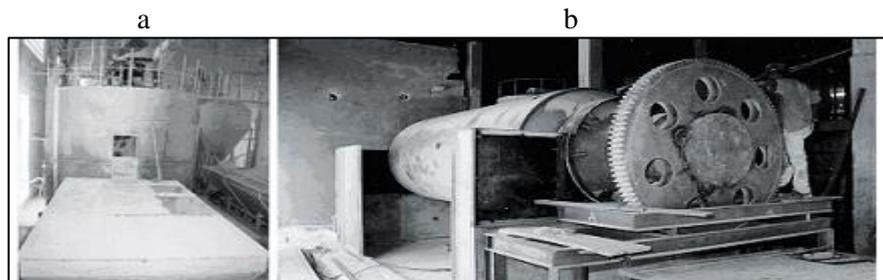
Figura 2.13 – Partículas a) hemi-hidrato α e b) hemi-hidrato β .



(Fonte: CINCOTTO *et al.*, 1985a)

No Polo Gesseiro do Araripe predomina o uso dos fornos intermitentes sobre os fornos rotativos contínuos, mostrados nas Figuras 8 e 9. Esses últimos, quando bem controlado em termos de suas variáveis operacionais (temperatura, tempo de residência, velocidade de rotação) possibilita a obtenção de um produto mais uniforme (BALTAR, BASTOS, BORGES, 2004). Segundo Silva (2003), um dos mais utilizados no Polo Gesseiro é o intermitente chamado barriga quente, que se caracterizam por um formato tubular tronco-cônica (SANTANA, 2008).

Figura 2.14 – Alguns fornos intermitentes utilizados na produção do gesso beta: a) marmitta vertical; b) marmitta horizontal.



(Fonte: BALTAR, FREITAS, 2012)

Figura 2.15 – Fornos rotativos para calcinação do gesso beta: a) contínuo; b) batelada.



(Fonte: BALTAR, FREITAS, 2012)

2.1.3 Tipos de gesso

Cinco tipos de gesso são obtidos em função da temperatura e pressão utilizadas no processo de calcinação, o que define, também, suas propriedades nos estados fresco e endurecido, incluindo o tempo de pega e a resistência mecânica (JOHN, CINCOTTO, 2007).

O primeiro tipo é o hemi-hidrato de cálcio α ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$). Pastas com esse tipo de gesso apresentam grande fluidez, propriedade que permite a utilização em peças pré-moldadas com excelente desempenho mecânico (PERES, BENACHOUR, SANTOS, 2008). Após a mistura com água, obtém-se um produto com maior resistência mecânica e menor consistência. Essa última característica possibilita a trabalhabilidade da mistura com uma menor relação água/gesso (BALTAR, BASTOS, BORGES, 2004).

Os outros quatro tipos de gesso são calcinados a partir das variedades cocadinha, rapadura e estrelinha, em pressão próximas as atmosféricas e, a depender da faixa de temperatura de calcinação, são classificados, de acordo com John e Cincotto (2007), Monção Junior (2008), Peres, Benachour, Santos (2008) e Cincotto, Agopyan, Florindo (1985a), como sendo:

- **Hemi-hidratos ou hemi-hidrato β ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$):** Tipo mais comum de gesso para construção. A depender da temperatura e pressão, o número de moléculas de água de cristalização varia entre 0,15 e 0,66, com o valor típico de 0,5, de onde origina o nome hemi-hidrato. Para produzir esse tipo de gesso é necessária uma temperatura entre 140°C e 160°C . A temperatura de calcinação para a produção deste tipo de gesso, assim como sua reação química são apresentadas na Equação [2.2]:



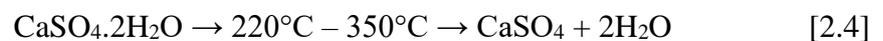
Observa-se que o hemi-hidrato tem uma composição formada por 93,79% de sulfato de cálcio e 6,21% de água de cristalização.

- **Anidrita III ou anidrita solúvel ($\text{CaSO}_4 \cdot \epsilon\text{H}_2\text{O}$):** É uma fase intermediária entre o hemi-hidrato e a anidrita II insolúvel. É muito reativo, sendo usado amplamente como acelerador de pega do gesso, podendo se transformar em hemi-hidrato apenas na presença da umidade do ar. Sua fórmula pode conter um teor de água de cristalização ϵ de 0,06 a 0,11 moléculas e a temperatura de calcinação necessária à produção deste tipo de gesso varia entre 160°C e 190°C , conforme se observa na Equação [2.3]:



A mistura da anidrita III com o hemi-hidrato β apresenta um tempo de pega bastante curto e variável. Pode ser utilizada, principalmente, em fábricas de pré-moldados como gesso de fundição.

- **Anidrita II ou anidrita insolúvel (CaSO_4):** Entre 220°C e 350°C é produzido esse tipo de anidrita:



A mistura da anidrita II com o hemi-hidrato β normalmente é utilizada para gesso para revestimento e pode levar até 7 dias para se hidratar. A fração calcinada entre 700 e 800°C é denominada anidrita calcinada à morte e hidrata-se após alguns meses. O produto da hidratação da anidrita é caracterizado por possuir porosidade reduzida, alta capacidade de resistência mecânica e dureza elevada.

- **Anidrita I ou anidrita- α (CaSO_4):** Obtida quando a gipsita é calcinada em temperaturas que variam de 1100 e 1200°C . Esse tipo de gesso possui tempo de pega e endurecimento lentos e resulta em uma massa dura e tenaz. Essa fase pode conter óxidos de cálcio (cal livre), devido ao início do processo de dissociação térmica do CaSO_4 , possível já a partir de 800°C . Por isso, essa fase pode ser chamada de não pura.

A 1350°C , ocorre a fusão, e acima de 1450°C , dissociação da anidrita em anidrido sulfúrico e em óxido de cálcio (JOHN, CINCOTTO, 2007).

A desidratação da gipsita produz o hemi-hidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$), a anidrita III ($\text{CaSO}_4 \cdot \varepsilon\text{H}_2\text{O}$), e a anidrita II (CaSO_4). O material obtido não é totalmente homogêneo devido à variação de temperatura no interior do forno. Portanto, o gesso comercial, usado em construções, contém os três compostos: hemi-hidrato e as anidritas III e II, em menores proporções (DE MILITO, 2001), além da gipsita devido a calcinação insuficiente ou moagem grossa da matéria prima (JOHN, CINCOTTO, 2007).

2.1.4 Hidratação do gesso

A aplicação do gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) na construção civil ocorre por meio da hidratação do material em pó, através de um fenômeno químico e físico cujo processo tem início no momento em que o gesso entra em contato com a água, produzindo uma pasta homogênea que adquire plasticidade rapidamente e vai se solidificando até o seu endurecimento, quando o material adquire resistência mecânica, retornando a sua forma estável de di-hidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (JOHN, CINCOTTO, 2007). Características de trabalhabilidade, de tempo de pega e a variação dimensional das pastas são observadas durante a hidratação da pasta de gesso.

Para John e Cincotto (2007), a hidratação permite que o material, antes pulverulento, obtenha condições de trabalhabilidade ao assumir uma consistência pastosa. A reação é exotérmica e o calor liberado durante o processo, chamado de calor de hidratação, é um parâmetro utilizado para estimar a qualidade e a velocidade da reação no gesso. A hidratação do hemi-hidrato é dada pela Equação [2.5]:

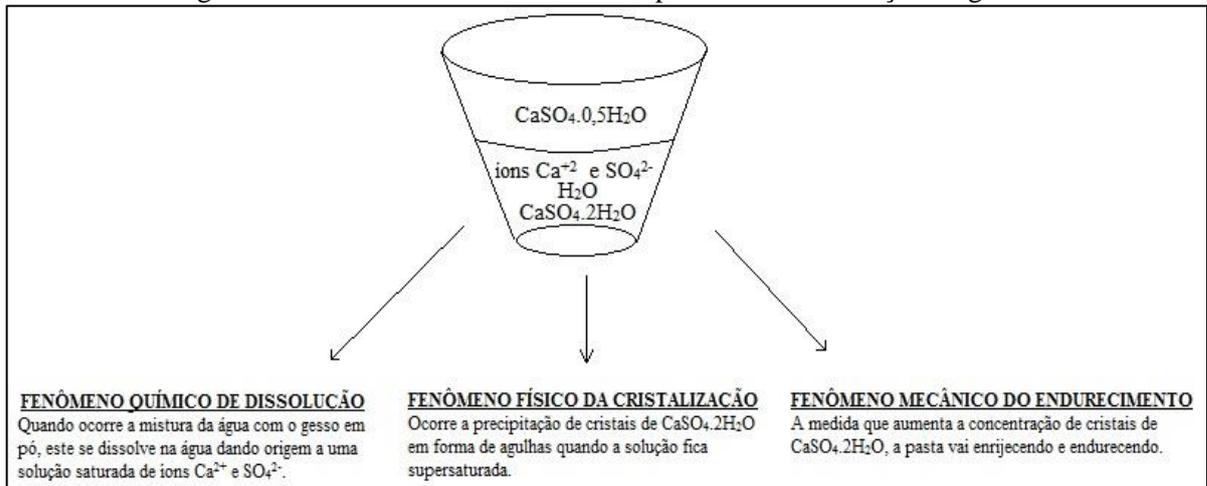


Karni e Karni (1995) e Antunes e John (2000) descrevem o mecanismo de hidratação que Le Chatelier explicou em 1887 como sendo dividido em três etapas:

- Fenômeno químico da dissolução – o gesso em pó é misturado com a água de amassamento. Assim, os cristais do hemi-hidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) se dissolvem dando origem a uma solução saturada de íons Ca^{2+} e SO_4^{2-} ;
- Fenômeno físico da cristalização – os cristais de di-hidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) precipitam em forma de agulhas quando a solução fica supersaturada;
- Fenômeno mecânico do endurecimento – com o aumento da concentração dos cristais há o endurecimento da pasta.

O diagrama da Figura 2.16 esquematiza o mecanismo de hidratação explicado por Le Chatelier.

Figura 2.16 – Fenômenos envolvidos no processo de hidratação do gesso.

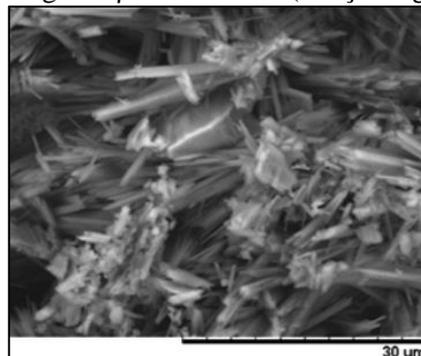


(Fonte: adaptação BARBOSA, 2012 *apud* COSTA, 2013)

Os cristais de di-hidrato crescem a partir de germes de cristalização ou núcleos. A quantidade de núcleos presentes na solução influencia o tamanho dos cristais e a taxa de crescimento da microestrutura: quando existem muitos núcleos o crescimento é rápido e os cristais formados são menores e mais numerosos por unidade de volume; quando há formação de poucos núcleos o crescimento é lento e são formados cristais maiores em menor quantidade. Estes fatores interferem nas propriedades mecânicas da pasta de gesso endurecida, visto que as microestruturas formadas por cristais grandes são menos resistentes e mais porosas que as formadas por cristais pequenos, que são mais densas (SCHMITZ, TAVARES, 2009).

O resultado da hidratação de gesso (não misturado) a cerca de 20-25°C é a produção de uma massa porosa interbloqueada de cristalitos de gesso orientados aleatoriamente uns em relação aos outros razoavelmente "perfeitos", tipicamente comprimidos alongados de comprimentos de 10-20 μm e espessuras de apenas alguns μm (GARTNER, 2009). A estrutura de uma pasta de gesso misturada pode ser vista na Figura 2.17.

Figura 2.17 – Micrografia obtida em microscópio eletrônico de varredura da fratura do gesso β di-hidratado (relação a/g= 0,6).



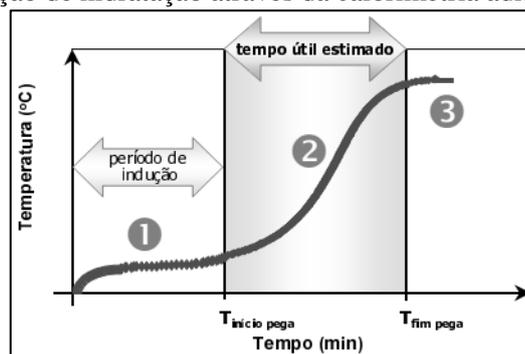
(Fonte: BARBOSA, FERRAZ, SANTOS, 2014)

Neste contexto, introduz-se o conceito de tempo de pega, que é descrito segundo um fenômeno físico. O início da reação corresponde à formação de núcleos de cristais de gipsita que crescem durante o período de indução. Em seguida, os cristais di-hidrato começam a se precipitar acarretando um aumento na consistência da pasta, conhecido como início da pega. Com o aumento da taxa de reação de hidratação a pasta vai adquirindo cada vez mais resistência mecânica até o seu completo endurecimento, podendo-se dizer então, que se deu o fim da pega (ANTUNES, JOHN, 2000).

Clifton (1973) verificou que o mecanismo de hidratação do gesso é de dissolução-precipitação (teoria da cristalização): dissolução do hemi-hidrato e precipitação do di-hidrato, e, explicou o fenômeno da pega das pastas de gesso por meio de curvas de calor de hidratação obtidas a partir da calorimetria adiabática. As etapas para o mecanismo, de acordo com a Figura 2.18, são:

- 1) Uma pequena hidratação seguida do período de indução. Esta fase é finalizada pelo início da pega, que é o momento em que a taxa de acréscimo da temperatura ultrapassa $0,1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ (RIDGE, 1959 *apud* ANTUNES, JOHN, 2000);
- 2) A etapa é definida pela elevação rápida da temperatura, que é a evolução rápida da reação de hidratação;
- 3) O ponto máximo de acréscimo da temperatura, que corresponde à conclusão da hidratação, ou seja, ao final da pega.

Figura 2.18 – Etapas da reação de hidratação através da calorimetria adiabática e tempo útil estimado.



(Fonte: ANTUNES, JOHN, 2000)

Esta curva pode ser obtida utilizando-se um calorímetro pseudoadiabático e, por meio dela, é possível obter o tempo útil do gesso, ou seja, a faixa de consistência adequada para sua utilização (SCHMITZ, TAVARES, 2009).

Na hidratação, o hemi-hidrato e a anidrita retomam a quantidade de água que foi perdida durante o processo de calcinação, retornando ao sulfato de cálcio di-hidratado. Porém, as velocidades

das reações são distintas, sendo mais rápida para a anidrita III, o hemi-hidrato, anidrita II e anidrita I, nesta ordem. Assim, o início de pega depende do constituinte de pega mais rápida, e o endurecimento, do mais lento, de modo que, sendo a hidratação da anidrita II mais lenta que a do hemi-hidrato, a sua hidratação preenche os vazios e impede a retração de secagem e, conseqüentemente, a fissuração (LE COVEC, 1978 *apud* JOHN, CINCOTTO, 2007).

Segundo Gomes (2012) e John e Cincotto (2007), durante a hidratação, o hemi-hidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) consumirá entre 0,85 e 0,33 moléculas de água e anidrita II ou anidrita insolúvel (CaSO_4), duas moléculas de água e necessita de muito tempo para concluir o processo.

De acordo com Karmazsin e Murat (1977) *apud* John e Cincotto (2007), à medida que aumenta a superfície específica, tem-se uma maior área de reação, mais rápida a dissolução e menor é o período de indução da pasta, portanto, mais rápido o início de pega do material.

Quanto a energia de mistura, acelera-se a hidratação das pastas de gesso por facilitar a dispersão do pó na água de amassamento (BLAINE, 1997 *apud* ANTUNES, JOHN, 2000) e possibilita a formação de mais núcleos de cristalização (ANTUNES, JOHN, 2000).

Sucintamente, de acordo com Antunes e John (2000), a relação a/g, a temperatura da água de amassamento, a matéria-prima e as condições de produção do gesso, a energia de mistura, as impurezas e o tamanho das partículas influenciam a cinética da reação de hidratação, sendo o primeiro fator, o de maior influência. Qualquer parâmetro que altere a inclinação do trecho ascendente da curva de calor de hidratação, ou seja, a taxa de formação da estrutura cristalina da gipsita exercerá influência sobre o tempo útil³.

De acordo com Stav e Bentur (1995) *apud* Antunes e John (2000), no início de pega determinado pela agulha de Vicat, NBR 12128 (1991), aproximadamente 10% de di-hidrato já está formado.

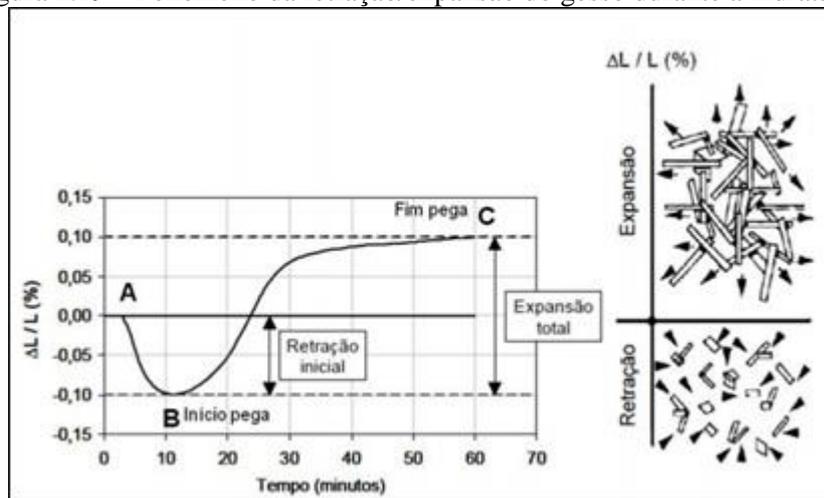
A reação de hidratação do gesso se processa com um aumento de volume, da ordem de 0,03 a 0,15% a depender do tipo de gesso (PERES *et al.*, 2008; GARTNER, 2009). De acordo com John e Cincotto (2007), quando o gesso é misturado com a água, deveria se esperar uma ligeira contração, uma vez que o di-hidrato resultante apresenta uma densidade menor que o hemi-hidrato (densidade de 2,62 g/cm³ para 2,31 g/cm³). Entretanto, após uma fase inicial de

³ Antunes e John (2000) define como sendo tempo disponível para a aplicação do revestimento em pasta de gesso, ou seja, o intervalo de tempo em que a pasta se encontra dentro da faixa de consistência útil.

contração, tem-se um aumento do volume devido ao arranjo geométrico dos cristais, que causa a formação de poros.

Por outro lado, durante a secagem, o gesso sofre uma pequena retração, de aproximadamente um décimo do valor da expansão, provocada pelo deslocamento da água de mistura que se evapora. Assim, o gesso hidratado e seco apresenta uma dilatação volumétrica positiva (PERES *et al.*, 2008; JOHN, CINCOTTO, 2007). Para Karni e Karni (1995), esses valores podem representar um aumento de volume de até 3%. O esquema da Figura 2.19 ilustra o fenômeno da retração/expansão do gesso durante a hidratação.

Figura 2.19 – Fenômeno da retração/expansão do gesso durante a hidratação.



(Fonte: CASPAR *et al.*, 1996 *apud* GMOUH *et al.*, 2004)

Segundo Karni e Karni (1995), a magnitude da expansão do gesso é influenciada pelos seguintes fatores: a finura do gesso (quanto mais fino, maior a expansão); a relação água/gesso (quanto maior a relação, menor a expansão); o emprego de aditivos (diminui a expansão durante a pega) e a presença de inertes (areia e argila, por exemplo, reduzem a expansão).

Para Peres *et al.* (2008) e John e Cincotto (2007), essa expansão é uma das características que torna o gesso um excelente material para moldagem, já que a expansão o força a preencher todas as fendas e detalhes das matrizes ou moldes.

2.1.5 Importância do controle tecnológico de calcinação da gipsita e de preparo do gesso

Para cada aplicação, deve-se ter tipos de gessos com características adequadas. É neste contexto, que surge a importância do conhecimento da origem mineralógica e do controle da produção de gesso.

A falta de controle tecnológico na produção do gesso no Polo Gesseiro do Araripe tem originado gessos com problemas de conformidade com as normas, como variação no tempo de pega e no ganho de resistência mecânica, que prejudicam o seu desempenho em componentes e argamassas. Além disso, o material que não está em conformidade para uso pode se tornar rejeito, descartado de modo inadequado, o que causa poluição ao meio ambiente. De acordo com o Ministério Público de Pernambuco (2013), estimativas apontam que, do total produzido, 5 % são descartados.

O teor de impurezas presente no minério de gipsita altera a velocidade de hidratação, o tempo de pega, bem como a resistência mecânica do produto final. Segundo Angeleri, Cardoso, Santos (1983) *apud* Pinheiro (2011), algumas espécies químicas de sais podem alterar a pega do material, cujos teores devem ser controlados antes que o minério seja encaminhado para o processo de produção do gesso.

Assim, além da escolha adequada da origem mineralógica, há a necessidade de controle de parâmetros operacionais importantes, tais como, temperatura de calcinação, tempo de cozimento, tipo e concentração de aditivos, além de fatores como finura do hemi-hidrato, velocidade de mistura, relação água/gesso, tempo de mistura, temperatura de preparo da pasta e forma dos grãos, entre outros, todos exercendo considerável influência no tipo e qualidade do gesso produzido (BALTAR, BASTOS, BORGES, 2004; BARDELLA, 2011).

A saber, no Polo Gesseiro do Araripe predomina o uso dos fornos intermitentes sobre os fornos Rotativos contínuos. Esse último, quando bem controlado possibilita a obtenção de um produto mais uniforme. Nos fornos intermitentes, a heterogeneidade do produto resulta do fato de que cada batelada envolve de 4 a 8 toneladas de gesso que são descarregados em um tempo de 3 a 20 minutos. O que indica que o produto que sai no início da operação apresenta características diferentes daquele que é descarregado no final da operação de calcinação. A heterogeneidade implica em uma ligeira variação no tempo de pega do produto (BALTAR, BASTOS, BORGES, 2004).

O problema da variação do tempo de pega é mais crítico no caso do gesso de fundição, considerando-se que esse tipo de gesso é utilizado em um sistema produtivo em série, o que pode provocar um descompasso na linha de produção (BALTAR, BASTOS, BORGES, 2004).

Baltar, Bastos e Borges (2004) explicam que a operação de descarga dos fornos intermitentes é uma característica determinante na qualidade do gesso de fundição. Para se conseguir o gesso

com tempo de pega ótimo para fundição o processo de descarga necessitaria ser iniciado um pouco antes da temperatura ideal. Neste contexto, para a produção de um gesso de fundição de melhor qualidade deve-se proceder à calcinação em fornos contínuos.

As diferentes frações dos constituintes do gesso alteram a pega do material, devido às diferentes velocidades de reação (JOHN, CINCOTTO, 2007). Bauer (2000) explica que a calcinação em temperaturas mais elevadas ou durante um tempo maior, leva a formação de um material de pega mais lenta, entretanto com maior resistência. O autor ainda acrescenta que o material super cozido, com predominância de sulfato de cálcio anidrido, não dá pega e por isso não possui valor aglomerante. Tydlitát, Medved, Cerný (2012) explicam que isso é causado pela tecnologia de produção de gesso, em particular, pelo método de aquecimento e pela temperatura escolhida do processo de calcinação.

O tamanho das partículas influencia a cinética da reação. O aumento da área superficial específica do gesso faz com que este se torne mais reativo na preparação com a água, tornando-se assim um material com pega mais rápida e de maior resistência, devido ao aumento da área superficial disponível para hidratação que deixa a mistura mais saturada (CANUT, 2006; BAUER, 2000).

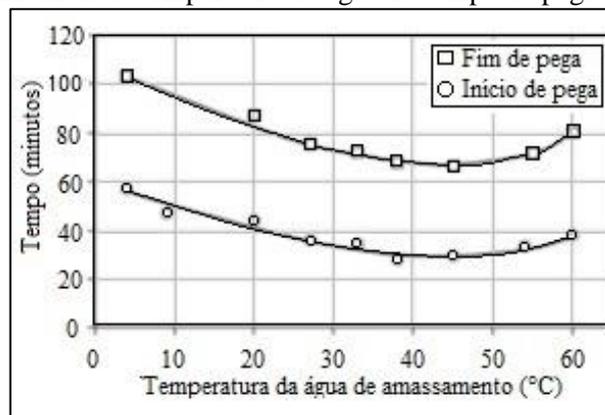
Ye *et al.* (2011) realizaram um estudo sobre a distribuição de tamanho de partícula de hemi-hidrato de sulfato de cálcio α por meio da função de distribuição de Rosin-Rammler-Bennett. A hidratação do gesso e o desenvolvimento da resistência à compressão da pasta foram correlacionados com os parâmetros da função de distribuição, com foco no efeito singular da finura da partícula (descrita pelo tamanho de partícula característico) e largura de distribuição (descrita pelo coeficiente de uniformidade do método). O efeito da finura da partícula é mais pronunciado do que o da largura da distribuição. A finura da partícula tem um grande efeito na taxa de hidratação do gesso e no desenvolvimento da resistência à compressão. Entretanto, os autores mostram que a influência é entendida quando em conjunto: distribuição, finura e largura de distribuição.

Adrien *et al.* (2016) concluíram em seus estudos que, um papel crítico desempenhado pelo tamanho de partícula (finura) de hemi-hidrato: pequenas partículas de hemi-hidrato foram rapidamente dissolvidas, enquanto que as partículas grandes ainda não estavam completamente dissolvidas muito depois do material ter começado a endurecer. Os pesquisadores ainda mostraram que a dissolução final das maiores partículas levou à formação de mesoporos no material hidratado.

A relação água/gesso influencia o fenômeno de pega, de ganho de resistência e de porosidade do produto final. Em geral, quanto menor a relação água/gesso, mais rápida é a pega do material (KARMAZSIN, MURAT, 1977, *apud* JOHN, CINCOTTO, 2007) e maior sua porosidade (BARBOSA, FERRAZ, SANTOS, 2014).

A temperatura da água de amassamento para dosagem das pastas de gesso altera a solubilidade do hemi-hidrato, modificando, assim, o tempo de pega. Clifton (1973) mostra que, até temperaturas de 45°C, tem-se um aumento da solubilidade do hemi-hidrato e, conseqüentemente, redução do tempo de pega. O tempo de pega volta a aumentar para temperaturas acima desta. Esse comportamento pode ser observado pela Figura 2.20.

Figura 2.20 – Influência da temperatura da água no tempo de pega da pasta de gesso.



(Fonte: CLIFTON, 1973)

Cardoso *et al.* (2009) mostraram também que o processo de mistura influencia aumentando ou diminuindo o tempo de pega a depender do tipo de gesso, sendo ele com aditivos ou não. O gesso puro foi acelerado quando misturados mecanicamente devido à formação de sementes para a nucleação de cristais di-hidratados. Por outro lado, o gesso comercial foi retardado quando submetida à mistura mecânica, como resultado da maior homogeneidade do gesso e melhor dispersão retardador adicionado.

Esses aspectos reforçam a necessidade de um adequado controle de produção. É a ausência desse que é responsável pela obtenção de produtos fora de conformidade com as normatizações pertinentes.

2.1.6 Aplicações

Devido às suas características particulares, a gipsita, nas formas natural e calcinada, encontra aplicações em várias áreas.

A forma natural da gipsita é amplamente utilizada na fabricação de cimento Portland e na agricultura. Na indústria cimenteira, a gipsita é adicionada ao clínquer durante a moagem, na proporção de 2 a 5 %, para retardar o tempo de pega do cimento (variedades alabastro, boró e anidrita). Na agricultura, a gipsita pode atuar como: (i) agente corretivo de solos ácidos, como fonte de cálcio; (ii) como fertilizante em culturas específicas como amendoim, batatas, legumes e algodão e (iii) como condicionador de solos, aumentando a permeabilidade, a aeração, a drenagem, a penetração e retenção da água (VELHO *et al.*, 1998 *apud* BALTAR, BASTOS, BORGES, 2004).

Na forma calcinada, o campo de utilização do hemi-hidrato (gesso) pode ser dividido em dois grandes grupos: o gesso para construção civil, que pode ser do tipo A (gesso de fundição) ou do tipo B (gesso de revestimento), e o gesso industrial.

O gesso de fundição (tipo A) é utilizado para a confecção de pré-moldados de gesso, estando compreendido nesse grupo as placas para execução de forros suspensos e os blocos para divisórias, destinados à construção civil ou para confecção de elementos decorativos como sancas, estatuetas e imagens (BALTAR, BASTOS, BORGES, 2004).

O gesso de revestimento (tipo B) é utilizado para paredes e tetos, geralmente em substituição de rebocos e/ou massas para acabamento. Devido ao fato de poder ser aplicado manualmente, em toda a extensão da parede ou teto, o tempo de pega é uma característica importante, devendo ser suficiente para que o aplicador possa concluir o serviço antes que o produto complete o seu ciclo de endurecimento (BALTAR, BASTOS, BORGES, 2004).

O gesso industrial é um produto de maior pureza e valor agregado, podendo ser obtido a partir dos hemi-hidratos α ou β dependendo da aplicação, como em cerâmica, indústria do vidro, carga mineral, indústria farmacêutica, decoração, giz escolar, bandagens de alta resistência, indústria automobilística, entre outros (REGUEIRO E LOMBARDEIRO, 1997 *apud* BALTAR, BASTOS, LUZ, 2005).

2.1.7 Normatização

O estudo de qualquer subsistema de uma edificação precisa de uma análise das normas que tratam das suas características. Elas têm o objetivo de garantir o desempenho completo desses subsistemas caso sejam atendidos os critérios exigidos e os procedimentos de execução. As normas técnicas são muito importantes para reduzir as incertezas quanto à conformidade dos

materiais e componentes da construção proporcionando, também, às construtoras e usuários uma certa segurança, sob o ponto de vista legal, acerca de todos os aspectos que envolvem uma edificação (SILVA, 2004). Nakamura (2013) resume o conceito de normas como sendo “documentos para a garantia de qualidade”.

De acordo com Peres, Benachour, Santos (2008), no Brasil, há praticamente todos os tipos de gesso disponíveis no mercado internacional. No entanto, apenas 3 tipos são normatizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), sendo eles gessos de fundição de revestimento (com e sem aditivo) e gesso cola. Os outros tipos de gesso produzidos e comercializados no Brasil atendem às normas internacionais, como gesso para revestimento projetado, contrapiso autonivelante, por exemplo.

A NBR 13207 - Gesso para construção civil - Requisitos (2017) define o gesso para construção como um material proveniente da gipsita ou resíduos de gesso, constituído predominantemente de sulfato de cálcio di-hidratado, calcinado e reduzido a pó, podendo conter adições e/ou aditivos.

Essa norma fixa os requisitos para a caracterização, inspeção, e recebimento do gesso utilizado na construção civil para fabricação de elementos, componentes e revestimento de superfícies, através de requisitos físico-químicos e mecânicos, como tempo de pega, granulometria, quantidades de água livre e de cristalização, óxido de cálcio e anidrido sulfúrico, aderência, dureza e massa unitária.

Esta nova edição da NBR 13207 (2017) não faz indicação das normas de método de ensaio que devem ser utilizadas para determinação dos valores por ela requisitados. Entretanto, pode-se inferir que algumas dessas normas são:

- NBR 12127 – Gesso para construção civil – Determinação das propriedades físicas do pó;
- NBR 12128 – Gesso para construção civil – Determinação das propriedades físicas da pasta de gesso;
- NBR 12129 – Gesso para construção civil – Determinação das propriedades mecânicas;
- NBR 12130 – Gesso para construção – Determinação de água livre e de cristalização e teores de óxido de cálcio e anidro sulfúrico.

As normas precisam ser atualizadas em dados intervalos de tempo. Josias Inojosa, empresário do ramo gesso na cidade de Araripina – PE e antigo vice-presidente do SINDUSGESSO, explica que ao longo dos anos, vários produtos adquiriram propriedades mais avançadas e novas formas de aplicação (SINDUSGESSO, 2014b). Tais modificações precisam ser acompanhadas pelas normatizações brasileiras, o que muitas vezes não acontece.

O Sindicato da Indústria do Gesso (Sindusgesso-PE) e a Associação Nacional dos Fabricantes e Comerciantes de Gesso (Assogesso) iniciaram, em 2014, um processo para consolidar e revisar as normas técnicas dos produtos de gesso, incluindo pré-moldados (blocos e placas), o pó usado em revestimentos, cola de gesso, massas para acabamento, gesso para fundição, entre outros (SINDUSGESSO, 2014b).

As NBR 12127, 12128 e 12129, que relatam métodos de ensaio, foram atualizadas este ano de 2017. A NBR 13207 foi atualizada recentemente no mês de junho de 2017. As Tabelas 2.6, 2.7, 2.8 e 2.9 apresentam as exigências físico-químicas e mecânicas necessárias à classificação do gesso de construção civil, em pó, pasta e endurecido.

Tabela 2.6 – Requisitos físicos do gesso para construção civil (tempo de pega).

Ensaio	Tempo de pega (min)	
	Início	Fim
Gesso para fundição	≤ 10	≤ 20
Gesso para revestimento (sem aditivo)	≥ 10	≥ 35
Gesso para revestimento (com aditivo)	≥ 4	≥ 50

(Fonte: NBR 13207 (2017))

Tabela 2.7 – Exigências químicas do gesso sem aditivos para a construção civil.

Determinações químicas	Limites (%)
Água livre	máx. 1,3
Água de cristalização	4,2 a 6,2
Óxido de cálcio (CaO)	mín. 38,0
Anidrido sulfúrico (SO ₃)	mín. 53,0

(Fonte: NBR 13207 (2017))

Tabela 2.8 – Requisitos físicos do gesso para construção civil (granulometria via seca).

Classificação do gesso	Granulometria mínima
Gesso para fundição	(peneira abertura 0,29 mm) ≥ 90% passante
Gesso para revestimento	(peneira abertura 0,21 mm) ≥ 90% passante

(Fonte: NBR 13207 (2017))

Tabela 2.9 – Requisitos físicos e mecânicos do gesso para construção civil.

Ensaio	Unidade	Limite
Massa unitária	g/cm ³	≥ 600,0
Dureza	N/mm ²	≥ 20,0
Aderência	Mpa	≥ 0,2

(Fonte: NBR 13207 (2017))

Neste contexto, ainda é possível se questionar se os valores obtidos de acordo com os procedimentos de ensaio das normas são requisitos necessários, adequados e suficientes para atestar a conformidade do material.

Cardoso *et al.* (2009) fizeram um estudo reológico utilizando o aparelho Vicat modificado e método de escoamento por compressão. Para os autores, o método de escoamento por compressão é mais sensível e preciso que o aparelho modificado Vicat para medir as modificações reológicas resultantes do processo de endurecimento de gesso. Caufin e Papo (1983) sugerem que seja feito o estudo da reologia da pasta através do uso de um viscosímetro. Agopyan *et al.* (2005) sugerem o uso do mesmo método (*squeeze-flow*).

Costa (2013) afirma que as prescrições normativas brasileiras, propostas pela ABNT não estabelecem um critério definido para a classificação do gesso, e comumente focam apenas nos ensaios e testes. A conclusão da autora veio após fazer um estudo sobre as normas brasileiras aplicadas ao gesso da construção civil. Diversos momentos nas pesquisas acadêmicas e em fábricas, os estudos baseiam-se em normas internacionais.

Para a NBR 13207 (2017), o gesso de fundição é aquele utilizado para a fabricação de elementos e/ou componentes para construção civil. A palavra fundição gera um conflito na utilização do termo uma vez que, a norma sugere que este gesso, quando misturado com água, seja material de elementos de gesso pré-moldado. Porém, a definição da palavra ‘fundição’ indica ser material que será descartado, sendo apenas utilizado para moldagem na fabricação de pré-moldados de outros materiais, como ocorre na fabricação de componentes cerâmicos (louças sanitárias, pratos, por exemplo). Logo, sugere-se que haja um melhoramento ou alteração do termo da norma de modo que possa abranger as duas aplicações desse tipo de gesso.

O gesso para revestimento pode ser utilizado como pasta de gesso, sendo chamado de gesso liso, ou argamassa de gesso. A antiga norma de revestimentos de argamassa, NBR 7200 (1982) - Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas, previa a utilização de argamassa mista, de gesso e cal hidratada, com traços cal hidratada:gesso, em volume, entre 1:0,1 e 1:0,2 para 3 ou 4 partes de agregado, provavelmente por influência da normalização

internacional. No entanto, o uso de argamassas de gesso não é comum no Brasil (JOHN, ANTUNES, 2002).

O gesso liso tem emprego bastante generalizado no Brasil (JOHN, ANTUNES, 2002). A NBR 13867 - Revestimento interno de paredes e tetos com pasta de gesso - Materiais, preparo, aplicação e acabamento - fixa as condições exigíveis quanto aos materiais, preparo, aplicação e acabamento de revestimentos internos de paredes e tetos com pasta de gesso, entretanto, apresenta 20 anos sem revisão. A norma apresenta alguns pontos que podem ser melhor trabalhados:

- Tempos de espera para aplicação da pasta de gesso e realização do acabamento: a norma não expõe quanto tempo de espera se deve ter para aplicação da pasta de gesso nas diferentes bases para que estejam secas e não venham afetar a qualidade do revestimento e do acabamento;
- Tratamento da base: a pasta de gesso é empregada em diversos tipos de bases, que apresentam maior ou menor aderência na interface dos materiais. A norma demonstra preocupação com a qualidade da base, no entanto, poderia fazer indicação quando necessários os diferentes tratamentos para cada tipo de base dada as características de absorção e porosidade;
- Planeza, verticalidade e regularidade superficial: sugere-se que a norma fixe desvios máximos de prumo, nível e planeza para os substratos que vão receber o revestimento em pasta de gesso;
- Espessuras: sugere-se que a norma fixe valores máximos e mínimos de espessuras;
- Tipos de gesso para revestimento: a norma cita somente um tipo de gesso para revestimento, não mencionando os demais tipos (gessos para revestimentos com finalidades especiais, compósitos a base de gesso, gesso como ligante de argamassas, entre outros);
- Método de ensaio para avaliação do produto acabado: o gesso para revestimento não apresenta normatização para avaliação em estado acabado, como acontece com argamassas inorgânicas, que podem ser avaliadas pela NBR 13528 (2010), e no âmbito internacional pela BS EN 13279-2 (2006): *Gypsum binders and gypsum plasters: Test methods* (Ligantes e revestimentos de gesso: métodos de ensaio).

Para PROAPL (2009), as normas nacionais são com frequência um eficaz obstáculo ao comércio internacional por dificultarem a configuração de fábricas altamente automatizadas, que acabam por utilizar diferentes parâmetros de aceitação de seus produtos, não se tendo um padrão nacional a ser repassado para o mercado internacional. Ainda segundo o PROAPL (2009), a referência a normas nacionais é utilizada frequentemente como ferramenta de proteção da produção local, que não contam com rigorosos requisitos de controle de qualidade. Com frequência, os laboratórios brasileiros de controle tecnológico utilizam as normas alemãs e europeias.

Entretanto, é importante lembrar que os critérios das normas brasileiras de gesso seguem alguns requisitos do padrão americano (ASTM), que é uma referência mundial. Mas, segundo Canut (2006), os requisitos de qualidade impostos ao gesso pelas normas em uso nos Estados Unidos são mais completos, abrangentes e zelosos, do que as contidas nas normas brasileiras, e em especial àquelas propostas pela ABNT.

A autora complementa afirmando que é possível observar a escassez de parâmetros e informações contidas nas normas brasileiras relativas ao gesso, fato que reforça a necessidade da realização de mais estudos focados no uso do gesso para a indústria da construção civil, a partir da reformulação e revisão das normas vigentes no Brasil.

Atualmente, essa situação ainda pode ser observada. Entretanto, as normas de gesso vêm sendo revisadas e o que se espera é que as falhas sejam corrigidas e as lacunas preenchidas.

Segundo Inojosa Filho (Sindusgesso, 2014b), as revisões vão beneficiar principalmente os consumidores finais, que contarão com parâmetros confiáveis para avaliar os produtos que estão sendo oferecidos no mercado e, assim, evitar a aquisição de itens inadequados.

O desenvolvimento do estudo de revisão das normas poderia ser motivado com uma parceria entre o Instituto de Tecnologia de Pernambuco (ITEP), que apresenta instituições no Polo Gesseiro e na capital, com capacidade para desenvolvimento de pesquisas, e foi criado para contribuir com o crescimento econômico e social do Estado, além de outras diversas instituições nacionais, como Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), que foi criado para colaborar com o processo de desenvolvimento do país.

2.2 SISTEMAS DE REVESTIMENTO EM PASTA DE GESSO

A introdução cada vez mais acelerada no mercado de novos materiais e tecnologias tem tornado os sistemas de revestimentos com características diferentes quanto à composição, função, desempenho, metodologias construtivas, mecanismos de avaliação e controle de qualidade. Uma vez que as características dos revestimentos de parâmetros interiores influenciam diretamente as condições de habitabilidade dos edifícios, é fundamental ter muita atenção aos revestimentos, sob ponto de vista dos materiais, tecnologias, aplicação e desempenho (PEREIRA, 2008).

Diversos são os tipos de revestimentos que podem ser empregados em paredes e, neste caso em questão, com base em gesso para revestimento. A BS EN 13279-1 (2008): *Gypsum binders and gypsum plasters. Definitions and requirements* (Ligantes e revestimentos de gesso: definições e requisitos) classifica os revestimentos de gesso de acordo com a Quadro 2.3, sendo o revestimento de gesso (B1) de comum utilização no Brasil.

Quadro 2.3 – Tipos de revestimentos correntes com base em gesso.

Designação	Notação
<u>Gesso (<i>Gypsum Binder</i>)</u>	<u>A</u>
<u>Revestimento com base em gesso (<i>Gypsum plaster</i>)</u>	<u>B</u>
Revestimento de gesso (<i>Gypsum building plaster</i>)	B1
Revestimento com base em gesso (<i>Gypsum based building plaster</i>)	B2
Revestimento de gesso e cal (<i>Gypsum-lime building plaster</i>)	B3
Revestimento aligeirado ¹ de gesso (<i>Lightweight gypsum building plaster</i>)	B4
Revestimento aligeirado com base em gesso (<i>lightweight gypsum based building plaster</i>)	B5
Revestimento aligeirado de gesso e cal (<i>Lightweight gypsum-lime building plaster</i>)	B6
Revestimento com base em gesso com dureza superficial melhorada (<i>Gypsum plaster for plasterwork with enhanced surfaced hardness</i>)	B7
<u>Revestimento com base em gesso para aplicações especiais (<i>Gypsum plaster for special purposes</i>)</u>	<u>C</u>
Revestimento fibroso com base em gesso (<i>Gypsum plaster for fibrous plasterwork</i>)	C1
Gesso para assentamento com tijolo (<i>Gypsum plaster for bricklaying</i>)	C2
Gesso para isolamento acústico (<i>Acoustic plaster</i>)	C3
Gesso para isolamento térmico (<i>Thermal insulation plaster</i>)	C4
Gesso para proteção ao fogo (<i>Fire protection plaster</i>)	C5
Gesso para aplicação em camada fina (<i>Thin coat plaster</i>)	C6

¹Revestimento com incorporação de agregados leves inorgânicos, como a perlita expandida, vermiculita ou agregados leves orgânicos.

(Fonte: BS EN 13279-1 (2008))

As vantagens, desvantagens e características do emprego do revestimento em pasta de gesso podem organizadas dentro dos seguintes tópicos (DIAS, CINCOTTO, 1995; ABREU *et al.*, 2003; AKKARI, SOUZA, 2005; JOHN, CINCOTTO, 2007; PIRES SOBRINHO, 2006; TEBALDI *et al.*, 2009; DNPM, 2010; ALMEIDA, 2014; ACCORSI, 2015):

1- Matéria prima:

- É abundante no Brasil, tendo a Bahia e Pernambuco, de acordo com Anuário Mineral do ano de 2010, 39,8% e 33,2%, respectivamente, e juntos possuem 73%;
- É um material de baixo custo quando se compara com o preço do saco de cimento no Brasil, uma vez que este último é um dos ligantes mais utilizados para revestimentos de argamassa;

2- Produção:

- É de fácil mistura, utiliza apenas água e gesso, ao contrário dos revestimentos a base de cimento que necessitam de agregados para sua composição;
- Possibilita um fino acabamento em uma única camada, por não necessitar de agregados;

3- Execução:

- Apresenta boa aderência aos vários tipos de substratos (alvenaria de blocos cerâmicos, alvenaria de blocos de concreto, concreto liso, madeira, cerâmica, etc);
- Pode ser aplicado em uma única camada e com espessura fina;
- Por ter secagem rápida e espessura fina, os revestimentos em pasta de gesso possibilitam pintura em menor espaço de tempo comparados aos revestimentos a base de cimento;
- Tem mais alta produtividade, o que diminui o custo de mão de obra. Por ser aplicado em uma única camada, produtividade é muito maior quando comparada a revestimentos tradicionais a base de cimento, que pode ser aplicado com mais de uma camada, a depender da situação (chapisco e emboço) associado a este um tempo de cura ainda maior;

- Quando não existe uma mão de obra de boa qualidade e não exercita um controle de qualidade aceitável ou mesmo utiliza materiais de baixa qualidade, o processo de produção de revestimento em pasta de gesso gera um maior entulho na obra e baixo desempenho do revestimento;
- Há necessidade de um tratamento especial no gesso para recebimento da tinta em muitos casos (aplicação de selador, fundo preparador), entretanto, já há no mercado tintas que podem ser aplicadas diretamente sobre o gesso;

4- Desempenho e manutenção:

- Diminui a carga na estrutura por ter menor densidade que revestimentos convencionais (argamassas de cimento e areia);
- Aceita a aplicação de qualquer tipo de acabamento (pintura PVA, papel parede, aplicação de cerâmica ou pintura a base de cal);
- Não apresenta retração hidráulica, diferentemente dos revestimentos a base de cimento; qualquer reparo com gesso não demonstra retração ou fissuração;
- Apresenta comportamento de higroatividade⁴;
- As características de densidade, índice de vazios e finura do revestimento em pasta de gesso possibilitam bom isolamento acústico e térmico;
- Funciona como barreira de avanço do fogo⁵;
- Não é recomendável a utilização de fixadores ou caixas de instalações à base de ferro;
- A dureza ao risco é inferior quando comparada a revestimento a base de cimento;
- Não deve ser empregado em áreas molhadas devido à alta solubilidade deste material em água.

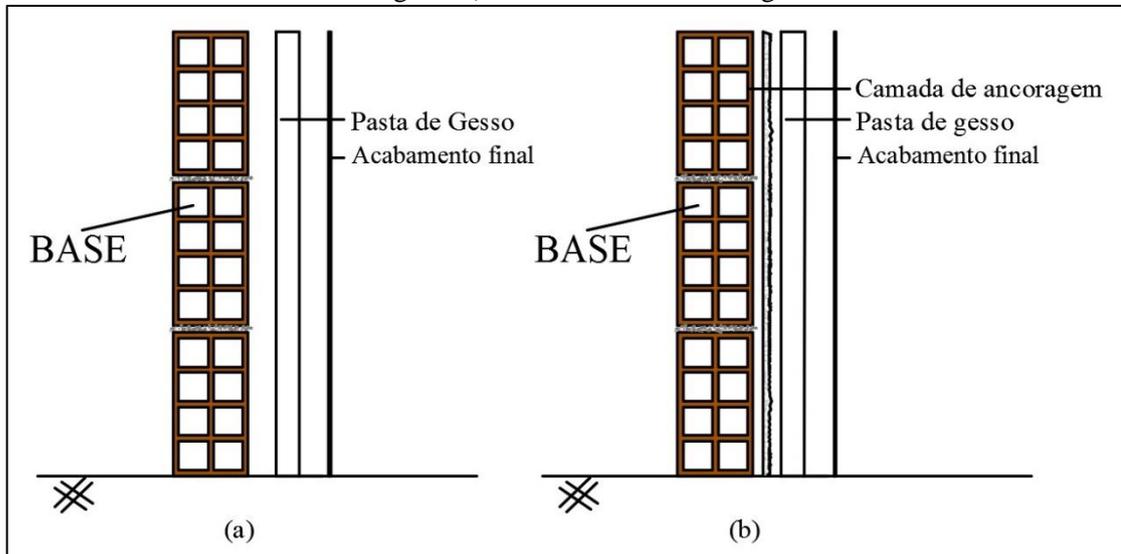
No Brasil, utiliza-se correntemente o revestimento de gesso como pasta, sendo chamado de gesso liso.

⁴ Capacidade de absorver e liberar umidade de acordo com as características do local que se encontra.

⁵ Tópico 2.2.1.4.

O sistema de revestimento em pasta de gesso pode ser entendido de acordo com o esquema da Figura 2.21, conforme com as recomendações da NBR 13867 (1997) e como é usual no Brasil. Este sistema é análogo ao de revestimento em argamassa de cimento.

Figura 2.21 – Esquema dos dois sistemas de revestimento em pasta de gesso: a) sem camada de ancoragem; b) com camada de ancoragem.



(Fonte: AUTORA, 2017)

O sistema de revestimento em pasta de gesso é composto pelo substrato/base, camada de ancoragem, como chapisco ou emulsão adesiva, quando necessário, para melhorar a absorção e a capacidade de aderência à base, uma camada única de gesso e, em seguida, a camada de acabamento, como pintura e papel de parede. Devido ao acabamento liso do gesso, este reduz o uso de massa corrida para a pintura.

De acordo com Carneiro (1993), o sistema de revestimento em argamassa de cimento é composto por 3 camadas: camada de ancoragem ou chapisco, emboço e, em seguida, a camada final ou de acabamento.

O desempenho das pastas de gesso assim como as argamassas de revestimento está relacionado com fatores associados às condições de produção, de exposição e à ação dos usuários. Cincotto *et al.* (1995) *apud* Leal (2003) separam esses fatores em extrínsecos, associados à solicitação sobre o sistema de revestimento, que podem ser vistos na Figura 2.22, e intrínsecos, que dizem respeito às propriedades e às características dos materiais componentes dos sistemas de revestimento.

Figura 2.22 – Solicitações impostas às superfícies das edificações revestidas com pasta de gesso.



(Fonte: adaptação BAUER, 1987)

Devidos a essas solicitações, Palha (2008) definiu os seguintes parâmetros de qualidade referentes ao sistema de revestimento em gesso (considerando que os revestimentos poderão ficar à vista ou serem pintados com uma tinta não texturada):

- A espessura e a dureza;
- A planeza, verticalidade e regularidade superficial;
- A aderência à base;
- A resistência à flexão e à compressão;
- A resistência à fixação e ao desenvolvimento de bolores;
- Tempo mínimo de início de pega;
- Durabilidade.

Neste contexto, serão tratadas as funções, fatores influentes, especificação de acabamento, procedimentos de execução e avaliação de sistemas de revestimento em pasta de gesso.

2.2.1 Funções do revestimento

De acordo com Veiga (2004), os revestimentos para interiores se classificam conforme as suas capacidades para desempenho das suas funções (regularização, acabamento, resistência à água e decorativos).

Carasek (2007) cita as principais funções de um revestimento utilizado em ambientes internos em paredes e tetos:

- a) proteger a alvenaria e a estrutura contra a ação do intemperismo;
- b) isolamento térmico;
- c) isolamento acústico;
- d) estanqueidade;
- e) isolamento contra o fogo;
- f) resistência a desgastes da superfície;
- g) resistência a abalos na superfície;
- h) regularização da superfície;
- i) base para acabamentos decorativos.

Lucas (1990) *apud* Pereira (2008) detalha, no Quadro 2.4, a classificação das exigências funcionais para revestimentos de gesso para paredes e tetos internos.

Quadro 2.4 – Classificação das exigências funcionais para revestimentos dosados de gesso para paredes e tetos internos.

<p>1. EXIGÊNCIAS DE SEGURANÇA</p> <ul style="list-style-type: none"> - estabilidade <ul style="list-style-type: none"> * estabilidade perante solicitações normais de uso * estabilidade perante solicitações de ocorrência acidental - segurança contra risco de incêndio <ul style="list-style-type: none"> * reação ao fogo * ação fisiológica - segurança no uso <ul style="list-style-type: none"> * toxicidade * segurança no contato 	<p>9. EXIGÊNCIAS DE CONFORTO VISUAL</p> <ul style="list-style-type: none"> - planeza <ul style="list-style-type: none"> * planeza geral *planeza localizada - verticalidade - retidão das arestas - regularidade e perfeição da superfície <ul style="list-style-type: none"> * defeitos de superfície * largura de fissuras - homogeneidade de enodoamento pela poeira - homogeneidade de cor e brilho
<p>2. EXIGÊNCIA DE COMPATIBILIDADE COM A BASE</p> <ul style="list-style-type: none"> - compatibilidade geométrica - compatibilidade mecânica - compatibilidade química 	<p>10. EXIGÊNCIAS DE ADEQUAÇÃO AO USO</p> <ul style="list-style-type: none"> - resistência a ações de choque e atrito <ul style="list-style-type: none"> * resistência aos choques * resistência ao atrito - resistência à ação da água <ul style="list-style-type: none"> * projeções acidentais de água * vapores úmidos - aderência a base <ul style="list-style-type: none"> * resistência ao arrancamento por tração - resistência à formação de nódoas de produtos químicos/ domésticos <ul style="list-style-type: none"> * resistência à formação de nódoas
<p>3. EXIGÊNCIAS DE ESTANQUEIDADE</p> <ul style="list-style-type: none"> - estanqueidade à água interior <ul style="list-style-type: none"> * permeabilidade à água/vapor de água * absorção de água 	<p>11. EXIGÊNCIAS DE DURABILIDADE</p> <ul style="list-style-type: none"> - resistência aos agentes climáticos <ul style="list-style-type: none"> * calor / frio * luz * choques térmicos - resistência aos produtos químicos do ar - resistência à erosão provocada pelas partículas em suspensão no ar - resistência à fixação e ao desenvolvimento de bolores
<p>4. EXIGÊNCIAS TERMO-HIGROMÉTRICAS</p> <ul style="list-style-type: none"> - isolamento térmico - segura dos parâmetros interiores 	<p>12. EXIGÊNCIAS DE FACILIDADE DE LIMPEZA</p>
<p>5. EXIGÊNCIAS DE QUALIDADE DO AR</p> <ul style="list-style-type: none"> - ausência de condensações superficiais interiores - ausência de emissão de odores - ausência de liberação de poluentes - ausência de liberação de poeiras 	<p>13. EXIGÊNCIAS DE APTIDÃO DE ECONOMIA</p>
<p>6. EXIGÊNCIAS DE HIGIENE</p> <ul style="list-style-type: none"> - limitação de fixação de poeiras e micro-organismos - resistência às ações de limpeza 	
<p>7. EXIGÊNCIAS DE CONFORTO ACÚSTICO</p> <ul style="list-style-type: none"> - limitação do tempo de reverberação dos locais 	
<p>8. EXIGÊNCIAS DE CONFORTO TÁCTIL</p> <ul style="list-style-type: none"> - limitação da aspereza - ausência de pegajosidade - segura 	

(Fonte: LUCAS, 1990 *apud* PEREIRA, 2008)

Algumas dessas funções serão discutidas nos próximos tópicos.

2.2.1.1 Estanqueidade à água

Carneiro (1993) afirma que a estanqueidade à água de um revestimento é assegurada pela impermeabilização. A penetração da água pode ocorrer pelas fissuras e/ou poros no revestimento. A extensão dessa penetração por meio dos poros depende da permeabilidade das várias camadas.

De acordo com a BS 5262 (BSI, 1976) *apud* Carneiro (1993), a proteção à penetração de água na interface revestimento/base evita problemas como a perda de aderência, o aparecimento de mais fissuras, quando já existe, a completa desintegração do revestimento, por efeitos de gelividade⁶ e a dissolução de sulfatos presentes no material de revestimento ou como poluente da atmosfera.

O gesso possui uma alta durabilidade quando aplicado em interiores, já em aplicações externas ou em áreas molhadas, as pastas de gesso não proporcionam um bom desempenho dada à sua alta solubilidade em água (2,1 g/L), sendo um material pouco resistente à ação da chuva (ACCORSI, 2015).

Entretanto, para Gartner (2009), os gessos também representam uma classe de "cimento", embora existam alguns que argumentam que não podem ser considerados hidráulicos, uma vez que não mantêm a resistência após longos períodos sob a água. Porém, na sua opinião, isso é apenas uma questão da escala de tempo e solubilidades relativas.

Devido a isso, a NBR 13867 (1997) alerta que o revestimento em gesso deve ser aplicado em superfícies onde não haja percolação de águas. Em regiões onde possam ocasionalmente ocorrer baixa percolação de água, recomenda-se a preparação da superfície com material impermeabilizante.

A impermeabilidade pode ser caracterizada pelo coeficiente de capilaridade e permeabilidade ao vapor de água.

A permeabilidade ao vapor de água caracteriza a capacidade de um revestimento permitir a migração do vapor de água na estrutura. Nas épocas de chuva, o revestimento absorve certa quantidade de água e perde em seguida em forma de vapor, no período de secagem. O revestimento deve permitir que o vapor de água originário do interior da base se evacue normalmente (CSTB, 1982 *apud* CARNEIRO, 1993).

⁶ Fenômeno que pode ser provocado por baixa temperatura e vento.

O estudo de permeabilidade do revestimento é de fundamental importância na especificação de traços, visto que alguns fatores como relação água/gesso, natureza da base e espessura alteram a capacidade de retenção do revestimento, podendo amenizar o fenômeno de higroscopicidade do material (DIAS, CINCOTTO, 1995).

Apesar da grande importância da permeabilidade para as aplicações práticas de pastas de gesso na construção civil, este ensaio, até o momento, não se encontra normalizado pela ABNT.

Nos estudos de Silva, Starling, Araújo (1998) com gesso aditivado (repelentes a água) para acabamentos na construção civil, optou-se pela determinação desta propriedade utilizando-se procedimento análogo ao adotado em ensaios com concreto. Aplicou-se, com um permeâmetro, água pressurizada à 0,02 MPa sobre uma placa de gesso de 25 mm de espessura. Devido à permeabilidade do material, ocorreram quedas progressivas na pressão da água, as quais puderam ser monitoradas através de um manômetro acoplado ao equipamento. Assim, para uma determinada queda de pressão, quanto maior o intervalo de tempo em que a mesma é observada, menor será a permeabilidade da pasta de gesso.

Já nos estudos de Sato, Antunes, John (2001), a permeabilidade ao vapor de água foi medida conforme metodologia americana (ASTM E 96 - *Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials* – Método de ensaio para determinação da permeabilidade ao vapor de água dos materiais) utilizando corpos de prova cilíndricos submetidos a gradientes de pressão de vapor. Os resultados dos ensaios mostraram que as pastas de gesso apresentam porosidade e propriedades de fixação e transporte de água muito diferentes das argamassas tradicionais. Numa mesma condição de exposição, as pastas de gesso terão umidade incorporada no interior de sua estrutura menor que as argamassas tradicionais, no entanto, devido à sua maior permeabilidade ao vapor de água, apresentarão uma menor resistência ao transporte de vapor de água no ambiente para o interior da parede. Numa situação contrária, em que a parede esteja mais úmida que o ar ambiente, esta umidade tenderá a sair pelo revestimento, encontrando menor oposição por parte da pasta de gesso também.

Os autores explicam que, no caso de revestimentos de gesso pintados, este vapor de água transportado do interior da parede para o ambiente poderá se depositar na interface gesso/pintura, pois o sistema de pintura tem permeabilidade bem menor o que pode ocasionar uma concentração de umidade suficiente para o desenvolvimento de microrganismos nesta região. Já no caso de argamassas tradicionais, devido à sua maior capacidade de armazenamento de água pelos fenômenos de adsorção e condensação, a umidade estará mais distribuída ao

longo do revestimento, devendo ocorrer uma menor concentração de umidade na interface revestimento/pintura (SATO, ANTUNES, JOHN, 2001).

Neste contexto, o que se espera é que os revestimentos em pasta de gesso resistam à ação da água, ainda que sob a forma de vapor, e que, nos casos onde a presença deste agente seja prolongada, lhes sejam estanques (PEREIRA, 2008).

2.2.1.2 Conforto térmico

Peres, Benachour, Santos (2008) afirmam que os revestimentos e elementos fabricados de gesso, sozinhos ou associados com outros materiais, melhoram sensivelmente o isolamento térmico de paredes em função do seu baixo coeficiente de condutividade térmica.

Rivero (1986) *apud* Carneiro (1993) explica que o valor da condutividade térmica (k) expressa a quantidade de calor transmitido, por unidade de espessura, unidade de área e unidade de tempo, em um corpo considerado homogêneo num regime estacionário, quando a diferença entre as temperaturas de suas faces é a unidade. O material é considerado homogêneo quando a condutividade térmica não varia com a espessura ou a área da amostra. O autor ainda explica que o regime estacionário é aquele que apresenta temperaturas constantes, que não variam com o tempo, de modo que a quantidade de calor que se transmite através de uma seção qualquer, paralela às superfícies do fechamento, é sempre a mesma.

Os autores Peres, Benachour, Santos (2008) e Petrucci (1992) *apud* Canut (2006) afirmam que esse coeficiente, no caso específico do gesso, varia com a umidade e com a densidade do material hidratado e seco, e é da ordem de 0,25 a 0,50 W/m°C. Dias e Cincotto (1995) acrescentam que essa baixa condutividade é devido a densidade do material, que apresenta grandes vazios nos espaços intercrystalinos.

Assim sendo, Peres, Benachour, Santos (2008) ainda complementam que é muito provável que o baixo valor do coeficiente de condutividade térmica do gesso e a sua forte inércia térmica contribuam para o rebaixamento ou amortecimento da intensidade com que um fluxo de calor se transfere através das superfícies revestidas ou das paredes de gesso.

Canut (2006) afirma que, se comparado a outros materiais de construção, o gesso pode ser considerado um ótimo isolante térmico. Dias e Cincotto (1995) afirmam que, a título de comparação, o gesso de construção é 3 a 4 vezes menos condutor de calor do que o concreto.

De acordo com Rodrigues, Piedade e Braga (2009), o coeficiente do concreto varia entre 1,65 a 2 W/m°C.

Estudos sobre desempenho térmico de ambientes com incidência de sol têm apresentado uma redução na temperatura do ambiente em aproximadamente 4°C com uso de placas de gesso (ATHIENITIS, 1997).

Essa propriedade de bom isolante térmico é demonstrada quando o gesso é empregado no interior das habitações, evitando a formação dos indesejáveis vapores de água que surgem sobre a superfície das alvenarias, ocasião em que se referencia a existência de uma “parede fria” (CANUT, 2006).

O gesso tem um comportamento denominado de higroatividade, onde, os elementos ou revestimentos de gesso, dada a sua porosidade, absorvem uma parte de umidade do ar, quando esta se torna excessiva, impedindo que haja uma condensação sobre a superfície das paredes. Por outro lado, quando a umidade relativa do ambiente atinge valores desconfortáveis para as pessoas, os elementos e revestimentos de gesso liberam a água acumulada em seu interior, ajustando o teor higrotérmico para um valor confortável (PERES, BENACHOUR, SANTOS, 2008).

Os autores salientam que a higroatividade dos elementos e revestimentos de gesso tem o seu valor diminuído em função do tipo de pintura ou acabamento que for utilizado em sua superfície.

2.2.1.3 Conforto acústico

Segundo D'HAVÉ (1977) *apud* Carneiro (1993), o revestimento contribui para o isolamento de ruídos transmitidos pelo ar e provenientes de impactos.

Apesar da complexidade do fenômeno de isolamento acústica, é possível esclarecer alguns pontos capazes de simplificar o assunto (DIAS, CINCOTTO, 1995).

De acordo com Peres, Benachour, Santos (2008) e Dias e Cincotto (1995), os elementos ou revestimentos de gesso podem contribuir para melhorar a sonorização dos ambientes devido à continuidade dos revestimentos, sendo capaz de preencher todas as possíveis fendas e orifícios por onde o som se propaga e devido à sua plasticidade, que permite confecção de elementos com geometria específica, que contribui com a atenuação da reverberação oriunda de sons.

Silva e Silva (2004) *apud* Canut (2006) explicam que a dissipação de energia sonora se processa pelo atrito gerado pela passagem do ar através dos poros do material absorvente, que deve ser leve, poroso e de baixa densidade, e que, o isolamento se relaciona também em grande medida com a massa da vedação. Logo, os materiais mais indicados para esta finalidade devem ser densos, para resistir à vibração resultante da incidência das ondas sonoras.

Viveiras e Losso (2004) explicam que, em termos de comparação, o concreto e o tijolo tem mais impedância, ou seja, menor capacidade de transmissão de energia sonora em comparação com o gesso, o que indica maior capacidade de isolamento sonoro da partição. A impedância é dada pelo produto da densidade específica do meio pela velocidade do som nesse meio. A Tabela 2.10 apresenta a impedância de diversos materiais utilizados na construção civil.

Tabela 2.10 - Impedância de diversos materiais utilizados na construção civil.

Material	Densidade (kg/m³)	Velocidade do som (m/s)	Impedância (Rayls)
Aço	7.700	5.050	1,36*10 ⁷
Concreto	2.600	3.100	8,06*10 ⁶
Tijolo	1.800	3.700	6,66*10 ⁶
Gesso	960	6.800	6,52*10 ⁶

(Fonte: adaptação VIVEIRAS, LOSSO, 2004)

2.2.1.4 Resistência ao fogo

A resistência ao fogo na edificação é relacionada à estabilidade e integridade dos elementos que a constituem quando sujeitas à elevação de temperatura decorrente de sua ação (CINCOTTO *et al*, 1985b). De acordo com Dawance (1977) *apud* Carneiro (1993), o revestimento deve ser a primeira barreira à propagação do fogo proveniente de um incidente exterior, não devendo ainda produzir chamas ou composto de material tóxico.

Para Cincotto *et al* (1985b) e Peres, Benachour, Santos (2008), uma das propriedades do gesso mais importantes é a sua capacidade de combater a propagação do fogo, além de estabilizar a temperatura, da região onde o gesso foi utilizado, por um determinado tempo.

Segundo Peres, Benachour, Santos (2008), o gesso ainda é classificado como M0, conforme Quadro 2.5, sendo considerado material incombustível.

Quadro 2.5 – Classificação dos materiais frente ao fogo.

M0	Incombustível
M1	Não inflamável
M2	Difícilmente inflamável
M3	Mais ou menos inflamável
M4	Facilmente inflamável

(Fonte: PERES, BENACHOUR, SANTOS, 2008)

Assim como no processo de calcinação da gipsita, seguindo a reação endotérmica, o gesso endurecido quando aquecido começa a perder água acima de 100°C. Para Peres, Benachour, Santos (2008), tem-se um consumo de calor e, ao mesmo tempo, estabilização a temperatura, até que toda a água de cristalização seja liberada. Belmiloudi e Meur (2005) lembram que são duas reações endotérmicas de desidratação.

Neste processo, durante o tempo que o gesso está liberando água, a sua temperatura não ultrapassa 140 °C, o que o torna também um elemento corta fogo (PERES, BENACHOUR, SANTOS, 2008).

Entretanto, segundo Canut (2006), alguns autores como Taylor (2004) e Petrucci (1992) questionam a eficiência do gesso no combate ao fogo, mas enfatizam que a utilização de material à base de gesso na construção civil realmente proporciona o equilíbrio da temperatura, trazendo conforto térmico aos ambientes construídos, sem implicar gastos exagerados de energia.

2.2.1.5 Propriedades mecânicas

Apresentar boas propriedades mecânicas de modo que consiga resistir a esforços externos ou internos sem fraturar ou, até mesmo, se deformar incontroladamente, é uma das funções dos revestimentos.

De acordo com Karni e Karni (1995), a resistência mecânica do gesso é determinada pelos seguintes fatores:

1 - a qualidade do material cimentício (gesso e aditivos): a qualidade do gesso depende da composição da matéria-prima, da temperatura de calcinação, da finura das partículas e da idade do material cimentício (QUINALIA, 2005);

2 - a idade do produto: a resistência aumenta com o tempo. De acordo com os autores, a experiência israelense mostra que em condições de acabamento normais, a resistência máxima

é alcançada dentro de 14 dias no verão e dentro de 28 dias no inverno. Esta informação corrobora com Canut (2006), que verifica um aumento da resistência à compressão da pasta de gesso entre 7 e 28 dias à medida que aumenta a idade. De acordo com John e Cincotto (2007), a hidratação das anidritas por levar até meses.

3 – as condições de armazenamento do produto, tanto de interesse para a indústria, e após a período de interesse (para o usuário): condições diferentes durante o período de endurecimento irão produzir produtos com diferentes resistências;

4 – a relação água/gesso: a resistência do gesso depende em grande parte da razão água/gesso, diminuindo com o aumento do teor de água.

A porosidade do gesso vem da evaporação do excesso de água que não foi consumida durante a hidratação. Na maioria das vezes, para se alcançar uma boa trabalhabilidade da pasta de gesso, é preciso utilizar de teor de água superior a 50% da massa do gesso. Como a água consumida durante a reação é da ordem de 0,186 gramas de água para uma grama de gesso, tem-se uma estrutura de alta porosidade, e conseqüentemente, com resistências mecânicas reduzidas (JOHN, CINCOTTO, 2007).

No processo de mistura, a relação água/gesso pode variar entre 0,6 e 0,8, ou até mais. Se a relação for inferior a 0,6, há dificuldades com a trabalhabilidade. Para razões maiores que 0,6, tem-se um aumento da porosidade do produto final endurecido perdendo resistência mecânica (HERNÁNDEZ-OLIVARES *et al.*, 1999; SILVA, 2010).

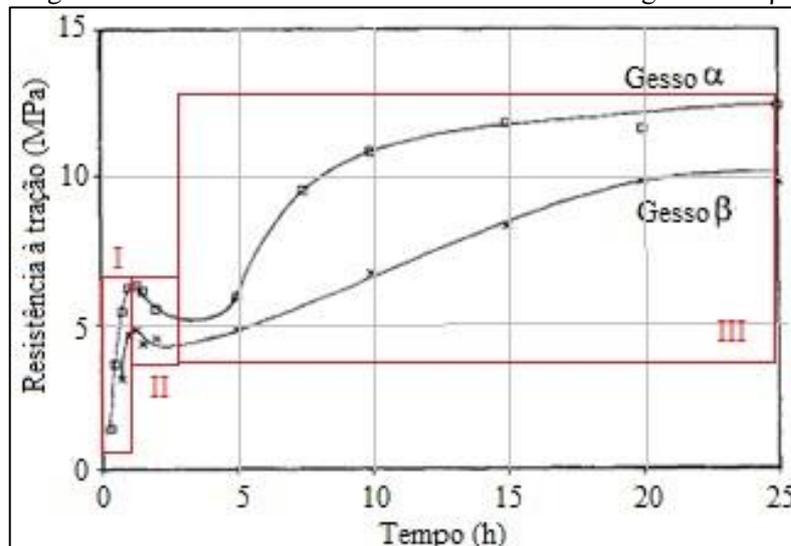
Bardella (2011) afirma que a microestrutura tem influência nas propriedades mecânicas do gesso. Bragança e Bergmann *apud* Canut (2006) complementam que podem descrever a microestrutura pelo tipo, proporção e composição das fases presentes, além da forma, tamanho, distribuição e orientação dos grãos.

De acordo com Baltar (2009), essas propriedades estão associadas às suas propriedades no estado fresco, porque estas podem exercer influência na formação do cristal. Para Bardella (2011), os cristais bem formados, ou seja, mais uniformes e com um padrão de tamanho e formato, são mais propícios a obtenção de valores mais elevados para as propriedades mecânicas da pasta de gesso.

Lewry e Williamson (1994) explicam que o estabelecimento ou desenvolvimento da resistência à tração do gesso é um processo de três estágios, como pode ser visto na Figura 2.23:

- i. a primeira etapa é o desenvolvimento de uma matriz de bloqueio de agulhas hidratadas que é o resultado da reação de hidratação do hemi-hidrato;
- ii. a segunda etapa é o alívio da tensão interno causada pela acumulação de pressão à medida que as agulhas avançam umas contra as outras. Esta fase é acompanhada por um período de resistência reduzida;
- iii. a fase final envolve a remoção de água em excesso do necessário para a reação química. A resistência é aumentada à medida que a água evapora, a estrutura final apresenta uma grande quantidade de porosidade aberta e os sais em solução precipitam, endurecendo o conjunto final.

Figura 2.23 – O desenvolvimento da resistência dos gessos α e β .



(Fonte: LEWRY, WILLIAMSON, 1994)

A NBR 13207 (1994) previa apenas dois métodos para determinação das propriedades mecânicas do gesso para construção civil independentemente do fim a que se destinava: resistência à compressão e dureza. Nesse documento, constava que o material deveria apresentar um valor igual ou superior a 8,4 MPa para resistência à compressão e 30 MPa para dureza para a pasta de gesso com relação água/gesso correspondente à consistência normal.

Entretanto, a recém lançada NBR 13207 (2017) solicita apenas avaliação de aderência, devendo ser, no mínimo, 0,2 MPa e, dureza, que deve ser de, no mínimo, 20 MPa, e não trata da avaliação da resistência à compressão como requisito mecânico. Embora, a ABNT tenha realizado a revisão da NBR 12129 (2017), que apresenta o método de ensaio de determinação das propriedades mecânicas, resistência à compressão e dureza, do gesso para construção civil.

A determinação da dureza superficial se justifica pela necessidade de se avaliar as qualidades mecânicas do revestimento e à sua capacidade de receber acabamentos como pinturas especiais ou componentes colados (DIAS, CINCOTTO, 1995).

O gesso endurecido apresenta retração insignificante com relação às argamassas de cimento e cal mal dosadas, que poderiam gerar fissuras e causar descolamento do revestimento (CINCOTTO *et al.*, 1995 *apud* HENÃO, CINCOTTO, 1997).

A resistência à tração traduz a coesão do revestimento e caracteriza os esforços de oposição à ruptura do mesmo nas primeiras idades. A fissura surge quando os esforços de tração atuantes sobre o revestimento superam a sua resistência à tração (CARNEIRO, 1993). As fissuras podem comprometer a capacidade de aderência, estanqueidade, bem como a durabilidade do revestimento.

O autor ainda conclui que, quanto menor o módulo de deformação, maior será a sua flexibilidade aos esforços de tração, originárias da movimentação de retração do revestimento.

2.2.2 Especificação de acabamento

Em se tratando de normas de avaliação da pasta de gesso no estado endurecido, ensaia-se apenas a dureza, resistência à compressão e aderência. No entanto, na prática, o que se busca é um bom acabamento, garantindo um aspecto visual agradável.

O acabamento final é um dos fatores que influenciam no desempenho do revestimento. Assim sendo, há dois tipos de acabamento para revestimentos em pasta de gesso segundo a técnica de aplicação (MAEDA, SOUZA, 2003):

- Gesso desempenado, ou seja, sem taliscas: a planicidade será função das características geométricas do substrato;
- Gesso sarrafeado, ou seja, com taliscas e mestras: o referencial é dado pelas mestras.

Uma das funções de um revestimento é contribuir para o bom aspecto. Para isso, deve-se apresentar sem ondulações e manchas e com uma textura e cor uniformes. A presença de ondulações é perceptível sob a luz tangente à superfície da parede.

Para Tebaldi *et al.* (2009), o gesso vem sendo usado como revestimento por diversos aspectos, entre eles por seu bom acabamento, apresentando como produto final uma superfície lisa e branca.

Pires Sobrinho (2006) ainda afirma que o gesso apresenta acabamento fino, entretanto, o padrão desempenado apresenta uma superfície ondulada, ou seja, um padrão de acabamento inferior.

A NBR 13867 (1997) recomenda que não sejam aplicadas pinturas que utilizem tintas à base de cimento. A sugestão objetiva evitar que reações entre o gesso e o cimento que venham a degradar o revestimento. Além disso, muitos fabricantes brasileiros de tintas sugerem, ainda, a aplicação de um fundo preparador à superfície em gesso anterior à aplicação da tinta pois o este possui alta porosidade e absorção de umidade, o que pode causar descascamento da pintura. Entretanto, já há no mercado tintas que podem ser aplicadas diretamente sobre o gesso.

2.2.3 Fatores que influenciam no desempenho do revestimento de gesso

2.2.3.1 *Qualidade dos materiais constituintes*

As causas relacionadas a problemas com materiais são responsáveis, em menor grau, pela ocorrência de defeitos, todavia são igualmente importantes. Todos os materiais ou sistemas de construção devem ser entregues no local seguindo um conjunto previamente definido de características mecânicas, físicas e químicas. Este é o único modo de garantir a sua boa execução e bom funcionamento quando aplicado no edifício (PEREIRA *et al.*, 2011).

A qualidade dos materiais constituintes da pasta de gesso, como o gesso em pó para revestimento, a água e os aditivos, influencia no desempenho do revestimento acabado. Deste modo, deve-se considerar as seguintes informações e orientações.

- Gesso em pó

A NBR 13867 (1997) aconselha o emprego de gesso para revestimento especificado como lento, dentro do prazo de validade e armazenamento de acordo com a NBR 13207 (2017). De acordo com Dias e Cincotto (1995), o gesso deve ser mantido em lugares secos, fora do contato das paredes, sujeitas à condensação ou de superfícies úmidas ou metálicas.

Antunes e John (2000) explica que a matéria prima, as condições de produção do gesso influenciam no tempo de pega de gesso e as impurezas presentes aceleram a pega por atuarem como núcleos de cristalização (CLIFTON, 1973; JOHN, ANTUNES, 1999) influenciam na qualidade final do produto.

- Água de amassamento

A água de amassamento, como é chamada pela maioria dos autores da literatura, ou de empastamento, conforme a NBR 13867 (1997), tem função de hidratar o gesso e contribuir para a trabalhabilidade. Neste trabalho, será empregado o termo amassamento.

De acordo com a NBR 13867 (1997), as águas utilizadas na preparação da pasta não devem estar contaminadas com impurezas que atuem a curto e a longo prazo e recomenda ainda, o uso de água potável.

A água empregada deve ser limpa, livre de materiais deletérios, evitando-se o uso de água proveniente de mar ou rio. Geralmente, a água fornecida pela rede pública – uso doméstico, pode ser utilizada, cabendo aos responsáveis fiscalização constante, para de identificar qualquer mudança que haja no fornecimento (DIAS, CINCOTTO, 1995; ASTM C 842, 2005).

Água contendo quantidades elevadas de sais dissolvidos ou alumínio, ou mesmo aquelas empregadas para limpeza de ferramentas, também devem ser evitadas, pois aceleram a pega do gesso e podem causar eflorescência. Água estagnada, em geral, contém matéria orgânica ou vegetal, podendo retardar a pega, causar manchas e/ou interferir na capacidade de aderência (DIAS, CINCOTTO, 1995).

Além disso, deve-se ter atenção quanto a temperatura da água, pois valores muito próximos a 45°C podem aumentar a solubilidade do gesso, reduzindo o tempo de pega (CLIFTON,1973).

2.2.3.2 Características da base

As bases recebem um revestimento com intuito de aumentar sua durabilidade, receber proteção de agentes externos, bem como contribuir para o bom aspecto. Entretanto, para que isso ocorra, o revestimento deve comportar-se perfeitamente aderido à base. Neste contexto, as características, como tipo e preparo, do substrato vão influenciar significativamente no desempenho final do revestimento.

Dias e Cincotto (1995) afirmam que, as bases de aplicação do gesso de construção são constituídas pelos principais tipos de componentes disponíveis no mercado construtivo, como bloco cerâmico, de concreto, silico-calcário, ou superfícies conformadas em obra, como superfícies monolíticas de concreto e de argamassas à base de cimento, mas, aderem mal às superfícies de madeira. Em superfícies de ligas de ferro, o gesso pode provocar a corrosão, tornando necessária a utilização de revestimentos anticorrosivos (NBR 13867 (1997)).

Carasek (1996), em seus estudos com argamassa de cimento, definiu que a qualidade das argamassas é o fator mais relevante na resistência de aderência, seguido, das características da base, dentre as condições avaliadas pela autora. Entretanto, não se tem domínio de tal conhecimento a respeito do sistema de revestimento em pastas de gesso.

Gonçalves (2004) afirma que a microestrutura dos poros da base é diferenciada para cada caso, afetando o grau de absorção do material e dificultando ou facilitando a ancoragem mecânica do mesmo pela dissolução dos produtos de hidratação nos poros do substrato.

Neste contexto, Carasek, Cascudo e Scartezini (2001) destaca que as características e propriedades do substrato como a matéria-prima, a porosidade (estrutura e distribuição dos tamanhos dos poros), a capacidade de absorção de água e a textura superficial como sendo as de maior importância.

Como artifício para alterar tanto a sucção da base quanto a textura superficial, é comum realizar tratamento superficial (ANTUNES, 2005). São usuais a aplicação do chapisco e/ou o pré-umedecimento do substrato. A NBR 13867 (1997) recomenda sempre o pré-umedecimento da base e, quando a base for pouco absorvente, aplicação do chapisco ou emulsões adesivas.

Quanto ao umedecimento, Antunes (2005) afirma que se pode reduzir tanto a sucção da base que o fluxo da suspensão para a base ficará quase nulo.

Sobre o chapisco, pode ser definido como uma camada de preparo da base, aplicada de forma contínua ou descontínua, que serve de elemento de ligação entre o revestimento e o substrato; sua função é cobrir e regularizar a superfície da base, uniformizar a superfície quanto à absorção e melhorar a aderência do revestimento (SANTOS, 2008).

Considera-se uma base pouco aderente aquela que possui uma superfície muito lisa e/ou com capacidade de sucção e porosidade inadequadas. Para Dias e Cincotto (1995), as superfícies devem apresentar condições adequadas de sucção para que não haja descolamentos.

Além desses aspectos tratados, no preparo da base, deve-se levar em consideração o nível, a planeza e o prumo. Silva (2004) relata que a interação entre a base e a argamassa cimentícia é responsável pelo surgimento de uma ancoragem física (ou mecânica) entre os componentes, de modo que a água presente na argamassa penetra nos poros da base, levando consigo o cimento e, após a sua hidratação, são criados embricamentos (espécies de “estacas” ou “agulhas”) que promovem a fixação entre os componentes.

Outro tipo de ancoragem que pode haver entre as camadas sucessivas, segundo Silva (2004), é o processo químico, o qual contempla a formação de uma ligação química ou eletrostática entre a argamassa e o material a ser aderido. Esse é o mecanismo responsável pela aderência que se observa entre superfícies lisas, sem porosidade, ou polidas. Sugere-se que as interações entre a base e a pasta de gesso ocorram de forma semelhante aos comportamentos relatados, entretanto, não foram encontrados materiais publicados sobre o assunto.

A influência das características da base no desempenho dos revestimentos é debatida por normas e pesquisadores, entretanto, para Selmo (1989), são restritas as investigações experimentais. A mesma autora descreve os parâmetros a serem pesquisados sobre a base de aplicação dos revestimentos:

- a) movimentação higroscópica por retração de secagem;
- b) efeitos sobre a aderência e fissuração dos revestimentos;
- c) características da base que promovem a aderência;
- d) textura da superfície, em particular.

Mesmo depois de 23 anos, a influência da base nas propriedades e desempenho dos revestimentos continuam restritas as investigações experimentais, principalmente, aqueles em pasta de gesso.

Hincapie *et al.* (1997) realizaram um estudo sobre a influência do tipo de base e relação a/g e a resistência de aderência do revestimento às bases. Dias e Cincotto (1995) avaliaram a influência do tipo de substrato, umidade da base e a relação água/gesso na capacidade aderente.

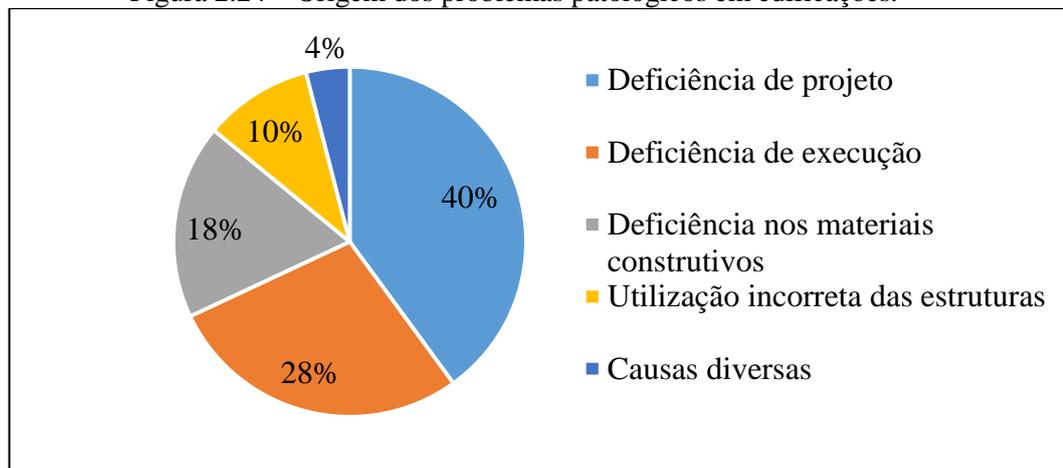
Já Sousa *et al.* (2015) avaliaram a mesma propriedade do revestimento em diferentes bases e a influência do chapisco e do umedecimento da base antes da aplicação do revestimento. Para o autor, numa análise inicial, a utilização do chapisco melhorou e o umedecimento reduziu a aderência do gesso na base utilizada.

Quando se vê a quantidade de pesquisas existentes e o número de questões a serem respondidas acerca do mecanismo de aderência base-pasta de gesso, percebe-se que há um longo caminho pela frente.

2.2.3.3 Capacitação da mão de obra

Machado (2002) *apud* Pires (2013) quantifica as origens dos problemas patológicos com relação às etapas de produção e uso da obra, sendo mostrada na Figura 2.24.

Figura 2.24 – Origem dos problemas patológicos em edificações.



(Fonte: MACHADO, 2002 *apud* PIRES, 2013)

Percebe-se que as incidências de patologias ligadas a execução ocupam segunda posição com 28%. Essa afirmação concorda com Almeida (2014) que comenta que as maiores incidências de patologias podem estar ligadas à má execução de serviços ou ao uso inadequado do revestimento de gesso e não ao produto em si.

Estes defeitos podem estar relacionados com a preparação do substrato (ausência de rugosidade, impermeabilização excessiva, falta de umidade ou presença de pó ou substâncias pulverulentas), execução incorreta de alguns componentes dos revestimentos (barreiras impermeabilizantes, sistemas de ventilação, aberturas de ar e drenagem) ou, em muitos casos, materiais aplicados com ferramenta inapropriada, por muitas vezes, falta de capacitação da mão de obra (PEREIRA *et al.*, 2011; PALHA *et al.*, 2012).

A primeira interação do operário com a execução do revestimento em pasta de gesso ocorre durante a dosagem e mistura dos materiais, sendo o tempo, a energia, a sequência e a forma de mistura, fatores intervenientes nas características do produto final.

Um outro fator a ser discutido é a questão da necessidade de aumentar a produtividade do setor da construção, que resulta na contratação generalizada de mão-de-obra não qualificada. Isso acontece em vários casos em tarefas importantes, particularmente, naquelas de compreensão do projeto de execução, de uso dos materiais e de técnicas de construção (PEREIRA *et al.*, 2011).

A produção diária do revestimento à base de gesso depende do tempo disponível para o gesseiro manusear a pasta na trabalhabilidade requerida. Contudo, o tipo de contrato dos serviços, é uma outra variável importante, pois é facilmente perceptível o rendimento maior do gesseiro contratado por produção comparado àqueles de regime diarista (DIAS, CINCOTTO, 1995).

O despreparo da mão de obra contribui com altas taxas de desperdício do material durante a aplicação. De acordo com Akkari e Souza (2005), essa elevada perda de material está associada ao rápido endurecimento da pasta de gesso que ocasiona um curto tempo disponível para aplicação do revestimento. Agopyan *et al.* (1998) estudaram as perdas do gesso na execução de revestimentos, encontrando um valor médio de 30 %, sendo a perda máxima de 120 %.

É fundamental a capacitação dos profissionais que executam o revestimento a fim de evitar problemas futuros com impactos sociais, econômicos e ambientais.

2.2.3.4 Condições de exposição

Conforme Karni e Karni (1995), as condições de exposição e uso interferem no desempenho do revestimento em pasta de gesso.

Pereira *et al.* (2011) explicam que as ações mecânicas externas também podem condicionar o desempenho do revestimento porque incluem vários mecanismos que são difíceis de prever, como impactos, vibrações, deformação do substrato e, acima de tudo, a concentração de tensões no substrato interface-gesso.

Como o gesso é higroscópico, é importante conhecer o efeito da umidade ambiental na sua residência pois o gesso é sensível às variações de umidade (KARNI, KARNI, 1995). A umidade leva ao desenvolvimento de várias ações, incluindo: físico, devido à modificação da estrutura intercrystalina do gesso; química, causada pela presença de sais solúveis no substrato e no revestimento; e biológicos, através do desenvolvimento de fungos (PALHA *et al.*, 2012).

Além desses aspectos, deve-se garantir uma boa ventilação dos espaços de modo a evitar umedecimento prolongado e condensações nos revestimentos para evitar o desenvolvimento de

micro-organismos (PALHA, 2008), bem como realização de manutenções preventivas, como com limpeza, renovação da pintura, aplicação de fungicidas.

2.2.4 Procedimento de execução do revestimento

2.2.4.1 Preparação da base

De acordo com Delgado e Pires Sobrinho (1997), o revestimento da pasta de gesso vem sendo comumente utilizado na construção civil e para seu bom desempenho é imprescindível, dentre outros fatores, que o substrato a ser revestido apresente um nível de qualidade superior ao encontrado atualmente.

De Milito (2001) afirma que, mesmo sendo as pastas de gesso adequadas para a execução de revestimento de tetos e paredes, o desempenho e a qualidade sempre estarão condicionados a um bom preparo dos substratos.

Sucintamente, a preparação do substrato envolve tarefas que podem ser divididos em pontos como:

- Físico: verificação da rugosidade, desde limpeza de possível poeira e aplicação de camada de ancoragem, correção de falhas;
- Químico: retirada de pontas de metal, proteção de metais que ficarão em contato com o revestimento, limpeza de contaminantes (desmoldantes ou eflorações, por exemplo);
- Geométrico: correção de irregularidades geométricas da base;
- Respeito aos tempos de espera e colocação de outros sistemas da edificação: estrutural, hidro-sanitário, elétrico, incêndio, entre outros;
- Colocação da tela e perfis de proteção.

Hincapie *et al.* (1997) acrescentam que superfícies contaminadas por óleo desmoldante de formas de concretagem serão inevitáveis problemas de aderência caso não haja procedimento de preparo da base. Os autores ainda aconselham a buscar por orientação do fabricante do desmoldante para tratamento ideal. Carvalho Jr. (2005) *apud* Oliveira (2014) orienta a retirada

com escova de aço, detergente e água seguindo-se a uma operação de apicoamento⁷. Pregos e arames que porventura tenham sido deixados pelas fôrmas devem ser retirados, senão cortados e tratados com zarcão de boa qualidade.

É importante salientar que o revestimento de gesso propicia a corrosão de metais, uma vez que é pouco alcalina e pode despassivar o aço, logo deve-se tratar ou proteger esses elementos. Segundo Gomez e Andrade (1988), quando o gesso é posto em contato com o aço, pode produzir altas taxas de corrosão devido ao seu valor de pH (perto de 7). Nürnberger (2001) explica que a corrosão é uma combinação dos íons do sal, da umidade, da porosidade e do oxigênio do ambiente, além do pH. Assim, as armaduras do concreto devem estar com cobertura adequado e, quando aparentes, devem ser submetidos a algum processo de proteção contra corrosão, como por exemplo, tinta epóxi rica em zinco ou a galvanização. A NBR 13867 (1997) sugere a aplicação de um chapisco para encobrir esses materiais.

Para eliminação eflorescência da superfície da base, pode-se optar por lavagem, com solução comercial do ácido hidrocloreto (ácido muriático) concentrado a 10 % (DIAS, CINCOTTO, 1995).

Os autores Dias e Cincotto (1995) afirmam que revestimentos em pasta de gesso devem ser aplicados diretamente sobre a base, o que evita o chapisco e a camada de regularização, como ocorre em sistemas de revestimentos com argamassas tradicionais de cimento, entretanto, ainda há dúvidas por parte dos pesquisadores sobre a não necessidade do chapisco. Presume-se que esses tratamentos superficiais sejam dependentes de vários fatores, como, por exemplo, do tipo de substrato a ser usado.

A NBR 13867 (1997) recomenda que a superfície-base de revestimento seja regular e suficientemente umedecida antes da aplicação do revestimento. A utilização do umedecimento do substrato anterior à execução do revestimento em pasta de gesso é uma ação muito polêmica ainda, embora a NBR 13867 (1997) recomende e é objeto de estudo desse trabalho.

Um dos grandes problemas que afetam o desempenho dos revestimentos são os desvios de prumo, de nível e de planeza. A NBR 13749 (1996) - Revestimentos de Paredes e Tetos de Argamassas Inorgânicas – Especificação - expõe os limites máximos para esses desvios (Tabela 2.11). A correção dos desvios maiores que os limites máximos utilizando pasta de gesso pode gerar patologias, como o destacamento.

⁷Processo que utiliza picareta ou ferramenta semelhante para desgastar a superfície.

Tabela 2.11 – Desvios máximos de prumo, nível e planeza para os substratos que vão receber revestimento de gesso.

Desvio de prumo	Desvio de nível	Planeza
$\leq H/900$, sendo H a altura da parede em m	$\leq L/900$, onde L é o tamanho do maior vão em m	- Irregularidades graduais: ≤ 3 mm em régua de 2 m. - Irregularidades abruptas: ≤ 1 mm em régua de 20 cm.

(Fonte: adaptação NBR 13749 (1996))

A NBR 7200 (1998) apresenta um cronograma referente às idades mínimas das bases para o uso argamassas produzidas em obra, conforme a seguir representado:

- 28 dias de idade para as estruturas de concreto e alvenarias armadas estruturais;
- 14 dias para alvenarias não armadas estruturais e alvenarias sem função estrutural de tijolos, blocos cerâmicos, blocos de concreto e concreto celular, admitindo-se que blocos de concreto tenham sido curados durante pelo menos 28 dias antes da sua utilização;
- 3 dias de idade do chapisco para a aplicação do emboço ou camada única; para climas quentes e secos, com temperatura acima de 30°C, este prazo pode ser reduzido para 2 dias.

Embora a NBR 7200 (1998) seja orientada para revestimentos em argamassa, sugere-se que os mesmos prazos sejam obedecidos para revestimentos em pasta de gesso, visto que se apresentam como forma de garantir que a base esteja endurecida e hidratada para receber uma camada de revestimento. Além disso, a NBR 13867 (1997) não fornece essas orientações.

Silva (1991) *apud* Carneiro (1993) acrescenta as atividades precedentes a seguir:

- as tubulações de água e esgoto devem estar adequadamente embutidas e testadas quanto à estanqueidade;
- os eletrodutos, caixas de passagem ou derivação de instalações elétricas e/ou telefônicas devem estar adequadamente embutidos.

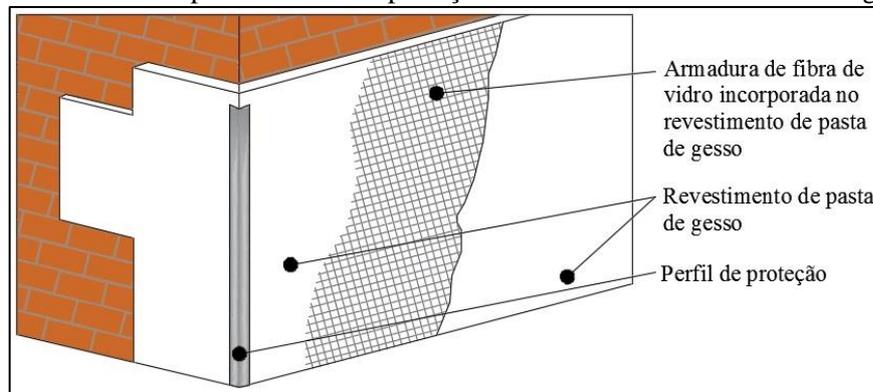
Sugere-se que essas informações sejam utilizadas para o sistema de revestimento em pasta de gesso, uma vez que não há documento que dê tais orientações para este tipo de sistema.

Além dessas orientações, Lucas (1990) *apud* Pereira (2008) e LNEC (2008) recomendam que não se inicie o revestimento antes da base ter sofrido a parte mais significativa da sua retração

de secagem inicial, que varia conforme o material do substrato e as condições climáticas em obra (4 e 6 semanas).

Segundo Pereira (2008), pesquisadora portuguesa, existem ainda, 2 tipos de proteções que poderiam ser utilizadas em revestimentos de gesso, entretanto não são usuais, inclusive no Brasil. A primeira é uma rede de proteção metálica ou em fibra de vidro e a segunda, perfis de proteção em PVC perfurados (Figura 2.25). De acordo com a autora, sua utilização não é obrigatória, mas sua prescrição devia ser considerada uma indicação de caráter geral a aplicar em situações correntes.

Figura 2.25 – Principais sistemas de proteção a utilizar nos revestimentos de gesso.



(Fonte: adaptação PEREIRA, 2008)

Pereira (2008) explica que a rede está relacionada com as características da base perante solicitações externas com origens diversas, tais como discontinuidades ou áreas de maior concentração de tensões superficiais dadas as heterogeneidades geométricas das superfícies (cunhais, vértices de vãos, panos esbeltos, caixas persianas corrediças, entre outras) e que, dada a possibilidade de ocorrência de fendilhação perante estas solicitações, devem utilizar-se redes de proteção.

Assim, a aplicação da rede como armadura pode abranger toda a área do revestimento, ou localizada, em zonas particularmente susceptíveis à fendilhação ou ao choque e podem ser incorporadas à camada de gesso de revestimento ou acopladas sobre a superfície da base. As malhas adotadas devem possuir uma dimensão da ordem de 5 mm x 5 mm, variando consoante a textura e rigidez do suporte e do revestimento a aplicar (PEREIRA, 2008).

A segunda proteção consiste na utilização de perfis de proteção em PVC perfurado (Figura 2.26), nos ângulos salientes (quinas) do revestimento, e, objetiva aumentar a resistência local ao choque das zonas do revestimento que, pela sua situação, se encontram mais expostas ou sujeitas a agressões físicas (passagem de pessoas) (PEREIRA, 2008).

Figura 2.26 – Perfil de proteção em PVC.



(Fonte: TOPECA, 2016)

2.2.4.2 Dosagem e mistura da pasta de gesso

Para realização da dosagem dos materiais, deve-se garantir a qualidade da água e do gesso de acordo com exigências já debatidas.

Nolhier (1986) *apud* Antunes e John (2000) afirma que a relação a/g é o parâmetro de maior influência na cinética da reação de hidratação e, portanto, na pega do gesso. O autor explica que maior o intervalo de tempo necessário para saturar a solução à medida que se aumenta a quantidade de água de amassamento, causando a ampliação do período de indução, retardando o início da precipitação dos cristais de di-hidrato e, por conseguinte, aumenta o tempo de pega. Assim, quanto maior a relação a/g menor a taxa da reação e maior o tempo de pega.

Para Karni e Karni (1995), estequiometricamente, a relação água/gesso de 0,17 é a necessária para se conseguir a hidratação completa do gesso. No entanto, relações água/gesso mais elevadas são necessárias para que a pasta seja trabalhável. Observa-se que a quantidade de água utilizada em obra, em relação à massa de gesso, está na faixa de 0,60 kg/l a 0,80 kg/l (DE MILITO, 2001). Para Quinalia (2005) e Yazigi (2006), a dosagem é de 36 a 40 l de água para cada saco de 40 kg de gesso. A NBR 13867 (1997) recomenda utilizar a relação água/gesso recomendada pelo fabricante.

Para uma maior relação água/gesso, tem-se (DIAS, CINCOTTO, 1995):

- Maior porosidade;
- Menor resistência à compressão;
- Menor resistência à tração;
- Menor dureza;
- Menor aderência a substratos porosos.

O preparo da pasta de gesso é função da reologia adequada para a aplicação sobre a base e do tempo útil (BREITSAMETER, 2012). Accorsi (2015) afirma que a trabalhabilidade é uma das características mais importantes das pastas e argamassas, pois, permite que estas sejam de fácil aplicação. O gesso, por ser muito fino, resulta numa pasta com maior trabalhabilidade, porém esta característica resulta no rápido endurecimento após misturado com água.

A quantidade de água requerida para manter a trabalhabilidade/fluidez da pasta de gesso é função da distribuição do tamanho das partículas do material em pó e do diâmetro característico da partícula (finura do material) (YE, *et al.*, 2011; PINHEIRO, 2011).

Assim sendo, considerando a mistura manual, que é mais corrente no Brasil, o procedimento usual entre os gesseiros de misturar apenas uma parte da masseira, faz com que ocorra um retardamento na cinética da reação de hidratação da porção que permaneceu em repouso em relação a que foi misturada (ANTUNES *et al.*, 1999a *apud* ANTUNES, JOHN, 2000).

A NBR 13867 (1997) recomenda que a pasta de gesso seja preparada em quantidade suficiente para ser aplicada antes do início da pega, pois ao entrar no estado de endurecimento não se tornará novamente trabalhável com adição de água. Entretanto, essa exigência é muito difícil de ser cumprida.

A literatura indica os seguintes procedimentos de preparação da pasta, conforme se observa em obra, como segue na Quadro 2.6.

Quadro 2.6 – Procedimento de obra de preparo das pastas de gesso observado em obra – etapa I.

Etapa	Procedimento
Polvilhamento	O pó é colocado na água de forma a preencher toda masseira por igual. A quantidade de pó utilizada é a necessária para que toda, ou quase toda água da superfície seja absorvida pelo pó.
Espera I	Segue-se um período de repouso que corresponde ao período de dissolução do hemi-hidrato.
Mistura	Em seguida, parte da pasta é misturada ficando o restante em repouso na masseira.
Espera II	Mais uma vez um intervalo é observado até que a pasta possa ser utilizada. Este intervalo equivale ao período de indução.

(Fonte: adaptação ANTUNES, JOHN, 2000)

Na etapa de espera I, recomenda-se que não deve haver qualquer intervenção manual ou mecânica.

2.2.4.3 Execução do revestimento

Para execução do revestimento, deve-se observar as condições iniciais. Ou seja, faz-se o preparo da base, a mistura da pasta de gesso, respeitando-se as idades do substrato para aplicação do revestimento, como descrito nos tópicos anteriores. A execução do revestimento pode ocorrer de maneira manual ou mecânica (projetada). Neste trabalho, considerou-se a aplicação manual, que é mais usual.

Na execução do revestimento de gesso, deve-se observar a temperatura ambiente e a do substrato que não devem ultrapassar a 35 °C, pois o gesso endurecido desidrata lentamente com o calor (HINCAPIE *et al.*, 1996 *apud* DE MILITO, 2001). Durante todo o processo de mistura e execução do revestimento, a NBR 13867 (1997) recomenda que não se deve entrar em contato manual com a pasta, a fim de evitar a aceleração da pega, devido a formação de núcleos de cristalização dadas as impurezas ou o material que já se encontra hidratado na mão.

As principais ferramentas utilizadas na execução do revestimento com pasta de gesso são listadas abaixo (DIAS, CINCOTTO, 1995; DE MILITO, 2001):

- a) desempenadeira de PVC;
- b) desempenadeira de aço;
- c) espátula;
- d) régua de alumínio;
- e) cantoneira de alumínio;
- f) martelo;
- g) marreta de 1 kg;
- h) talhadeira;
- i) linha de náilon.

Após o preparo da pasta, respeitando os tempos de espera da pasta descritos no Quadro 18, a pasta passa pelas seguintes fases descritas no Quadro 2.7.

Quadro 2.7 – Procedimento de obra de preparo das pastas de gesso observado em obra – etapa II.

Etapa	Procedimento
Início do tempo útil (Aplicação I)	Quando a fração de pasta que foi misturada pelo gesseiro adquire a consistência adequada para a aplicação, determinada empiricamente, passa a ser utilizada. Neste instante tem início o tempo útil que acontece no final do período de indução e pouco antes do início da pega determinado por calorimetria.
Aplicação II	Com o final da utilização da parte previamente misturada, o gesseiro segue usando a segunda parte que estava em repouso e por isso teve a cinética da reação de hidratação retardada em relação à primeira. Dificilmente é necessário misturar a segunda parte, pois o tempo necessário para a completa utilização da primeira é suficiente para que a segunda parte adquira a consistência mínima adequada à aplicação. Assim, o gesseiro passa a utilizar a segunda parte sem que haja necessidade de interrupção da atividade.
Fim do tempo útil	Quando a pasta ultrapassa a consistência máxima adequada para revestir o substrato ela ainda pode ser utilizada para dar o acabamento final no revestimento. A adição de água à pasta altera sua consistência, possibilitando seu retorno à faixa de consistência útil. Neste momento a pasta se encontra na terceira etapa, ou seja, final da reação de hidratação por dissolução-precipitação, onde a maioria do di-hidrato já está formado.
Final da utilização ("morte")	Logo após esta fase, o gesso se hidrata quase completamente não se prestando mais para o serviço. Esta fase é conhecida na prática como "morte" do gesso, pois mesmo que mais água seja adicionada à pasta para prolongar sua utilização, não existe mais aderência entre essa última camada e o revestimento já aplicado.

(Fonte: adaptação ANTUNES, JOHN, 2000)

Caso se opte pelo acabamento sarrafeado, ou seja, com a utilização das mestras e as taliscas, consegue-se a execução de uma superfície melhor acabada e plana, devido a existência de referências de controle da espessura. O acabamento é dado com réguas de alumínio que removem o excesso da pasta que se sobressai entre as mestras (Quinalia, 2005).

A NBR 13867 (1987) orienta que sejam utilizadas guias-mestras como testemunhas para auxiliar o nivelamento e o prumo da camada de revestimento.

Quinalia (2005) descreve passo-a-passo a execução do revestimento desempenado com aplicação anterior de chapisco na Figura 2.27.

Figura 2.27 – Processo de execução do revestimento de gesso em base preparada com chapisco.

Foto 1 - Aplicar com rolo de textura média uma demão de chapisco rolado na superfície inferior das lajes para garantir a aderência da pasta de gesso.

Foto 2 - Remover sujeiras, incrustações e materiais estranhos como pregos, arames e pedaços de aço até que o substrato fique uniformizado.

Foto 3 - Após 72 horas iniciar a preparação polvilhando o gesso na água, dentro da argamasseira, até que o pó esteja totalmente submerso. A seguir, misturar até obter uma pasta homogênea e sem grumos.

Foto 4 - Começar o trabalho pelo teto, aplicando a pasta com auxílio de desempenadeira de PVC em movimentos de vai-e-vem.

Foto 5 - Nas paredes (metade superior), o deslizamento deve ser realizado de baixo para cima. Algum tipo de referência - ripa de madeira, pequenas taliscas ou batentes - deve ser escolhido para medir a espessura da camada de revestimento.

Foto 6 - Regularizar a espessura da camada, aplicando a pasta com a desempenadeira, agora, no sentido horizontal. Cada faixa deve ser sobreposta à anterior e espessura da camada deve ter de 1 a 3 mm.

Foto 7 - Retirar o excesso limpando o teto e a parede com régua de alumínio. Em seguida, conferir a espessura do revestimento junto à referência escolhida.

Foto 8 - Limpar a superfície com o canto da desempenadeira de aço para eliminar ondulações e falhas e, depois, aplicar nova camada de pasta para cobrir os vazios e imperfeições da superfície, assegurando a espessura final do revestimento.

Foto 9 - Desempenar cuidadosamente os excessos e rebarbas exercendo uma certa pressão para obter a superfície final. A aplicação de pintura deve respeitar o período de cura e ser executada após o lixamento da superfície.



(Fonte: QUINALIA, 2005)

Yazigi (2006) afirma que o processo de execução do gesso sarrafeado é semelhante ao mostrado na Figura 2.27, entretanto, para o sarrafeado, é necessário executar inicialmente faixas mestras entre as taliscas. Em sequência, deve-se aplicar pasta de gesso entre as mestras, como descrito acima.

Quanto a espessura do revestimento, a NBR 13867 (1997) afirma apenas que a camada de revestimento com pasta de gesso deve ter espessura a mais uniforme possível e ser cuidadosamente espalhada.

Segundo Rocha *et al.* (2004), a espessura média do revestimento deveria ser especificada quando da elaboração dos projetos (principalmente o estrutural) e ou da concepção dos detalhes construtivos (memorial descritivo). Os autores afirmam que, no entanto, muitas vezes, a espessura acaba sendo definida pelo contexto da obra, ou seja, é resultado de serviços precedentes, uma vez que depende do prumo e planeza da base. Ainda complementam que, ainda assim, é certo que há necessidade de parametrizar/padronizar a espessura do revestimento.

Para Hincapie *et al.* (1996) *apud* De Milito (2001), a espessura do revestimento de gesso em geral depende do substrato, mas tecnicamente se recomenda a espessura de 5 ± 2 mm. Para Quinalia (2005), independentemente do método de acabamento escolhido, sendo sarrafeado ou desempenado, o revestimento não deve ultrapassar 5 mm. Segundo a autora, valores maiores que esse podem ocasionar trincas no gesso ou fissuras decorrentes de movimentação nas estruturas, que geram deformações na alvenaria.

Para Yazigi (2006), o revestimento pode ser aplicado por meio de 1 a 4 camadas simultaneamente somadas em um total de 1 a 10 mm. Maeda e Souza (2003) afirmam que o revestimento de acabamento desempenado é normalmente executado em pequenas espessuras de cerca de 0,5 cm, já o sarrafeado é executado em espessuras maiores de cerca de 1,0 cm.

Paes (2004) realizou um estudo com argamassas e afirma que a definição dos valores de espessura é importante, pois este influencia o transporte de água da argamassa fresca para o substrato poroso. Logo que a argamassa fresca é colocada em contato com o substrato poroso, essa dispõe de uma grande quantidade de água relativamente livre a ser transportada para o interior do substrato. Este transporte de água será mais ou menos intenso, de acordo com o potencial de sucção do substrato (diretamente relacionado com a sua natureza) e com a espessura do revestimento. Logo, sugere-se que em revestimentos em pasta de gesso,

mecanismo semelhante ocorre, sendo a espessura fator de grande importância no desempenho do produto final.

O endurecimento rápido da pasta de gesso proporciona maior produtividade na execução e acabamento do revestimento. Para revestimentos argamassas, o tempo de espera para completo endurecimento é de 28 dias, já para os revestimentos em gesso esse intervalo varia entre 7 e 14 dias (HINCAPIE, et. al. 1996 *apud* AKKARI, SOUZA, 2005). De acordo com Accorsi (2015), 7 dias são suficientes.

O tempo necessário de espera para que a superfície receba o acabamento final é uma variável que não está determinada em nenhuma das NBR voltadas para os ensaios de gesso. A NBR 13867 (1997) ressalta apenas que se deve apenas aguardar a completa secagem do revestimento.

Após determinada a completa secagem do revestimento, as superfícies podem receber um acabamento final, como papéis colantes, pintura, entre outros, seguindo as especificações de acabamento.

2.2.4.4 Avaliação do produto acabado – Resistência de aderência à tração

As propriedades mecânicas de grande interesse em revestimentos de argamassa para alvenaria são a resistência à compressão, a resistência de aderência à tração e a dureza. Entretanto, através da NBR 12129 (2017), percebe-se que a determinação de propriedades mecânicas do gesso para construção civil se limita a dois tipos de ensaios: dureza e resistência à compressão.

Para Almeida (2014), a rigor, é possível conceber um revestimento com dureza e resistência à compressão satisfatórias, porém, que apresentem resistência de aderência à tração questionável, e que ainda assim, esteja dentro dos parâmetros aceitáveis da normalização brasileira de gesso. A nova revisão da NBR 13207 (2017) apresenta uma indicação de que o gesso para construção civil deverá apresentar uma resistência de aderência mínima. Entretanto, não faz indicação de qual norma deverá prescrever o ensaio de determinação.

Segundo Rocha *et al.* (2004), em se tratando de revestimentos de argamassas, os procedimentos de aceitação devem incluir a observância de itens como prumo, planeza e nivelamento, além de incluir a avaliação da resistência de aderência que, segundo a NBR 13749 (1996), para revestimentos de argamassas, deve ser feita através de ensaios de percussão, realizados através

de impactos leves, não contundentes, com martelo de madeira ou outro instrumento rijo ou, quando for necessário, através do ensaio de resistência de aderência à tração.

Em 1997, Hincapie *et al.* (1997) já relatava que, diferente do que ocorria no meio técnico nacional de revestimentos de argamassas, a literatura a respeito dos revestimentos de gesso era, praticamente, limitada à recente pesquisa de Dias e Cincotto (1995) e que, no exterior, a situação não era muito diferente.

Até os dias de hoje, não há estudos que norteiem o fenômeno de aderência da interface substrato-gesso, bem como não há padronização de ensaio de avaliação dessa aderência. Daí, surge uma incoerência, pois, enquanto percebe-se que a argamassa convencional apresenta condições totais para verificação da capacidade de aderência do revestimento, falta ao gesso o último passo desse processo: o ensaio de resistência de aderência à tração (ALMEIDA, 2014).

A NBR 13867 (1997) manifesta atenção com a aderência da pasta de gesso com as bases e resume algumas tarefas que podem ser realizadas para melhoramento dessa propriedade, entretanto, carece na avaliação dela, não apresentando um método de avaliação.

Gonçalves (2004) explica que essa propriedade representa um dos parâmetros mais essenciais na avaliação de desempenho em obras dos sistemas de revestimento em argamassa. Carasek (2007) *apud* Almeida (2014) classifica aderência como uma propriedade fundamental do revestimento no estado endurecido, já que sem aderência a argamassa não consegue atender satisfatoriamente seus pré-requisitos de suportar tensões normais e tangenciais na superfície de interface com o substrato.

De acordo com Dias e Cincotto (1995), a importância dessa avaliação está relacionada à diagnósticos mais precisos de deslocamentos, verificados na interface base-revestimento, além da possibilidade de estudos em laboratório na busca de melhoramento da aderência do revestimento.

A aderência é a propriedade do revestimento de se apresentar resistentes às tensões no contato com o substrato. Não é uma propriedade do revestimento, mas a interação entre as camadas constituintes do sistema de revestimento que se deseja avaliar (base, preparo da base e revestimento) (NBR 13528, 2010). Logo, é indispensável analisar o problema de forma mais ampla, considerando a qualidade dos materiais do revestimento e da base, bem como a interação destes.

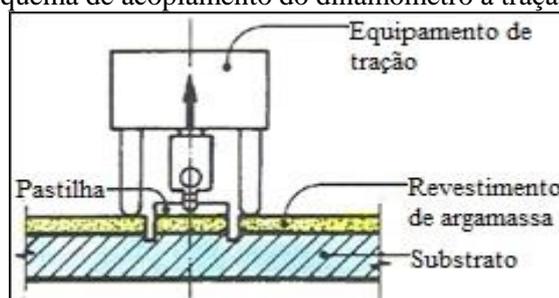
Diversos fatores influenciam a resistência de aderência da pasta de gesso. Para Bauer (2000), quanto maior for a finura de um gesso, melhores são suas qualidades de resistência.

Outro fator que afeta a aderência, é a resistência mecânica da base às sucessivas camadas do revestimento. Assim, a resistência mecânica do revestimento deve ser sempre decrescente desde a primeira camada até a mais externa, a fim de evitar uma movimentação diferencial entre o revestimento e a base (BSI, 1976 *apud* CARNEIRO, 1993).

A superfície de contato entre a pasta e o substrato exige assentamento homogêneo sem descontinuidade excessiva entre as juntas dos componentes da alvenaria. A natureza do aglomerante tem também influência sobre a aderência. A capacidade de aderência da interface substrato-pasta depende, ainda, da capacidade de retenção de água, da consistência e do conteúdo de ar da pasta (Cincotto, 1995 *apud* De Milito, 2001).

Para argamassas inorgânicas, há uma norma específica, a NBR 13528 (2010), para a determinação da resistência de aderência à tração. Os procedimentos descritos na norma permitem uma condição de controle desta propriedade através de ensaio, que são realizados por meio de um dinamômetro à tração, onde há a aplicação contínua de carga, por meio de um equipamento de tração acoplado à pastilha colada no revestimento, conforme mostrado nas Figura 2.28.

Figura 2.28 – Esquema de acoplamento do dinamômetro à tração no revestimento.



(Fonte: SANTOS, 2008)

A nova revisão da NBR 13207 (2017) requisita do gesso para construção uma resistência de aderência de, no mínimo, 0,2 MPa. Contudo, não faz indicação de qual norma deverá prescrever o método de ensaio.

As normas britânicas, BS EN 13279-1 (2008): *Gypsum binders and gypsum plasters. Definitions and requirements* (Ligantes e revestimentos de gesso: definições e requisitos) e a BS EN 13279-2 (2006): *Gypsum binders and gypsum plasters: Test methods* (Ligantes e revestimentos de gesso: métodos de ensaio), preveem um ensaio de arrancamento (*pull-off*) para

revestimento em gesso semelhante a NBR 13528 (2010) para argamassas, onde os gessos para revestimento devem apresentar uma resistência de aderência à tração de, no mínimo, 0,1 N/mm² (MPa).

A LNEC, que é Laboratório de Engenharia Civil destinado a avaliação dos produtos da construção civil de Portugal, elaborou o documento, em 2008, Regras para a concessão de documentos de aplicação a revestimentos pré-dosados de gesso para paramentos interiores de paredes e tetos, (Relatório 43/2008), orientando a utilização dessas normas britânicas.

A norma americana ASTM C472 (2014): *Standard Test Methods for Physical Testing of Gypsum, Gypsum Plasters and Gypsum Concrete* (Método de ensaio para teste físico de gesso, revestimento de gesso e concreto de gesso⁸) é semelhante a normatização brasileira de avaliação de revestimentos em pasta de gesso e não avalia a resistência de aderência à tração. No entanto, a norma ASTM C842 (2015) - *Specification for application of interior gypsum plaster* (Especificação para aplicação de revestimento de gesso em interiores) apresenta uma série de informações sobre a aplicação do revestimento de gesso, como espessuras, tratamentos de bases, ventilação do ambiente, lugares possíveis de aplicação do material, além da dosagem de materiais (água, gesso e agregado), que não são apresentadas nas normas brasileiras.

Entretanto, em casos de revestimento em substratos rígidos, o ensaio pode ser realizado segundo a ASTM D4541 (2002): *Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers* (Método de Ensaio para a Resistência de aderência à tração de revestimentos usando equipamentos de adesão portáteis), no qual, os valores de resistência que devem ser encontrados dependem do equipamento, do objetivo e dos parâmetros utilizados.

Assim sendo, de modo semelhante aos revestimentos de argamassas, sugere-se a avaliação da resistência de aderência à tração de revestimentos em pasta de gesso por meio da adequação da metodologia da NBR 13528 (2010), conforme já vem sendo proposto por Dias e Cincotto (1995), Hincapie *et al* (1997) e Sousa *et al* (2015). Especialmente pelo contexto que vive a construção civil em face a recém lançada NBR 15575-1 (2013) - Edificações habitacionais - Desempenho, que refere uma preocupação com a qualidade e a vida útil das edificações.

A natureza das interfaces sólido-sólido, em especial, base-revestimento de gesso, apresenta um enorme campo de estudo. Para vários autores⁹, o termo genérico aderência entre substrato-

⁸ Gesso calcinado misturado com lascas de madeira ou agregados, ou ambos.

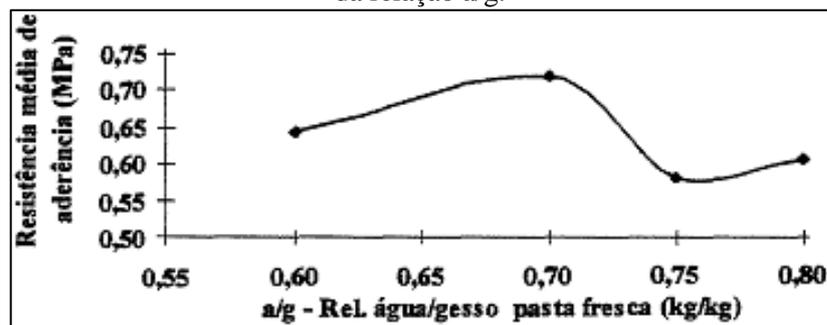
⁹ Carasek, Cascudo e Scartezini. (2001), Carasek (1996), Paes (2004), Lawrence e Cao (1988), Carasek (2012).

argamassa é um fenômeno de contato entre superfícies, podendo ser subdividida em: resistência de aderência à tração, resistência de aderência ao cisalhamento e extensão de aderência (razão entre a área de contato efetivo e a área total possível de ser unida).

De acordo com Antunes (2005), a compreensão do mecanismo de aderência pode ser feita com o microscópio eletrônico e o difratômetro de raio X, como diversos autores já fizeram para entendimento do substrato-argamassa. Além desses métodos, sugere-se também a microscopia óptica para visualização da interface de contato.

Hincapie *et al.* (1997) realizaram ensaios de aderência de pastas de gesso em diferentes substratos. Os resultados mostraram que a resistência de aderência dos revestimentos de gesso é afetada pela dosagem de água usada no preparo da pasta até valores de relação água/gesso igual a 0,80 conforme se pode observar na Figura 2.29.

Figura 2.29 – Resistência de aderência dos revestimentos de gesso sobre substrato cerâmico em função da relação a/g.



(Fonte: HINCAPIE *et al.*, 1997)

Sugere-se que, para valores de relação a/g abaixo de 0,6, tem-se uma queda na resistência de aderência ocasionada pela dificuldade de aplicação da pasta, ou seja, por uma menor trabalhabilidade. Assim, à medida que se aumenta a relação a/g até 0,7, tem-se um ganho de propriedade mecânica. A partir desse valor, um incremento no teor de água repercute na queda de resistência. O comportamento da curva para relações a/g entre 0,75 e 0,8 pode ser devido algum erro, interferência do ensaio ou variabilidade do ensaio.

Estudos realizados no Brasil¹⁰ até então mostraram que a resistência de aderência do revestimento de gesso varia entre 0,4 e 1,7 MPa, o que supera aos 0,2 MPa estabelecidos para revestimentos internos.

O procedimento do ensaio de arrancamento apresenta algumas críticas, entretanto, não há outro ensaio para se avaliar a aderência dos revestimentos ao substrato. As críticas vêm da

¹⁰ Dias e Cincotto (1995), Hincapie *et al.* (1997), Sousa *et al.* (2015).

variabilidade e dos fatores de dispersão encontrados nos ensaios de aderência (GONÇALVES, 2004), o que tem provocado questionamentos a respeito da confiabilidade do ensaio.

Costa e Carasek (2009) avaliam o ensaio da seguinte forma:

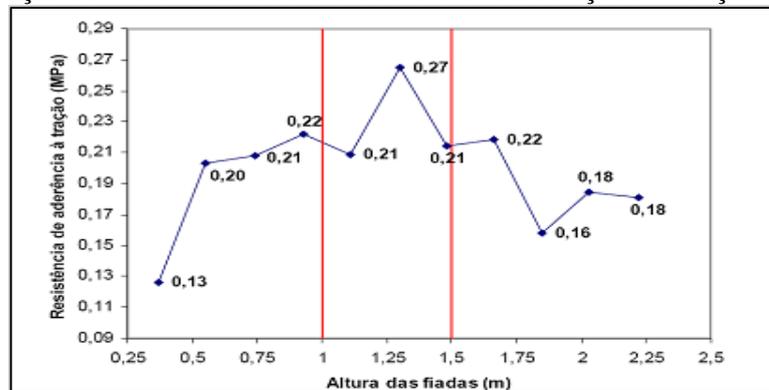
- A geometria e dimensão do corpo de prova, a espessura da camada de cola e a forma de aplicação da carga interferem na distribuição de tensões na interface argamassa-substrato e conseqüentemente, afetam os valores de resistência de aderência à tração;
- Os corpos de prova circulares apresentam maiores valores de aderência em relação aos quadrados, pois os últimos concentram tensões nas suas extremidades;
- O tipo de cola empregado para a realização do ensaio de resistência de aderência à tração não interfere significativamente nos valores de aderência para o sistema de revestimento analisado. Costa (2007) realizou um estudo sobre a influência da cola no ensaio e as observações de conclusão se encontram Quadro 2.8;
- Os corpos de prova excêntricos proporcionam menores valores de aderência quando comparados com os sem excentricidade, pois estes não estão submetidos a um efeito de flexão inicial;
- O emprego de equipamentos com princípios de funcionamento diferentes (alavanca e hidráulico manual) influencia de modo significativo os resultados de resistência de aderência à tração, tanto os valores quanto o coeficiente de variação. Entretanto, ao comparar dois dinamômetros de tração não houve alteração nos valores de aderência;
- Existe uma tendência de aumento da resistência de aderência com o acréscimo da taxa de carregamento, independente do tipo de equipamento empregado;
- Há uma tendência de variação da resistência de aderência à tração de acordo com a altura de lançamento da argamassa executada pelo oficial-pedreiro (Figura 2.30). Há uma concentração de valores médios de aderência mais altos na altura média da parede (1 a 1,5m), onde o oficial-pedreiro apresenta maior facilidade ergonômica para promover um lançamento adequado ao bom espalhamento da argamassa, promovendo maior extensão de aderência na interface e incrementando a resistência.

Quadro 2.8 – Observações a respeito de colas utilizadas no ensaio de resistência de aderência à tração.

Nome ou marca da cola	Base química	Observações
<i>Araldite</i>	Epóxi	Falta de aderência ao alumínio
<i>Compound adesivo</i>	Epóxi	Falta de resistência da cola em 72 horas, com baixa polimerização e pequena aderência tanto no alumínio quanto na argamassa.
<i>Compound injeção</i>	Epóxi	Boa polimerização e penetração nos poros da argamassa, porém devido a sua baixa viscosidade, ela escorre e ocasiona falha de colagem.
<i>Sikadur 31</i>	Epóxi	Boa aderência ao alumínio e argamassa em 48 horas.
<i>Resina de mamona</i>	-	Problemas de escorrimento pela sua baixa viscosidade.
<i>Superbonder</i>	Ester de cianocrilato	Falta de aderência ao alumínio
<i>Massa plástica – Iberê</i>	Poliéster	Boa aderência ao alumínio, porém sua alta viscosidade prejudica sua penetração nos poros da argamassa e sua aderência a ela.
<i>Cola Universal – Anjo</i>	Poliéster	Boa aderência à pastilha metálica e à argamassa em 1 hora.
<i>Concresive 227 Poxy</i>	Epóxi	Boa aderência à pastilha metálica e à argamassa em 12 horas, entretanto devido a sua viscosidade pode ocorrer problema de escorrimento.

(Fonte: COSTA, 2007)

Figura 2.30 – Variação dos valores de resistência de aderência à tração em função da parede revestida.



(Fonte: GONÇALVES, 2004)

A partir dos aspectos apresentados, verifica-se que ainda são incipientes os estudos de avaliação da resistência de aderência de revestimentos em gesso bem como de estudo da interface substrato-gesso. Não se conhecem fatores, como por exemplo, os tipos de ruptura, a espessura, o tempo para realização do ensaio, as características do gesso e a relação com a resistência de aderência. Além disso, diante dos estudos realizados até então, a influência da base nas propriedades e desempenho dos revestimentos continuam restritas à pequenas investigações experimentais.

Há uma carência de pesquisas que norteiem o rumo da análise qualitativa dos revestimentos de gesso e a padronização nacional do ensaio de resistência de aderência à tração em revestimentos de pasta de gesso, sendo este, um parâmetro importante para o controle de qualidade do produto final (ALMEIDA, 2014). Estudos desta natureza estimam melhores condições de aderência do revestimento de pasta de gesso e avaliam situações adequadas de uso.

2.3 DESTAQUES DO LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Neste capítulo, foram apresentados aspectos históricos, mineralógicos e, especialmente, de potencial de crescimento do Polo Gesseiro do Araripe, dada a mineração de gipsita e produção de gesso.

Segundo o SINDUSGESSO (2017), o polo do Araripe é responsável por 84,3 % da produção de gesso do país. A região ocupa esta posição em função da grandeza de suas reservas, da elevada qualidade do minério ali encontrado e pela disposição de um parque industrial de porte no local. No Brasil, no ritmo da produção de 2014, há reservas de gipsita estimadas para mais de um século de exploração (DNPM, 2015).

A deficiência no uso do gesso quando se compara o grande consumo de minerais não-metálicos (cimento, cal e caulim) no Brasil, o número de minas paralisadas na região do polo e a quantidade de importações de manufaturados de gesso podem ser vistos como um interessante potencial de crescimento do uso de gesso, uma vez que a penetração dos produtos de gesso no setor de construção civil pode crescer com facilidade.

Em sequência, pode-se discutir o processamento e calcinação da gipsita para obtenção do gesso, os tipos de gesso e sua hidratação, a importância do controle tecnológico de calcinação da gipsita e preparo do gesso e as suas diversas aplicações. Vários fatores exercem influência no tipo e na qualidade do gesso produzido, como origem mineralógica, temperatura de calcinação, tempo de cozimento, tipo e concentração de aditivos, além de fatores como finura do hemi-hidrato, velocidade de mistura, relação água/gesso, tempo de mistura, temperatura de preparo da pasta e forma dos grãos, entre outros (BALTAR, BASTOS, BORGES, 2004; BARDELLA, 2011).

Neste contexto, pode-se discutir acerca das normatizações brasileiras existentes em torno do gesso. No Brasil, há praticamente todos os tipos de gesso disponíveis no mercado internacional.

No entanto, apenas 3 tipos são normatizados pela ABNT, sendo eles gessos de fundição de revestimento (com e sem aditivo) e gesso cola. Os outros tipos de gesso produzidos e comercializados no Brasil atendem às normas internacionais. Pode-se questionar se os valores obtidos de acordo com os procedimentos de ensaio das normas são requisitos adequados e suficientes para atestar a conformidade do material.

Posteriormente, o gesso para revestimento, objeto de estudo deste trabalho, foi discutido dentro de sua função, ou seja, no sistema de revestimento em pasta de gesso. Este sistema é composto pelo substrato/base, camada de ancoragem, como chapisco ou emulsão adesiva, quando necessário, para melhorar a absorção e a capacidade de aderência à base, uma camada única de gesso e, em seguida, a camada de acabamento, como pintura e papel de parede. Neste contexto, foram tratadas as funções, fatores que influenciam, especificação de acabamento, procedimentos de execução e avaliação de sistemas de revestimento em pasta de gesso.

A ABNT apresenta somente a NBR 13867 (1997) voltada para gesso com funções de revestimento; contudo, apresenta 20 anos sem revisão, além de não tratar assuntos necessários e suficientes para a qualidade final do sistema de revestimento em pasta de gesso (execução, aplicação, avaliação do produto acabado).

É consenso entre os autores que a aderência é uma das propriedades mais importantes, que governam o desempenho dos revestimentos. A nova revisão da NBR 13207 (2017) apresenta uma indicação de que o gesso para construção civil deverá apresentar uma resistência de aderência mínima. Entretanto, não faz indicação de qual norma deverá prescrever o ensaio de determinação. A NBR 13867 (1997) também manifesta atenção com a aderência da pasta de gesso com as bases, entretanto, carece na avaliação dela.

Até os dias de hoje, não há estudos que norteiem o fenômeno de aderência da interface substrato-gesso, nem padronização de ensaio de avaliação dessa aderência. É indispensável avaliar essa propriedade como uma interação entre as camadas constituintes do sistema de revestimento que se deseja avaliar (base, preparo da base e revestimento).

Verifica-se que ainda são incipientes os estudos de avaliação da resistência de aderência de revestimentos em gesso bem como de estudo da interface substrato-gesso. Não se conhecem fatores, como por exemplo, os tipos de ruptura, a espessura, o tempo para realização do ensaio, tratamentos da base, as características do gesso e a relação com a resistência de aderência.

Diante deste contexto, estudos de avaliação da qualidade dos gessos para revestimento produzido no Polo Gesseiro do Araripe sobre as características físicas, químicas e mecânicas são de grande importância para conhecimento do material, bem como pela possibilidade de utilizá-lo em aplicações de maior valor agregado. Além disso, a avaliação do gesso para revestimento como produto acabado por meio de ensaios de resistência de aderência estima melhores condições de aderência do revestimento de pasta de gesso e avaliam situações adequadas de uso.

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental desta pesquisa foi elaborado buscando estudar o gesso para revestimento, tipo B sem aditivos, produzido por diferentes fabricantes na região do Araripe, com o objetivo de fazer uma avaliação de conformidade com as normas da ABNT e de qualidade por meio de análises térmicas, microestrutural e composicionais.

A caracterização dos materiais foi realizada nos Laboratórios de Ensaio de Materiais e Técnicas construtivas (LABMATEC) e ao Laboratório de Ensaio Mecânicos (LEM) da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF) Campus Juazeiro – BA, no Laboratório Núcleo de Estudos Geoquímicos e de Isótopos Estáveis (NEGLABISE) e no Laboratório de Tecnologia Mineral (LTM).

3.1 ETAPAS DO PROGRAMA EXPERIMENTAL

As etapas de desenvolvimento do programa experimental estão descritas nos itens a seguir:

I – Obtenção das amostras de gesso

Os estudos tiveram início com a coleta de 10 gessos em pó para revestimento fornecidos por diferentes fabricantes na região do Polo Gesseiro do Araripe.

II – Caracterização das amostras de gesso

Após coleta das amostras, foi realizada a caracterização dos gessos nos estados anidro, fresco e endurecido por meio dos métodos descritos nos Quadros 3.1, 3.2, e 3.3, respectivamente.

Quadro 3.1 – Caracterização do gesso no estado anidro (pó).

Característica/propriedade analisada	Método
Granulometria	NBR 12127 (2017)
Módulo de finura	NBR 12127 (2017)
Massa unitária	NBR 12127 (2017)
Massa específica	NM 23 (2000)
Teores de água livre e água de cristalização	NBR 12130 (1991)
Composição mineralógica	Difração de raio X (DRX)
Composição química	Fluorescência de raio X (FRX)
Caracterização mineralógica a partir dos eventos da termodecomposição do material	Análise térmica (TGA e DTG)

Quadro 3.2 – Caracterização do gesso no estado fresco (pasta).

Característica/propriedade analisada	Método
Consistência normal	NBR 12128 (2017)
Tempo de pega	NBR 12128 (2017)
Calor de hidratação	Pinheiro (2011)

Quadro 3.3 – Caracterização do gesso no estado endurecido.

Característica/propriedade analisada	Método
Dureza	NBR 12129 (2017)
Resistência à compressão	NBR 12129 (2017)

III – Avaliação dos revestimentos de gesso

O desempenho dos revestimentos de pasta de gesso executados em bases cerâmicas, com e sem pré-umedecimento, foram avaliados através da resistência de aderência à tração por meio de adaptação da NBR 13528 (2010), que é a norma indicada para a avaliação da resistência de aderência à tração de revestimento de argamassas inorgânicas.

3.2 MATERIAIS UTILIZADOS E CRITÉRIOS PARA ESCOLHA

O gesso para revestimento coletado foi obtido pela compra no comércio e por doação dos fabricantes da Região do Polo Gesseiro do Araripe. Não houve critério de escolha dos materiais em relação ao porte da empresa e cidade, sendo a coleta do gesso feita aleatoriamente.

Foram coletadas dez (10) marcas de gessos diferentes entre as cidades de Araripina, Trindade e Ouricuri. O Quadro 3.4 mostra a codificação dos gessos bem como a cidade de origem. Muitas embalagens dos gessos estavam fora de conformidade com a NBR 13207 (2017), uma vez que não apresentavam a especificação do tipo e/ou o nome e a marca do fabricante.

Quadro 3.4 – Codificação e origem das amostras de gesso.

Codificação do gesso	Cidade de origem	Porte da empresa	Tempo de produção	Tipo de forno de calcinação
A	Ouricuri – PE	1 a 10 funcionários	6 a 10 anos	Barriga quente
B	Araripina – PE	-	1 a 5 anos	-
C	Ouricuri – PE	-	11 a 20 anos	Barriga quente
D	Trindade – PE	11 a 30 funcionários	6 a 10 anos	Barriga quente
E	Araripina – PE	31 a 60 funcionários	11 a 20 anos	Barriga quente
F	Araripina – PE	-	11 a 20 anos	-
G	Araripina – PE	Mais de 100 funcionários	Mais de 21 anos	Forno rotativo intermitente
H	Araripina – PE	-	11 a 20 anos	Barriga quente
I	Araripina – PE	Mais de 100 funcionários	11 a 20 anos	-
J	Araripina – PE	-	11 a 20 anos	-

(Fonte: AUTORA, 2017)

3.3 MÉTODOS DE ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO UTILIZADOS

3.3.1 Caracterização física e química no estado anidro (pó)

Os ensaios realizados para caracterizar o gesso para revestimento anidro, ou seja, em pó, foram os relacionados às suas propriedades físicas, como granulometria, massa unitária, massa específica, e às suas características químicas, como os teores de água livre e água de cristalização. Em sequência, foram feitas análises por difração de raio X (DRX), fluorescência de raio X (FRX) e termogravimetria (DTA e TGA).

- Granulometria e módulo de finura

O ensaio de granulometria seguiu as prescrições da NBR 12127 (2017). O ensaio consistiu em passar uma quantidade de 50 g de gesso, previamente seca em estufa à $(40 \pm 4)^\circ\text{C}$, por uma sequência de 4 peneiras, padronizadas pela ABNT, da maior para de menor abertura: 0,84 mm (20#), 0,420 mm (40#), 0,210 mm (70#), 0,105 mm (140#). Após isso, pesou-se a massa de gesso retida (Figura 3.1) em cada uma das peneiras.

Figura 3.1 – Massa retida em cada uma das peneiras e no fundo no ensaio de granulometria do gesso A na ordem de maior malha para de menor, incluindo o fundo.



(Fonte: AUTORA, 2017)

O procedimento foi realizado duas vezes, sendo os resultados calculados com a média das massas, que não diferissem dessa última em 5% ou quando os resíduos fossem menores que 2 g, a diferença de massa entre as peneiras não ultrapassasse 0,1 g (NBR 12127 (1991)). A partir do cálculo das porcentagens retidas e acumuladas, pode-se traçar o gráfico da curva granulométrica do gesso, que mostra a distribuição das partículas quanto ao tamanho.

O MF foi calculado aplicando a Equação [3.1]:

$$MF = \frac{\sum Ra}{100} \quad [3.1]$$

Onde:

MF é o módulo de finura;

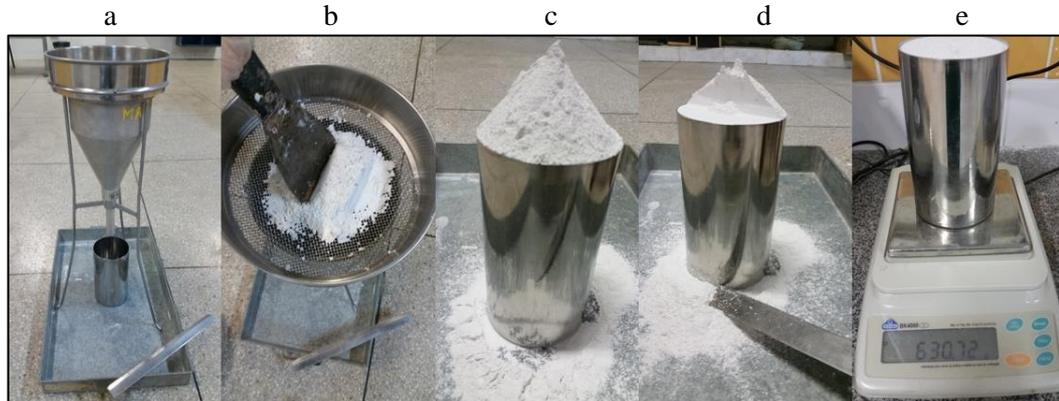
$\sum Ra$ é o somatório do percentual retido acumulado em cada peneira da série-padrão.

De acordo com a NBR 13207 (2017), o gesso para revestimento deve apresentar, no mínimo, 90 % passante na peneira de abertura 0,210 mm.

- Massa unitária

A massa unitária é a razão entre a massa não compactada do material e o volume do recipiente. Para determinação de seu valor, deve-se seguir as prescrições da NBR 12127 (2017). O método consiste em passar a amostra de gesso por um funil, até encher um recipiente de volume conhecido (recipiente cilíndrico, de material não corrosivo, com capacidade de 1000 cm³), conforme Figura 3.2, que apresenta sequência de ensaio.

Figura 3.2 – Sequência de ensaio para determinação da massa unitária do gesso: a) aparelhagem necessária (peneira, funil, recipiente de volume conhecido); b) passagem do gesso em pó pela peneira; c) enchimento do recipiente de volume conhecido com gesso; d) rasamento da superfície do recipiente; e) pesagem do gesso para cálculo da massa.



(Fonte: AUTORA, 2017)

Para cálculo da massa unitária, tem-se a Equação [3.2]:

$$M_u = \frac{M}{V} * 1000 \quad [3.2]$$

Onde,

M_u é massa unitária, em kg/m^3 ;

M é a massa de gesso do recipiente, em g;

V é volume do recipiente, em cm^3 .

Considera-se o valor médio entre duas determinações, desde que a diferença entre elas seja menor que 5 %. A NBR 13207 (2017) exige que a massa unitária do gesso para construção civil seja, no mínimo, 600 kg/m^3 .

- Massa específica

A massa específica é a massa do material por unidade de volume, excluindo aquele devido aos vazios. Seu valor foi determinado pela NM 23 (2000) - Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Esse valor não faz parte dos requisitos de conformidade das normatizações brasileiras de gesso, entretanto, é importante ser conhecido.

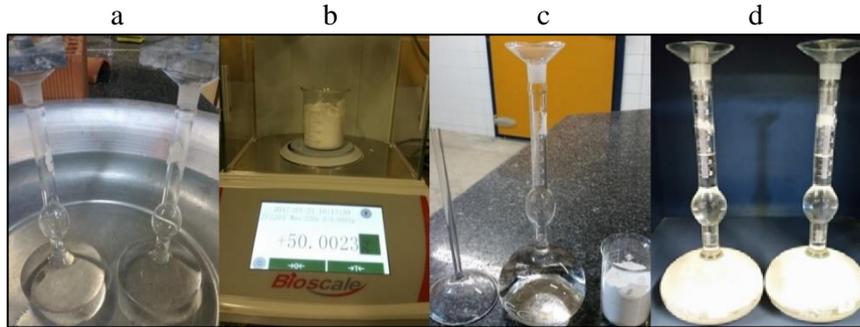
A sua determinação consiste em colocar uma massa conhecida de gesso em um frasco volumétrico de Le Chatelier que apresenta volume preenchido de querosene¹¹ entre as marcas

¹¹ Deve-se utilizar um líquido que não reaja quimicamente com o material e que tenha densidade igual ou superior a $0,731 \text{ g/cm}^3$ a 15°C , e inferior à dos materiais a serem ensaiados, conforme a MN 23 (2000).

de 0 e 1 cm³. Após isso, pode-se verificar o deslocamento causado pelo pó no líquido, por meio da escala graduada no frasco.

A Figura 3.3 apresenta a sequência do ensaio.

Figura 3.3 – Sequência de ensaio para determinação da massa específica do gesso: a) banho maria de frasco de Le Chatelier preenchido com querosene entre as marcas 0 e 1 cm³; b) massa de gesso conhecida; c) colocar quantidade “b” no frasco auxílio de um funil; d) leitura do volume final.



(Fonte: AUTORA, 2017)

A massa específica do material deve ser calculada pela Equação [3.3]:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad [3.3]$$

Sendo,

ρ é a massa específica do material ensaiado, em g/cm³;

m é a massa do material ensaiado, em g;

V é o volume deslocado pela massa do material ensaiado, em cm³.

A massa específica final é dada pela média de duas determinações desde que elas não ultrapassem uma diferença de 0,02 g/cm³.

- Teores de água livre e de cristalização

As características químicas, como os teores de água livre e água de cristalização, foram determinadas pela NBR 12130 (1991). Tais teores indicam a natureza do material. Os valores obtidos foram comparados com os limites exigidos pela NBR 13207 (2017).

A determinação da água livre é feita verificando a perda de massa de 50 g de gesso em estufa a (40 ± 4)°C. Já a água de cristalização é medida pela perda de massa de 2 g de gesso a (230 ± 10) °C, após secagem da água livre.

A NBR 13207 (2017) exige, para gesso para construção civil, o máximo de 1,3 % de água livre e entre 4,2 a 6,2 % de água de cristalização.

- Difração de raio X (DRX)

A fim de identificar as fases minerais presentes nas amostras, foi realizada a caracterização das diferentes marcas de gesso por meio de DRX. Através do difratograma gerado, pode-se efetuar uma análise qualitativa do material, uma vez que este permite o conhecimento de informações sobre a composição e mineralogia dos sólidos cristalinos.

As análises aconteceram no Laboratório de Tecnologia Mineral (LTM), na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), utilizando o equipamento Bruker D2-Phaser de DRX, com uma fonte de radiação de $\text{CuK}\alpha$ (1,54060 Å), tensão de 30 kV e faixa de 2θ de 0 a 80 graus.

- Fluorescência de raio X (FRX)

Os teores CaO e SO_3 dos gessos devem atender valores mínimos impostos pela NBR 13207 (1994), que deve ser, no mínimo, de 38 % de CaO e de 53 % de SO_3 . A determinação desses valores pode ser feita com precisão pelo método da NBR 12130 (1991) por via úmida, mas ocorreu pela técnica de FRX, que é um método qualitativo e semiquantitativo da composição química dos material.

Para isso, utilizou-se amostras secas a 110°C e o equipamento Rigaku modelo ZSX Primus II, equipado com tubo de Rh e 7 cristais analisadores do Laboratório Núcleo de Estudos Geoquímicos e de Isótopos Estáveis (NEGLABISE) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

- Análises térmicas

As análises térmicas são representadas nessa pesquisa pela: termogravimetria (TGA) e análise térmica diferencial (DTG), que consistem em técnicas nas quais as amostras são submetidas a uma programação controlada e crescente de temperatura.

Pela TGA, observa-se a perda de massa em função da temperatura; já pela DTG, busca-se as temperaturas nas quais ocorrem reações por meio de picos que delimitam as áreas proporcionais a variação de massa. A DTG é obtida através da derivada primeira da TGA e resulta numa representação gráfica de maior percepção visual dos eventos ocorridos, como a desidratação, visto que substitui os degraus da TGA por picos.

Essas análises aconteceram no Laboratório de Tecnologia Mineral (LTM), na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), utilizando o equipamento Shimadzu DTG-60H, com uma taxa de aquecimento 10°C/min.

3.3.2 Caracterização da pasta

Os ensaios realizados para caracterizar a pasta de gesso foram os relacionados às suas propriedades físicas e químicas, como consistência normal, tempo de pega e calor de hidratação. As pastas de gessos estudadas foram dosadas com relação água/gesso (a/g) dadas pela consistência normal e de 0,8, usual em obras de construção civil.

- Consistência normal

A consistência normal, obtida conforme a NBR 12128 (2017), utilizando um aparelho de Vicat modificado (Figura 3.4), corresponde a relação água/gesso na qual se obtém uma fluidez da pasta adequada à manipulação, verificada por meio da penetração da sonda cônica de (30 ± 2) mm. A pasta foi preparada de acordo com as prescrições da referida norma.

Figura 3.4 – Aparelho de Vicat modificado utilizado para o ensaio de determinação da consistência normal.



(Fonte: AUTORA, 2017)

- Tempo de pega

O tempo de pega é determinado conforme a NBR 12128 (2017) utilizando um aparelho de Vicat (Figura 3.5). De acordo com a referida norma, o início de tempo de pega é dado pelo tempo decorrido a partir do momento que o gesso entrou em contato com a água até aquele em que a agulha do aparelho não penetrar mais no fundo da pasta, ficando a 1 mm acima da base.

Figura 3.5 – Aparelho de Vicat modificado utilizado para o ensaio de determinação do tempo de pega.



(Fonte: AUTORA, 2017)

O tempo de fim de pega é medido a partir do momento que o gesso entra em contato com a água até aquele em que a agulha não conseguir mais penetrar, deixando apenas uma leve impressão na superfície da pasta.

De acordo com a NBR 13207 (2017), o gesso é classificação para revestimento quando apresenta tempo de início de pega maior que 10 minutos e fim de pega maior que 35 minutos.

Os resultados devem expressar a média de, pelo menos, duas determinações, que não apresentem variação superior a 5 %.

- Calor de hidratação

Por meio de ensaios calorimétricos, pode-se acompanhar a evolução da hidratação das pastas. Estes ensaios fornecem os incrementos de temperatura ao longo do tempo. Assim, pode-se construir as curvas de calor de hidratação da pasta de gesso.

Para isso, foi utilizado um equipamento em condições pseudoadiabáticas¹², composto por um recipiente de isopor com tampa e um copo de plástico descartável também fechado com tampa de isopor (Figura 3.6). Entre o espaço destinado ao copo e a parede interna do recipiente foi colocado um material de baixa condutividade térmica (espuma de poliuretano). Foi utilizado um dispositivo de medição de temperatura USB para conectar a um computador, que coleta dados de temperatura em intervalos de tempo determinados e envia para o computador

¹² Sistema isolado que impede trocas de calor com o meio externo, mas não é perfeito.

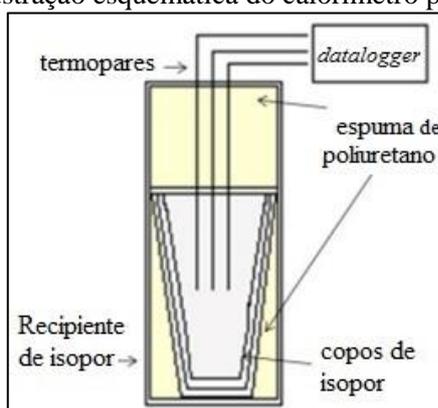
conectado. Esta metodologia é semelhante à adotada por Pinheiro (2011), conforme ilustrado na Figura 3.7.

Figura 3.6 – Aparelhagem para ensaio de calorimetria.



(Fonte: AUTORA, 2017)

Figura 3.7 – Ilustração esquemática do calorímetro pseudoadiabático.



(Fonte: PINHEIRO, 2011)

3.3.3 Caracterização do gesso no estado endurecido

A NBR 12129 (2017) prescreve a metodologia para determinação das propriedades mecânicas do gesso para construção. A avaliação se dá por meio da dureza e resistência à compressão.

As pastas foram preparadas conforme as determinações da NBR 12129 (2017) com relação a/g obtida pela consistência normal e de 0,8.

Para ensaio de dureza e resistência à compressão, devem ser moldados 3 corpos de prova cúbicos (50,0 mm x 50,0 mm x 50 mm) em molde padronizado (impermeável e não reativo ao sulfato de cálcio) para cada marca de gesso.

A aparelhagem necessária e a sequência da moldagem dos corpos de prova podem ser observadas na Figura 3.8.

Figura 3.8 – Aparelhagem e sequência de moldagem dos corpos de prova para ensaio de resistência à compressão e dureza: a) molde; b) produção da pasta; c) rasamento da superfície (sem alisar).



(Fonte: AUTORA, 2017)

Após 1 hora, os corpos de prova foram desmoldados e deixados cerca de 2h em condições ambientes. Em seguida, foram colocados em estufa durante sete dias para secagem à 40 °C, para obtenção de massa constante. Em seguida, pode-se realizar o ensaio de dureza e resistência à compressão.

- Dureza

Para determinação da dureza, utilizou-se uma máquina universal de ensaios EMIC, aplicando-se uma carga de 50 N durante 2 segundos. Em seguida, esta carga é aumentada para 500 N, permanecendo assim por 15 s. Esse processo foi aplica nas faces inferiores de moldagem e em outras duas faces laterais opostas escolhidas de todos os corpos de prova.

A aplicação dessa carga se dá por contato indireto entre a prensa e o corpo de prova através de uma esfera metálica de diâmetro igual a 9,5 mm. A esfera produz uma impressão na superfície do corpo de prova, que deve ter profundidade medida. O esquema da aplicação da carga por meio da esfera pode ser visto na Figura 3.9.

Figura 3.9 – Ensaio de dureza das pastas de gesso.



(Fonte: AUTORA, 2017)

Assim, para cada corpo de prova, deve-se calcular a média de profundidade das 3 faces. Em seguida, calcula-se a média de profundidade dos 3 corpos de prova. A NBR 12129 (2017), nos itens 5.1.4 e 5.1.5, ressalta que o valor adotado para a série deve ser a média entre os três resultados obtidos, salvo quando um dos valores individuais divergir mais que 15% da média, devendo excluí-lo do cálculo da profundidade. No item 5.1.6, a norma afirma também que se mais de uma das médias dos corpos de prova diferir mais de 15% da média global, deve-se repetir o ensaio em outra série.

Em posse do valor médio de profundidade de impressão, pode-se calcular o valor da dureza com a Equação [3.4].

$$D = \frac{F}{\pi * \phi * t} \quad [3.4]$$

Onde,

D é dureza, em N/mm²;

F é carga, em N;

ϕ é diâmetro da esfera, em mm;

t é a média de profundidade, em mm.

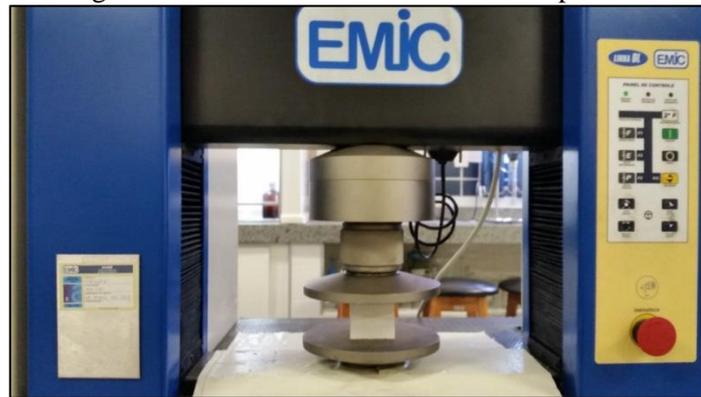
De acordo com a NBR 13207 (2017), para que o gesso seja caracterizado como para construção civil, deve-se apresentar dureza superior a 20 N/mm².

- Resistência à compressão

Para o ensaio de resistência à compressão, utilizam-se os mesmos corpos de prova do ensaio de dureza, aplicando-se carga em uma das faces não utilizadas na penetração da esfera, excetuando a face superior de moldagem.

Para isso, utilizou a velocidade de ensaio de 2000 mm/min até a ruptura, na mesma máquina do ensaio de dureza (máquina universal de ensaios EMIC) mudando-se a célula de carga, como pode ser visto na Figura 3.10.

Figura 3.10 – Ensaio de resistência à compressão.



(Fonte: AUTORA, 2017)

O valor da resistência à compressão R é dado pela Equação [3.5]:

$$R = \frac{P}{S} \quad [3.5]$$

Onde,

R é a resistência à compressão, em MPa;

P é a carga de ruptura, em N;

S é área de seção transversal de aplicação da carga, em mm².

A resistência à compressão foi obtida com a média da resistência dos 3 corpos de prova. Cada resultado individual não deve diferir mais de 15 % da média calculada. Caso contrário, a norma permite que esse resultado seja descartado e se considera apenas a média dos outros 2 corpos de prova. Havendo mais de um resultado com diferença maior que 15% da média, deve-se desconsiderar os resultados e repetir o ensaio.

A NBR 13207 (2017) não avalia a resistência à compressão do gesso para ser aplicado na construção civil, entretanto, de acordo com a antiga edição (NBR 13207 (1994)), o gesso deveria apresentar resistência à compressão superior a 8,40 MPa.

3.4 AVALIAÇÃO DE REVESTIMENTOS EM PASTA DE GESSO - RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO

Foi realizada a avaliação do gesso como produto acabado por meio da metodologia da normatização brasileira que avalia o revestimento em argamassa por meio da resistência de aderência à tração (NBR 13528 (2010)).

Os próximos tópicos abordarão as variáveis de estudo, o método de execução das bases, dosagem, mistura e aplicação das pastas e, em sequência, o ensaio de resistência de aderência.

3.4.1 Variáveis de estudo

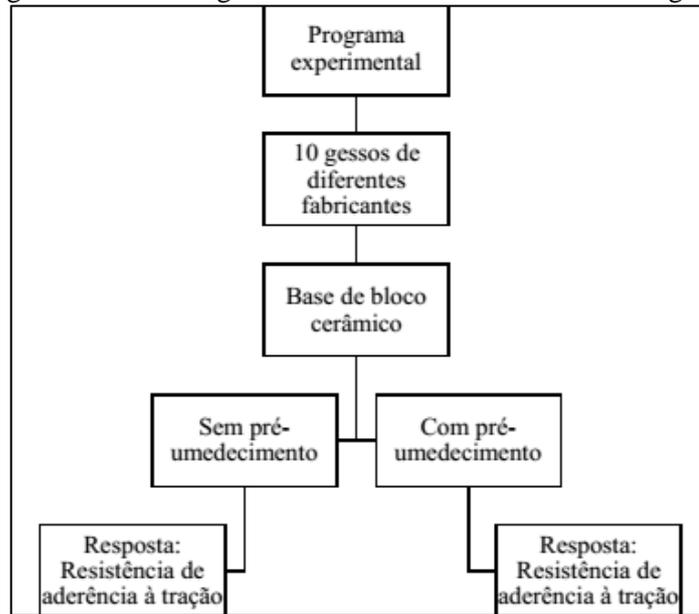
Sobre o desempenho de revestimentos em pasta de gesso, há vários questionamentos. Não se sabe ao certo qual a influência de características como tipo de base de aplicação, espessura do revestimento, aplicação de chapisco, pré-umedecimento da base no desempenho do revestimento. Os questionamentos são alvo de investigações experimentais e podem ser variáveis de estudo.

No presente estudo, o substrato analisado foi em base cerâmica, uma vez que é um dos mais utilizados no Brasil. O pré-umedecimento da base foi uma das variáveis de estudo, uma vez que a NBR 13867 (1997) orienta o umedecimento antes da aplicação do revestimento. Logo, foi avaliada a resistência de aderência da base com e sem pré-umedecimento.

Uma das patologias que atingem os revestimentos de argamassas são os destacamentos, que, muitas vezes são causados pelas altas espessuras de revestimento. Quanto a espessura ideal, há diferentes opiniões na literatura e a NBR 13867 (1997) não faz indicação. Neste contexto, executou-se os revestimentos com espessuras em torno de 1,5 centímetro.

Logo, o estudo foi desenvolvido com base no fluxograma da Figura 3.11.

Figura 3.11 – Fluxograma do estudo em revestimentos de gesso.



(Fonte: AUTORA, 2017)

3.4.2 Execução das bases cerâmicas

As bases para aplicação do revestimento foram executadas com blocos cerâmicos. Conforme afirma Almeida (2014), as bases também necessitam de qualidade satisfatória para que a interferência negativa de possíveis imperfeições, que poderiam causar falsos resultados nos experimentos, fosse reduzida.

Yazigi (2006) recomenda que os blocos não possuam qualquer tipo de defeitos, tais como trincas, quebras, pois esse tipo de anormalidade pode comprometer a boa execução da alvenaria. Logo, os blocos escolhidos para execução das bases passaram por uma análise visual.

Para uma melhor condição de prumo e de execução dos revestimentos, as alvenarias foram executadas deitadas, sendo o piso, o fundo nivelador, que garantia boa condição de prumo. A Figura 3.12 mostra as alvenarias executadas sobre o piso.

Figura 3.12 – Alvenarias executadas sobre o piso.



(Fonte: AUTORA, 2017)

3.4.3 Dosagem e mistura da pasta

A relação água/gesso utilizada foi de 0,8; relação esta que é comumente utilizada em obras.

A mistura do material foi realizada pelo auxiliar de técnico do LABMATEC, que apresenta prática em revestimentos de gesso, com intuito de se minimizar possíveis interferências que venham a comprometer o desempenho do revestimento executado.

O procedimento realizado foi semelhante ao descrito no tópico 2.2.4.2 deste trabalho. A água e o gesso foram pesados. Após isso, utilizou-se um recipiente limpo para colocar a água, polvilhar o gesso (Figura 3.13) e realizar a mistura. Após o polvilhamento, a pasta ficava 2 minutos em repouso, seguido de mistura durante 1 minuto. Na sequência, o aplicador verificava a consistência ideal da pasta para aplicação.

Figura 3.13 – Polvilhamento do gesso na água.



(Fonte: AUTORA, 2017)

3.4.4 Aplicação da pasta

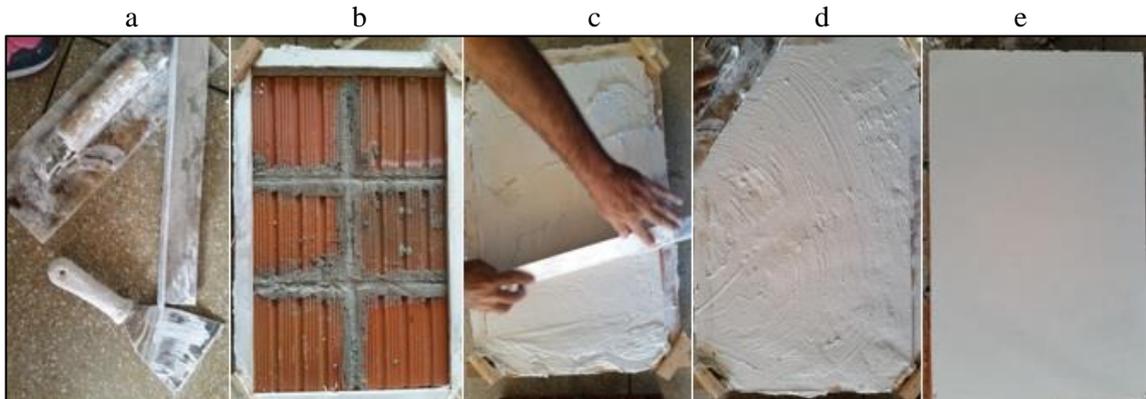
A aplicação da pasta pelo gesseiro seguiu procedimento semelhante ao descrito no tópico 2.2.4.3 do presente trabalho. Optou-se pelo padrão sarrafeado, que apresenta um acabamento superior ao desempenado e ainda permite maior controle da espessura do revestimento.

A fim de eliminar a interferência da ergonomia do gesseiro na qualidade do revestimento acabado, conforme apresentado por Costa e Carasek (2009), as alvenarias também foram revestidas deitadas sobre o piso.

O pré-umedecimento de metade das bases ocorreu com auxílio de uma brocha molhada, antes de receber o revestimento.

O procedimento de execução seguiu como descrito na Figura 3.14. Para garantir a uniformidade da espessura do revestimento, utilizou-se de uma moldura de madeira de espessura de 1,5 cm apenas durante a execução do revestimento.

Figura 3.14 – Ferramentas e sequência de execução do revestimento: a) régua de alumínio, desempenadeira e espátula; b) base e moldura para garantir espessura uniforme do revestimento; c) retirada de excesso de revestimento com régua de alumínio; d) desempenamento da superfície; e) revestimento acabado.



(Fonte: AUTORA, 2017)

Após o acabamento do revestimento, as alvenarias foram postas na vertical para secagem em condições reais (Figura 3.15).

Figura 3.15 – Secagem dos revestimentos durante 28 dias.



(Fonte: AUTORA, 2017)

3.4.5 Ensaio de resistência de aderência à tração

As normatizações brasileiras de ensaios de gesso para construção civil não especificam o tempo de espera necessário para garantir a completa secagem após a execução do revestimento para realização de ensaios, inclusive a NBR 12129 (2017), que descreve os métodos de determinação

das propriedades mecânicas do gesso, não estabelece o tempo entre a moldagem dos corpos de prova e o ensaio.

A indicação da literatura quanto a esse tempo de secagem é bastante variável conforme já citado. Para Hincapie *et al.* (1996) *apud* Akkari e Souza (2005), esse intervalo varia entre 7 e 14 dias. De acordo com Accorsi (2015), 7 dias são suficientes. Almeida (2014) afirma que 7 dias não são suficientes, pois, em seus estudos, detectou umidade significativa no revestimento.

Assim, de forma a garantir maior confiabilidade e condições de realização dos ensaios, o tempo de espera entre a aplicação do revestimento e o ensaio de resistência aderência a tração foi de 28 dias, como indicado pela NBR 13528 (2010) para argamassas mistas ou de cimento.

Utilizou-se os equipamentos uma serra copo para corte circular e dinamômetro à tração da marca Dinateste para aplicação da carga, conforme Figura 3.16.

Figura 3.16 – Dinamômetro utilizado no ensaio de resistência de aderência.



(Fonte: AUTORA)

O procedimento de realização do ensaio seguiu as prescrições da NBR 13528 (2010) com algumas adaptações:

1. Realizou-se 12 cortes circulares a seco em cada alvenaria com uma serra copo espaçadas entre si e da borda, no mínimo, 5 cm (Figura 3.17);

Figura 3.17 – Cortes circulares a seco no revestimento gesso para colagem das pastilhas.



(Fonte: AUTORA, 2017)

2. Fez-se a limpeza da superfície para retirada do material pulverulento para colagem de pastilhas nos corpos de prova (cortes circulares) como mostra a Figura 3.18. Para isso, foi utilizada a massa plástica da marca Iberê, colocando uma pequena porção sobre as pastilhas metálicas e, em seguida, colando no revestimento.

Figura 3.18 – Pastilhas coladas nos corpos de prova.



(Fonte: AUTORA, 2017)

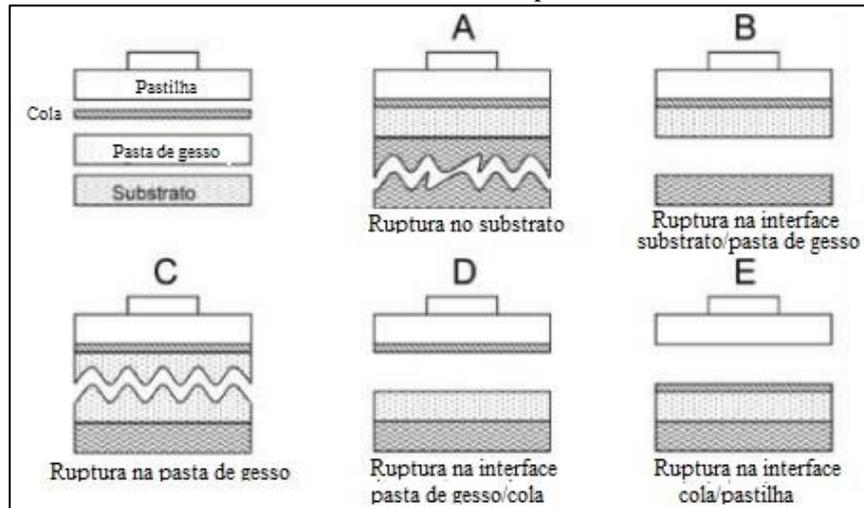
3. Em seguida, pode-se acoplar o dinamômetro nas pastilhas (Figura 3.19) para aplicação de uma força de tração até o destacamento do corpo de prova. O valor da carga de ruptura foi registrado para cálculo de resistência de aderência à tração, bem como a forma de ruptura de todos os corpos de prova dos revestimentos, conforme Figura 3.20;

Figura 3.19 – Dinamômetro acoplado na pastilha para aplicação de uma força de tração.



(Fonte: AUTORA, 2017)

Figura 3.20 – Formas de ruptura no ensaio de resistência de aderência à tração para um sistema de revestimento sem chapisco.



(Fonte: adaptação NBR 13528, 2010)

4. A média de dois diâmetros dos corpos de prova foi medida com um paquímetro e registrada para cálculo da resistência de aderência à tração.

A resistência de aderência à tração é dada pela Equação [3.6]:

$$Ra = \frac{F}{A} \quad [3.6]$$

Onde,

Ra é a resistência de aderência à tração, em MPa;

F é a força de ruptura, em N;

A é a área do corpo de prova, em mm².

Nos casos em que a ruptura ocorreu na interface substrato/pasta de gesso (Caso B das Figuras 3.21), o valor da resistência de aderência foi calculado com base na Equação [3.6].

Nos casos em que a ruptura ocorreu na interface cola/pastilha (Caso E da Figura 3.21), o resultado foi desprezado, considerando-se que a ruptura se deu por imperfeições de cola.

Nos demais casos (A, C e D), mostrados na Figura 3.21, a resistência de aderência não foi determinada e é maior que o valor obtido no dinamômetro, então, no relatório de ensaio, o valor de ruptura foi apresentado precedido pelo sinal de maior que (>).

5. Logo após o ensaio, 3 testemunhos foram retirados do sistema de revestimento com auxílio da serra copo para determinação da umidade do revestimento, uma vez que esta afeta a resistência de aderência. Os testemunhos foram pesados antes (Figura 3.21) e

depois de serem colocados na estufa a 42°C. As espessuras de cada um deles também foram medidas.

Figura 3.21 – Determinação das massas dos testemunhos para determinação da umidade.



(Fonte: AUTORA, 2017)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, são apresentados os resultados obtidos com a execução do programa experimental e as discussões.

4.1 RESULTADOS DE CARACTERIZAÇÃO NO ESTADO ANIDRO

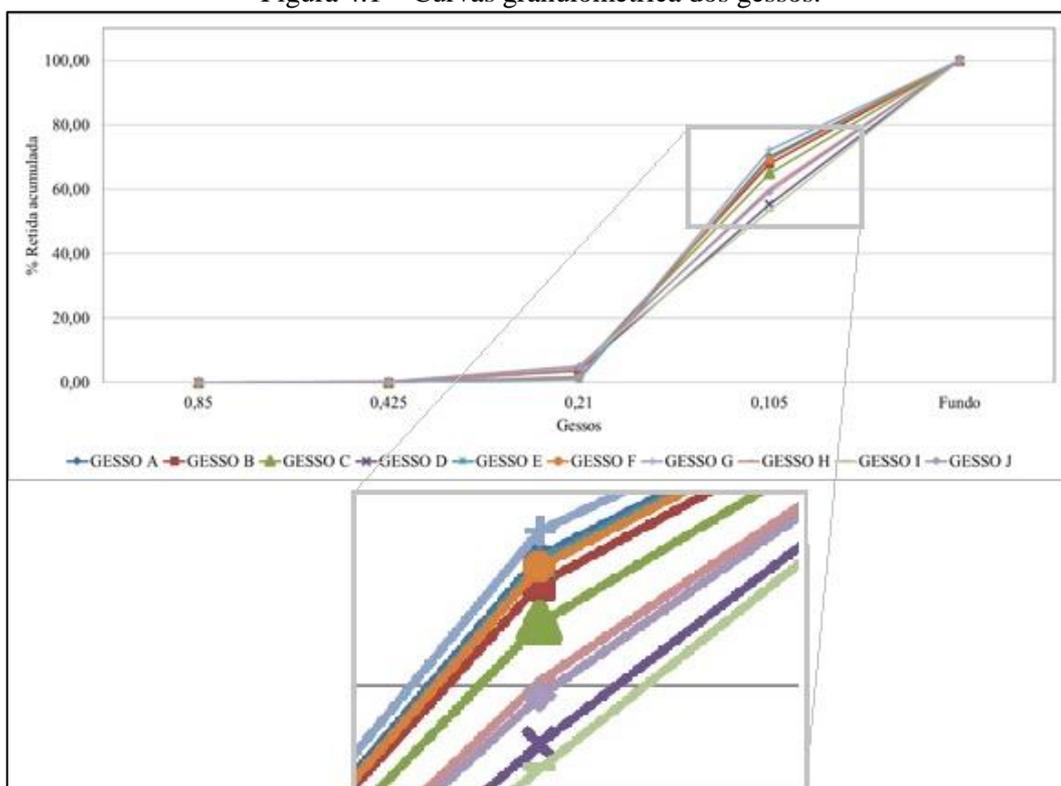
4.1.1 Granulometria e módulo de finura

O ensaio de granulometria dos gessos é de fundamental importância, pois é uma das propriedades que mostra a melhor aplicação para o gesso (COSTA, 2013).

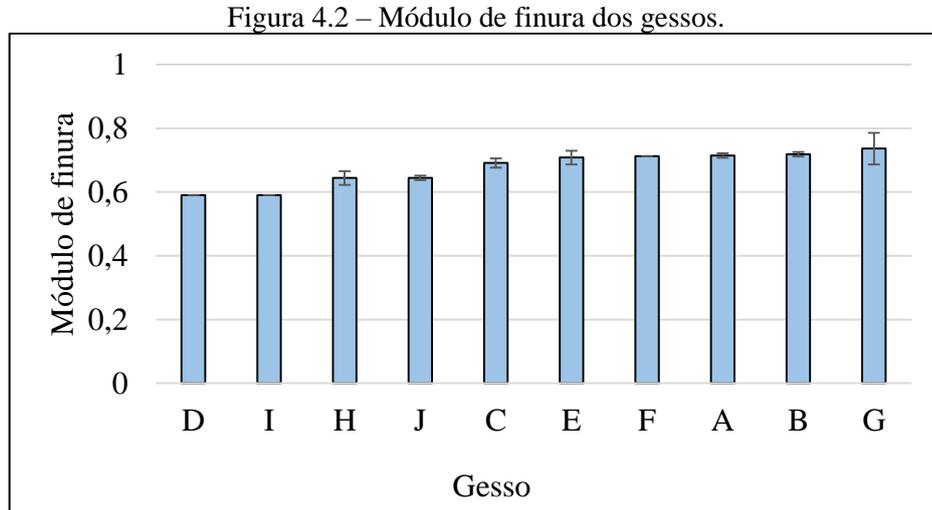
Grande parte dos gessos comercializados no país são compostos predominantemente por hemi-hidrato β , de onde, de acordo com a granulometria, se classifica como gesso para fundição ou para revestimento (COSTA, 2013). A granulometria apresenta influência em diversas outras propriedades do gesso, como massa unitária, tempo de pega, consistência normal, dureza, resistência à compressão e de aderência.

A Figura 4.1 apresenta as curvas granulométricas obtidas no ensaio de granulometria dos gessos estudados. Os valores individuais encontram-se no Apêndice A.

Figura 4.1 – Curvas granulométrica dos gessos.



A partir da soma das porcentagens retidas acumuladas na série de peneiras dividida por 100, pode-se calcular o módulo de finura de cada gesso, conforme mostra a Figura 4.1, onde verifica a ordem dos gessos de menor para maior módulo de finura, com indicação do desvio padrão no topo de cada barra. Os módulos de finura dos gessos variaram entre 0,59 e 0,74.



A antiga edição da NBR 13207 (1994), que apresentava os requisitos para o gesso de construção civil, classificava o gesso para fundição e para revestimento como sendo fino e grosso em função do módulo de finura. Aquele com um módulo de finura superior a 1,10, era classificado como fino e, do contrário, como grosso. De modo a diferenciar o gesso para fundição e para revestimento, a norma solicitava o ensaio de pega, onde aqueles com tempo de pega menor (4 a 10 minutos), deveriam ser classificados como para fundição.

Entretanto, a recém lançada edição da mesma norma (NBR 13207 (2017)) não utiliza o conceito de módulo de finura como um critério de classificação dos gessos, especificando apenas uma granulometria mínima (porcentagem passante) em certa peneira como requisito de aplicação do gesso de construção civil. Para os gessos para revestimento, solicita-se que tenham, no mínimo, 90 % passante na peneira de abertura de 0,21 mm.

De acordo com a antiga edição da referida norma, todos os gessos estudados estariam classificados como finos. Já de acordo com a nova edição, todos os gessos atendem ao requisito de, no mínimo, 90 % passante na peneira de abertura de 0,21 mm.

A ASTM C28/C28M-10 (2015) (especificações técnicas para gesso de construção) especifica que, no ensaio de granulometria, o gesso para construção não deve apresentar material retido na peneira de 1,4 mm e, pelo menos, 60 % do material deve passar na peneira de 0,150 mm. Todos os gessos estudados não atendem esse último requisito.

A partir das curvas granulométricas da Figura 4.1, observa-se uma semelhança entre os gessos nas porcentagens retidas entre as peneiras de malha 0,85 e 0,21 mm, de modo que as linhas se sobrepõem. As diferenças entre os gessos se encontram na peneira de malha 0,105 mm, apresentando até 18,81 % de diferença de material retido acumulado entre os gessos G (maior quantidade) e I (menor quantidade).

Percebe-se que os gessos que apresentam maior teor de material retido na peneira de 0,105 mm são os A, B, C, E, F e G (60 a 71 %). Os gessos D e I são os que apresentam maior teor de finos, explicado pela maior quantidade retida no fundo (mais de 44 %) e retém também, aproximadamente, 50 % na peneira de 0,105 mm. Entretanto, o gesso I apresenta mais de 5 % de material retido na peneira de 0,21 mm, sendo o gesso também que apresenta maior teor de material retido nesta peneira em relação aos demais. Os gessos H e J se encaixam numa situação intermediária, apresentando em torno de 55 % retido na peneira de 0,105 mm e 40 % no fundo. Essas informações podem ser melhor verificadas com detalhes no Apêndice A.

De acordo com análise por Anova – fator único (Apêndice B), os módulos de finura dos gessos A, B, C, E, F e G; D e I; e, H e J não apresentam diferenças estatisticamente significativas.

É sabido que, o módulo de finura dá uma ideia de finura do material, uma vez que representa uma medida da quantidade de material retida nas peneiras. Assim, à medida que aumenta o módulo de finura, tem-se um aumento do tamanho das partículas. Ou seja, para os menores valores de módulo de finura, tem-se um gesso mais fino, com maior área específica e para os maiores valores de módulo de finura, tem-se um gesso mais grosso, com menor área específica.

Entretanto, já se discute na literatura¹³ a não representatividade do valor do módulo de finura do agregado, podendo aplicar mesma ideia na avaliação da granulometria do gesso. Ye *et al.* (2011) mostra que, para um gesso α , diferentes curvas granulométricas podem gerar os mesmos módulos de finura.

Além disso, o ensaio de granulometria recomendado pela norma brasileira (NBR 12127 (2017)) apresenta algumas limitações. Em primeiro lugar, a energia de peneiramento entre operadores apresenta influência e alteração da massa passante. Em segundo lugar, a diferença da malha entre duas peneiras seguidas é o dobro para um material muito fino, sendo assim, não se conhece a distribuição dos grãos dentro do intervalo de malhas das peneiras. Em terceiro lugar, um único ensaio pode durar muitas horas, alterando o material ensaiado. Por último, o gesso, como

¹³ Carneiro (1999).

material que reage facilmente com o ar ambiente absorve umidade, pode formar grumos e falsear o resultado.

As diferenças do módulo de finura dos gessos para revestimentos utilizados por diversos autores na literatura apresentam um intervalo grande (0,17 a 1,08¹⁴) que se leva a desconfiar da representatividade da técnica. Assim, este método de ensaio oferece apenas uma noção da granulometria do material.

Para determinação mais detalhada da distribuição dos grãos, indica-se uma técnica mais robusta de maior sensibilidade para obtenção de valores de granulometria, como ensaio de granulometria a laser. Assim, alguns dados são possíveis de serem reconsiderados através de dados mais refinados.

4.1.2 Massa unitária e específica

Os valores médios de massas unitária e específica de cada gesso podem ser observados na Tabela 4.1. No Apêndice C, apresenta-se os valores individuais.

Tabela 4.1 – Massa unitária e específica dos gessos.

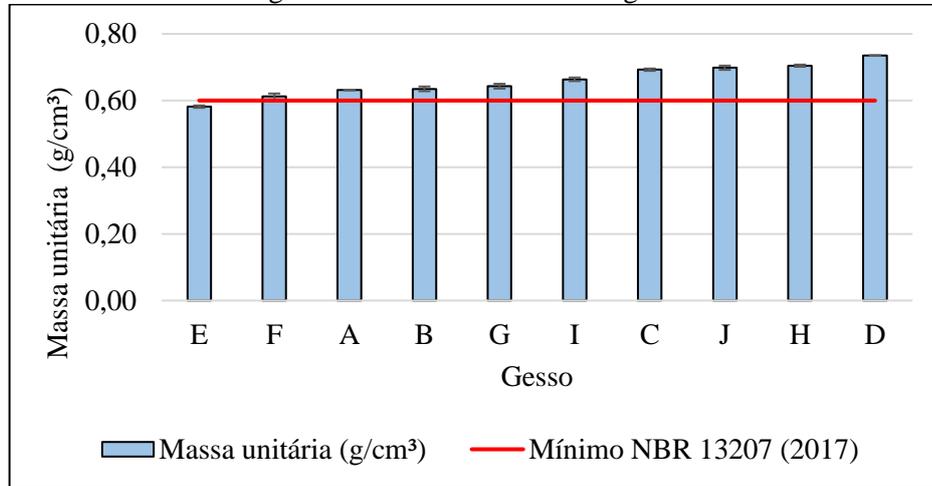
GESSO	Massa unitária (g/cm³)	Massa específica (g/cm³)
A	0,63	2,61 ± 0,01
B	0,64 ± 0,01	2,60 ± 0,01
C	0,69	2,57 ± 0,01
D	0,74	2,57
E	0,58	2,57 ± 0,01
F	0,61 ± 0,01	2,56 ± 0,01
G	0,64 ± 0,01	2,59
H	0,70	2,54 ± 0,02
I	0,66 ± 0,01	2,55 ± 0,01
J	0,70 ± 0,01	2,55 ± 0,01

De modo a facilitar a compreensão do leitor, a Figura 4.3 apresenta um gráfico de barras com os valores em ordem crescente de massa unitária dos gessos estudados com a barra de erro no topo para indicação do desvio padrão. As massas unitárias dos gessos variaram entre 0,58 e

¹⁴ Bardella (2011), Trovão (2012), Almeida (2014), Antunes e John (2002)

0,74 g/cm³; valores que se encontram próximos àqueles determinados pelos autores Sousa *et al* (2015), Costa (2013), Bardella (2011).

Figura 4.3 – Massa unitária dos gessos.



A NBR 13207 (1994) orientava que a massa unitária para o gesso de construção deveria ter valor maior que 700 kg/m³ (0,7 g/cm³), sendo assim, apenas os gessos D, H e J estariam em conformidade, porém, de acordo com a nova edição da norma (NBR 13207 (2017)), o valor mínimo foi reduzido para 600 kg/m³ (0,6 g/cm³). Logo, somente o gesso E é não conforme.

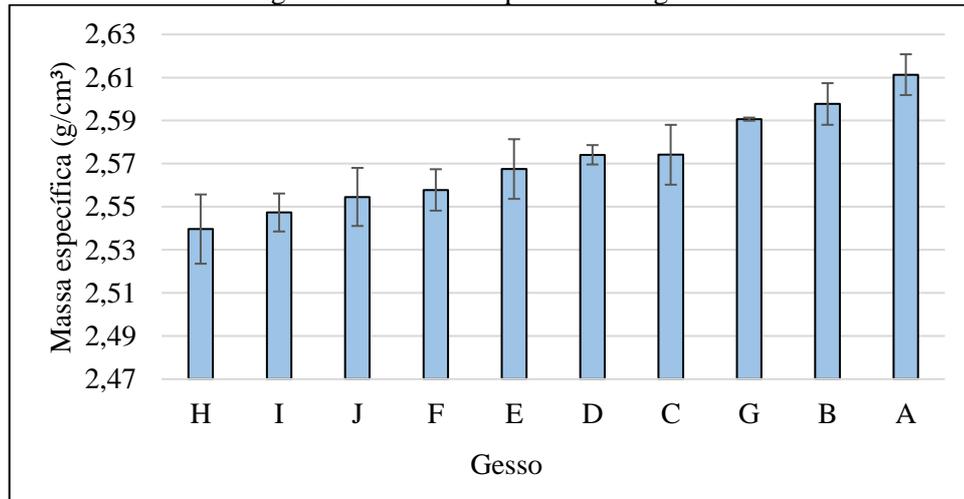
O gesso em pó fica, predominantemente, retido na peneira de 0,105 mm e no fundo. Então, pode-se fazer uma correlação entre a massa unitária e porcentagens retidas na peneira de malha 0,105 mm e o fundo de modo a ser ter noção da ligação entre as grandezas granulometria e massa unitária. Observa-se uma correlação forte¹⁵ (Apêndice D), onde a medida que aumenta a porcentagem retida no fundo e reduz a da peneira 0,105 mm, tem-se se aumento da massa unitária. Do contrário, ter-se-ia uma diminuição. Essa correlação poderia ser inferida, uma vez que um aumento da porcentagem retida no fundo acarreta uma redução do número de vazios e, conseqüentemente, um aumento da massa unitária.

Fatores, como características do material, condições ambientes e de operação, também podem interferir na massa unitária.

A Figura 4.4 apresenta graficamente os valores obtidos no ensaio de massa específica em ordem crescente.

¹⁵ Os coeficientes de correlação de Pearson calculados foram -0,755 e 0,740 para uma relação entre massa unitária e porcentagem de massa retida na peneira de 0,105 mm e o fundo, respectivamente.

Figura 4.4 – Massa específica dos gessos.



É válido ressaltar que as normalizações de gesso para construção civil não tratam da avaliação do gesso pelo ensaio de massa específica. John e Cincotto (2007) afirmam que a densidade de massa específica não é usualmente determinada para a caracterização de gessos, embora possa auxiliar na determinação da composição de fases do gesso. Para Cincotto, Agopyan e Florindo (1988b), massa específica e unitária são grandezas que caracterizam a homogeneidade do material.

A variação de massa específicas entre os gessos foi de 2,54 a 2,61 g/cm³, ou seja, uma diferença de até 0,07 g/cm³. Os valores encontrados estão compatíveis com os obtidos por Cincotto, Agopyan e Florindo (1988b) quando os autores analisaram 15 gessos comercializados em São Paulo no ano de 1988.

Valores diferenciados de propriedades físicas entre os gessos em pó são percebidos. Para Bardella (2011), essa variação de massa unitária e específica entre os gessos pode ser atribuída ao arranjo dos cristais na massa do gesso e a estrutura cristalina que depende das condições de produção do hemi-hidrato.

4.1.3 Água livre e de cristalização

Os resultados dos teores de água livre e de cristalização dos gessos obtidos segundo a NBR 12130 (1991) se encontram na Tabela 4.2. Para valores individuais, pode-se consultar o Apêndice E.

Tabela 4.2 – Água livre e de cristalização dos gessos.

GESSO	Água livre (%)	Limite Água livre (%) - NBR 13207 (2017)	Água de cristalização (%)	Limite Água de cristalização (%) - NBR 13207 (2017)
A	0,60 ± 0,03	≤ 1,3%	7,5234 ± 0,1988	4,2 a 6,2%
B	0,73 ± 0,01		7,1276 ± 0,0415	
C	0,54		7,3706 ± 0,1847	
D	0,31 ± 0,01		6,6882 ± 0,0565	
E	0,30		6,5299 ± 0,3231	
F	0,45 ± 0,01		6,8763 ± 0,2293	
G	0,69 ± 0,04		6,9879 ± 0,1281	
H	0,08		6,8712 ± 0,1733	
I	0,56 ± 0,03		6,8890 ± 0,1356	
J	0,67 ± 0,01		6,8549 ± 0,1018	

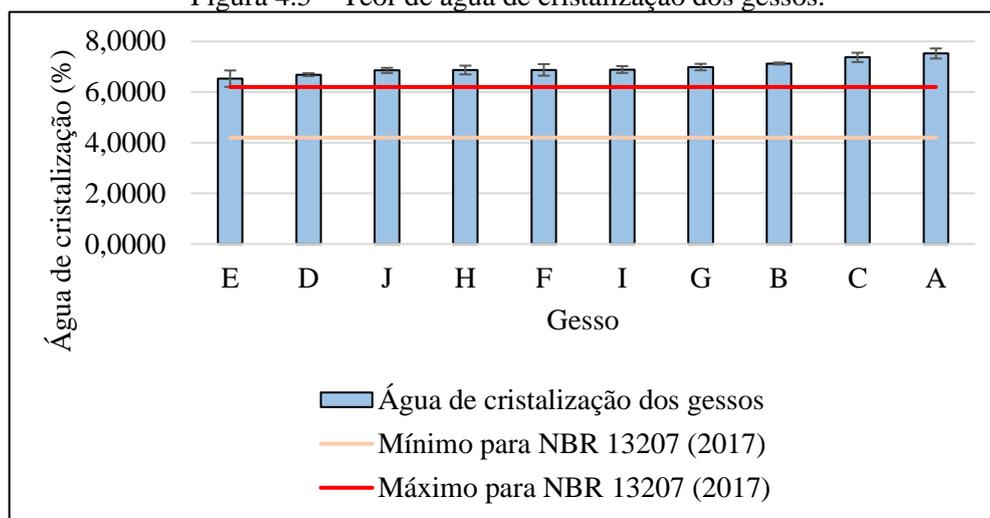
A água livre diz respeito a água disponível, não ligada que está presente entre os grãos e é eliminada com facilidade. O teor de água livre muitas vezes depende das condições ambientais e de armazenamento.

O teor de água livre dos gessos variou em um intervalo de 0,08 a 0,73 %. De acordo com a NBR 13207 (2017), o gesso para construção civil deve apresentar um máximo de 1,30 % de água livre. Sendo assim, todos os gessos estudados atendem a esse requisito.

A água de cristalização é a água que participa da estrutura cristalina do material. A Figura 4.5 mostra o seu teor em cada gesso de ordem crescente de valores, variando entre 6,5399 e 7,5234 %. Conforme a NBR 13207 (2017), o gesso deve apresentar um teor entre 4,2 a 6,2 %, logo, todos os gessos ultrapassam o limite normativo.

A determinação do teor de água de cristalização é de grande importância, pois evidencia a condição de calcinação da gipsita, apresentando relação com a composição do gesso, variando entre a gipsita, hemi-hidrato e anidritas. Teores acima de 6,2 % podem indicar a presença de matéria não calcinada e abaixo de 4,2 %, super calcinada.

Figura 4.5 – Teor de água de cristalização dos gessos.



Neste contexto, John e Cincotto (2007) propuseram uma hipótese simplificada para determinar os compostos constituintes do gesso (gipsita, hemi-hidrato e anidrita) com base no teor de água combinada conforme mostra o Quadro 4.1. Assim, estima-se que todos os gessos estudados apresentam gipsita e hemi-hidrato.

Quadro 4.1 – Hipótese simplificada para determinação dos compostos constituintes do gesso por meio do teor de água de cristalização.

H₂O combinada - água de cristalização	Compostos constituintes do gesso
Se H ₂ O < 6,2 %	Há anidrita e hemi-hidrato
Se H ₂ O > 6,2 %	Há gipsita e hemi-hidrato
Se H ₂ O = 6,2 %	Há somente hemi-hidrato

(Fonte: JOHN, CINCOTTO, 2007)

Faz-se importante salientar que essa hipótese é de caráter qualitativo e não há possibilidade de identificar precisamente os compostos presentes pela proposta, que faz somente uma estimativa.

De acordo com o Teste de Tukey¹⁶ (Apêndice F), verifica-se que, a maioria dos valores de água de cristalização alcançados, são semelhantes entre si, independente das características particulares de cada gesso, o que pode ser um indicativo de semelhança composicional de todos os gessos.

¹⁶ Teste utilizado em análises estatísticas, onde se faz confronto de amostra em pares para verificação de diferenças significativas, por meio de combinações dentro de um conjunto.

4.1.4 Difração de raio x (DRX)

As Figuras de 4.6 a 4.8 apresentam difratogramas de raio X de gessos em pó estudados. Foram selecionados os gessos C, E e H para uma análise inicial e devido à similaridade entre estes, não foram realizados os ensaios de difração de raio X dos demais.

Figura 4.6 – Difratograma de raio X do gesso C.

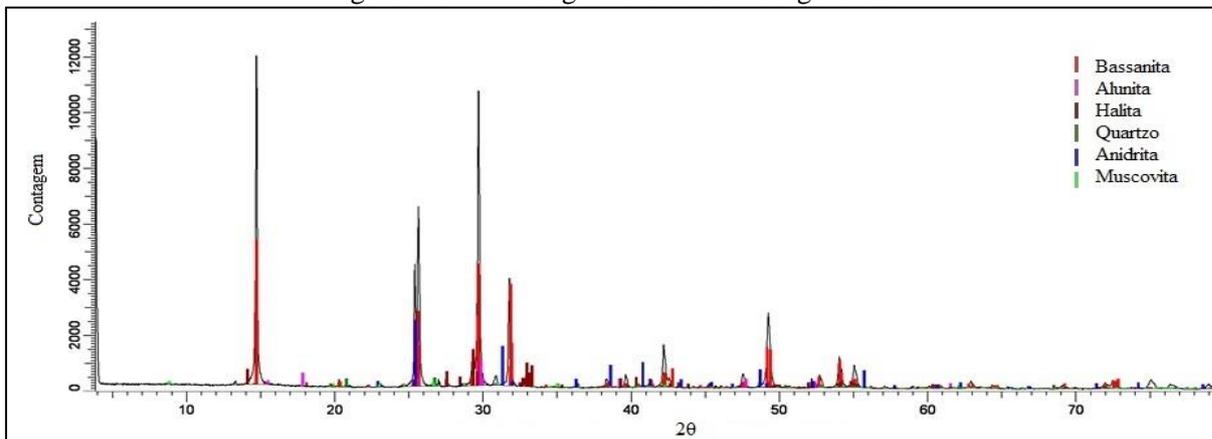


Figura 4.7 – Difratograma de raio X do gesso E.

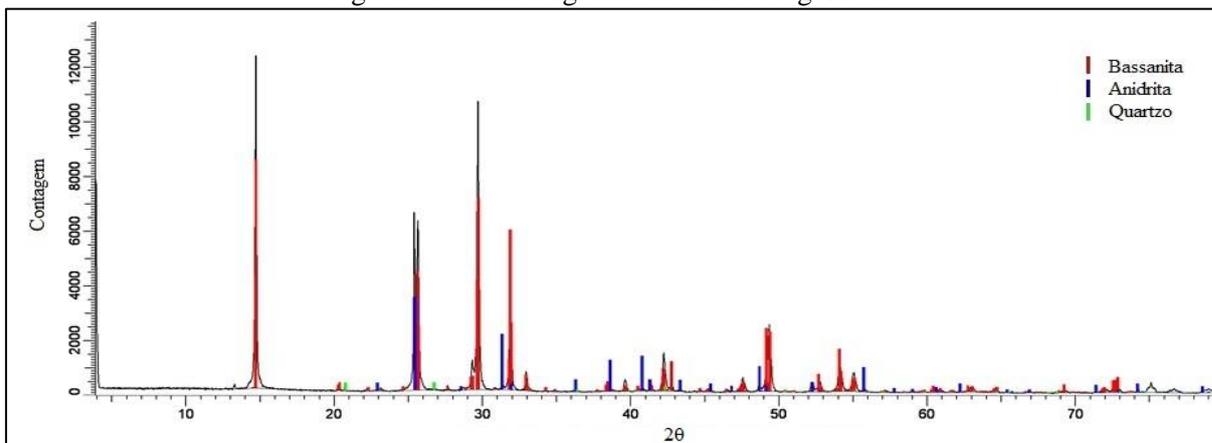
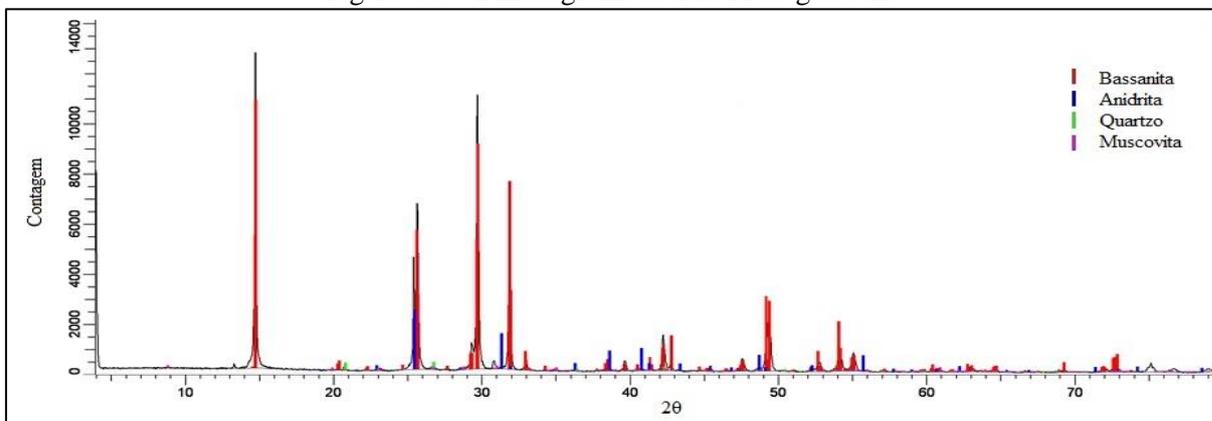


Figura 4.8 – Difratograma de raio X do gesso H.



Percebe-se que todas as amostras apresentam fases cristalinas, dando origem a picos bem definidos dos minerais presentes. Os difratogramas demonstram que os gessos são compostos predominantemente por bassanita, mineral de composição $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$. Picos relativos a anidrita (CaSO_4) e impurezas, como quartzo, alunita, muscovita, halita, também são encontrados.

Os maiores picos, relativos a bassanita, são encontrados em $2\theta = 14,67^\circ$, $25,72^\circ$, $29,79^\circ$ e $31,79^\circ$, correspondentes aos planos (200), (220), (400) e (204), respectivamente. Também podem ser observados picos de menor intensidade atribuídos a bassanita em $2\theta = 42,24^\circ$, $49,18^\circ$, $52,92^\circ$, $54,09^\circ$ e $55,11^\circ$ relativos aos planos (422), (424), (207), (604) e (620), respectivamente (NASCIMENTO, 2014; SILVA, 2010; BARBOSA, FERRAZ, SANTOS, 2014). Alguns picos em, aproximadamente, $2\theta = 25,33^\circ$, $31,10^\circ$, $38,60^\circ$, $40,70^\circ$, $48,80^\circ$ e $56,00^\circ$, são atribuídos a anidrita.

A bassanita e anidrita nos difratogramas individualizam condições de hidratação distintas dos compostos ligados a eliminação de moléculas de água combinada/ligada no processo de calcinação da gipsita para obtenção do gesso na região do Araripe que, a depender da temperatura, pode gerar 3 tipos diferentes de anidrita (III, II e I).

Acerca das impurezas, John e Cincotto (2007) explicam que apresentam diferentes alterações nas propriedades do gesso: os minerais insolúveis em água, como calcário, dolomito, anidrita, argilo-minerais desidratados e minerais silicosos, reduzem a resistência mecânica do gesso hidratado; os minerais solúveis em água, como halita, afetam a temperatura de calcinação e propriedades da pasta fresca, como consistência e o tempo de pega; e, os minerais hidratados, como outros sais de sulfato e a montmorilonita, quando se desidratam juntamente com a gipsita, podem conferir instabilidade ao produto final, após endurecimento, por poderem absorver água.

4.1.5 Termogravimetria

As Figuras de 4.9 a 4.11 apresentam as curvas de análise termogravimétrica (TGA) e análise térmica diferencial (DTA) de gessos em pó estudados. Foram selecionados os gessos C, E e H para uma análise inicial e devido à similaridade entre estes, não foram realizados os ensaios térmicos dos demais.

Figura 4.9 – Curvas de TGA e DTA do gesso C.

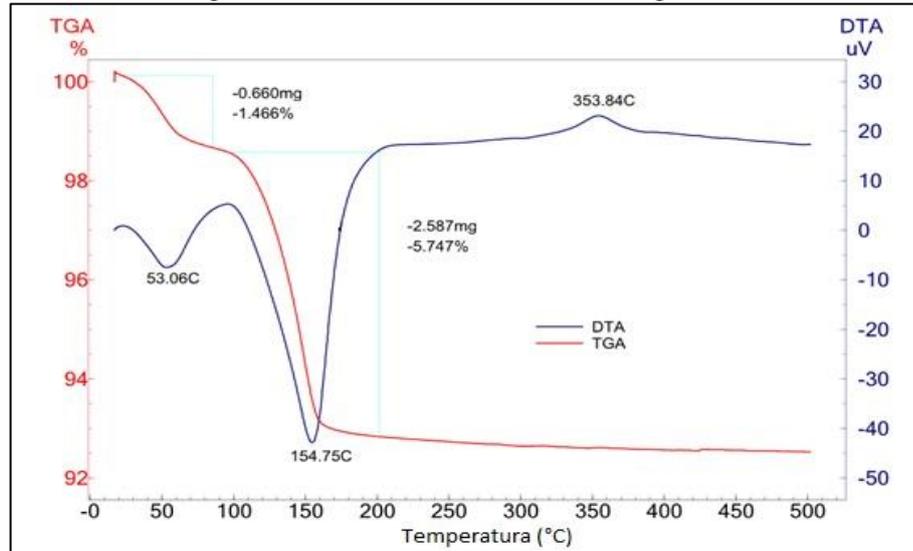


Figura 4.10 – Curvas de TGA e DTA do gesso E.

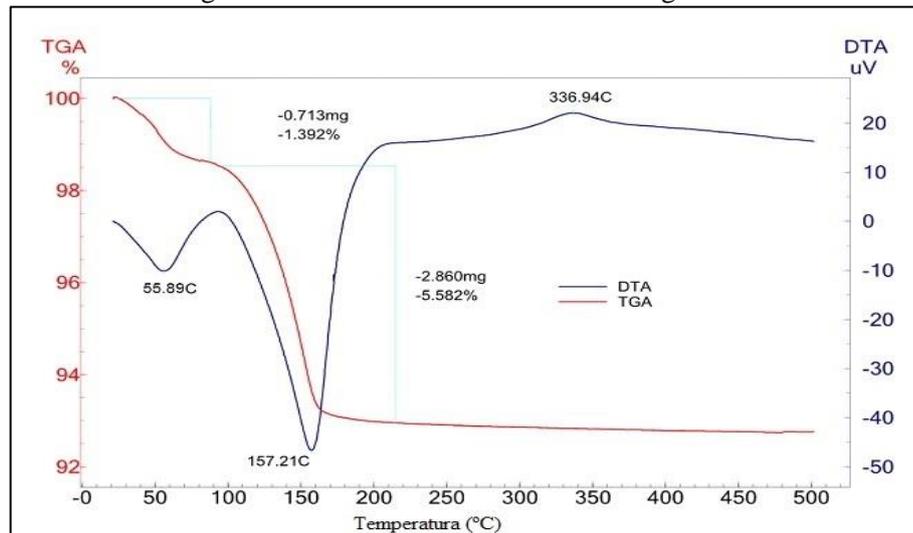
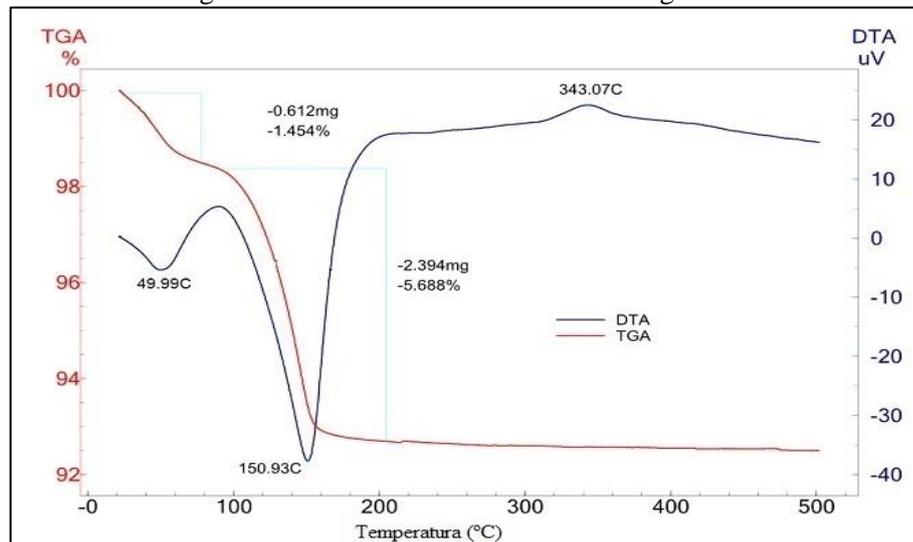


Figura 4.11 – Curvas de TGA e DTA do gesso H.



A curva de TGA é a que mostra a perda de massa do material quando submetido a uma programação controlada de temperatura. Já a de DTA, mostra os eventos que ocorrem por meio da derivada da curva de TGA. A grande necessidade da DTA acontece, pois, pode ocorrer um evento que não haja perda de massa, como alteração do polimorfo. Observa-se a similaridade das curvas quanto aos valores de perda de massa, comportamento e temperaturas de reações.

Pode-se verificar três eventos pela curva de DTA:

1. Em torno de 50°C, há perda de água livre. É uma reação endotérmica;
2. Em torno de 150°C, há perda de água de cristalização. É uma reação endotérmica, onde o hemi-hidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) perde 0,5 molécula de água, transformando-se em anidrita III (CaSO_4). A perda de massa dos gessos, próxima de 6%, é justificada estequiometricamente pela reação ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O} + \text{calor} \rightarrow \text{CaSO}_4 + 0,5\text{H}_2\text{O}$), onde a meia molécula de água representa 6,2% da massa. Como o material não é composto somente por hemi-hidrato, o valor obtido não é exato;
3. Entre 330 e 360°C, ocorre a reação exotérmica de transformação da anidrita III (solúvel) em anidrita II (insolúvel). Não ocorre variação de massa, confirmada pela curva de TGA, apenas alteração do polimorfo.

Neste contexto, os valores de água livre e de cristalização podem ser obtidos pela curva de TGA. A Tabela 4.3 compara os valores obtidos pelo método da NBR 12130 (1991) e por termogravimetria (TGA).

Tabela 4.3 – Comparação dos valores de água livre e de cristalização dados pelo método de NBR 12130 (1991) e por termogravimetria.

GESSO	Água livre (%)		Limite Água livre (%) - NBR 13207/2017	Água de cristalização (%)		Limite Água de cristalização (%) - NBR 13207/2017
	NBR 12130 (1991)	TGA		NBR 12130 (1991)	TGA	
A	0,60	-	≤ 1,3%	7,5234	-	4,2 a 6,2%
B	0,73	-		7,1276	-	
C	0,54	1,466		7,3706	5,747	
D	0,31	-		6,6882	-	
E	0,30	1,392		6,5299	5,582	
F	0,45	-		6,8763	-	
G	0,69	-		6,9879	-	
H	0,08	1,454		6,8712	5,688	
I	0,56	-		6,8890	-	
J	0,67	-		6,8549	-	

Observa-se a variação nos valores obtidos pelos diferentes métodos. A água livre calculada pelo método da NBR 12130 (1991) foi abaixo do método termogravimétrico, uma vez que, este último mostra que o evento de perda de umidade ocorre próximo a 50°C e o método de ensaio da norma brasileira indica temperatura de $(40 \pm 4)^\circ\text{C}$, temperatura em que ainda não houve perda total da água livre. Sendo assim, todos os gessos não atendem o requisito normativo de apresentar, no máximo, 1,3% de água livre.

Percebe-se também, a diferença entre as duas metodologias na determinação da água de cristalização. O método de ensaio da NBR 12130 (1991), que ocorre em 230°C, apresenta uma perda maior de material, pois uma parte desse valor é devido a água de cristalização e a outra parte, a perda de água livre, uma vez que, as amostras ensaiadas não se encontravam completamente secas, resultado da inconsistência no ensaio de água livre.

Por termogravimetria, percebe-se que a perda de água de cristalização ocorre em torno de 150°C. Então, considerando como sendo preciso e verdadeiro o teor de água de cristalização por este último método, os gessos avaliados (C, E e H) estão conformes no quesito água de cristalização, contrariando a afirmação de não conformidade feita no 4.3, quando se avaliou pelo resultado dado pelo método de ensaio da norma brasileira.

Neste contexto, retoma-se ainda a hipótese simplificada de John e Cincotto (2007) para determinação dos compostos presentes (Quadro 4.1), onde, de acordo com a análise termogravimétrica, os gessos apresentam em sua composição anidrita e hemi-hidrato. Essa composição é confirmada pelas análises de DRX.

4.1.6 Fluorescência de raio x (FRX)

As características da matéria prima e as condições de produção do gesso influenciam as propriedades do gesso, como propriedades da pasta e do estado endurecido, assim, torna-se de grande importância a determinação da pureza do gesso.

A NBR 13207 (2017) faz exigências químicas para do gesso para construção civil. Além dos teores de águas livre e de cristalização, a norma estabelece um percentual mínimo de 38% de óxido de cálcio (CaO) e de 53 % de anidrido sulfúrico (SO₃). A Tabela 4.4 apresenta os resultados de análises químicas semi-quantitativas por fluorescência de raio X dos gessos coletados.

Tabela 4.4 – Resultados de análises químicas semi-quantitativas (FRX) dos gessos coletados (% em massa).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Na₂O	0,06	0,07	0,07	0,09	nd	0,04	nd	0,09	nd	0,07
MgO	0,32	0,08	0,15	0,42	0,04	0,26	0,05	0,1	0,08	0,04
Al₂O₃	0,3	0,22	0,15	0,2	0,12	0,15	0,09	0,2	0,08	0,09
SiO₂	0,69	0,54	0,32	0,49	0,18	0,4	0,22	0,53	0,22	0,24
P₂O₅	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	nd	0,01	0,01	0,01	0,01
SO₃	52,57	49,76	52,4	56,1	50,9	54,5	51,5	51,1	55,3	53,9
K₂O	0,03	0,04	0,03	0,04	0,01	0,02	0,01	0,04	0,01	0,02
CaO	37,38	35,25	37,56	40,3	36,1	38,6	36	36,9	38,6	37,8
TiO₂	nd	nd	nd	nd	0,12	nd	nd	nd	nd	nd
Mn	nd	nd	nd	0,02	0,01	0,01	nd	0,01	0,01	nd
Fe₂O_{3t}	0,21	0,08	0,04	0,07	0,03	0,06	0,04	0,07	0,04	0,03
SrO	0,09	0,07	0,1	0,13	0,09	0,1	0,1	0,07	0,09	0,08
P.F	8,31	13,88	9,19	2,17	12,5	5,9	12	10,9	5,56	7,68
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

nd – não detectado

P.F – Perda ao fogo

Para melhor compreensão do leitor, os teores de CaO e de SO₃ foram resumidos na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Teores de CaO e de SO₃ (%) dos gessos estudados.

Gesso	CaO (%)	Mínimo de CaO - NBR 13207 (2017)	SO ₃ (%)	Mínimo de SO ₃ - NBR 13207 (2017)	Gesso conforme
A	37,38	38%	52,57	53%	
B	35,25		49,76		
C	37,56		52,40		
D	40,25		56,11		X
E	36,10		50,90		
F	38,61		54,45		X
G	36,04		51,46		
H	36,93		51,10		
I	38,60		55,30		X
J	37,80		53,90		X

Dos 10 gessos do Polo Gesseiro do Araripe, apenas 4 atendem aos requisitos químicos de CaO e SO₃, entretanto, todos se aproximam do valor mínimo de norma. A composição da Tabela 4.5 mostra traços de outros componentes que se apresentam como impurezas no gesso (Na₂O, MgO, Al₂O₃, SiO₂, P₂O₅, K₂O, Mn, Cr₂O₃, Fe₂O_{3t} e SrO), entretanto, esse valor não ultrapassa

1,8%. A perda ao fogo indica o teor de água de cristalização e de CO₂. Observa-se a elevada pureza dos gessos da região do Polo do Araripe.

De acordo com a ASTM C28/C28M-10 (2015) (especificações técnicas para gesso de construção), a quantidade de hemi-hidrato nos gessos para aplicação em revestimentos deve ser de, no mínimo, 66 %, o que corresponde a, aproximadamente, 31,7 % de CaO e 28,11 % de SO₃. Verifica-se que o teor de pureza mínimo solicitado pela norma americana é inferior ao brasileiro, sendo assim, todos os gessos brasileiros estariam em conformidade.

4.2 RESULTADOS DE CARACTERIZAÇÃO NO ESTADO FRESCO

4.2.1 Consistência normal

A NBR 12129 (2017) define a consistência normal como sendo o valor da relação água/gesso que se obtém uma fluidez da pasta de gesso adequada para a manipulação. A mesma norma descreve o método de ensaio para determinação do seu valor, como sendo aquele que se obtém uma penetração de 30 mm do aparelho de Vicat modificado. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 4.6. A Figura 4.12 mostra graficamente a consistência normal dos gessos em ordem crescente para melhor compreensão do leitor.

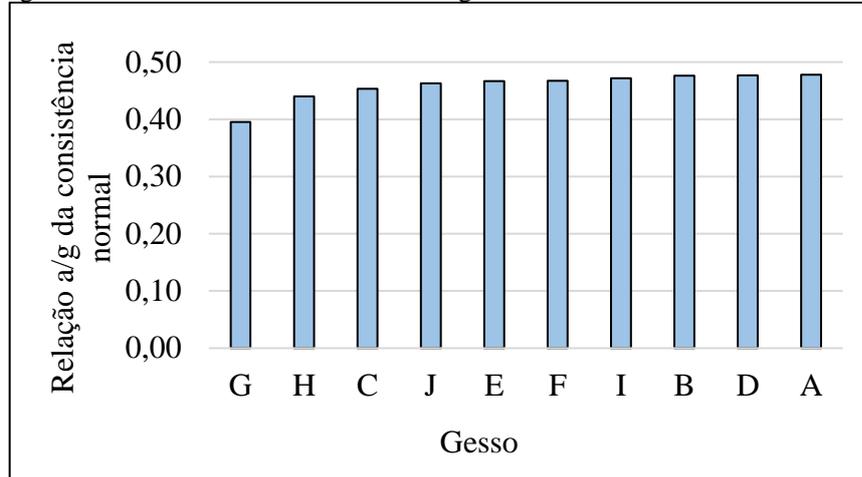
Os valores encontrados estão numa faixa de relação água/gesso entre 0,40 e 0,48; faixa de valores já encontrados por pesquisadores na literatura.

Tabela 4.6 – Consistência normal dos gessos.

Gesso	Relação a/g da consistência normal
A	0,48
B	0,48
C	0,45
D	0,48
E	0,47
F	0,47
G	0,40
H	0,44
I	0,47
J	0,46

A consistência normal é um valor de referência para produtores e laboratoristas para avaliação do gesso, uma vez que, na prática, não haveria possibilidade de aplicação de um revestimento com essa relação, exceto com a utilização de aditivos, dada as condições de trabalhabilidade e tempo de pega reduzidos.

Figura 4.12 – Consistência normal dos gessos em ordem crescente de valor.



Karni e Karni (1995) explicam que a quantidade de água necessária para hidratação do gesso é 17 % em massa, no entanto, é necessário muito mais que isso para atingir a consistência plástica desejada, sendo um valor mínimo para produção manual de 0,6.

A finura ou tamanho das partículas e a largura da distribuição/coeficiente de uniformidade desempenham um papel importante na relação água/gesso para a consistência normal da pasta (YE *et al.*, 2011). Os autores explicam que o gesso mais “grosso” possui menor área superficial específica reduzindo assim a necessidade de água.

Baltar, Oliveira e Araújo (2009) explicam que a medida que aumenta a área específica do gesso, tem-se uma redução da penetração da sonda cônica, necessitando de mais água para atingir a consistência desejada.

Não se pode relacionar a consistência normal dos gessos com o módulo de finura, uma vez que este valor não mostra a distribuição granulométrica dos gessos. Ye *et al.* (2011) mostra diferentes curvas granulométricas de um gesso, sendo possível obter um mesmo módulo de finura, mas com diferentes concentrações de tamanhos de partículas. Além disso, percebe-se uma limitação no ensaio de granulometria dado pela NBR 12127 (2017).

Um confronto do ensaio de granulometria com consistência normal pode acontecer entre porcentagem retida em cada peneira e o fundo e a consistência normal, de modo a se ter uma relação com o tamanho dos grãos do gesso.

No estudo, o gesso que apresentou uma maior porcentagem de partículas maiores em comparação com os demais¹⁷ (Gesso G), considerando a peneira de 0,105 mm, teve uma menor demanda de água para a consistência normal (0,4). Os gessos que apresentaram maiores quantidades retidas no fundo (Gessos D e I), ou seja, partículas mais finas/menores, demandaram mais água para mesma consistência. O que coincide com as conclusões de Ye *et al.* (2011).

Entretanto, essa avaliação não deve ser tão simples. Não se conhece detalhadamente a distribuição granulometria dos gessos dadas as limitações do método da NBR 12127 (2017). Além disso, faz-se importante salientar que, a NBR 12128 (2017) permite um intervalo entre 28 e 32 mm de penetração para a consistência normal, e que seu valor não é influenciado apenas pela granulometria dos gessos, sendo, por exemplo, a matéria prima e a energia de mistura fatores de alteração. Assim sendo, de modo a avaliar a influência de um fator na consistência normal, todos os demais fatores devem ser fixados.

4.2.2 Tempo de pega

Os tempos de início e fim de pega dos gessos foram obtidos pelo método da NBR 12128 (2017) para as pastas com consistência normal e com relação água/gesso de 0,8, sendo apresentados nas Tabelas 4.7 e 4.8, respectivamente. Para valores individuais, pode-se consultar o Apêndice G.

Tabela 4.7 – Tempos de início e fim de pega para gesso na consistência normal.

Gesso	Início de pega (minutos)	Fim de pega (minutos)
A	14,49 ± 0,13	21,84 ± 0,48
B	18,16 ± 0,08	21,57 ± 0,38
C	15,83 ± 1,11	19,25 ± 1,06
D	11,78 ± 0,34	13,96 ± 0,65
E	15,48 ± 0,31	19,96 ± 0,65
F	15,78 ± 1,10	20,46 ± 0,65
G	7,38 ± 0,26	11,75
H	10,18 ± 0,22	13,19 ± 0,04
I	16,54 ± 0,53	25,07 ± 1,51
J	14,18 ± 0,88	19,08 ± 0,12

¹⁷ A comparação se deu entre a peneira de malha 0,105 mm e o fundo, visto que nas demais peneiras, a quantidade de material retido foi baixa.

Tabela 4.8 – Tempos de início e fim de pega para gesso com relação água/gesso de 0,8.

Gesso	Início de pega (minutos)	Fim de pega (minutos)
A	30,57 ± 0,09	39,25 ± 0,35
B	29,37 ± 1,13	37,50 ± 1,41
C	24,63 ± 1,24	34,75 ± 1,77
D	24,53 ± 0,67	35,50 ± 0,71
E	26,59 ± 0,65	34,75 ± 1,06
F	24,58 ± 0,04	33,25 ± 0,35
G	24,12 ± 0,66	32,50 ± 0,71
H	22,88 ± 1,24	32,00 ± 1,41
I	35,38 ± 0,29	47,00
J	23,82 ± 0,14	32,08 ± 1,53

As Figuras 4.13 e 4.14 ilustram, respectivamente, os tempos de início e de fim de pega para um comparativo entre duas relações de água/gesso (consistência normal e 0,8).

Figura 4.13 – Início de pega das pastas com relação água/gesso na consistência normal e com 0,8.

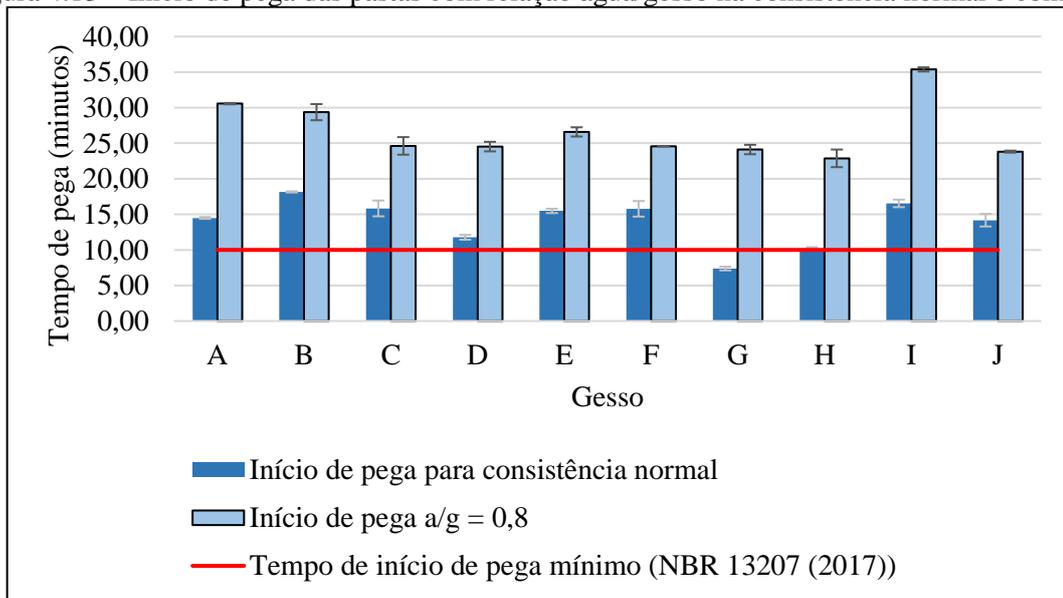
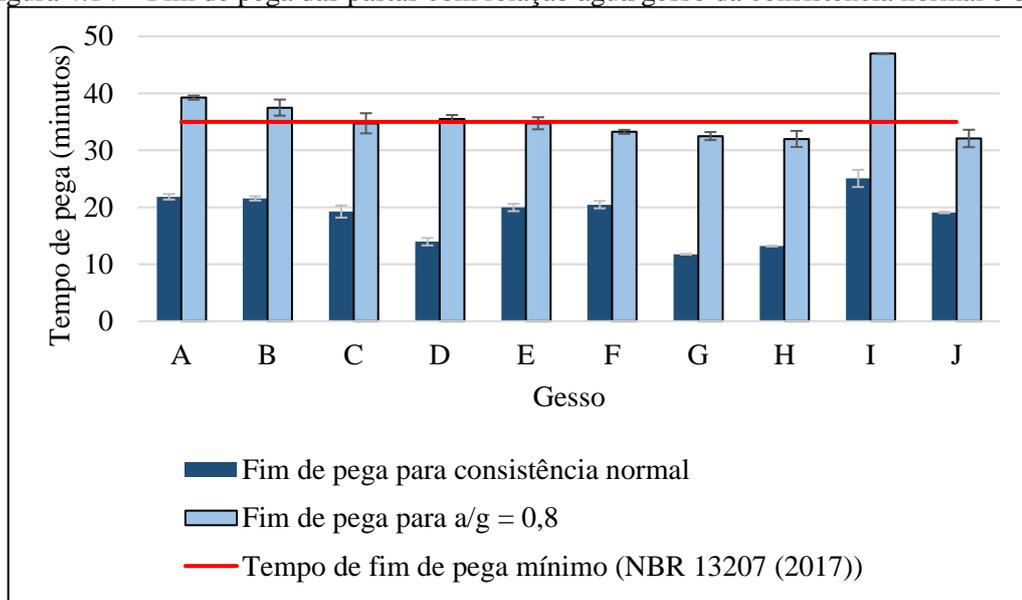


Figura 4.14 – Fim de pega das pastas com relação água/gesso da consistência normal e 0,8.



De acordo com a NBR 13207 (2017), uma pasta de gesso para revestimento sem aditivo deve apresentar um tempo de início de pega de, no mínimo, 10 minutos, dosada para consistência normal. Os valores encontrados estão em um intervalo entre 7,38 e 16,54 minutos. Somente o Gesso G está fora de conformidade nesse quesito.

Quanto ao fim de pega, segundo a NBR 13207 (2017), uma pasta de gesso para revestimento dosada sob as mesmas condições, deve apresentar um tempo de fim de pega de, no mínimo, 35 minutos; uma redução de 10 minutos em relação a primeira edição da mesma norma (NBR 13207 (1994)). Logo, todos os gessos estudados não atendem a esse quesito, uma vez que os valores encontrados estão entre 11,75 e 25,07 minutos.

Os tempos de início e fim de pega dos gessos estudados foram semelhantes aos encontrados por autores na literatura, como Bardella (2011), Cincotto, Agopyan e Florindo (1988b), Antunes (1999) e De Milito (2007).

As diferenças ocorridas nos tempos de pega são devido a diferenças da matéria prima, ao processo de calcinação, ao tamanho das partículas e a relação água/gesso. John e Cincotto (2007) acrescentam a influência do procedimento de mistura na pega e no endurecimento de amostras provenientes da mesma matéria prima e condições de calcinação.

Devido a não uniformidade no processo de calcinação da gipsita para formação do hemi-hidrato, pode existir a formação das anidritas III, II e I, que apresentam diferentes reatividades, influenciando o tempo de pega. Pelas análises de DRX, percebe-se a existência de anidrita nos gessos analisados, que pode ter influenciado no processo de endurecimento da pasta.

Com relação à influência que a granulometria exerce no processo de hidratação do aglomerante, partículas com dimensões maiores têm uma menor velocidade de hidratação devido ao fato do processo de hidratação ocorrer da superfície externa do grão para o seu interior (BARDELLA, 2011; YE *et al.*, 2011).

No presente estudo, não foi encontrada uma correlação entre a granulometria e o tempo de pega, o que pode ser atribuído às limitações dos ensaios e devido a influência de fatores intervenientes, como condições operacionais, matéria prima, condições de produção do pó, entre outros.

Comparando-se os dados apresentados dos tempos de pega para relações água/gesso dadas pela consistência normal e de 0,8 nas Figura 4.8 e 4.9, verifica-se um aumento do tempo de trabalhabilidade da pasta do di-hidrato em função da maior razão a/g. O tempo de início de pega, entre a consistência normal e a de 0,8, alterou de um intervalo de 7,38 e 16,54 minutos para 32,88 a 35,38 minutos; já o de fim de pega, houve uma mudança de uma faixa de 11,75 e 25,07 minutos para uma de 32,00 a 47,00 minutos.

Conforme Nohier (1986) *apud* Antunes e John (2000), percebe-se a grande influência da relação a/g na cinética da reação de hidratação e, ou seja, no tempo de pega do gesso. Mais água significa um tempo de endurecimento mais longo para obter uma massa rígida (KARNI, KARNI, 1995).

A consistência da pasta começa a ser alterada no final do período de indução pela presença maciça dos núcleos de cristalização e vai aumentando progressivamente com a formação da microestrutura adquirindo cada vez mais resistência mecânica até o seu completo endurecimento (ANTUNES, JOHN, 2000).

No Brasil, o método utilizado atualmente para medir o tempo de pega das pastas de gesso é o proposto pela NBR 12128 (2017), por analogia ao ensaio empregado para cimentos e, por este motivo, apresenta algumas limitações, uma vez que foi concebido para um aglomerante que possui intervalo de utilização diferente (ANTUNES, JOHN, 2000).

No início de pega determinado pela agulha de Vicat, NBR 12128 (2017), aproximadamente, 10 % de di-hidrato já está formado (STAV, BENTUR, 1995 *apud* ANTUNES, JOHN, 2000). Para o fim da pega determinado pela agulha de Vicat, a relação é a inversa, isto é, no instante em que ocorre o fim da pega a pasta já está excessivamente rígida, não sendo mais possível a sua utilização (ANTUNES, JOHN, 2000).

A utilização da pasta prossegue paralelamente ao desenvolvimento da microestrutura e se encerra antes do final da pega pelo aparelho de Vicat. Pois, neste instante, a estrutura cristalina já apresenta coesão para impedir o deslocamento relativo entre os cristais (CLIFTON, 1973 *apud* ANTUNES, JOHN, 2000).

Neste contexto, Antunes e John (2000) definem a consistência útil como sendo o intervalo de valores de consistência entre a consistência mínima e máxima, ou seja, a faixa de consistência na qual a pasta de gesso pode ser utilizada para revestir uma superfície.

Observa-se que, os tempos de início e fim de pega determinados pela NBR 12128 (2017) de pouca utilidade para o construtor, unicamente aplicável para controle do processo de produção do gesso, pois, na prática, o gesso inicia a execução do revestimento antes do início de pega e termina antes do fim de pega.

Assim, Antunes e John (2000) propõe a adoção de um conceito relacionado diretamente com o período de tempo disponível para a aplicação das pastas de gesso. Uma estimativa desse tempo é dada pela diferença entre o tempo de fim de pega e o início de pega, conforme Tabela 4.9.

Tabela 4.9 – Estimativa de tempo útil das pastas.

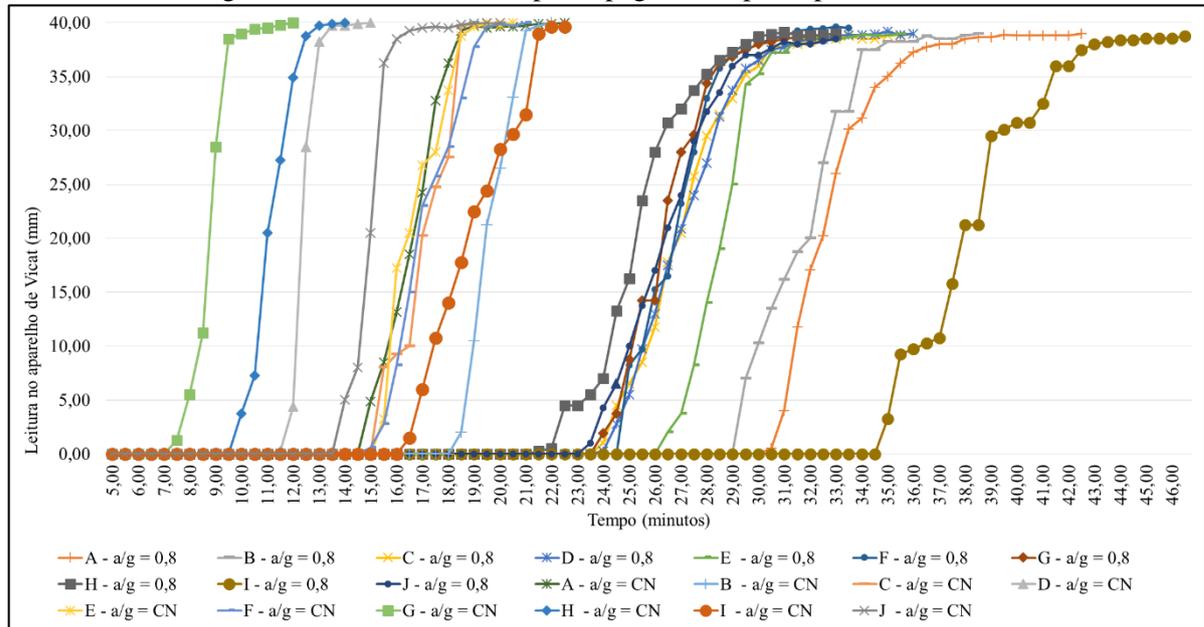
Gesso	Estimativa de tempo útil	
	Consistência normal	a/g = 0,8
A	7,35	8,68
B	3,41	8,13
C	3,42	10,13
D	2,18	10,98
E	4,48	8,16
F	4,68	8,68
G	4,37	8,38
H	3,02	9,13
I	8,53	11,63
J	4,91	8,27

O aumento do período de indução e do tempo útil com a adição de água pode ser melhor percebido de maneira gráfica com uma relação leitura no aparelho de Vicat x tempo, conforme Figura 4.15, onde as curvas relativas as pastas de consistência normal se apresentam separadas, no lado esquerdo, das produzidas com relação a/g de 0,8, do lado direito.

O tempo útil das pastas de gesso apresenta um aumento quando se tem mais água na mistura. O menor aumento do tempo útil entre a consistência normal e a relação a/g de 0,8 ocorreu para

o gesso A, que foi, aproximadamente, 18 %; e o maior aumento, ocorreu para o gesso D, chegando a quintuplicar.

Figura 4.15 – Curvas de tempo de pega dadas pelo aparelho de Vicat.



Nota: CN = consistência normal

É importante ressaltar que em canteiro de obras a temperatura ambiente vai ter influência nos tempos de início e fim de pega durante a execução dos revestimentos. Os resultados aqui obtidos foram em temperatura ambiente controlada, aproximadamente, 26°C, conforme solicitado pela NBR 12128 (2017).

O que se verifica, conforme Souza (1998) *apud* John e Cincotto (2007), é que o tempo de pega dos gessos brasileiros é curto e, na quase totalidade das marcas comercializadas no mercado, muito variável. Esse tempo de pega curto e variável, combinado com a ausência de critérios objetivos para a definição de quantidades de água de amassamento e procedimentos de controle de qualidade de recebimento, tem levado a medidas de perdas de gesso de 30 %.

4.2.3 Calorimetria

Conforme Bardella (2011), o conhecimento do calor de hidratação e sua evolução em função do tempo são de interesse do ponto de vista científico, pois auxilia na compreensão dos processos de hidratação que ocorrem nos ligantes e, do ponto de vista tecnológico, uma vez que auxilia no processo de desenvolvimento de novos materiais que serão utilizados na cadeia produtiva da construção civil, já que o calor de hidratação permite um controle rápido da qualidade e velocidade de reação dos gessos.

A curva obtida temperatura x tempo mostra a velocidade de hidratação do material, e, conseqüentemente, sua reatividade, sendo um importante parâmetro de controle da qualidade dos materiais (ANTUNES, 1999; BARDELLA, 2011).

No estudo, foram realizados ensaios de calorimetria térmica em pastas produzidas com todos os gessos coletados e relações água/gesso dadas pela consistência normal e de 0,8, valor este utilizado em revestimentos em obras de construção civil. As curvas de hidratação estão apresentadas nas Figuras 4.16 e 4.17. Entretanto, para valores precisos de tempos e temperaturas de hidratação, deve-se utilizar calorimetria isotérmica.

Figura 4.16 – Curvas de hidratação de pastas de gessos produzidas com relação a/g para consistência normal.

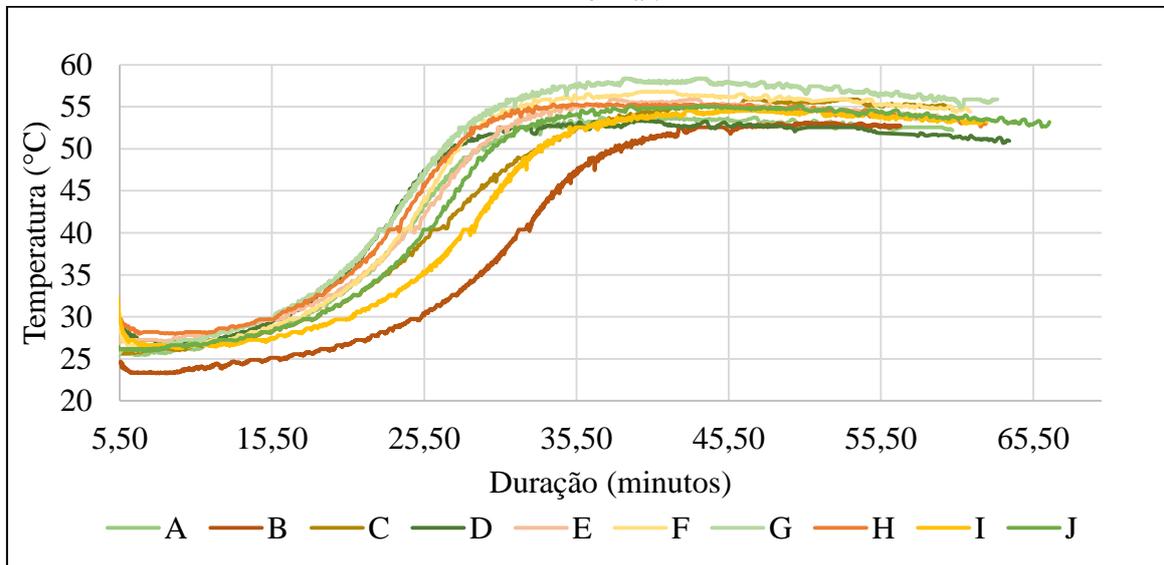
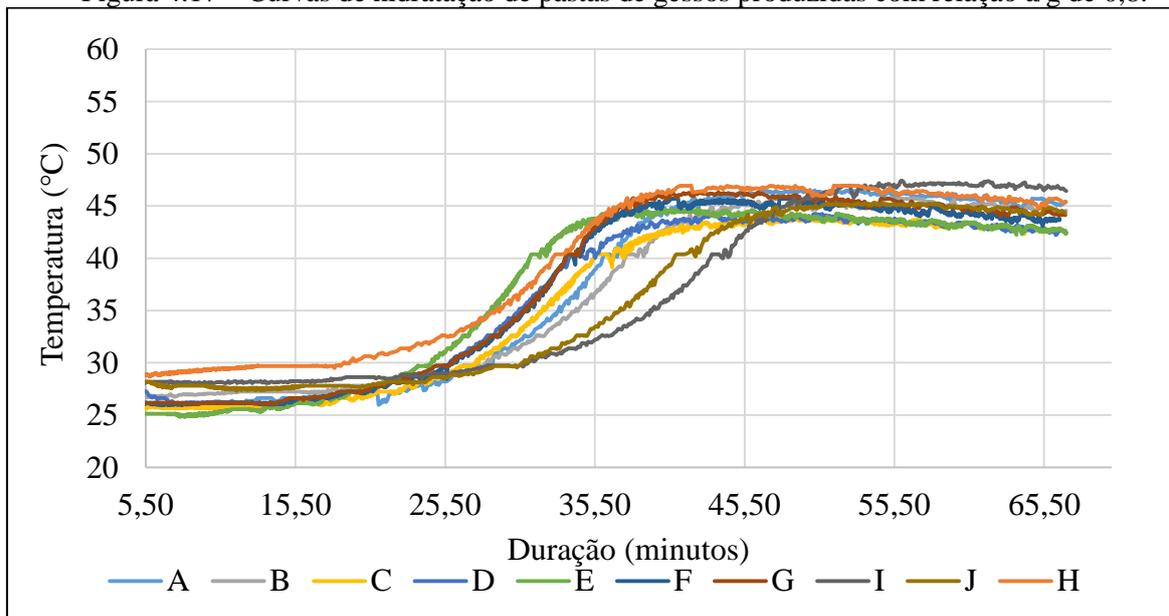


Figura 4.17 – Curvas de hidratação de pastas de gessos produzidas com relação a/g de 0,8.



Observa-se que, todos os resultados, apresentam um comportamento típico de curvas de calorimetria já descrito por outros autores na literatura (BARDELLA, 2011; ANTUNES, JOHN, 1999; CLIFTON, 1973).

Nas Figuras 4.18 e 4.19, pode-se observar que as curvas de evolução de temperatura dos gessos praticamente se sobrepõem em cada caso. Logo, como afirma Bardella (2011), os períodos de indução, nucleação e de endurecimento foram os mesmos quando comparados entre si. Além disso, conforme afirma o autor, é um indicativo de que a composição desses gessos (hemi-hidrato e anidrita) também seja similar, conforme já observado na análise das propriedades químicas e mineralógicas.

De acordo com Magnan (1973) *apud* John e Cincotto (2007), ocorrem picos acentuados de liberação de calor nos instantes iniciais de molhagem do material, ou seja, na introdução do gesso em pó na água nos primeiros 30 segundos, havendo uma reação física sólido-água e iniciando a dissolução. Nessa fase, tem-se hidratos poucos instáveis física e quimicamente.

No ensaio de calorimetria realizado, não foi possível determinar a presença de anidrita III, material que reage rapidamente com a água e poderia formar esses picos acentuado de liberação de calor, pois as coletas de temperatura ocorreram apenas após mistura do gesso com a água, ou seja, após cerca de 5 minutos da molhagem dos grãos.

Para solucionar a rápida liberação de calor nos primeiros instantes causada pela anidrita III, John e Cincotto (2007) explicam que pode ser realizado o processo de estabilização do gesso, onde após algumas horas de armazenamento do gesso em atmosfera de 80% de umidade relativa do ar, a anidrita solúvel por conter um teor de água de cristalização variável e por ser muito reativa, transforma-se em hemi-hidrato. Entretanto, uma parcela dessa fase pode estar presente no gesso na ocasião do consumo.

As temperaturas máximas atingidas pelas pastas no final do período de hidratação foram similares: para a pasta de consistência normal, em torno de 55°C e para pasta de relação água/gesso de 0,8, aproximadamente, 45°C. Portanto, observa-se uma redução da temperatura máxima quando se tem um aumento do teor de água.

Verifica-se que as pastas com relação a/g de 0,8, apresentaram um maior tempo de indução, o que retardou o início de pega, ou seja, a precipitação dos cristais do di-hidrato, uma vez que a distância entre as partículas aumenta à medida que se aumenta a relação água/gesso, conforme já havia sido percebido pelo ensaio de tempo de pega (NBR 12128 (2017)).

Logo, quanto maior a relação água/gesso, tem-se uma menor velocidade da reação, maior o tempo de pega, menor a liberação de calor na hidratação (NOLHIER, 1986 *apud* ANTUNES, JOHN, 2000; KARNI; KARNI, 1995; BARDELLA, 2011). A situação oposta é verificada quando se diminui a relação água/gesso.

De acordo com Ridge (1959) *apud* Antunes e John (2000), o início de pega pode ser identificado nas curvas de calorimetria, sendo o instante em que a taxa de elevação da temperatura ultrapassa $0,1^{\circ}\text{C}/\text{min}$, e o de fim de pega, é o ponto máximo de incremento da temperatura que corresponde à conclusão da hidratação.

Assim sendo, adotando-se essa metodologia para determinação dos tempos de pega, tem-se a comparação dada na Tabela 4.10.

Tabela 4.10 – Tempos de pega das pastas: calorimetria x aparelho de Vicat.

Gesso	Início de pega (min)				Fim de pega (min)			
	Aparelho de Vicat		Calorimetria ¹		Aparelho de Vicat		Calorimetria ¹	
	Consistência normal	a/g = 0,8	Consistência normal	a/g = 0,8	Consistência normal	a/g = 0,8	Consistência normal	a/g = 0,8
A	14,49	30,57	5,92	16,72	21,84	39,25	37,93	46,42
B	18,16	29,37	15,53	20,35	21,57	37,50	43,15	46,62
C	15,83	24,63	12,03	17,15	19,25	34,75	44,90	47,87
D	11,78	24,53	10,27	21,57	13,96	35,50	36,15	45,00
E	15,48	26,59	12,35	18,70	19,96	34,75	37,37	39,55
F	15,78	24,58	13,18	21,37	20,46	33,25	36,62	41,10
G	7,38	24,12	5,07	22,25	11,75	32,50	38,35	41,00
H	10,18	22,88	6,75	16,92	13,19	32,00	34,52	42,02
I	16,54	35,38	14,28	28,20	25,07	47,00	43,83	52,97
J	14,18	23,82	13,00	16,17	19,08	32,08	39,55	50,40

¹ Os tempos determinados por calorimetria são estimativas.

É evidente que os tempos de pega obtidos pelos dois métodos são diferentes. Os resultados fornecidos pelo Aparelho de Vicat podem apresentar variações decorrentes do próprio mecanismo de realização do ensaio e também por influência do operador do equipamento (BARDELLA, 2011). Além disso, como já informado, a metodologia que utiliza o aparelho de Vicat apresenta limitações, uma vez que ele foi produzido para utilização em ensaios com cimento (ANTUNES, JOHN, 2000).

Até o final do período de indução, não há elevação da temperatura e ainda não há di-hidrato formado. A consistência da pasta começa a ser modificada apenas no final desse período, sendo assim, um pouco antes do início de pega dado por calorimetria (CLIFTON, 1973). Somente após esse instante, pode ser iniciada a aplicação do revestimento (ANTUNES, JOHN, 2000).

No início da pega determinado pela calorimetria a quantidade de di-hidrato precipitado é aproximadamente igual a 0 % (CLIFTON, 1973; MAGNAN, 1973 *apud* ANTUNES, 1999), enquanto no início de pega determinado pela agulha de Vicat (NBR 12128 (2017)), aproximadamente, 10 % de di-hidrato já está formado (STAV; BENTUR, 1995 *apud* ANTUNES, 1999), por isso, os tempos de pega pelos dois métodos resultam em valores distintos.

4.3 RESULTADOS DE CARACTERIZAÇÃO NO ESTADO ENDURECIDO

4.3.1 Dureza

De acordo com Dias e Cincotto (1995), a importância da determinação da dureza se justifica pela necessidade de se avaliar as qualidades mecânicas do revestimento e a sua capacidade de receber acabamentos como pinturas especiais ou componentes colados. Para Ribeiro (2011), tem como objetivo avaliar as resistências às deformações permanentes diretamente relacionadas com a força de ligação dos átomos em cada amostra em separado.

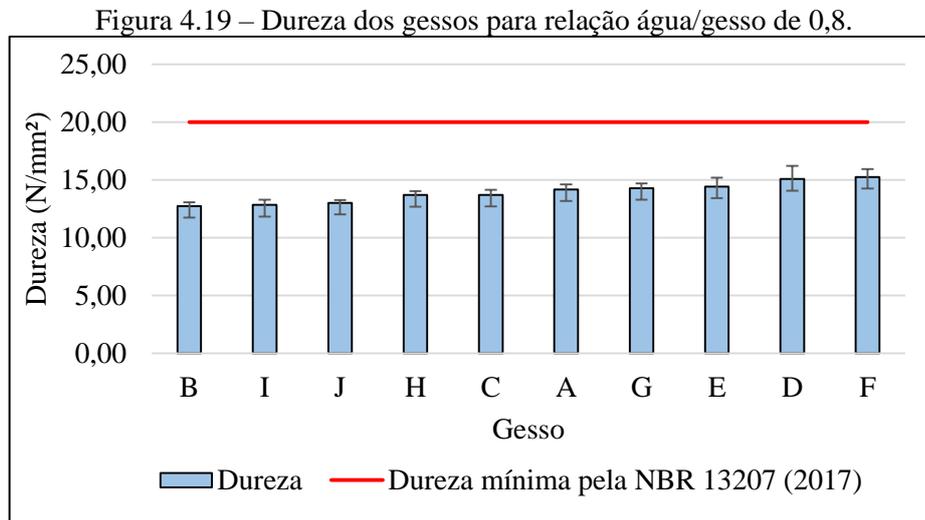
O ensaio de dureza (NBR 12129 (2017)) foi realizado com o método de penetração da esfera em corpos de prova produzidos com as duas relações água/gesso estudadas (consistência normal e 0,8).

A dureza dos corpos de prova com a relação água/gesso dada pela consistência normal não pode ser obtida uma vez que, dada a alta quantidade de gesso para certa quantidade de água (baixa relação água/gesso), levou a confecção de material excessivamente rígido com alta resistência mecânica e baixa resistência à deformação, que, durante o ensaio de penetração da esfera, resultou no rompimento dos corpos de prova, conforme mostra a Figura 4.18.

Figura 4.18 – Corpos de prova após ensaio de dureza produzidos com relação água/gesso dada pela consistência normal.



É evidente que o aumento da relação água/gesso diminui a rigidez e aumenta a capacidade de deformação do material, uma vez que foi possível obter os valores de dureza para os gessos com relação água/gesso de 0,8, como apresenta a Figura 4.19. Os valores individuais de dureza estão no Apêndice H.



Informações contidas na literatura mostram que o aumento da relação água/gesso resulta em uma queda das propriedades mecânicas e aumento da porosidade resultante (KARNI, KARNI, 1995; BARDELLA, 2011). Bardella (2011) provou que a variação da relação água/gesso afetou significativamente os valores encontrados para todas as propriedades mecânicas analisadas.

A quantidade de água excedente evapora e confere porosidade ao gesso, o que aumenta a sua capacidade de deformação (HINCAPIE *et al.*, 1996b *apud* BARDELLA, 2011).

De acordo com a nova edição da NBR 13207 (2017), o gesso para construção civil deve apresentar dureza maior ou igual a 20 N/mm², uma redução de 10 N/mm² em relação a primeira edição (NBR 13207 (1994)). Portanto, para a relação água/gesso de obra estudada (0,8), a dureza dos gessos se encontram abaixo do mínimo normativo. Entretanto, é importante salientar que o requisito solicitado pela normatização brasileira de gesso de construção civil (NBR 13207 (2017)) são para gessos dosados com a consistência normal, assim sendo, o gesso moldado para essa consistência, no presente estudo, poderia chegar a esse valor mínimo se não tivesse rompido.

A partir do Teste de Tukey (Apêndice I), pode-se verificar que os valores encontrados foram, majoritariamente, semelhantes entre si, independente da sua matéria prima, granulometria, processo de calcinação.

4.3.2 Resistência à compressão

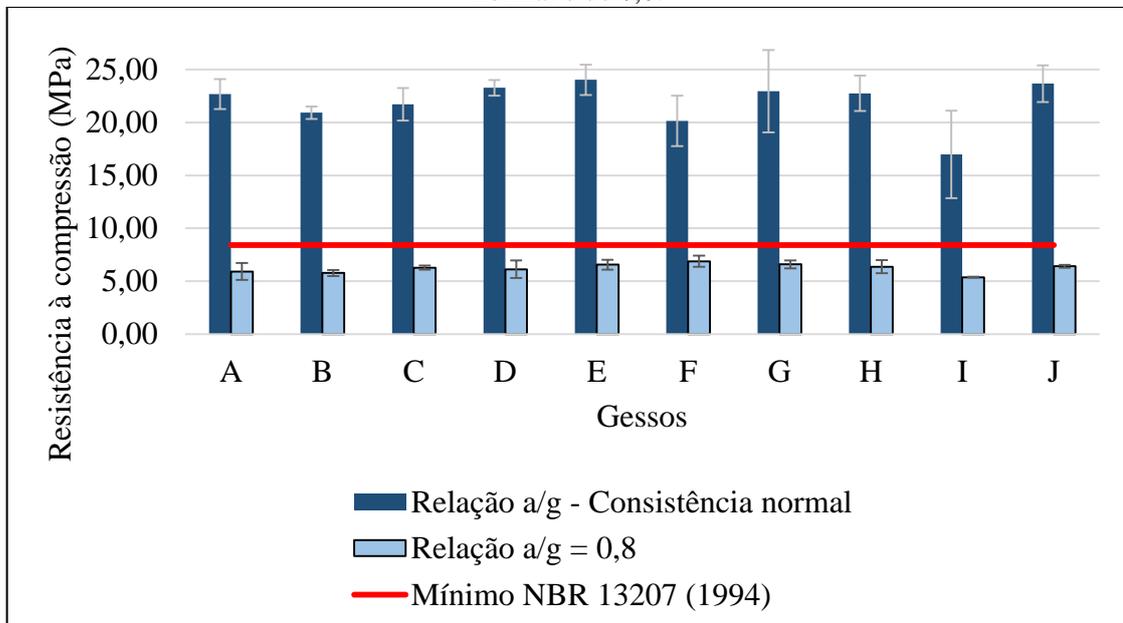
Os resultados de resistência à compressão dos gessos produzidos com pastas com relações água/gesso dadas pela consistência normal e de 0,8 estão apresentados na Figura 4.20. Para valores individuais, pode-se consultar o Apêndice J.

Verifica-se que a resistência à compressão alcançada para as pastas dosadas com a consistência normal foi entre 16,97 e 24,02 MPa e para relação água/gesso de 0,8, os valores resultantes médios foram entre 5,38 e 6,89 MPa.

A nova edição da NBR 13207 (2017) não trata da avaliação da resistência à compressão do gesso para revestimento, entretanto, a NBR 12129 (2017) aborda o método de ensaio para sua determinação.

A edição anterior da NBR 13207 (1994) orientava a apresentação de uma resistência à compressão mínima de 8,40 MPa para um gesso de construção produzido com a relação água/gesso de consistência normal. Portanto, todos os gessos estudados atenderiam a essa normatização, entretanto, quando se trata da relação água/gesso de 0,8, comumente utilizada em obras de construção civil, esse valor não é alcançado.

Figura 4.20 – Resistência à compressão dos gessos para relação água/gesso dada pela consistência normal e de 0,8.



De acordo com as ASTM C28/C28M-10 (ASTM, 2015), norma americana que trata das especificações dos gessos para revestimento, orienta que a resistência à compressão dos gessos dosados para consistência normal seja igual ou superior a 5,2 MPa.

Tanto a norma brasileira quanto a americana não fixam as idades de realização do ensaio de determinação de resistência à compressão. A orientação da norma brasileira é deixar os corpos de provas sob o ar circundante à temperatura de 28 a 45°C até constância de massa e, em seguida, colocá-los em dessecador por 24 horas. Já a norma americana orienta a colocação em uma estufa à $(45 \pm 3)^\circ\text{C}$ até constância de massa e, em seguida, colocar no dessecador por 16h.

Como forma de padronizar as avaliações dos diferentes gessos, foi adotado o seguinte procedimento: após cerca de 2h da desmoldagem, os corpos de provas foram colocados em estufa a 40°C por um tempo de 7 dias até a realização do ensaio.

Como o gesso é higroscópico, é importante conhecer o efeito da umidade ambiental em sua resistência. O gesso seco na estufa apresenta maior resistência. A "resistência seca" é um critério apropriado para uma comparação de gesso de diferentes fontes (KARNI, KARNI, 1995).

Pela Figura 4.14, observa-se que a resistência à compressão apresenta diferenças entre si mesmo para aquelas produzidas com a mesma consistência (normal) e mesma relação água/gesso, embora estejam com a trabalhabilidade semelhante. Esse comportamento também foi relatado por Bardella (2011) e essa diferença é explicada pelas características específicas do material além da possibilidade de variação inerente ao ensaio.

Entretanto, ao se realizar análises por meio de ferramentas estatísticas (Teste de Tukey), majoritariamente, não se verifica diferenças estatisticamente significativas entre si no grupo de resistência à compressão para consistência normal e para relação de 0,8 (Apêndices K e L, respectivamente).

Porém, ao se comparar as resistências à compressão dos gessos moldados com a relação água/gesso na consistência normal e com 0,8, percebe-se diferenças, onde os primeiros alcançam resistências, aproximadamente, 3 vezes maiores que estes segundos.

Karni e Karni (1995) afirmam que a resistência é resultado dos seguintes fatores: a qualidade do material cimentício (gesso e aditivos); a relação água/gesso; a idade do produto; e, as condições de armazenamento do produto, também durante o endurecimento.

A resistência mecânica dos materiais é controlada pela presença de defeitos. Uma das fontes de defeitos importantes são os vazios de moldagem devido à insuficiência da energia de compactação para reologia do produto empregado e complexidade de moldagem. Garantidas as condições de moldagem, e a porosidade produzida pela evaporação da massa de água não

consumida pela reação de hidratação que governa a resistência de um determinado gesso (JOHN, CINCOTTO, 2007).

No presente estudo, percebe-se que à medida que aumenta a quantidade de água utilizada na dosagem, apresenta-se uma menor resistência mecânica, como resultado do aumento da porosidade do produto final. Essa informação corrobora com outros autores da literatura (ANTUNES, 1999; KANNO, 2009; BARDELLA, 2011; BARBOSA, 2012; ADRIEN *et al.*, 2016; RIBEIRO, 2011).

A porosidade nas pastas pode ser observada nas micrografias por meio das áreas escuras produzidas pela evaporação da água de amassamento durante a secagem do material. A reação de hidratação nestes casos se procede com partículas do aglomerante distantes umas das outras, levando a formação de uma estrutura porosa. O comportamento inverso é observado quando se diminui a quantidade de água (KARNI, KARNI, 1995; BARDELLA, 2011).

Portanto, alta resistência é alcançada pela adição ao gesso apenas da quantidade de água necessária para a hidratação (17 % em peso). No entanto, esta quantidade é muito menor que a necessária para atingir a consistência plástica desejada e, conseqüentemente, é normalmente utilizada uma proporção maior de água/gesso (KARNI, KARNI, 1995).

Acerca da influência da granulometria, de acordo com a literatura (Bardella, 2011; Karni, Karni, 1995; Ye *et al.*, 2011), as variações de resistência à compressão, dadas as diferenças de granulometria, parecem influenciar apenas as idades iniciais: aqueles mais finos hidratam-se mais rápido, produzindo maior resistência nas idades iniciais (até 7 dias) e os mais grossos alcançam resistência semelhantes aos mais finos após os 28 dias. Para idades iniciais (até 7 dias), a influência da granulometria pode ser entendida combinando o diâmetro característico e a largura de distribuição da curva granulométrica (mais aberta ou fechada) (Ye *et al.*, 2011).

As distribuições dos gessos dadas pelas curvas granulométricas e as concentrações de diâmetros das partículas de um mesmo tamanho (finura) não apresentam grandes variações e nem são conhecidas detalhadamente de modo a se avaliar a influência na resistência à compressão. Acrescenta-se a isso, a maioria dos resultados de resistência à compressão não apresentaram diferenças estatisticamente significativas (Apêndices K e L).

Para John e Cincotto (2007), há também uma relação entre dureza e resistência à compressão, onde à medida que se aumenta a dureza, tem-se também um aumento da resistência a compressão. No presente estudo, foi realizada a comparação entre essas variáveis das pastas

dosada com teor de água/gesso de 0,8 calculando-se o coeficiente de correlação de Pearson¹⁸ que mostra uma relação moderada.

A comparação entre resultados de dureza e compressão não conduz a conclusões consistentes, uma vez que, existem vários fatores intervenientes. Além disso, os resultados de dureza e resistência à compressão dos gessos não apresentaram, em sua maioria, diferenças estatisticamente significativas, o que impede a visualização de uma relação entre essas duas variáveis.

Uma relação entre dureza e resistência à compressão fica mais clara quando se confronta os gessos de mesma matéria prima, como no caso daqueles dosados para consistência normal e para relação de 0,8. Pode-se inferir que aqueles de consistência normal conduziram a uma dureza relativamente mais alta, dada a sua baixa capacidade de deformação. Assim, observa-se o comportamento de John e Cincotto (2007), onde há uma relação diretamente proporcional entre dureza e resistência à compressão.

4.4 RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO

Os resultados de resistência de aderência à tração dos revestimentos produzidos e ensaiados conforme a NBR 13528 (2010) se encontram na Tabela 4.11. Os resultados individuais se encontram no Apêndice M.

Embora as pastas de gessos tenham sido produzidas com a mesma relação água/gesso (0,8), as suas trabalhabilidades foram diferentes devido às diferenças do material, como matéria prima, finura e forma dos grãos.

Observa-se que a aderência dos revestimentos independente do tratamento da base e do tipo de gesso alcança o valor mínimo solicitado pela NBR 13207 (2017) de 0,2 MPa. De acordo com os critérios da BS EN 13279-1 (2008), a resistência ao arrancamento do revestimento de gesso deve ser igual ou superior a 0,1 MPa.

¹⁸ $r=0,633$.

Tabela 4.11 – Resistência de aderência à tração dos revestimentos executados com e sem pré-umedecimento da base.

Gesso	Resistência de aderência (MPa)	
	Sem pré-umedecimento da base	Com pré-umedecimento da base
A	0,27 ± 0,17	0,26 ± 0,15
B	0,43 ± 0,19	0,25 ± 0,07
C	0,37 ± 0,14	0,23 ± 0,09
D	0,66 ± 0,23	0,23 ± 0,14
E	0,54 ± 0,17	0,34 ± 0,12
F	0,58 ± 0,13	0,22 ± 0,12
G	0,41 ± 0,17	0,32 ± 0,13
H	0,49 ± 0,11	0,25 ± 0,10
I	0,51 ± 0,14	0,39 ± 0,10
J	0,21 ± 0,11	0,37 ± 0,13
Média (MPa)	0,45	0,29
Desvio padrão (MPa)	0,14	0,06
Coefficiente de variação (%)	31,02%	22,05%

As rupturas no ensaio se deram, majoritariamente, na interface substrato/revestimento, ou seja, foram rupturas de natureza adesiva e não coesiva. O ensaio de determinação de umidade dos revestimentos ocorreu após realização do arrancamento e mostrou que, aos 28 dias, o revestimento se encontrava seco (Apêndice N).

O ensaio de aderência demonstrou um coeficiente de variação de até 31,02 %. Entretanto, mesmo com essa variação, que já comentada por outros autores na bibliografia, é o mais indicado para avaliação do desempenho de revestimentos. Somente o gesso J apresentou uma redução da capacidade aderente do revestimento quando executado sobre base seca, no entanto, isso pode ser atribuído a variações na execução e procedimento de ensaio. No geral, constatou-se também uma redução da resistência de aderência com o pré-umedecimento da base.

De acordo com Barbosa *et al.* (2004) *apud* Bardella (2011), as características da superfície de aplicação das pastas de gesso têm influência significativa na resistência de aderência dos revestimentos de gesso, pois um material mais permeável proporciona uma microancoragem mais resistente com maior penetração do gesso nos poros.

A face dos blocos cerâmicos utilizados como base dos revestimentos das pastas de gesso, por serem de cerâmica vermelha obtida por queima, apresenta a face vidrada diminuindo a permeabilidade do substrato cerâmico e dificultando assim uma melhoria na

microancoragem (BARDELLA, 2011). Além disso, o pré-umedecimento, indicado pela NBR 13867 (1997), reduz a capacidade de sucção da base, tendo como resultado uma redução do material que penetra nos poros da base garantindo a ancoragem mecânica.

Entretanto, mesmo nestas situações, o revestimento apresentou aderência satisfatória. Os resultados de aderência do revestimento estão coerentes com os de Dias e Cincotto (1995), Almeida (2014), Hincapie *et al.* (1997) e Delgado e Pires Sobrinho (1997).

De modo a avaliar a influência dos fabricantes do gesso na aderência, foi feita uma triagem pelo Teste de Tukey, que mostra que, no geral, não há diferenças estatisticamente significativas para a maioria dos valores encontrados (Apêndice O).

Foi realizada também uma avaliação para verificar se há diferença estatisticamente significativa entre os tipos de tratamento: sem pré-umedecimento e com pré-umedecimento da base (Apêndice P). Os resultados mostram que, para maioria dos resultados obtidos, há diferença entre os dois tipos de tratamento. Assim, recomenda-se que não haja o pré-umedecimento da base a fim de se garantir níveis maiores de aderência.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O presente trabalho teve como objetivo fazer um estudo de caracterização e avaliação de conformidade de dez gessos para revestimento comercializados no Polo Gesseiro do Araripe coletados aleatoriamente de empresas pequenas às com grande controle de produção, de modo a se conhecer melhor o material fornecido nesta região.

O estudo também permitiu avaliar os requisitos, métodos de ensaios e especificações das normas brasileiras voltadas para gesso, especialmente, com função de revestimento.

Recomenda-se normatizar tempos de espera para aplicação da pasta de gesso e realização do acabamento, os tipos de tratamentos da base e quando aplicá-los, os desvios máximos de prumo, nível e planeza para uma base que receberá um revestimento em pasta de gesso, a dosagem, as espessuras e, principalmente, o método de avaliação do produto acabado.

Neste último caso, sugere-se o ensaio de resistência de aderência à tração, uma vez que é consenso atual, que a aderência é o que governa o desempenho de um revestimento. Além disso, as normas tratam da avaliação do gesso com uma relação água/gesso dada pela consistência normal, que é valor de referência para produtores e laboratoristas para avaliação do gesso, e, na prática, não haveria possibilidade de aplicação de um revestimento com essa relação, dada as condições de trabalhabilidade e o tempo de pega reduzidos.

A partir do estudo do gesso nos estados anidro, fresco e endurecido, pode-se apresentar as seguintes conclusões:

- Com relação à composição dos gessos

A composição dos gessos foi avaliada pela fluorescência e difração de raio X, termogravimetria e calorimetria (curvas de evolução de calor).

Por meio da análise de fluorescência de raio X, pode-se verificar que os gessos são compostos predominantemente por CaO e SO₃. A NBR 13207 (2017) solicita que os gessos apresentem um teor total desses óxidos de 91 %, no mínimo. Quatro gessos atendem esse valor e os demais apresentam valores próximos ao requisitado pela norma. Pode-se afirmar que os gessos são de grande pureza quando se compara com aqueles utilizados fora do Brasil.

Da análise dos difratogramas de raio X de alguns gessos, tem-se a indicação de que são compostos por hemi-hidrato e anidrita, mostrando uma não uniformidade no processo de calcinação da gipsita. Foi possível verificar a existência de impurezas no gesso, oriundas,

provavelmente, da matéria prima (gipsita), como quartzo, alunita, muscovita, halita, entretanto, os teores são baixos, como se pode verificar na análise de FRX.

Pela termogravimetria de alguns gessos, verifica-se que apresentam o mesmo comportamento, característico de um hemi-hidrato. A partir da curva de DTA de cada gesso, são observados 3 eventos: perda de água livre, perda de água de cristalização e transformação da anidrita III em anidrita II.

Pelas curvas de calorimetria, pode-se verificar a reatividade e qualidade do material. Todas as curvas apresentaram um comportamento típico da hidratação do hemi-hidrato, onde, numa etapa inicial, ocorre o tempo de indução; em seguida, a etapa é definida pela elevação rápida da temperatura, até um ponto máximo, em que ocorre o enrijecimento total do gesso. Verificou-se a influência de um aumento da relação água/gesso na hidratação do gesso: redução da temperatura máxima alcançada e da velocidade de hidratação e aumento do tempo de indução.

- Com relação às propriedades do gesso em pó

Quanto a granulometria e o módulo de finura dos gessos, foi observada que a metodologia indicada para sua determinação apresenta várias limitações, devido a influência da energia entre operadores, as diferenças entre as malhas, duração do ensaio, que podem alterar o material. De acordo com a NBR 13207 (2017), os gessos se encontram em conformidade para aplicação em revestimento, uma vez que, apresentavam mais de 90 % passante na peneira de abertura de 0,21 mm.

De acordo com a NBR 13207 (2017), 90 % dos gessos estudados estão em conformidade quanto a massa unitária. Foi verificada uma correlação moderada negativa entre o módulo de finura e a massa unitária dos gessos. A correlação precisa ser melhor investigada, uma vez que, foram apresentadas algumas limitações do ensaio de granulometria/módulo de finura que podem interferir nos resultados. Observou-se também, uma correlação forte dessa grandeza e as porcentagens retidas na peneira de malha 0,105 mm e o fundo, onde a medida que aumenta a porcentagem retida no fundo e reduz a da peneira 0,105 mm, tem-se aumento da massa unitária.

Foram feitas determinações da massa específica, embora, as normatizações de gesso não tratem dessa avaliação. Os valores encontrados foram entre 2,54 a 2,61 g/cm³, uma diferença de até 0,07 g/cm³. As variações de massa unitária e específica entre os gessos pode ser atribuída ao arranjo dos cristais e a estrutura cristalina na massa do gesso que dependem das condições de calcinação da gipsita e produção do hemi-hidrato.

Pela NBR 12130 (1991), foi possível calcular os teores de água livre dos gessos, que variaram entre 0,31 e 0,73%. Ou seja, estariam conformes as especificações da NBR 13207 (2017), que requisita um teor de, no máximo, 1,3%. Entretanto, foi verificada, pelos métodos termogravimétricos que, a temperatura que ocorre a perda de água livre é, aproximadamente, 50 °C, ou seja, abaixo daquela indicada pela norma que descreve o ensaio de determinação (NBR 12130 (1991)), que é de $(40 \pm 4)^\circ\text{C}$. Portanto, o teor de água livre obtido pela NBR 12130 (1991) está abaixo do verdadeiro. Sendo assim, considerando o valor obtido por termogravimetria, os gessos não atendem o requisito normativo de teor de água livre.

Através da NBR 12130 (1991), pode-se obter também o teor de água de cristalização, que mostrou que os gessos apresentaram valor superior a norma (NBR 13207 (2017)), que especifica que deve estar entre 4,2 a 6,2%. Entretanto, os valores obtidos apresentam uma inconsistência dada a propagação de erro devido ao método de ensaio de determinação da água livre, assim, o valor determinado para água de cristalização é uma parte de água livre residual e outra parte de água de cristalização. Por termogravimetria, foi possível verificar valores de água de cristalização com maior precisão, sendo então, os gessos coletados conformes neste quesito. A determinação do teor de água de cristalização é de grande importância, pois evidencia a condição de calcinação da gipsita. Teores acima de 6,2% podem indicar a presença de matéria não calcinada e abaixo de 4,2%, super calcinada.

- Com relação às propriedades das pastas no estado fresco

Os valores de consistência normal encontrados estão numa faixa entre 0,40 e 0,48. Este valor é influenciado por diversos fatores, como granulometria dos gessos, matéria prima e a energia de mistura. No presente estudo, a partir do confronto entre os resultados das propriedades obtidas dos diversos gessos, não foi possível traçar uma relação de influência desses fatores na consistência, pois há um efeito sinérgico entre eles.

Quanto aos tempos de pega das pastas com consistência normal, apenas um gesso dos dez estudados não atendeu ao critério de um tempo de início de pega de, no mínimo, 10 minutos. Quanto ao fim de pega, todos os gessos não atenderam a NBR 13207 (2017), que especifica que uma pasta de gesso para revestimento deve apresentar um tempo de fim de pega de, no mínimo, 35 minutos. Foram dosadas pastas com relação água/gesso de 0,8, que é comumente empregada em obras em revestimentos, que apresentaram maiores tempos de início e fim de pega. Pode-se verificar que os tempos de pega dos gessos brasileiros são curtos e variáveis e a relação água/gesso é um fator de grande influência.

Além disso, constatou-se que os tempos de início e fim de pega, determinados pelo aparelho de Vicat, são de pouca utilidade para o construtor, uma vez que o revestimento deve iniciar antes do início de pega, pois é quando a pasta começa a ter uma alteração da consistência, e deve finalizar antes do fim de pega, pois, neste momento, a pasta já está muito rígida. Sendo assim, esses tempos utilizados apenas como um parâmetro de qualidade.

- Com relação as propriedades das pastas no estado endurecido

A dureza dos corpos de prova com a relação água/gesso dada pela consistência normal não pode ser obtida uma vez que levou a confecção de material excessivamente rígido, com alta resistência mecânica e baixa resistência à deformação, que, durante o ensaio de penetração da esfera, resultou no rompimento dos corpos de prova, explicado pelas baixas relação água/gesso. Entretanto, foi possível obter os resultados para aqueles moldados com relação água/gesso de 0,8, evidenciando que o aumento da relação água/gesso diminui a rigidez e aumenta a capacidade de deformação do material. Verificou-se que os valores encontrados foram, majoritariamente, semelhantes entre si, ou seja, não houve diferenças entre os gessos, independente da sua matéria prima, granulometria, processo de calcinação.

Quanto a resistência à compressão, todos os gessos estudados estão em conformidade com NBR 13207 (2017), quando dosados para a consistência normal. Houve uma queda de resistência à compressão para gessos dosados com relação água/gesso de 0,8, o que mostra a influência do teor de água nas pastas. Por meio de ferramentas estatísticas, não se verifica diferenças estatisticamente significativas no grupo de resistência à compressão para consistência normal e para relação de 0,8.

Assim, verifica-se que, independente do porte da empresa fornecedora do gesso, as propriedades mecânicas desses materiais foram semelhantes, o que indica que, a matéria prima da região é de grande qualidade.

- Com relação ao desempenho do revestimento

Observa-se que a aderência dos revestimentos independente do tratamento da base e do tipo de gesso alcança o valor mínimo solicitado pela NBR 13207 (2017) de 0,2 MPa, mesmo sendo aplicados em base cerâmica, que apresenta baixa rugosidade. As rupturas no ensaio se deram majoritariamente na interface substrato/revestimento.

No geral, observa-se uma tendência de redução da resistência de aderência com o pré-umedecimento da base, provavelmente pela redução da capacidade de sucção da base, tendo

como resultado uma redução do material que penetra nos poros da base que garante a ancoragem mecânica. Entretanto, mesmo nestas situações, o revestimento apresentou aderência satisfatória.

Não há diferenças estatisticamente significativas entre os gessos para a maioria dos valores encontrados, o que mostra o desempenho semelhante de todos os gessos coletados. Entretanto, há diferenças estatisticamente significativas entre a aderência de uma base com e sem pré-umedecimento. Assim, recomenda-se que não haja o pré-umedecimento da base a fim de se garantir níveis maiores de aderência.

Sucintamente, através do estudo, as principais conclusões e observações deste projeto são apresentadas no Quadro 5.1.

Quadro 5.1 – Principais conclusões e observações do estudo de caracterização dos gessos para revestimento.

Característica / Propriedade	Conclusões e observações
Granulometria (NBR 12127 (2017))	Ensaio não é adequado para determinação da distribuição granulométrica do gesso. Indica-se uma técnica mais robusta como granulometria a laser.
Água livre (NBR 12130 (1991))	Método de ensaio da norma apresenta uma inconsistência na temperatura de ensaio. A norma indica temperatura de 40°C; a perda da água livre ocorre em temperaturas superiores a esta. Então, os valores obtidos não são verdadeiros. A incoerência foi percebida pelos ensaios termogravimétricos.
Água de cristalização (NBR 12130 (1991))	Método de ensaio da norma apresenta incoerência devido ao ensaio de água livre. Assim, os resultados de água de cristalização obtidos são de água livre residual e água de cristalização. A incoerência foi percebida pelos ensaios termogravimétricos.
Consistência normal (NBR 12128 (2017))	Valor de referência apenas para produtores e laboratoristas, uma vez que, na prática, não se conseguiria aplicar um revestimento com a relação água/gesso obtida.
Tempo de pega (NBR 12128 (2017))	Valor de referência apenas para produtores e laboratoristas, uma vez que, na prática, não se utiliza os tempos de início e fim de pega para aplicação do gesso. O método foi desenvolvido para determinação do tempo de pega do cimento. No início de pega determinado pelo aparelho de Vicat (NBR 12128 (2017)), 10% do di-hidrato já está formado, então, o gesso deve começar a aplicação antes desse momento. No tempo de fim de pega, a pasta já está excessivamente rígida, não podendo mais ser aplicada.
Dureza (NBR 12129 (2017))	Não foi possível mensurar o valor para pastas dosadas na consistência normal através do método da penetração da esfera (NBR 12129 (2017)), pois a pasta apresenta alta resistência à compressão e rigidez, sendo então, os corpos de prova rompidos durante o ensaio.
Resistência de aderência à tração	Não há método para mensurar essa propriedade em revestimentos de pasta de gesso. Os valores obtidos neste projeto foram através da adaptação da NBR 13528 (2010) direcionada para argamassas.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com base nos estudos, sugere-se a continuação da pesquisa através dos tópicos destacados a seguir:

- Avaliação da capacidade aderente dos revestimentos em pasta de gesso executados em diferentes tipos de substratos, como parede de concreto, bloco de concreto, laje com chapisco rolado;
- Avaliação da influência da espessura, umidade, idade do revestimento na aderência;
- Avaliação dos tratamentos, como chapisco industrializado e emulsões adesivas, em diferentes tipos de base na resistência de aderência;
- Análise do efeito da finura e pureza do gesso na sua capacidade aderente;
- Avaliação da influência de diferentes aditivos na aderência da pasta de gesso;
- Avaliação da aderência de argamassas de gesso;
- Estudo de comparação da aderência de revestimentos executados em pasta de gesso projetado e manual;
- Estudo de argamassas de gesso e cal empregando-se choque térmico com foco na norma brasileira de desempenho (NBR 15575);
- Estudo de descarte e reciclagem de gesso de demolição com foco na sustentabilidade e preservação ambiental;
- Estudo de interações base x pasta de gesso;
- Estudo de ciclo de vida das pastas de gesso.

REFERÊNCIAS

- ABREU, E. M. X.; BARROS, J.V.; FERREIRA, R. A. S.; SILVA, C.L.; SOUZA, D.F.; YADAVA, Y.P.. Análise Microestrutural do Efeito de Diferentes Pós Hemitratado no desempenho dos Moldes de Gesso. Anais de 47º Congresso Brasileiro de Cerâmica In: 47º Congresso Brasileiro de Cerâmica. **Anais...** João Pessoa. 2003. v. 1. p. 21-30.
- ACCORSI, C. L.. Comparativo do desempenho de revestimento argamassado e revestimento com pasta de gesso. **Revista Online Ipog Especialize**. 2015. 17 p.
- ADRIEN, J.; MEILLE, S.; TADIER, S.; MAIRE, E.; SASAKI, L.. In-situ X-ray tomographic monitoring of gypsum plaster setting. **Cement and Concrete Research** 82 (2016), p. 107–116.
- AGOPYAN, A. K.; CARDOSO, F. A.; PILEGGI, R. G.; JOHN, V. M.; CARBONE, C.. Análise reológica de pastas para revestimentos à base de gesso por squeeze-flow. VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, In: **Anais**, ANTAC, Florianópolis, p 144-157, 2005.
- AGOPYAN, V.; SOUZA, U. E. L.; PALIARI, J. C.; ANDRADE, A.C.. **Alternativas para redução de desperdício de materiais nos canteiros de obras**. Coletânea Habitar, Inovação, Gestão da Qualidade & Produtividade e Disseminação do Conhecimento na Construção Habitacional, v. 2, 1998. p. 224 – 249.
- AKKARI, A. M. P.; SOUZA, U. E. L.. Avaliação da produtividade e das perdas no serviço de revestimento de gesso liso e sarrafeado em paredes e tetos. In: Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção (IV SIBRAGEC) e Encontro Latino-americano de Gestão e Economia da Construção (I ELAGEC), 2005, Porto Alegre. **Anais...** Construção na América Latina: inclusão e modernização. Porto Alegre: ANTAC, 2005.
- ALMEIDA, Y. K. R.. **Estudo de resistência de aderência de revestimento executados com pasta de gesso, considerando diferentes substratos**. 2014. 75 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Fundação Universidade Federal Vale do São Francisco.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **ASTM C 842-05 (2015)**: Specification for application of interior gypsum plaster. Philadelphia, 2005.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **ASTM C28/C28M – 10 (2015)**: Standard Specification for Gypsum Plasters. 2010.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **ASTM C472 - 99 (2014)**: Standard Test Methods for Physical Testing of Gypsum, Gypsum Plasters and Gypsum Concrete, West Conshohocken, PA, 2014.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **ASTM D4541-09e1**: Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2009.

ANTUNES, R. P. N.; JOHN, V. M.. Influência da cal hidratada nas pastas de gesso endurecidas. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, VIII, 2000, Salvador/BA. **Anais** do VIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Salvador: ANTAC, 2000.

ANTUNES, R. P. N. **Estudo da influência da cal hidratada nas pastas de gesso**. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999. 134p.

ANTUNES, R. P. N. **Influência da reologia e da energia de impacto na resistência de aderência de revestimentos de argamassas**. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2005. 162 p.

ARAÚJO, A. P. R.; PERES, L. S.; QUEIROZ, A. B.; SERPA, F. G.. **Gipsita do Araripe: alternativas e perspectivas da exploração mineral e industrialização**. Recife, R. Pernambucana Tecnol, 1983. 30 p.

ARAÚJO, S. M. S.. **O pólo gesseiro do Araripe: unidades geo-ambientais e impactos da mineração**. Tese (Doutorado). Universidade Estadual de Campinas. São Paulo, 2004, 259 p.

ARAÚJO, S. M. S.; MARTINS, L. A. M.. A indústria extrativa mineral do pólo gesseiro do araripe e seus impactos sócio-ambientais. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 29, p. 91-112, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12127**: Gesso para construção: Determinação das propriedades físicas do pó. Rio de Janeiro, 2017. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12128**: Gesso para construção: Determinação das propriedades físicas da pasta. Rio de Janeiro, 2017. 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12129**: Gesso para construção: Determinação das propriedades mecânicas. Rio de Janeiro, 2017. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13207**: Gesso para construção civil - Requisitos. Rio de Janeiro, 1994. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13528**: Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas: Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2010. 15p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13749**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Especificação. Rio de Janeiro, 1994. 2p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13867**: Revestimento interno de paredes e tetos com pasta de gesso - Materiais, preparo, aplicação e acabamento. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12130**: Gesso para construção - Determinação da água livre e de cristalização e teores de óxido de cálcio e anidrito. Rio de Janeiro, 1991. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013. 60 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7200**: Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Procedimento. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7200**: Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1998. 13 p.

ASSOCIAÇÃO MERCOSUL DE NORMATIZAÇÃO. **NM 23**: Cimento Portland e outros materiais em pó – determinação da massa específica. 11p.

ATHIENTIS, A. K., LIU, C., HAWES, D., BANU, D., FELDMAN, D. Investigation of the thermal performance of a passive solar test-room with wall latent heat storage. **Bulding and Environment**, Vol. 32, n. 5, p. 405-410, 1997.

BALTAR, C. A. M.; Bastos, F. de F.; LUZ, A. B.. Diagnóstico do pólo gesseiro de Pernambuco (Brasil) com ênfase na produção de gipsita para fabricação de cimento. In: IV Jornadas Iberoamericanas de Materiales de Construcción - Ponencias y Comunicaciones, 2004, Tegucigalpa., **Anais...** 2004. p. 01-10.

BALTAR, C. A. M.; BASTOS, F. de F.; LUZ, A. B.. **Gipsita**. In: Adao Benvindo da Luz; Fernando Antonio Freitas Lins. (Org.). Rochas & Minerais Industriais. 1ed. Rio de Janeiro: CETEM, 2005, v. 1 c21, p. 449-470.

BALTAR, C. A. M.; BASTOS, F. de F.; BORGES, L.E.P.. Variedades mineralógicas e processos utilizados na produção dos diferentes tipos de gesso. In: Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, 2004, Florianópolis. XX Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, **Anais...** 2004. v. 01. p. 769-776.

BALTAR, C. A. M.; FREITAS, E. J. G.. A Produção de Gesso no Brasil: Mineração e Calcinação de Gipsita. In: Congresso Internacional de Geociências na CPLP, 2012, Coimbra. I Congresso Internacional de Geociências na CPLP. Coimbra: Centro de Geociências & Centro de Geofísica da Universidade de Coimbra, **Anais...** 2012. v. 1. p. 85-85.

BALTAR, L. M. Influência da adição de polissacarídeos nas propriedades físicas do gesso alfa. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Pernambuco. Recife. 117 p. 2009.

BARBOSA, A. A.; FERRAZ, A. V.; SANTOS, G. A.. Caracterização química, mecânica e morfológica do gesso obtido do pólo do Araripe. **Cerâmica** (São Paulo. Impresso), v. 60, p. 501-508, 2014.

BARBOSA, A. A. **Estudo da conversão química de compósitos a base de gesso em hidroxiapatita**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Vale do São Francisco. Bahia. 2012.

BARDELLA, P. S.. **Análise das Propriedades de Pastas de Gesso de Construção Reciclado**. Universidade Estadual de Campinas. Campinas. 2011. Tese (Doutorado). 235 p.

BARROS, S. D. S.; SANTOS, R. B.; ROCHA, D. A.; HORN, B. L.. Aspectos sobre a tipologia do minério no Polo Gesseiro de Pernambuco. 47º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, At SALVADOR-BAHIA, **Anais...** Volume: MEIO DIGITAL. 2014.

BAUER, E.. **Resistência a penetração da chuva em fachadas de alvenaria de materiais cerâmicos: uma análise de desempenho**. 1987. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1987. 188p.

BAUER, L.A.F. **Materiais de construção**. 5. ed. Volume 1. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos (LTC), 2000. 448 p.

BELMILOUDI, A.; MEUR, G.L. Mathematical and numerical analysis of desydratation of gypsum plasterboards exposed to fire. **Elsevier: applied mathematics and computation** 163, p. 1023 -1041, 2005.

BREITSAMETER, B.. **Revestimento interno de paredes e tetos: estudo comparativo dos sistemas pasta de gesso e argamassa do tipo massa única**. Monografia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 77 p. 2012.

BRITISH STANDARD EUROPEAN NORM. **BS EN 13279-1**: Gypsum binders and gypsum plasters. Definitions and requirements. Bruxelas. 2008.

BRITISH STANDARD EUROPEAN NORM. **BS EN 13279-2**: Gypsum binders and gypsum plasters: Test methods. Bruxelas. 2006.

CANUT, M.M.C. **Estudo da viabilidade do uso do resíduo fosfogesso como material de construção**. 2006. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006. 154p.

CARASEK, H. **Aderência de argamassas à base de cimento portland a substratos porosos: avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do**

mecanismo da ligação, 1996. 285p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996

CARASEK, H. **Argamassas**. In: ISAIA, G. C. (Ed.). *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais*. São Paulo: Ibracon, 2007. p. 863-904. v. 2.

CARASEK, H.. **Avaliação de resultados do ensaio de resistência de aderência de revestimentos de argamassa**. *Techne: Revista de Tecnologia da Construção (São Paulo)*, v. 1, p. 51-55, 2012.

CARASEK, H.; CASCUDO, O.; SCARTEZINI, L. M. Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, IV, 2001, Brasília. **Anais...** Brasília: PECC / ANTAC, 2001.

CARDOSO, F. A.; AGOPYAN, A. K.; CARBONE, C.; PILEGGI, R. G.; JOHN, V. M. Squeeze flow as a tool for developing optimized gypsum plasters. **Construction and Building Materials** 23 (2009) p. 1349–1353.

CARNEIRO, A. M. P. **Contribuição ao estudo da influência do agregado nas propriedades de argamassas compostas a partir de curvas granulométricas**. 1999. 170p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

CAUFIN, B.; PAPO, A. **Rheological testing methods for gypsum plaster pastes**. 1983. *RILEM materials and structures* 95:315–321.

CINCOTTO, M.A.; AGOPYAN, V.; FLORINDO, M.C. **O gesso como material de construção – composição química (1ª parte)**. In: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). *Tecnologia das Edificações*. São Paulo, 1985a. p. 23-26.

CINCOTTO, M.A.; AGOPYAN, V.; FLORINDO, M.C. **O gesso como material de construção – propriedades físicas e mecânicas (2ª parte)**. In: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). *Tecnologia das Edificações*. São Paulo, 1985b. p. 17-20, 1985b.

CLIFTON, J. R. **Some aspects of the setting and hardening of gypsum plaster**. NBS Technical Note 755, 1973.

COSTA, E. B. C.; CARASEK, H. **Influência dos parâmetros de ensaio na determinação da resistência de aderência de revestimentos de argamassa**. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 17-35, out./dez. 2009.

COSTA, E. **Investigação do método de ensaio de determinação da resistência de aderência de revestimentos de argamassa**. 2007. Dissertação (Mestrado) – Curso de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007. 205p.

COSTA, J. E. B.. **Análise comparativa entre as propriedades do gesso obtido de rejeito da produção de sal e gessos comerciais**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2013. 79 p.

COSTA, W. D., ANJOS, N. da F. R., **Gipsita no estado de Pernambuco**. Comissão de Desenvolvimento Econômico de Pernambuco. Recife - 1962. 60 p.

DE MILITO, J.A. **Avaliação do comportamento de pastas de gesso com cimento portland e sílica ativa para revestimento**. Campinas, SP, 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - FEC, Universidade Estadual de Campinas. 228p.

DELGADO, C. B.; PIRES SOBRINHO, C. W. A. Revestimentos de gesso (pasta e argamassa) determinação das propriedades mecânicas. II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. **Anais...** Salvador – BA, 11 p. 1997.,

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM). **Sumário Mineral 2014**. Brasília: DNPM, 2014, 141 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM). **Sumário Mineral 2015**. Brasília: DNPM, 2015, 146 p.

___:Anuário Mineral Brasileiro. Brasília: DNPM, 1997.

___:Anuário Mineral Brasileiro. Brasília: DNPM, 1998.

___:Anuário Mineral Brasileiro. Brasília: DNPM, 1999.

___:Anuário Mineral Brasileiro. Brasília: DNPM, 2000.

___:Anuário Mineral Brasileiro. Brasília: DNPM, 2001.

___:Anuário Mineral Brasileiro. Brasília: DNPM, 2002.

___:Anuário Mineral Brasileiro. Brasília: DNPM, 2003.

___:Anuário Mineral Brasileiro. Brasília: DNPM, 2004.

___:Anuário Mineral Brasileiro. Brasília: DNPM, 2005.

___:Anuário Mineral Brasileiro. Brasília: DNPM, 2006.

___:Anuário Mineral Brasileiro. Brasília: DNPM, 2008.

___:Sumário Mineral Brasileiro. Brasília: DNPM, 2008b.

___:Anuário Mineral Brasileiro. Brasília: DNPM, 2009.

___:Sumário Mineral Brasileiro. Brasília: DNPM, 2009b.

___:Anuário Mineral Brasileiro. Brasília: DNPM, 2010.

DIAS, A. M. N.; CINCOTTO, M. A. **Revestimento à Base de Gesso de Construção**. São Paulo: EPUSP, 1995. Boletim Técnico PCC n. 142.

FUPEF. Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná. **Apoio Técnico e Institucional para o Desenvolvimento do Programa Florestal da Chapada do Araripe em Pernambuco**. Curitiba. 2007. 223 p.

GARCIA-GUINEA, J. et al. Phosphor plaster of CaSO₄: Dy on the courtyard wall of Djehuty's tomb (Luxor, Egypt). **Radiation Measurements**, v. 43, p. 849-853, 2008.

GARTNER, E. M. Cohesion and expansion in polycrystalline solids formed by hydration reactions — The case of gypsum plasters. **Cement and Concrete Research** 39 (2009) p. 289–295.

GMOUH, A. et al. Development and validation of a dimensional variation measurement set: application to the plaster setting. **Materials Science and Engineering A**, EUA, n. 372, p.123-127, 2004.

GOMEZ, M.; ANDRADE, C.; Corrosion of bare and galvanized steel in gypsum. **Materiales de construcción**. Vol. 38, n° 212. octubre/noviembre/diciembre 1988. Madrid. España. 16 p.

GONÇALVES, S. R. C. **Variabilidade e fatores de dispersão da resistência de aderência nos revestimentos em argamassa – Estudo de caso**. 2004. 148p. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

HENAO, A. M. H; CINCOTTO, M. A. **Seleção de substâncias retardadoras do tempo de pega do gesso de construção**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, São Paulo, n. 184, 1997.

HERNÁNDEZ-OLIVARES, F.; BOLLATI, M.R.; RIO, M. Del; PARGA-LANDA, B. Development of cork-gypsum composites for building applications. **Construction and Building Materials**, v.13, p. 179-186,1999.

HINCAPIE, A. M.; CINCOTTO, M. A.. **Efeito de retardadores de pega nos mecanismos de hidratação e na microestrutura do gesso de construção**. Ambiente Construído (São Paulo), São Paulo, v. 1, n.2, p. 7-16, 1997.

JOHN, V. M.; ANTUNES, R. P. N.. **Argamassas de Gesso**. Ambiente Construído (São Paulo), Porto Alegre, v. v2, n.1, p. 29-38, 2002.

JOHN, V. M.; CINCOTTO, M. A.. **Gesso de Construção Civil**. In: ISAIA, G. C.. *Materiais de Construção Civil*. São Paulo: IBRACON, 2007. Cap. 22.2, p. 727-760.

KANNO, W. M.. **Propriedades mecânicas do gesso de alto desempenho**. 2009. 130f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade de São Paulo, São Carlos. 2009.

KARNI, J.; KARNI, E. Gypsum in Construction: origin and properties. **Materials and Structures**, v. 28, n. 176, p.92-100, 1 mar. 1995.

KAZMIERCZAK, C. S.; BREZEZINSKI, D. E.; COLLATTO D.. **Influência das características da base na resistência de aderência à tração e na distribuição de poros de uma argamassa**. *Estudos tecnológicos* – v. 3, n° 1:47-58 (Jan/Jun 2007)

LAWRENCE, S. J.; CAO, H. T. Microstructure of the interface between brick and mortar. In: *Internacional brick and block masonry conference, 1988, Dublin Proceeding...* London: Elsevier, 1988. v. 1, p. 194-204.

LEAL, F. E. C. B. **Estudo do desempenho do chapisco como procedimento de prevenção de base em sistemas de revestimento**. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2003, 109 p.

LEITÃO, M. A. S. . Gesso: Conhecimento e Uso na Engenharia. In: XXXIII Cobenge - Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, 2005, Campina Grande. *Anais do XXXIII COBENGE- Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia*. Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande, **Anais...** 2005. v. 1.

LEWRY, A.J.; WILLIAMSON, J. The setting of gypsum plaster - Part II - The development of microstructure and strength, **Journal of Material Science**, 29 (1994) 5524– 5528.

LNEC - **Regras para a concessão de documentos de aplicação a revestimentos pré-doseados de gesso para paramentos interiores de paredes e tectos**. Relatório 43/2008 - NRI, LNEC, Lisboa, 2008.

LYRA SOBRINHO, A.C.P.; AMARAL, A.J.R.; DANTAS, J.O.C.; DANTAS, J.R.A. Gipsita. In: **Balanço Mineral Brasileiro 2001**. DNPM. Brasília. 2002.

MAEDA, F. M; SOUZA, U. E. L. **Previsão da produtividade da mão-de-obra na execução de revestimento interno em gesso**. Boletim técnico, n. 332. Escola Politécnica da USP. São Paulo, 2003.

MELO, R. A. D. P., **Estudo do efeito de aditivos nas propriedades do gesso alfa produzido em meio aquoso**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Vale do São Francisco. 2013. 78 p.

MINISTÉRIO PÚBLICO DE PERNAMBUCO. **Sustentabilidade no polo gesseiro**. DP Economia. 2013. Disponível em: <
http://www.mppe.mp.br/siteantigo/siteantigo.mppe.mp.br/index.pl/clipagem20131311_sustentabilidade.html>. Acesso: 10.06.2017.

MIRANDA NETO, L. L.. **Localização industrial e custos logísticos: uma abordagem da multimodalidade de transportes do Polo Gesseiro da Região do Araripe Pernambucano**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco. 2012. 85 p,

MONÇÃO JÚNIOR, A. R.. **Otimização das condições experimentais na desidratação da gipsita para obtenção de um gesso beta reciclável**. Dissertação (mestrado). Universidade Católica de Pernambuco. 2008. 66p.

NAKAMURA, J. **Normas e legislação – Normas técnicas em construção**. Téchne. Ed. 78. 2013.

NASCIMENTO, A. F.. **Aproveitamento do resíduo de gesso de construções como material alternativo para revestimento**. Recife, 2014. 87 p. Dissertação (mestrado). Associação Instituto de Tecnologia de Pernambuco, Recife, 2014.

NUNIS, M. B.. **Quantificação dos depósitos de gipsita do Araripe** (Área Casa de Pedra – Ouricuri – PE). Ministério do Interior. SUDENE. DNPM. Recife. 1971. 31p.

NÜRNBERGER, U.. Corrosion of metals in contact with mineral building materials. **Otto-Graf-Journal**. Vol. 12, 2001. p 69-80.

OLIVEIRA, F. M. C.; BORGES, L. E. P. ; MELO, E. B.; BARROS, M. L. S. C. . **Características Mineralógicas e Cristalográficas da Gipsita do Araripe**. Holos (Natal Online), v. 5, p. 71-82, 2012.

OLIVEIRA, N. N. C.. **A importância da adoção de medidas preventivas (projeto/execução) na redução da ocorrência de manifestações patológicas em sistemas de revestimento**. 2014. 147 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais. 2014.

PAES, I. N. L. **Avaliação do Transporte de Água em Revestimentos de Argamassa nos Momentos Iniciais Pós-aplicação**. 242 p. Tese (Doutorado) - Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília-DF, 2004.

PALHA, F. M. C. F. B. **Tecnologia e Reabilitação de Estuques Correntes em Paramentos Interiores**. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, IST, Lisboa, 150 p, 2008

PALHA, F.; PEREIRA, A.; BRITO, J.; SILVESTRE, J. D.. Effect of Water on the Degradation of Gypsum Plaster Coatings: Inspection, Diagnosis, and Repair. **Journal of Performance of Constructed Facilities**, 26(4):424-432, 2012.

PEREIRA, A. F. N. **Sistema de inspeção e diagnóstico de estuques correntes em paramentos interiores**. Dissertação (mestrado). 170 p. 2008. Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa.

PEREIRA, A.; PALHA, F.; BRITO, J.; SILVESTRE, J. D. Inspection and diagnosis system for gypsum plasters in partition walls and ceilings. **Construction and Building Materials** 25 (2011) p. 2146–2156.

PERES, L.; BENACHOUR, M.; SANTOS, V. A. **Gesso: produção e utilização na construção civil**. Recife: SEBRAE. 2008. 120 p.

PINHEIRO, S. M. M.; **Gesso reciclado: avaliação das propriedades para uso em componentes**. 2011, 330 p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, São Paulo.

PIRES, J.R. **Patologias na construção dos edifícios - Caso de estudo: edifício da FICASE na Cidade da Praia**. 2013. Tese (Licenciatura) – Faculdade de Arquitetura. Universidade Jean Piaget de Cabo Verde, Palmarejo Grande, 2013.

PROAPL. APL de GESSO DO ARARIPE. **PMC do APL de GESSO Revitalizado**. Programa de Produção e Difusão de Inovações para a Competitividade de APLs do Estado de Pernambuco – BID. 2009. Disponível em:
<http://www.itep.br/images/relatrio_pmc_gesso_revitalizado.pdf> Acesso em: 15.07.16.

QUINALIA, E. **Revestimento de Gesso liso: desempenado ou sarrafeado**. Revista Técnica, São Paulo, ano 13, n. 99, p. 36-38, jun. 2005.

RIBEIRO, A. S.. **Estudo e otimização do processo de produção de gesso reciclado a partir de resíduos da construção civil**. 321 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2011.

ROCHA, E.; MEDEIROS, E.; GABRIEL, F.; UCHÔA, J.; MARLO, J.; SANTOS, L.; MEDEIROS, P. **Sistemas de revestimentos – Diagnóstico Local** – Brasília/DF. 2004. 32 p. Universidade de Brasília UnB. Disponível em:
<<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/upload/ativos/122/anexo/ansistrev.pdf>>. Acessado em 04/09/2016.

SANTANA, D. M. F.. **Estudo de obtenção de água do processo da desidratação da gipsita na produção de gesso**. Dissertação (mestrado). 2008. Universidade Federal de Pernambuco. Recife. 104 p.

SANTOS, H. B.. **Ensaio de aderência das argamassas de revestimento**. 50 p. Monografia (Especialização em Construção Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

SATO, N. M. N. ; ANTUNES, R. P. N. ; JOHN, V. M. . Influência da porosidade nos processos de fixação e transporte de água em pastas de gesso. In: IV Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 2001, Brasília. IV Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, **Anais...** Brasília : SBTA, 2001. p. 485-497.

SCHMITZ, I. B. T. A.; TAVARES, Y. V. P.: Estudo do desempenho da pasta de gesso com adição de seu resíduo como revestimento interno de paredes. In: VIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, **Anais...** Curitiba, 2009.

SELMO, S. M. S. **Dosagem de argamassas de cimento Portland e cal para revestimento externo dos edifícios.** São Paulo: CPGECC/EPUSP, 1989. Dissertação (mestrado). 227 p.

SILVA, A. J. C.. **Construção Civil - Revestimentos.** Universidade Federal de Pernambuco. Recife-PE. 24 p. 2004.

SILVA, A. P. ; STARLING, C. M. D. ; ARAÚJO, P. H. M. . Estudo do desempenho físico e mecânico em gesso aditivado para acabamentos na construção civil. In: VII ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído Qualidade no Processo Construído, 1998, Florianópolis, **Anais...** 1998. p. 21-28.

SILVA, I. A. **Estudo da decomposição da gipsita para melhoria das condições de fabricação do gesso beta.** Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Pernambuco. Recife. 2003. 77 p.

SILVA, M. G. S. **Desenvolvimento de compósitos à base de gesso e pó de fibras de coco.** Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Sergipe. Sergipe. 2010. 84 p.

SINDUSGESSO. **Produtos de gesso terão novas normas.** 2014b. Disponível em: < <http://www.sindusgesso.org.br/produtos-de-gesso-terao-novas-normas/>> Acesso em: 27.12.2016.

SINDUSGESSO. **Governo promove fórum para debater desenvolvimento do Polo Gesseiro do Araripe.** 2017. Disponível em: < <https://www.sindusgesso.org.br/governo-promove-forum-para-debater-desenvolvimento-do-polo-gesseiro-do-araripe/>> Acesso em: 20.07.2017.

SINDUSGESSO. Sindicato das Indústrias de Extração e Beneficiamento de Gipsita, Calcários, Derivados de Gesso e de Minerais Não-Metálicos do Estado de Pernambuco. <http://www.sindusgesso.org.br>. Informações gerais sobre a Indústria do gesso da Bacia do Araripe: 2009 a 2017.

SOBRINHO PIRES, C. W. A. **A utilização de pasta de gesso como revestimento interno de paredes e tetos - vantagens e desvantagens.** Associação Politécnica de Consultoria. Policonsult. 2006. 2p. Disponível em: < <http://www.trevogesso.com.br/biblioteca/publicacoes-tecnicas/PASTA-DE-GECCO-COMO-REVESTIMENTO-INTERNO-DE-PAREDES-E-TETOS.pdf>> Acesso em: 20.08.2016.

SOUSA, J. G. G.; ALMEIDA, Y. K. R.; ALMEIDA, M. O.; OLIVIER, N. C. ESTUDO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA DE REVESTIMENTOS EXECUTADOS COM PASTA DE GESSO EM DIFERENTES SUBSTRATOS. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 2015, Porto Alegre. **Anais...** XI SBTA, 2015. v. 1.

TEBALDI, A. A.; ALEXANDRE, J.; CORDEIRO, G. C.; XAVIER, G. C.; DÉ SIR, J. M. Avaliação da Produtividade de Processos Construtivos para Revestimentos de Paredes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 51., 2009, Curitiba. **Anais...** Curitiba: IBRACON, 2009.

TOPECA – Produtos de construção civil. Disponível em: <<http://www.topeca.com/>> Acesso em: 15.12.2016.

TROVÃO, A. P. M.. **Pasta de gesso com incorporação de resíduo de gesso e aditivo retardador de pega**. 2012, 158 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro tecnológico, Vila Velha.

TYDLITÁT, V.; MEDVED, I.; CERNÝ, R. Determination of a partial phase composition in calcined gypsum by calorimetric analysis of hydration kinetics. **J Therm Anal Calorim** (2012) 109: p. 57–62.

VEIGA, M. R. **A ENVOLVENTE DOS EDIFÍCIOS**. Construção 2004 – Repensar a construção. Ação de formação sobre revestimentos exteriores de paredes. 2004. p. 2-8.

VIVEIROS, E.B; LOSSO, M. A. F. Gesso acartonado e isolamento acústico: teoria versus prática no Brasil. In: I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável e X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2004, São Paulo. Anais do I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável e 100 Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, **Anais...**, 2004.

YAZIGI, W. **A técnica de edificar**. 6ª ed. São Paulo: Pini, 2006.

YE, Q.; GUAN, B.; LOU, W.; YANG, L.; KONG, B.. Effect of particle size distribution on the hydration and compressive strength development of α -calcium sulfate hemihydrate paste. **Powder Technology**, 207 (2011) p. 208–214.

APÊNDICES

Nesta etapa do trabalho, são apresentados os seguintes apêndices:

- Apêndice A – Resultados dos ensaios de granulometria
- Apêndice B – Análise por Anova – fator único dos resultados de módulo de finura
- Apêndice C – Resultados dos ensaios de massas específica e unitária
- Apêndice D – Correlação entre resultados de massa unitária e granulometria
- Apêndice E – Resultados dos ensaios de determinação de água livre e de cristalização
- Apêndice F – Análise estatística dos resultados de água de cristalização pelo Teste de Tukey
- Apêndice G – Resultados dos ensaios de tempo de pega
- Apêndice H – Resultados dos ensaios de dureza
- Apêndice I – Análise estatística dos resultados de dureza pelo Teste de Tukey
- Apêndice J – Resultados dos ensaios de resistência à compressão
- Apêndice K – Análise estatística dos resultados de resistência à compressão das pastas dosadas para consistência normal pelo Teste de Tukey
- Apêndice L – Análise estatística dos resultados de resistência à compressão das pastas dosadas para relação água/gesso de 0,8 pelo Teste de Tukey
- Apêndice M – Resultados dos ensaios de resistência de aderência à tração
- Apêndice N – Resultados de umidade dos revestimentos em pasta de gesso
- Apêndice O – Análise estatística dos resultados de resistência de aderência à tração pelo Teste de Tukey – Influência do fabricante
- Apêndice P – Análise estatística dos resultados de resistência de aderência à tração pelo Teste de Tukey – Influência do pré-umedecimento da base

APÊNDICE A – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE GRANULOMETRIA

Tabela A.1 – Massas retidas nas peneiras no ensaio de granulometria para o gesso A.

Peneiras (mm)	Massa Retida 1 (g)	%Retida 1	%Retida acumulada 1	Massa Retida 2 (g)	%Retida 2	%Retida acumulada 2	%Retida acumulada média
0,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,425	0,01	0,02	0,02	0,05	0,10	0,10	0,06
0,21	0,63	1,26	1,28	0,47	0,94	1,04	1,16
0,105	33,99	67,97	69,25	35,10	70,16	71,20	70,22
Fundo	15,38	30,75	100,00	14,41	28,80	100,00	100,00

Tabela A.2 – Massas retidas nas peneiras no ensaio de granulometria para o gesso B.

Peneiras (mm)	Massa Retida 1	%Retida 1	%Retida acumulada 1	Massa Retida 2	%Retida 2	%Retida acumulada 2	%Retida acumulada
0,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,425	0,11	0,22	0,22	0,06	0,12	0,12	0,17
0,21	1,76	3,52	3,74	1,72	3,44	3,56	3,65
0,105	31,77	63,54	67,28	32,58	65,09	68,65	67,97
Fundo	16,36	32,72	100,00	15,69	31,35	100,00	100,00

Tabela A.3 – Massas retidas nas peneiras no ensaio de granulometria para o gesso C.

Peneiras (mm)	Massa Retida 1 (g)	%Retida 1	%Retida acumulada 1	Massa Retida 2 (g)	%Retida 2	%Retida acumulada 2	%Retida acumulada média
0,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,425	0,01	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04	0,03
0,21	2,13	4,26	4,28	2,01	4,02	4,06	4,17
0,105	30,61	61,22	65,50	30,17	60,28	64,34	64,92
Fundo	17,25	34,50	100,00	17,85	35,66	100,00	100,00

Tabela A.4 – Massas retidas nas peneiras no ensaio de granulometria para o gesso D.

Peneiras (mm)	Massa Retida 1 (g)	%Retida 1	%Retida acumulada 1	Massa Retida 2 (g)	%Retida 2	%Retida acumulada 2	%Retida acumulada média
0,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,425	0,07	0,13	0,13	0,05	0,10	0,10	0,11
0,21	1,74	3,15	3,28	1,90	3,80	3,90	3,59
0,105	28,83	52,27	55,55	25,63	51,25	55,15	55,35
Fundo	24,52	44,45	100,00	22,43	44,85	100,00	100,00

Tabela A.5 – Massas retidas nas peneiras no ensaio de granulometria para o gesso E.

Peneiras (mm)	Massa Retida 1 (g)	%Retida 1	%Retida acumulada 1	Massa Retida 2 (g)	%Retida 2	%Retida acumulada 2	%Retida acumulada média
0,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,425	0,06	0,12	0,12	0,04	0,08	0,08	0,10
0,21	0,41	0,82	0,94	0,41	0,82	0,90	0,92
0,105	35,19	70,31	71,25	33,70	67,35	68,25	69,75
Fundo	14,39	28,75	100,00	15,89	31,75	100,00	100,00

Tabela A.6 – Massas retidas nas peneiras no ensaio de granulometria para o gesso F.

Peneiras (mm)	Massa Retida 1 (g)	%Retida 1	%Retida acumulada 1	Massa Retida 2 (g)	%Retida 2	%Retida acumulada 2	%Retida acumulada média
0,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,425	0,07	0,14	0,14	0,11	0,22	0,22	0,18
0,21	0,77	1,54	1,68	0,79	1,58	1,80	1,74
0,105	33,94	67,80	69,48	33,71	67,38	69,18	69,33
Fundo	15,28	30,52	100,00	15,42	30,82	100,00	100,00

Tabela A.7 – Massas retidas nas peneiras no ensaio de granulometria para o gesso G.

Peneiras (mm)	Massa Retida 1 (g)	%Retida 1	%Retida acumulada 1	Massa Retida 2 (g)	%Retida 2	%Retida acumulada 2	%Retida acumulada média
0,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,425	0,03	0,06	0,06	0,03	0,06	0,06	0,06
0,21	0,59	1,18	1,24	0,66	1,32	1,38	1,31
0,105	33,83	67,58	68,82	37,14	74,21	75,58	72,20
Fundo	15,61	31,18	100,00	12,22	24,42	100,00	100,00

Tabela A.8 – Massas retidas nas peneiras no ensaio de granulometria para o gesso H.

Peneiras (mm)	Massa Retida 1 (g)	%Retida 1	%Retida acumulada 1	Massa Retida 2 (g)	%Retida 2	%Retida acumulada 2	%Retida acumulada média
0,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,425	0,04	0,08	0,08	0,07	0,14	0,14	0,11
0,21	1,91	3,82	3,90	1,96	3,91	4,05	3,98
0,105	29,01	58,00	61,90	27,34	54,60	58,66	60,28
Fundo	19,06	38,10	100,00	20,70	41,34	100,00	100,00

Tabela A.9 – Massas retidas nas peneiras no ensaio de granulometria para o gesso I.

Peneiras (mm)	Massa Retida 1 (g)	%Retida 1	%Retida acumulada 1	Massa Retida 2 (g)	%Retida 2	%Retida acumulada 2	%Retida acumulada média
0,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,425	0,19	0,38	0,38	0,18	0,36	0,36	0,37
0,21	2,37	4,74	5,12	2,51	5,02	5,38	5,25
0,105	24,17	48,33	53,45	23,99	47,96	53,34	53,39
Fundo	23,28	46,55	100,00	23,34	46,66	100,00	100,00

Tabela A.10 – Massas retidas nas peneiras no ensaio de granulometria para o gesso J.

Peneiras (mm)	Massa Retida 1 (g)	%Retida 1	%Retida acumulada 1	Massa Retida 2 (g)	%Retida 2	%Retida acumulada 2	%Retida acumulada média
0,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,425	0,17	0,34	0,34	0,11	0,22	0,22	0,28
0,21	2,25	4,49	4,83	2,46	4,91	5,13	4,98
0,105	27,14	54,19	59,03	27,11	54,14	59,28	59,15
Fundo	20,52	40,97	100,00	20,39	40,72	100,00	100,00

APÊNDICE B – ANÁLISE POR ANOVA – FATOR ÚNICO DOS RESULTADOS DE MÓDULO DE FINURA

Foram feitas análises por Anova – fator único utilizando o Microsoft Excel para se determinar o p-valor (probabilidade de significância) e verificar se há diferenças estatisticamente significativas entre os resultados de módulo de finura obtidos em laboratório durante a etapa experimental da pesquisa entre três grupos de amostras de gesso: D e I; H e J; e A, B, C, E, F e G. Os resultados se apresentam em um intervalo de confiança de 95%. A Tabela B.1 apresenta dos valores de módulo de finura dos gessos e a Tabela B.2, os valores de p-valor para os grupos analisados. O p-valor apresentou uma indicação que não havia diferenças estatisticamente significativas nos grupos considerando o intervalo de confiança escolhido.

Tabela B.1 – Módulos de finura dos gessos estudados.

Gesso	Módulo de Finura 1	Módulo de Finura 2	Módulo de Finura Médio
A	0,72	0,71	0,71
B	0,72	0,71	0,72
C	0,68	0,70	0,69
D	0,59	0,59	0,59
E	0,69	0,72	0,71
F	0,71	0,71	0,71
G	0,77	0,70	0,74
H	0,63	0,66	0,64
I	0,59	0,59	0,59
J	0,65	0,64	0,64

Tabela B.2 – Análises por Anova – determinação do p-valor dos gessos.

Grupo de gessos analisados	p-valor
D e I	0,764
H e J	0,977
A, B, C, E, F e G	0,592

APÊNDICE C – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE MASSAS ESPECÍFICA E UNITÁRIA

Tabela C.1 – Resultados de massa específica dos gessos.

GESSO	Massa (g) - Ensaio 1	Diferença de volume pós o banho e pós material 1 (ml)	Massa (g) - Ensaio 2	Diferença de volume pós o banho e pós material 2 (ml)	Massa específica 1 (g/cm ³)	Massa específica 2 (g/cm ³)	Massa específica final (g/cm ³)	Desvio padrão (g/cm ³)
A	50,01	19,20	50,00	19,10	2,60	2,62	2,61	0,01
B	50,00	19,30	50,01	19,20	2,59	2,60	2,60	0,01
C	50,00	19,50	50,00	19,35	2,56	2,58	2,57	0,01
D	50,01	19,45	50,00	19,40	2,57	2,58	2,57	0,00
E	50,00	19,40	50,00	19,55	2,58	2,56	2,57	0,01
F	50,01	19,50	50,00	19,60	2,56	2,55	2,56	0,01
G	49,99	19,30	50,01	19,30	2,59	2,59	2,59	0,00
H	50,00	19,60	50,06	19,80	2,55	2,53	2,54	0,02
I	50,05	19,60	50,06	19,70	2,55	2,54	2,55	0,01
J	50,00	19,50	50,01	19,65	2,56	2,55	2,55	0,01

Tabela C.2 – Resultados de massa unitária dos gessos.

GESSO	Massa (g) - Ensaio 1	Massa (g) - Ensaio 2	Volume (cm ³)	Massa unitária 1 (g/cm ³)	Massa unitária 2 (g/cm ³)	Massa unitária final (g/cm ³)	Desvio padrão (g/cm ³)
A	632,13	630,73	1000,00	0,63	0,63	0,63	0,00
B	640,00	630,00	1000,00	0,64	0,63	0,64	0,01
C	690,00	695,00	1000,00	0,69	0,70	0,69	0,00
D	735,00	735,00	1000,00	0,74	0,74	0,74	0,00
E	579,18	584,22	1000,00	0,58	0,58	0,58	0,00
F	618,44	605,66	1000,00	0,62	0,61	0,61	0,01
G	648,13	637,93	1000,00	0,65	0,64	0,64	0,01
H	706,84	702,27	1000,00	0,71	0,70	0,70	0,00
I	667,50	659,81	1000,00	0,67	0,66	0,66	0,01
J	702,88	693,87	1000,00	0,70	0,69	0,70	0,01

APÊNDICE D – CORRELAÇÃO ENTRE RESULTADOS DE MASSA UNITÁRIA E GRANULOMETRIA

Foi realizado o estudo de correlação por meio do cálculo do coeficiente de correlação de Pearson entre a grandeza massa unitária e as porcentagens retidas na peneira de malha 0,105 mm e o fundo no ensaio de granulometria. Os valores utilizados nas correlações estão apresentados na Tabela D.1 e a matriz de correlação obtida na Tabela D.2.

Tabela D.1 – Valores médios de massas unitária e porcentagens retidas na peneira de malha 0,105 mm e o fundo no ensaio de granulometria.

Gessos	Massa unitária (g/cm ³)	% retida média na peneira de 0,105 mm	% média retida no fundo
A	0,63	69,06	29,78
B	0,64	64,32	32,03
C	0,69	60,72	35,08
D	0,74	51,76	44,65
E	0,58	68,83	30,25
F	0,61	67,59	30,67
G	0,64	70,89	27,8
H	0,70	56,30	39,72
I	0,66	48,15	46,61
J	0,70	54,17	40,85

Tabela D.2 – Matriz de correlação entre massas unitária e porcentagens retidas na peneira de malha 0,105 mm e o fundo no ensaio de granulometria.

	Massa unitária	% retida na peneira de 0,105 mm	% retida no fundo
Massa unitária	1		
% retida na peneira de 0,105 mm	-0,755	1	
% retida no fundo	0,740	-0,994	1

APÊNDICE E – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE DETERMINAÇÃO DE ÁGUA LIVRE E DE CRISTALIZAÇÃO

Tabela E.1 – Resultados de água livre dos gessos (NBR 12130 (1991)).

GESSO	Condições ambientes		Estufa a (40 ± 4)°C		Cálculo da água livre (%)			
	Massa do gesso (g) - Ensaio 1	Massa do gesso (g) - Ensaio 2	Massa do gesso (g) - Ensaio 1	Massa do gesso (g) - Ensaio 2	Ensaio 1 (%)	Ensaio 2 (%)	Média de água livre	Desvio padrão da média
A	50,13	50,04	49,82	49,75	0,62	0,58	0,60	0,03
B	50,01	50,04	49,64	49,68	0,74	0,72	0,73	0,01
C	50,58	50,04	50,31	49,77	0,53	0,54	0,54	0,00
D	50,01	50,02	49,85	49,87	0,32	0,30	0,31	0,01
E	50,04	50,07	49,89	49,92	0,30	0,30	0,30	0,00
F	50,07	50,16	49,84	49,94	0,46	0,44	0,45	0,01
G	50,06	50,10	49,73	49,74	0,66	0,72	0,69	0,04
H	50,11	50,04	50,07	50,00	0,08	0,08	0,08	0,00
I	50,18	50,05	49,91	49,76	0,54	0,58	0,56	0,03
J	50,01	50,08	49,68	49,74	0,66	0,68	0,67	0,01

Tabela E.2 – Resultados de água de cristalização dos gessos (NBR 12130 (1991)).

GESSO	Estufa a (40 ± 4)°C		Estufa a (230 ± 10)°C		Cálculo da água de cristalização (%)			
	Massa do gesso (g) - Ensaio 1	Massa do gesso (g) - Ensaio 2	Massa do gesso (g) - Ensaio 1	Massa do gesso (g) - Ensaio 2	Ensaio 1 (%)	Ensaio 2 (%)	Média	Desvio padrão da média
A	2,0033	2,0094	1,8554	1,8554	7,3828	7,6640	7,5234	0,20
B	2,0097	2,0108	1,8765	1,8765	7,0983	7,1569	7,1276	0,04
C	2,0115	2,0164	1,8757	1,8757	7,2400	7,5012	7,3706	0,18
D	2,0019	2,0004	1,8757	1,8757	6,7282	6,6482	6,6882	0,06
E	2,0093	2,0007	1,8821	1,8821	6,7584	6,3015	6,5299	0,32
F	2,0135	2,0074	1,8811	1,8811	7,0384	6,7142	6,8763	0,23
G	2,0055	2,0089	1,8761	1,8761	6,8973	7,0785	6,9879	0,13
H	2,0041	2,0087	1,8774	1,8774	6,7487	6,9937	6,8712	0,17
I	2,0044	2,0080	1,8769	1,8769	6,7931	6,9849	6,8890	0,14
J	2,0052	2,0025	1,8753	1,8753	6,9269	6,7829	6,8549	0,10

APÊNDICE F – ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS DE ÁGUA DE CRISTALIZAÇÃO PELO TESTE DE TUKEY

Os resultados de água de cristalização foram analisados para verificação da possibilidade de apresentarem diferenças estatisticamente significativas quando comparados entre si. Quando há diferença estatisticamente significativa, há um asterisco ao lado do par de resultados comparados. Caso contrário, a diferença não é estatisticamente significativa. A análise estatística foi pelo Teste de Tukey, com um intervalo de confiança de 95%, utilizando o Sistema Estatístico R.

Tabela F.1 – Teste de Tukey para resultados de água de cristalização.

B-A	I-B	F-E
C-A	J-B	G-E
D-A*	D-C	H-E
E-A*	E-C*	I-E
F-A	F-C	J-E
G-A	G-C	G-F
H-A	H-C	H-F
I-A	I-C	I-F
J-A	J-C	J-F
C-B	E-D	H-G
D-B	F-D	I-G
E-B	G-D	J-G
F-B	H-D	I-H
G-B	I-D	J-H
H-B	J-D	J-I

*Diferença estatisticamente significativa

APÊNDICE G – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE TEMPO DE PEGA

Tabela G.1 – Tempos de início e fim de pega para pastas de gesso dosadas para consistência normal (NBR 12128 (2017)).

Tempo (minutos)								
Gesso	Início de pega 1	Fim de pega 1	Início de pega 2	Fim de pega 2	Início de pega médio	Fim de pega médio	Desvio padrão - Início de pega	Desvio padrão - Fim de pega
A	14,58	22,18	14,40	21,50	14,49	21,84	0,13	0,48
B	18,22	21,83	18,10	21,30	18,16	21,57	0,08	0,38
C	15,05	20,00	16,62	18,50	15,83	19,25	1,11	1,06
D	11,53	13,50	12,02	14,42	11,78	13,96	0,34	0,65
E	15,27	19,50	15,70	20,42	15,48	19,96	0,31	0,65
F	15,00	20,00	16,55	20,92	15,78	20,46	1,10	0,65
G	7,20	11,75	7,57	11,75	7,38	11,75	0,26	0,00
H	10,33	13,22	10,02	13,17	10,18	13,19	0,22	0,04
I	16,92	26,13	16,17	24,00	16,54	25,07	0,53	1,51
J	13,55	19,00	14,80	19,17	14,18	19,08	0,88	0,12

Tabela G.2 – Tempos de início e fim de pega para pastas de gesso dosadas com relação água/gesso de 0,8 (NBR 12128 (2017)).

Tempo (minutos)								
Gesso	Início de pega 1	Fim de pega 1	Início de pega 2	Fim de pega 2	Início de pega médio	Fim de pega médio	Desvio padrão - Início de pega	Desvio padrão - Fim de pega
A	30,63	39,50	30,50	39,00	30,57	39,25	0,09	0,35
B	30,17	38,50	28,57	36,50	29,37	37,50	1,13	1,41
C	25,50	36,00	23,75	33,50	24,63	34,75	1,24	1,77
D	25,00	36,00	24,05	35,00	24,53	35,50	0,67	0,71
E	27,05	34,00	26,13	35,50	26,59	34,75	0,65	1,06
F	24,60	33,50	24,55	33,00	24,58	33,25	0,04	0,35
G	24,58	32,00	23,65	33,00	24,12	32,50	0,66	0,71
H	22,00	31,00	23,75	33,00	22,88	32,00	1,24	1,41
I	35,58	47,00	35,17	47,00	35,38	47,00	0,29	0,00
J	23,72	31,00	23,92	33,17	23,82	32,08	0,14	1,53

APÊNDICE H – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE DUREZA

Tabela H.1 – Dureza de pastas de gesso dosadas com relação água/gesso de 0,8 (NBR 12129 (2017)).

Gesso	Média de profundidades (mm) dos corpos de prova			Média de dureza (N/mm ²) dos corpos de prova			Dureza (N/mm ²)	Desvio Padrão (N/mm ²)
	Média 1	Média 2	Média 3	Dureza 1	Dureza 2	Dureza 3		
A	1,15	1,22	1,18	14,61	13,69	14,20	14,16	0,46
B	1,35	1,28	1,31	12,38	13,05	12,76	12,72	0,34
C	1,21	1,27	1,19	13,88	13,19	14,04	13,69	0,45
D	1,07	1,21	1,06	15,71	13,81	15,85	15,06	1,14
E	1,21	1,18	1,10	13,81	14,24	15,28	14,41	0,76
F	1,14	1,05	1,11	14,70	16,01	15,09	15,25	0,67
G	1,18	1,14	1,21	14,20	14,74	13,88	14,26	0,43
H	1,26	1,20	1,22	13,33	14,00	13,73	13,68	0,34
I	1,29	1,36	1,27	12,99	12,32	13,19	12,82	0,46
J	1,31	1,30	1,26	12,82	12,92	13,30	13,01	0,25

APÊNDICE I – ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS DE DUREZA PELO TESTE DE TUKEY

Os resultados de dureza foram analisados para verificação da possibilidade de apresentarem diferenças estatisticamente significativas quando comparados entre si. Quando há diferença estatisticamente significativa, há um asterisco ao lado do par de resultados comparados. Caso contrário, a diferença não é estatisticamente significativa. A análise estatística foi pelo Teste de Tukey, com um intervalo de confiança de 95%, utilizando o Sistema Estatístico R.

Tabela I.1 – Teste de Tukey para resultados de dureza.

B-A	I-B	F-E
C-A	J-B	G-E
D-A	D-C	H-E
E-A	E-C	I-E
F-A	F-C	J-E
G-A	G-C	G-F
H-A	H-C	H-F
I-A	I-C	I-F*
J-A	J-C	J-F*
C-B	E-D	H-G
D-B*	F-D	I-G
E-B*	G-D	J-G
F-B*	H-D	I-H
G-B	I-D*	J-H
H-B	J-D*	J-I

*Diferença estatisticamente significativa

APÊNDICE J – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Tabela J.1 – Resistência à compressão (MPa) de pastas de gesso dosadas para consistência normal (NBR 12129 (2017)).

Gesso	Corpo de prova							Resistência média (MPa)	Desvio (MPa)
	1	2	3	4	5	6	7		
A	24,90	22,70	21,61	22,91	21,30			22,68	1,42
B	20,95	20,15	21,79	20,92	20,78			20,92	0,59
C	22,30	22,88	19,97					21,72	1,54
D	22,95	24,11	22,75					23,27	0,73
E	24,70	22,38	24,99					24,02	1,43
F	22,83	17,55	19,88	18,01	22,05	22,80	17,91	20,15	2,39
G	28,86	18,62	26,43	21,23	22,02	20,51		22,95	3,89
H	25,04	22,24	23,96	23,31	21,51	20,46		22,75	1,68
I	16,41	24,40	17,19	11,76	15,32	16,73		16,97	4,13
J	24,66	21,04	25,21	24,66	22,77			23,67	1,74

Nota: A diferença de número de corpos de prova entre os gessos se deve ao rompimento de alguns no ensaio de dureza.

Tabela J.2 – Resistência à compressão (MPa) de pastas de gesso dosadas com relação água/gesso de 0,8 (NBR 12129 (2017)).

Gesso	Corpo de prova			Resistência média (MPa)	Desvio (MPa)
	1	2	3		
A	5,06	6,09	6,62	5,92	0,79
B	5,75	6,07	5,52	5,78	0,28
C	6,39	6,05	6,39	6,28	0,20
D	5,93	5,41	7,04	6,13	0,83
E	6,56	7,03	6,09	6,56	0,47
F	4,95*	6,51	7,27	6,89	0,54
G	6,36	7,03	6,39	6,59	0,38
H	7,08	5,98	6,06	6,37	0,61
I	5,34	5,42	5,37	5,38	0,04
J	6,39	6,29	6,56	6,41	0,14

*Corpo de prova eliminados do cálculo da média.

**APÊNDICE K – ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS DE RESISTÊNCIA À
COMPRESSÃO DAS PASTAS DOSADAS PARA CONSISTÊNCIA NORMAL PELO
TESTE DE TUKEY**

Os resultados de resistência à compressão das pastas dosadas para consistência normal foram analisados para verificação da possibilidade de apresentarem diferenças estatisticamente significativas quando comparados entre si. Quando há diferença estatisticamente significativa, há um asterisco ao lado do par de resultados comparados. Caso contrário, a diferença não é estatisticamente significativa. A análise estatística foi pelo Teste de Tukey, com um intervalo de confiança de 95%, utilizando o Sistema Estatístico R.

Tabela K.1 – Teste de Tukey para resultados de resistência à compressão das pastas dosadas para consistência normal.

B-A	I-B	F-E
C-A	J-B	G-E
D-A	D-C	H-E
E-A	E-C	I-E*
F-A	F-C	J-E
G-A	G-C	G-F
H-A	H-C	H-F
I-A*	I-C	I-F
J-A	J-C	J-F
C-B	E-D	H-G
D-B	F-D	I-G*
E-B	G-D	J-G
F-B	H-D	I-H*
G-B	I-D*	J-H
H-B	J-D	J-I*

*Diferença estatisticamente significativa

**APÊNDICE L – ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS DE RESISTÊNCIA À
COMPRESSÃO DAS PASTAS DOSADAS PARA RELAÇÃO ÁGUA/GESSO DE 0,8
PELO TESTE DE TUKEY**

Os resultados de resistência à compressão das pastas dosadas para relação água/gesso de 0,8 foram analisados para verificação da possibilidade de apresentarem diferenças estatisticamente significativas quando comparados entre si. Quando há diferença estatisticamente significativa, há um asterisco ao lado do par de resultados comparados. Caso contrário, a diferença não é estatisticamente significativa. A análise estatística foi pelo Teste de Tukey, com um intervalo de confiança de 95%, utilizando o Sistema Estatístico R.

Tabela L.1 – Teste de Tukey para resultados de resistência à compressão das pastas dosadas para relação água/gesso de 0,8.

B-A	I-B	F-E
C-A	J-B	G-E
D-A	D-C	H-E
E-A	E-C	I-E
F-A	F-C	J-E
G-A	G-C	G-F
H-A	H-C	H-F
I-A	I-C	I-F
J-A	J-C	J-F
C-B	E-D	H-G
D-B	F-D	I-G
E-B	G-D	J-G
F-B	H-D	I-H
G-B	I-D	J-H
H-B	J-D	J-I

*Diferença estatisticamente significativa

APÊNDICE M – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO

Tabela M.1 – Resistência de aderência à tração de revestimentos executados com pasta de gesso A sem pré-umedecimento da base.

Nº do CP	Carga de ruptura (kg)	Carga de ruptura (N)	Local do ensaio		Diâmetro 1 (mm)	Diâmetro 2 (mm)	Diâmetro médio (mm)	Seção (mm²)	Resistência (MPa)	Forma de ruptura (%)					
			Bloco	Junta						Sub	Sub/Pasta	Pasta	Pasta/Cola	Cola	Cola/Pastilha
1	64	640	x		54,50	54,30	54,40	2324	0,28		100,00%				
2	27	270		x	54,20	54,10	54,15	2303	0,12		100,00%				
3	84	840	x		54,30	54,60	54,45	2329	0,36		100,00%				
4	12	120		x	55,00	55,00	55,00	2376	0,05		100,00%				
5	92	920	x		54,50	54,60	54,55	2337	0,39		100,00%				
6	64	640		x	54,20	54,40	54,30	2316	0,28		100,00%				
7	33	330		x	54,60	54,60	54,60	2341	0,14		100,00%				
8	12	120		x	54,60	54,50	54,55	2337	0,05		100,00%				
9	107	1070	x		54,50	54,40	54,45	2329	0,46		100,00%				
10	38	380		x	54,50	54,50	54,50	2333	0,16		100,00%				
11	97	970	x		54,90	54,70	54,80	2359	0,41		100,00%				
12	138	1380	x		54,30	54,80	54,55	2337	0,59		100,00%				
Média	64,00	640,00	-	-	54,51	54,54	54,53	2335,00	0,27	-	100,00%	-	-	-	-

Legenda: CP – corpo de prova; Sub – substrato.

Tabela M.2 – Resistência de aderência à tração de revestimentos executados com pasta de gesso A com pré-umedecimento da base.

Nº do CP	Carga de ruptura (kg)	Carga de ruptura (N)	Local do ensaio		Diâmetro 1 (mm)	Diâmetro 2 (mm)	Diâmetro médio (mm)	Seção (mm²)	Resistência (MPa)	Forma de ruptura (%)					
			Bloco	Junta						Sub	Sub/Pasta	Pasta	Pasta/Cola	Cola	Cola/Pastilha
1	37	370	x		54,50	54,60	55	2337	>0,16		50,00%	50,00%			
2	50	500		x	54,30	54,45	54	2322	0,22		100,00%				
3	83	830	x		54,60	54,50	55	2337	>0,36		80,00%	20,00%			
4	70	700		x	54,40	54,45	54	2326	0,30		100,00%				
5	75	750	x		54,45	55,00	55	2352	0,32		100,00%				
6	80	800		x	54,45	54,45	54	2329	0,34		100,00%				
7	101	1010		x	54,50	54,50	55	2333	0,43		100,00%				
8	62	620		x	54,30	54,40	54	2320	0,27		100,00%				
9	86	860	x		54,20	54,20	54	2307	0,37		100,00%				
10	140	1400	x		54,10	54,20	54	2303	0,61		100,00%				
11	49	490		x	54,80	54,50	55	2346	0,21		100,00%				
12	14	140	x		54,20	54,30	54	2311	0,06		100,00%				
Média	70,58	706	-	-	54,40	54,46	54,43	2326,97	0,26	-	94,17%	5,83%	-	-	-

Legenda: CP – corpo de prova; Sub – substrato.

Tabela M.3 – Resistência de aderência à tração de revestimentos executados com pasta de gesso B sem pré-umedecimento da base.

Nº do CP	Carga de ruptura (kg)	Carga de ruptura (N)	Local do ensaio		Diâmetro 1 (mm)	Diâmetro 2 (mm)	Diâmetro médio (mm)	Seção (mm²)	Resistência (MPa)	Forma de ruptura (%)					
			Bloco	Junta						Sub	Sub/Pasta	Pasta	Pasta/Cola	Cola	Cola/Pastilha
1	153	1530	x		54,60	54,80	54,70	2349,98	0,65	30,00%	70,00%				
2	44	440		x	54,50	54,50	54,50	2332,83	0,19		100,00%				
3	147	1470	x		54,30	54,60	54,45	2328,55	0,63		100,00%				
4	57	570	x		-	-	-	-	-			100,00%			
5	50	500		x	54,70	55,00	54,85	2362,89	0,21		100,00%				
6	58	580		x	54,60	54,70	54,65	2345,69	0,25		100,00%				
7	104	1040		x	54,80	54,60	54,70	2349,98	0,44		100,00%				
8	146	1460	x		54,30	54,70	54,50	2332,83	0,63		100,00%				
9	64	640		x	54,50	55,00	54,75	2354,28	0,27		100,00%				
10	155	1550	x		54,60	54,50	54,55	2337,11	0,66		100,00%				
11	82	820		x	54,50	54,60	54,55	2337,11	0,35		100,00%				
12	107	1070	x		55,00	54,80	54,90	2367,20	0,45		100,00%				
Média	97,25	972,50	-	-	50,03	50,15	50,09	2345,31	0,43	2,50%	89,17%	-	8,33%	-	-

Legenda: CP – corpo de prova; Sub – substrato.

Tabela M.4 – Resistência de aderência à tração de revestimentos executados com pasta de gesso B com pré-umedecimento da base.

Nº do CP	Carga de ruptura (kg)	Carga de ruptura (N)	Local do ensaio		Diâmetro 1 (mm)	Diâmetro 2 (mm)	Diâmetro médio (mm)	Seção (mm²)	Resistência (MPa)	Forma de ruptura (%)					
			Bloco	Junta						Sub	Sub/Pasta	Pasta	Pasta/Cola	Cola	Cola/Pastilha
1	32	320	x		54,20	54,40	54,30	2315,74	0,14		100,00%				
2	67	670		x	54,30	54,50	54,40	2324,28	0,29		100,00%				
3	55	550	x		54,60	54,50	54,55	2337,11	0,24		100,00%				
4	27	270		x	54,10	54,50	54,30	2315,74	0,12		100,00%				
5	48	480	x		54,50	54,20	54,35	2320,01	0,21		100,00%				
6	75	750		x	54,50	54,60	54,55	2337,11	0,32		100,00%				
7	58	580		x	54,80	54,30	54,55	2337,11	0,25		100,00%				
8	90	900		x	54,50	54,60	54,55	2337,11	0,39		100,00%				
9	64	640	x		54,20	54,40	54,30	2315,74	0,28		100,00%				
10	54	540	x		54,60	54,70	54,65	2345,69	0,23		100,00%				
11	66	660		x	54,30	54,40	54,35	2320,01	0,28		100,00%				
12	58	580	x		54,50	54,60	54,55	2337,11	0,25		100,00%				
Média	57,83	578,33	-	-	54,43	54,48	54,45	2328,56	0,25	-	100,00%	-	-	-	-

Legenda: CP – corpo de prova; Sub – substrato.

Tabela M.5 – Resistência de aderência à tração de revestimentos executados com pasta de gesso C sem pré-umedecimento da base.

Nº do CP	Carga de ruptura (kg)	Carga de ruptura (N)	Local do ensaio		Diâmetro 1 (mm)	Diâmetro 2 (mm)	Diâmetro médio (mm)	Seção (mm²)	Resistência (MPa)	Forma de ruptura (%)					
			Bloco	Junta						Sub	Sub/Pasta	Pasta	Pasta/Cola	Cola	Cola/Pastilha
1	96	960	x		54,60	54,60	54,60	2341,40	0,41		100,00%				
2	50	500		x	54,70	54,20	54,45	2328,55	0,21		100,00%				
3	122	1220	x		54,50	54,60	54,55	2337,11	0,52		100,00%				
4	51	510		x	54,50	54,70	54,60	2341,40	0,22		100,00%				
5	97	970	x		54,50	54,50	54,50	2332,83	0,42		100,00%				
6	123	1230		x	54,00	54,80	54,40	2324,28	0,53		100,00%				
7	24	240		x	54,50	54,50	54,50	2332,83	0,10		100,00%				
8	68	680		x	54,30	54,80	54,55	2337,11	0,29		100,00%				
9	128	1280	x		54,60	54,50	54,55	2337,11	0,55		100,00%				
10	97	970	x		54,50	54,70	54,60	2341,40	0,41		100,00%				
11	101	1010		x	54,60	54,60	54,60	2341,40	0,43		100,00%				
12	71	710	x		54,40	54,50	54,45	2328,55	0,30		100,00%				
Média	85,67	856,67	-	-	54,48	54,58	54,53	2335,33	0,37	-	100,00%	-	-	-	-

Legenda: CP – corpo de prova; Sub – substrato.

Tabela M.6 – Resistência de aderência à tração de revestimentos executados com pasta de gesso C com pré-umedecimento da base.

Nº do CP	Carga de ruptura (kg)	Carga de ruptura (N)	Local do ensaio		Diâmetro 1 (mm)	Diâmetro 2 (mm)	Diâmetro médio (mm)	Seção (mm²)	Resistência (MPa)	Forma de ruptura (%)					
			Bloco	Junta						Sub	Sub/Pasta	Pasta	Pasta/Cola	Cola	Cola/Pastilha
1	58,0	580	x		54,80	54,80	54,80	2358,58	0,25		100,00%				
2	36,0	360	x		54,50	54,90	54,70	2349,98	0,15		100,00%				
3	83	830	x		54,50	54,60	54,55	2337,11	0,36		100,00%				
4	24,0	240	x		54,70	54,80	54,75	2354,28	0,10		100,00%				
5	74,0	740		x	54,60	54,80	54,70	2349,98	0,31		100,00%				
6	48,0	480		x	54,50	54,90	54,70	2349,98	0,20		100,00%				
7	54,0	540		x	54,60	54,50	54,55	2337,11	0,23		100,00%				
8	19,0	190	x		54,30	54,55	54,43	2326,41	0,08		100,00%				
9	36,0	360	x		54,60	54,80	54,70	2349,98	0,15		100,00%				
10	81,0	810	x		54,80	54,80	54,80	2358,58	0,34		100,00%				
11	63,0	630		x	54,30	54,70	54,50	2332,83	0,27		100,00%				
12	75,0	750	x		54,50	54,60	54,55	2337,11	0,32		100,00%				
Média	54,25	542,50	-	-	54,56	54,73	54,64	2345,16	0,23	-	100,00%	-	-	-	-

Legenda: CP – corpo de prova; Sub – substrato.

Tabela M.7 – Resistência de aderência à tração de revestimentos executados com pasta de gesso D sem pré-umedecimento da base.

Nº do CP	Carga de ruptura (kg)	Carga de ruptura (N)	Local do ensaio		Diâmetro 1 (mm)	Diâmetro 2 (mm)	Diâmetro médio (mm)	Seção (mm²)	Resistência (MPa)	Forma de ruptura (%)					
			Bloco	Junta						Sub	Sub/Pasta	Pasta	Pasta/Cola	Cola	Cola/Pastilha
1	128	1280	x		54,60	54,80	54,70	2349,98	0,54		100,00%				
2	117	1170		x	54,70	54,90	54,80	2358,58	0,50		100,00%				
3	192	1920	x		54,30	54,40	54,35	2320,01	0,83		100,00%				
4	93	930	x		54,80	54,80	54,80	2358,58	>0,39		85,00%	15,00%			
5	132	1320		x	54,30	54,80	54,55	2337,11	0,56		100,00%				
6	126	1260		x	54,70	54,60	54,65	2345,69	0,54		100,00%				
7	93	930		x	54,50	54,70	54,60	2341,40	0,40		100,00%				
8	265	2650		x	55,00	54,90	54,95	2371,51	1,12		100,00%				
9	187	1870	x		54,70	54,60	54,65	2345,69	0,80		100,00%				
10	201	2010	x		54,20	54,60	54,40	2324,28	0,86		100,00%				
11	85	850		x	54,50	54,50	54,50	2332,83	0,36		100,00%				
12	180	1800	x		54,50	54,70	54,60	2341,40	0,77		100,00%				
Média	149,92	1499,17	-	-	54,57	54,69	54,63	2343,92	0,66	-	98,75%	1,25%	-	-	-

Legenda: CP – corpo de prova; Sub – substrato.

Tabela M.8 – Resistência de aderência à tração de revestimentos executados com pasta de gesso D com pré-umedecimento da base.

Nº do CP	Carga de ruptura (kg)	Carga de ruptura (N)	Local do ensaio		Diâmetro 1 (mm)	Diâmetro 2 (mm)	Diâmetro médio (mm)	Seção (mm²)	Resistência (MPa)	Forma de ruptura (%)					
			Bloco	Junta						Sub	Sub/Pasta	Pasta	Pasta/Cola	Cola	Cola/Pastilha
1	74	740	x		54,20	54,50	54,35	2320,01	0,32		100,00%				
2	64	640		x	54,30	54,50	54,40	2324,28	0,28		100,00%				
3	77	770	x		54,20	54,40	54,30	2315,74	0,33		100,00%				
4	130	1300	x		54,30	54,60	54,45	2328,55	0,56		100,00%				
5	32	320		x	54,50	54,20	54,35	2320,01	0,14		100,00%				
6	21	210		x	54,20	54,60	54,40	2324,28	0,09		100,00%				
7	39	390		x	54,40	54,50	54,45	2328,55	0,17		100,00%				
8	71	710		x	54,50	54,30	54,40	2324,28	0,31		100,00%				
9	36	360	x		54,50	54,40	54,45	2328,55	0,15		100,00%				
10	48	480	x		54,30	54,40	54,35	2320,01	0,21		100,00%				
11	13	130		x	54,50	54,40	54,45	2328,55	0,06		100,00%				
12	44	440	x		54,60	54,70	54,65	2345,69	0,19		100,00%				
Média	54,08	540,83	-	-	54,38	54,46	54,42	2325,71	0,23	-	100,00%	-	-	-	-

Legenda: CP – corpo de prova; Sub – substrato.

Tabela M.9 – Resistência de aderência à tração de revestimentos executados com pasta de gesso E sem pré-umedecimento da base.

Nº do CP	Carga de ruptura (kg)	Carga de ruptura (N)	Local do ensaio		Diâmetro 1 (mm)	Diâmetro 2 (mm)	Diâmetro médio (mm)	Seção (mm²)	Resistência (MPa)	Forma de ruptura (%)					
			Bloco	Junta						Sub	Sub/Pasta	Pasta	Pasta/Cola	Cola	Cola/Pastilha
1	186	1860	x		54,30	54,10	54,20	2307,22	0,81		100,00%				
2	259	2590		x	54,30	54,00	54,15	2302,96	>1,12		80,00%	20,00%			
3	177	1770	x		54,40	54,50	54,45	2328,55	>0,76	30,00%	70,00%				
4	138	1380		x	54,10	54,50	54,30	2315,74	0,60		100,00%				
5	97	970	x		54,30	54,40	54,35	2320,01	0,42		100,00%				
6	148	1480		x	54,40	54,20	54,30	2315,74	0,64		100,00%				
7	197	1970		x	54,50	54,60	54,55	2337,11	0,84		100,00%				
8	169	1690		x	54,30	54,50	54,40	2324,28	0,73		100,00%				
9	196	1960	x		54,40	54,70	54,55	2337,11	0,84		100,00%				
10	100	1000	x		54,60	54,30	54,45	2328,55	0,43		100,00%				
11	182	1820		x	54,40	54,50	54,45	2328,55	0,78		100,00%				
12	106	1060	x		54,40	54,40	54,40	2324,28	0,46		100,00%				
Média	162,92	1629,17	-	-	54,37	54,39	54,38	2322,51	0,54	2,50%	95,83%	1,67%	-	-	-

Legenda: CP – corpo de prova; Sub – substrato.

Tabela M.10 – Resistência de aderência à tração de revestimentos executados com pasta de gesso E com pré-umedecimento da base.

Nº do CP	Carga de ruptura (kg)	Carga de ruptura (N)	Local do ensaio		Diâmetro 1 (mm)	Diâmetro 2 (mm)	Diâmetro médio (mm)	Seção (mm²)	Resistência (MPa)	Forma de ruptura (%)					
			Bloco	Junta						Sub	Sub/Pasta	Pasta	Pasta/Cola	Cola	Cola/Pastilha
1	82	820	x		54,30	54,00	54,15	2302,96	0,36		100,00%				
2	89	890		x	54,80	54,30	54,55	2337,11	0,38		100,00%				
3	56	560	x		54,70	54,30	54,50	2332,83	0,24		100,00%				
4	31	310		x	54,20	54,20	54,20	2307,22	0,13		100,00%				
5	71	710	x		-	-	-	-	-						100,00%
6	68	680		x	54,20	54,30	54,25	2311,48	0,29		100,00%				
7	92	920		x	54,60	54,20	54,40	2324,28	0,40		100,00%				
8	59	590		x	54,80	54,60	54,70	2349,98	0,25		100,00%				
9	113	1130	x		54,30	54,50	54,40	2324,28	0,49		100,00%				
10	134	1340		x	54,70	54,60	54,65	2345,69	0,57		100,00%				
11	64	640	x		54,30	54,00	54,15	2302,96	0,28		100,00%				
12	91	910	x		54,20	54,50	54,35	2320,01	0,39		100,00%				
Média	79,17	791,67	-	-	54,46	54,32	54,39	2323,53	0,34	-	91,67%	-	-	-	8,33%

Legenda: CP – corpo de prova; Sub – substrato.

Tabela M.11 – Resistência de aderência à tração de revestimentos executados com pasta de gesso F sem pré-umedecimento da base.

Nº do CP	Carga de ruptura (kg)	Carga de ruptura (N)	Local do ensaio		Diâmetro 1 (mm)	Diâmetro 2 (mm)	Diâmetro médio (mm)	Seção (mm²)	Resistência (MPa)	Forma de ruptura (%)					
			Bloco	Junta						Sub	Sub/Pasta	Pasta	Pasta/Cola	Cola	Cola/Pastilha
1	190	1900	x		54,00	54,40	54,20	2307,22	0,82		100,00%				
2	127	1270		x	54,30	54,30	54,30	2315,74	0,55		100,00%				
3	158	1580	x		54,30	54,50	54,40	2324,28	0,68		100,00%				
4	115	1150	x		54,50	54,40	54,45	2328,55	0,49		100,00%				
5	157	1570		x	54,60	54,50	54,55	2337,11	0,67		100,00%				
6	81	810		x	54,20	54,30	54,25	2311,48	>0,35	30,00%	70,00%				
7	186	1860		x	54,60	54,30	54,45	2328,55	0,80		100,00%				
8	162	1620	x		54,30	54,20	54,25	2311,48	0,70		100,00%				
9	112	1120		x	54,30	54,40	54,35	2320,01	0,48		100,00%				
10	179	1790	x		54,20	54,50	54,35	2320,01	0,77		100,00%				
11	104	1040		x	54,10	54,20	54,15	2302,96	0,45		100,00%				
12	128	1280		x	54,00	54,20	54,10	2298,71	0,56		100,00%				
Média	141,58	1415,83	-	-	54,28	54,35	54,32	2317,17	0,58	2,50%	97,50%	-	-	-	-

Legenda: CP – corpo de prova; Sub – substrato.

Tabela M.12 – Resistência de aderência à tração de revestimentos executados com pasta de gesso F com pré-umedecimento da base.

Nº do CP	Carga de ruptura (kg)	Carga de ruptura (N)	Local do ensaio		Diâmetro 1 (mm)	Diâmetro 2 (mm)	Diâmetro médio (mm)	Seção (mm²)	Resistência (MPa)	Forma de ruptura (%)					
			Bloco	Junta						Sub	Sub/Pasta	Pasta	Pasta/Cola	Cola	Cola/Pastilha
1	63	630	x		54,20	54,40	54,30	2315,74	0,27		100,00%				
2	25	250		x	54,10	54,30	54,20	2307,22	0,11		100,00%				
3	53	530	x		54,40	54,20	54,30	2315,74	0,23		100,00%				
4	57	570	x		54,50	54,20	54,35	2320,01	0,25		100,00%				
5	38	380		x	54,30	54,20	54,25	2311,48	0,16		100,00%				
6	27	270		x	54,50	54,70	54,60	2341,40	0,12		100,00%				
7	109	1090		x	54,80	54,60	54,70	2349,98	0,46		100,00%				
8	75	750	x		54,20	54,40	54,30	2315,74	0,32		100,00%				
9	10	100		x	54,40	54,60	54,50	2332,83	0,04		100,00%				
10	52	520	x		54,40	54,30	54,35	2320,01	0,22		100,00%				
11	44	440		x	54,70	54,40	54,55	2337,11	0,19		100,00%				
12	-	-	x		-	-	-	-	-					100,00%	
Média	50,27	502,73	-	-	54,41	54,39	54,40	2324,29	0,22	-	91,67%	-	-	8,33%	-

Legenda: CP – corpo de prova; Sub – substrato.

Tabela M.13 – Resistência de aderência à tração de revestimentos executados com pasta de gesso G sem pré-umedecimento da base.

Nº do CP	Carga de ruptura (kg)	Carga de ruptura (N)	Local do ensaio		Diâmetro 1 (mm)	Diâmetro 2 (mm)	Diâmetro médio (mm)	Seção (mm²)	Resistência (MPa)	Forma de ruptura (%)					
			Bloco	Junta						Sub	Sub/Pasta	Pasta	Pasta/Cola	Cola	Cola/Pastilha
1	126	1260	x		54,30	53,90	54,10	2298,71	0,55		100,00%				
2	34	340		x	54,15	54,00	54,08	2296,59	0,15		100,00%				
3	81	810	x		54,05	54,35	54,20	2307,22	0,35		100,00%				
4	92	920	x		54,10	53,90	54,00	2290,22	0,40		100,00%				
5	52	520		x	54,00	54,15	54,08	2296,59	0,23		100,00%				
6	94	940		x	54,00	53,60	53,80	2273,29	0,41		100,00%				
7	145	1450		x	53,95	53,75	53,85	2277,52	0,64		100,00%				
8	145	1450		x	53,90	53,95	53,93	2283,86	0,63		100,00%				
9	122	1220	x		53,75	54,15	53,95	2285,98	0,53		100,00%				
10	124	1240	x		54,15	54,10	54,13	2300,84	0,54		100,00%				
11	70	700		x	54,15	54,05	54,10	2298,71	0,30		100,00%				
12	51	510	x		54,20	54,12	54,16	2303,60	0,22		100,00%				
Média	94,67	946,67	-	-	54,06	54,00	54,03	2292,76	0,41	-	100,00%	-	-	-	-

Legenda: CP – corpo de prova; Sub – substrato.

Tabela M.14 – Resistência de aderência à tração de revestimentos executados com pasta de gesso G com pré-umedecimento da base.

Nº do CP	Carga de ruptura (kg)	Carga de ruptura (N)	Local do ensaio		Diâmetro 1 (mm)	Diâmetro 2 (mm)	Diâmetro médio (mm)	Seção (mm²)	Resistência (MPa)	Forma de ruptura (%)					
			Bloco	Junta						Sub	Sub/Pasta	Pasta	Pasta/Cola	Cola	Cola/Pastilha
1	78	780	x		54,30	54,10	54,20	2307,22	0,34		100,00%				
2	116	1160		x	54,00	54,20	54,10	2298,71	0,50		100,00%				
3	73	730	x		54,20	54,20	54,20	2307,22	0,32		100,00%				
4	90	900	x		54,30	54,10	54,20	2307,22	0,39		100,00%				
5	134	1340		x	54,50	54,30	54,40	2324,28	0,58		100,00%				
6	74	740		x	54,20	54,00	54,10	2298,71	0,32		100,00%				
7	93	930		x	54,40	54,30	54,35	2320,01	0,40		100,00%				
8	104	1040		x	54,30	54,20	54,25	2311,48	>0,45			100,00%			
9	57	570	x		54,30	54,20	54,25	2311,48	0,25		100,00%				
10	94	940	x		54,50	54,30	54,40	2324,28	0,40		100,00%				
11	24	240		x	54,70	54,50	54,60	2341,40	0,10		100,00%				
12	50	500	x		54,20	54,30	54,25	2311,48	0,22		100,00%				
Média	82,25	822,50			54,33	54,23	54,28	2313,62	0,32	-	91,67%	-	-	-	-

Legenda: CP – corpo de prova; Sub – substrato.

Tabela M.15 – Resistência de aderência à tração de revestimentos executados com pasta de gesso H sem pré-umedecimento da base.

Nº do CP	Carga de ruptura (kg)	Carga de ruptura (N)	Local do ensaio		Diâmetro 1 (mm)	Diâmetro 2 (mm)	Diâmetro médio (mm)	Seção (mm²)	Resistência (MPa)	Forma de ruptura (%)					
			Bloco	Junta						Sub	Sub/Pasta	Pasta	Pasta/Cola	Cola	Cola/Pastilha
1	78	780	x		54,60	54,30	54,45	2328,55	0,33		100,00%				
2	133	1330		x	54,30	54,50	54,40	2324,28	0,57		100,00%				
3	142	1420	x		54,70	54,40	54,55	2337,11	0,61		100,00%				
4	146	1460	x		54,00	54,40	54,20	2307,22	0,63		100,00%				
5	79	790		x	54,30	54,20	54,25	2311,48	0,34		100,00%				
6	122	1220		x	54,40	54,30	54,35	2320,01	0,53		100,00%				
7	94	940		x	54,20	54,10	54,15	2302,96	0,41		100,00%				
8	98	980		x	54,20	54,20	54,20	2307,22	0,42		100,00%				
9	111	1110	x		54,20	54,20	54,20	2307,22	0,48		100,00%				
10	138	1380	x		54,30	54,30	54,30	2315,74	0,60		100,00%				
11	81	810		x	54,10	54,40	54,25	2311,48	0,35		100,00%				
12	127	1270	x		54,30	54,20	54,25	2311,48	0,55		100,00%				
Média	112,42	1124,17	-	-	54,30	54,29	54,30	2315,39	0,49	-	100,00%	-	-	-	-

Legenda: CP – corpo de prova; Sub – substrato.

Tabela M.16 – Resistência de aderência à tração de revestimentos executados com pasta de gesso H com pré-umedecimento da base.

Nº do CP	Carga de ruptura (kg)	Carga de ruptura (N)	Local do ensaio		Diâmetro 1 (mm)	Diâmetro 2 (mm)	Diâmetro médio (mm)	Seção (mm²)	Resistência (MPa)	Forma de ruptura (%)					
			Bloco	Junta						Sub	Sub/Pasta	Pasta	Pasta/Cola	Cola	Cola/Pastilha
1	24	240	x		54,20	54,40	54,30	2315,74	0,10		100,00%				
2	50	500		x	54,00	54,30	54,15	2302,96	0,22		100,00%				
3	48	480	x		54,30	54,30	54,30	2315,74	0,21		100,00%				
4	79	790	x		54,10	54,75	54,43	2326,41	0,34		100,00%				
5	87	870		x	54,20	54,50	54,35	2320,01	0,37		100,00%				
6	56	560		x	54,10	54,25	54,18	2305,09	0,24		100,00%				
7	88	880		x	54,15	54,25	54,20	2307,22	0,38		100,00%				
8	20	200	x		54,30	54,20	54,25	2311,48	0,09		100,00%				
9	67	670		x	53,90	54,00	53,95	2285,98	0,29		100,00%				
10	50	500	x		54,60	54,50	54,55	2337,11	0,21		100,00%				
11	71	710	x		54,05	54,00	54,03	2292,34	0,31		100,00%				
12	64	640		x	54,00	54,05	54,03	2292,34	0,28		100,00%				
Média	58,67	586,67	-	-	54,16	54,29	54,23	2309,37	0,25	-	100,00%	-	-	-	-

Legenda: CP – corpo de prova; Sub – substrato.

Tabela M.17 – Resistência de aderência à tração de revestimentos executados com pasta de gesso I sem pré-umedecimento da base.

Nº do CP	Carga de ruptura (kg)	Carga de ruptura (N)	Local do ensaio		Diâmetro 1 (mm)	Diâmetro 2 (mm)	Diâmetro médio (mm)	Seção (mm²)	Resistência (MPa)	Forma de ruptura (%)					
			Bloco	Junta						Sub	Sub/Pasta	Pasta	Pasta/Cola	Cola	Cola/Pastilha
1	161	1610	x		54,30	54,20	54,25	2311,48	0,70		100,00%				
2	123	1230		x	54,20	54,00	54,10	2298,71	0,54		100,00%				
3	115	1150	x		54,10	54,00	54,05	2294,46	0,50		100,00%				
4	149	1490	x		54,00	54,20	54,10	2298,71	0,65		100,00%				
5	127	1270		x	54,30	54,20	54,25	2311,48	0,55		100,00%				
6	162	1620		x	54,50	54,30	54,40	2324,28	0,70		100,00%				
7	93	930		x	54,30	54,40	54,35	2320,01	0,40		100,00%				
8	127	1270		x	54,50	54,50	54,50	2332,83	0,54		100,00%				
9	72	720	x		54,50	54,60	54,55	2337,11	0,31		100,00%				
10	95	950	x		54,30	54,20	54,25	2311,48	0,41		100,00%				
11	65	650		x	54,15	54,20	54,18	2305,09	0,28		100,00%				
12	125	1250	x		54,50	54,20	54,35	2320,01	0,54		100,00%				
Média	117,83	1178,33	-	-	54,30	54,25	54,28	2313,80	0,51	-	100,00%	-	-	-	-

Legenda: CP – corpo de prova; Sub – substrato.

Tabela M.18 – Resistência de aderência à tração de revestimentos executados com pasta de gesso I com pré-umedecimento da base.

Nº do CP	Carga de ruptura (kg)	Carga de ruptura (N)	Local do ensaio		Diâmetro 1 (mm)	Diâmetro 2 (mm)	Diâmetro médio (mm)	Seção (mm²)	Resistência (MPa)	Forma de ruptura (%)					
			Bloco	Junta						Sub	Sub/Pasta	Pasta	Pasta/Cola	Cola	Cola/Pastilha
1	54	540	x		54,40	54,00	54,20	2307,22	0,23		100,00%				
2	83	830		x	54,20	54,20	54,20	2307,22	0,36		100,00%				
3	88	880	x		54,30	54,40	54,35	2320,01	0,38		100,00%				
4	52	520	x		54,60	54,00	54,30	2315,74	0,22		100,00%				
5	80	800		x	54,50	54,40	54,45	2328,55	0,34		100,00%				
6	128	1280		x	54,20	54,00	54,10	2298,71	0,56		100,00%				
7	89	890		x	54,30	54,50	54,40	2324,28	0,38		100,00%				
8	115	1150		x	54,00	54,30	54,15	2302,96	0,50		100,00%				
9	104	1040	x		54,20	54,30	54,25	2311,48	0,45		100,00%				
10	96	960		x	54,40	54,10	54,25	2311,48	0,42		100,00%				
11	103	1030		x	54,40	54,20	54,30	2315,74	0,44		100,00%				
12	84	840	x		54,30	54,30	54,30	2315,74	0,36		100,00%				
Média	89,67	896,67	-	-	54,32	54,23	54,27	2313,26	0,39	-	100,00%	-	-	-	-

Legenda: CP – corpo de prova; Sub – substrato.

Tabela M.19 – Resistência de aderência à tração de revestimentos executados com pasta de gesso J sem pré-umedecimento da base.

Nº do CP	Carga de ruptura (kg)	Carga de ruptura (N)	Local do ensaio		Diâmetro 1 (mm)	Diâmetro 2 (mm)	Diâmetro médio (mm)	Seção (mm²)	Resistência (MPa)	Forma de ruptura (%)					
			Bloco	Junta						Sub	Sub/Pasta	Pasta	Pasta/Cola	Cola	Cola/Pastilha
1	28	280	x		54,40	54,20	54,30	2315,74	0,12		100,00%				
2	135	1350		x	54,00	54,00	54,00	2290,22	>0,59			100,00%			
3	100	1000	x		54,20	54,20	54,20	2307,22	0,43		100,00%				
4	20	200	x		54,20	54,30	54,25	2311,48	0,09		100,00%				
5	64	640		x	54,40	54,50	54,45	2328,55	0,27		100,00%				
6	48	480		x	54,50	54,80	54,65	2345,69	0,20		100,00%				
7	78	780		x	54,00	54,20	54,10	2298,71	>0,34			100,00%			
8	62	620		x	54,80	54,60	54,70	2349,98	0,26		100,00%				
9	90	900	x		54,40	54,10	54,25	2311,48	0,39		100,00%				
10	36	360	x		54,30	54,20	54,25	2311,48	0,16		100,00%				
11	76	760		x	54,40	54,20	54,30	2315,74	0,33		100,00%				
12	58	580	x		54,40	54,50	54,45	2328,55	0,25		100,00%				
Média	66,25	662,50	-	-	54,33	54,32	54,33	2317,90	0,21	-	83,33%	16,67%	-	-	-

Legenda: CP – corpo de prova; Sub – substrato.

Tabela M.20 – Resistência de aderência à tração de revestimentos executados com pasta de gesso J com pré-umedecimento da base.

Nº do CP	Carga de ruptura (kg)	Carga de ruptura (N)	Local do ensaio		Diâmetro 1 (mm)	Diâmetro 2 (mm)	Diâmetro médio (mm)	Seção (mm²)	Resistência (MPa)	Forma de ruptura (%)					
			Bloco	Junta						Sub	Sub/Pasta	Pasta	Pasta/Cola	Cola	Cola/Pastilha
1	121	1210	x		54,30	54,60	54,45	2328,55	0,52		100,00%				
2	104	1040		x	54,30	54,50	54,40	2324,28	0,45		100,00%				
3	121	1210	x		54,40	54,50	54,45	2328,55	0,52		100,00%				
4	88	880	x		54,50	54,30	54,40	2324,28	0,38		100,00%				
5	61	610		x	54,90	54,70	54,80	2358,58	0,26		100,00%				
6	90	900		x	54,50	54,90	54,70	2349,98	0,38		100,00%				
7	137	1370		x	54,50	54,40	54,45	2328,55	0,59		100,00%				
8	122	1220		x	54,50	54,50	54,50	2332,83	0,52		100,00%				
9	154	1540	x		54,80	54,00	54,40	2324,28	>0,66			100,00%			
10	73	730	x		54,20	54,50	54,35	2320,01	0,31		100,00%				
11	35	350		x	54,30	54,30	54,30	2315,74	0,15		100,00%				
12	88	880	x		54,20	54,20	54,20	2307,22	0,38		100,00%				
Média	99,50	995,00	-	-	54,45	54,45	54,45	2328,57	0,37	-	91,67%	8,33%	-	-	-

Legenda: CP – corpo de prova; Sub – substrato.

APÊNDICE N – RESULTADOS DE UMIDADE DOS REVESTIMENTOS EM PASTA DE GESSO

Tabela N.1 – Umidade dos revestimentos executados com pasta de gesso A.

Umidade do revestimento - Sem pré-umedecimento da base							
Corpo de prova	Massa da cápsula (g)	Massa da cápsula + Testemunho úmido (g)	Massa da cápsula + Testemunho seco (g)	Umidade (%)	Espessura (mm)	Umidade final (%)	Espessura média (mm)
1	44,69	72,51	72,45	0,22	13,90	0,18	13,64
2	44,21	73,50	73,46	0,14	13,95		
3	43,72	70,72	70,67	0,19	13,08		
Umidade do revestimento - Com pré-umedecimento da base							
1	44,41	84,45	84,38	0,18	13,05	0,19	14,06
2	42,20	83,37	83,31	0,15	13,58		
3	44,08	66,94	66,88	0,26	15,55		

Tabela N.2 – Umidade dos revestimentos executados com pasta de gesso B.

Umidade do revestimento - Sem pré-umedecimento da base							
Corpo de prova	Massa da cápsula (g)	Massa da cápsula + Testemunho úmido (g)	Massa da cápsula + Testemunho seco (g)	Umidade (%)	Espessura (mm)	Umidade final (%)	Espessura média (mm)
1	173,83	196,77	196,61	0,70	13,50	0,71	13,77
2	170,58	187,26	187,14	0,72	12,90		
3	173,66	199,17	198,99	0,71	14,90		
Umidade do revestimento - Com pré-umedecimento da base							
1	43,77	81,95	81,87	0,21	16,68	0,28	17,11
2	171,51	214,18	214,02	0,38	18,17		
3	173,25	212,17	212,07	0,26	16,48		

Tabela N.3 – Umidade dos revestimentos executados com pasta de gesso C.

Umidade do revestimento - Sem pré-umedecimento da base							
Corpo de prova	Massa da cápsula (g)	Massa da cápsula + Testemunho úmido (g)	Massa da cápsula + Testemunho seco (g)	Umidade (%)	Espessura (mm)	Umidade final (%)	Espessura média (mm)
1	44,69	74,51	74,45	0,20	10,80	0,23	13,35
2	43,69	79,70	79,63	0,19	16,07		
3	42,20	73,09	73,00	0,29	13,18		
Umidade do revestimento - Com pré-umedecimento da base							
1	44,10	81,99	81,92	0,19	15,96	0,18	16,68
2	43,77	93,23	93,17	0,12	18,42		
3	44,19	84,99	84,90	0,22	15,65		

Tabela N.4 – Umidade dos revestimentos executados com pasta de gesso D.

Umidade do revestimento - Sem pré-umedecimento da base							
Corpo de prova	Massa da cápsula (g)	Massa da cápsula + Testemunho úmido (g)	Massa da cápsula + Testemunho seco (g)	Umidade (%)	Espessura (mm)	Umidade final (%)	Espessura média (mm)
1	44,40	82,86	82,79	0,18	15,62	0,22	16,03
2	173,17	212,38	212,31	0,18	16,18		
3	171,46	210,26	210,14	0,31	16,30		
Umidade do revestimento - Com pré-umedecimento da base							
1	170,49	214,40	214,27	0,30	18,57	0,20	18,57
2	173,79	224,58	224,51	0,14	18,30		
3	173,56	218,66	218,59	0,16	18,83		

Tabela N.5 – Umidade dos revestimentos executados com pasta de gesso E.

Umidade do revestimento - Sem pré-umedecimento da base							
Corpo de prova	Massa da cápsula (g)	Massa da cápsula + Testemunho úmido (g)	Massa da cápsula + Testemunho seco (g)	Umidade (%)	Espessura (mm)	Umidade final (%)	Espessura média (mm)
1	92,41	132,02	131,95	0,18	16,88	0,20	16,41
2	77,01	117,93	117,83	0,24	16,07		
3	100,88	137,08	137,02	0,17	16,28		
Umidade do revestimento - Com pré-umedecimento da base							
1	44,78	84,83	84,77	0,15	16,22	0,19	17,03
2	43,39	88,75	88,67	0,18	17,07		
3	247,24	288,84	288,74	0,24	17,82		

Tabela N.6 – Umidade dos revestimentos executados com pasta de gesso F.

Umidade do revestimento - Sem pré-umedecimento da base							
Corpo de prova	Massa da cápsula (g)	Massa da cápsula + Testemunho úmido (g)	Massa da cápsula + Testemunho seco (g)	Umidade (%)	Espessura (mm)	Umidade final (%)	Espessura média (mm)
1	94,59	133,40	133,34	0,15	15,53	0,13	14,83
2	91,57	128,59	128,55	0,11	14,93		
3	97,34	132,58	132,54	0,11	14,03		
Umidade do revestimento - Com pré-umedecimento da base							
1	85,32	125,94	125,90	0,10	17,12	0,09	17,46
2	93,36	135,20	135,16	0,10	17,60		
3	96,98	139,15	139,12	0,07	17,65		

Tabela N.7 – Umidade dos revestimentos executados com pasta de gesso G.

Umidade do revestimento - Sem pré-umedecimento da base							
Corpo de prova	Massa da cápsula (g)	Massa da cápsula + Testemunho úmido (g)	Massa da cápsula + Testemunho seco (g)	Umidade (%)	Espessura (mm)	Umidade final (%)	Espessura média (mm)
1	173,18	205,38	205,26	0,37	15,05	0,37	14,82
2	171,47	199,78	199,69	0,32	14,70		
3	173,68	205,61	205,48	0,41	14,72		
Umidade do revestimento - Com pré-umedecimento da base							
1	42,24	77,38	77,32	0,17	17,33	0,19	16,40
2	44,81	81,16	81,09	0,19	16,38		
3	43,40	81,28	81,20	0,21	15,48		

Tabela N.8 – Umidade dos revestimentos executados com pasta de gesso H.

Umidade do revestimento - Sem pré-umedecimento da base							
Corpo de prova	Massa da cápsula (g)	Massa da cápsula + Testemunho úmido (g)	Massa da cápsula + Testemunho seco (g)	Umidade (%)	Espessura (mm)	Umidade final (%)	Espessura média (mm)
1	43,78	82,95	82,91	0,10	13,92	0,14	14,76
2	44,08	82,07	82,02	0,13	16,65		
3	44,21	82,57	82,50	0,18	13,70		
Umidade do revestimento - Com pré-umedecimento da base							
1	44,69	86,26	86,19	0,17	17,50	0,15	17,63
2	43,68	83,72	83,66	0,15	17,32		
3	44,40	84,00	83,95	0,13	18,08		

Tabela N.9 – Umidade dos revestimentos executados com pasta de gesso I.

Umidade do revestimento - Sem pré-umedecimento da base							
Corpo de prova	Massa da cápsula (g)	Massa da cápsula + Testemunho úmido (g)	Massa da cápsula + Testemunho seco (g)	Umidade (%)	Espessura (mm)	Umidade final (%)	Espessura média (mm)
1	93,35	134,49	134,45	0,10	14,85	0,21	14,04
2	93,38	130,24	130,19	0,14	14,27		
3	85,43	122,37	122,22	0,41	13,02		
Umidade do revestimento - Com pré-umedecimento da base							
1	91,56	138,18	138,13	0,11	18,73	0,22	17,31
2	96,98	134,62	134,55	0,19	15,98		
3	94,65	137,09	136,94	0,35	17,20		

Tabela N.10 – Umidade dos revestimentos executados com pasta de gesso J.

Umidade do revestimento - Sem pré-umedecimento da base							
Corpo de prova	Massa da cápsula (g)	Massa da cápsula + Testemunho úmido (g)	Massa da cápsula + Testemunho seco (g)	Umidade (%)	Espessura (mm)	Umidade final (%)	Espessura média (mm)
1	77,01	120,33	120,24	0,21	18,67	0,14	16,64
2	92,37	131,57	131,53	0,10	17,85		
3	100,85	131,40	131,37	0,10	13,40		
Umidade do revestimento - Com pré-umedecimento da base							
1	44,56	89,69	89,66	0,07	18,85	0,34	17,52
2	170,50	208,55	208,45	0,26	15,90		
3	179,23	221,25	220,96	0,69	17,80		

APÊNDICE O – ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO PELO TESTE DE TUKEY – INFLUÊNCIA DO FABRICANTE

Os resultados de resistência de aderência à tração de diferentes fabricantes foram analisados para verificação da possibilidade de apresentarem diferenças estatisticamente significativas quando comparados entre si. Quando há diferença estatisticamente significativa, há um asterisco ao lado do par de resultados comparados. Caso contrário, a diferença não é estatisticamente significativa. A análise estatística foi pelo Teste de Tukey, com um intervalo de confiança de 95%, utilizando o Sistema Estatístico R. O primeiro teste foi realizado avaliando a influência do tipo/fabricante de gesso entre os revestimentos produzidos sem o pré-umedecimento da base, já o segundo teste, entre aqueles produzidos com o pré-umedecimento da base.

Tabela O.1 – Teste de Tukey para resultados de resistência de aderência para avaliar a influência do tipo/fabricante de gesso entre os revestimentos produzidos sem o pré-umedecimento da base.

B-A	H-B	I-D
C-A	I-B	J-D*
D-A*	J-B	F-E
E-A*	D-C*	G-E
F-A*	E-C*	H-E
G-A	F-C*	I-E
H-A	G-C	J-E*
I-A	H-C	G-F*
J-A	I-C	H-F
C-B	J-C	I-F
D-B*	E-D	J-F*
E-B	F-D	H-G
F-B	G-D*	I-G
G-B	H-D	J-G
J-I*	J-H*	I-H

*Diferença estatisticamente significativa

Tabela O.2 – Teste de Tukey para resultados de resistência de aderência para avaliar a influência do tipo/fabricante de gesso entre os revestimentos produzidos sem o pré-umedecimento da base.

B-A	H-B	I-D*
C-A	I-B	J-D*
D-A	J-B	F-E
E-A	D-C	G-E
F-A	E-C	H-E
G-A	F-C	I-E
H-A	G-C	J-E
I-A	H-C	G-F
J-A	I-C*	H-F
C-B	J-C*	I-F*
D-B	E-D	J-F*
E-B	F-D	H-G
F-B	G-D	I-G
G-B	H-D	J-G
J-I	J-H	I-H

*Diferença estatisticamente significativa

APÊNDICE P – ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO PELO TESTE DE TUKEY – INFLUÊNCIA DO PRÉ-UMEDECIMENTO DA BASE

Os resultados de resistência de aderência à tração de revestimento com dois tipos de tratamento de base (com e sem pré-umedecimento) foram analisados para verificação da possibilidade de apresentarem diferenças estatisticamente significativas quando comparados entre si. Quando há diferença estatisticamente significativa, há um asterisco ao lado do par de resultados comparados. Caso contrário, a diferença não é estatisticamente significativa. A análise estatística foi pelo Teste de Tukey, com um intervalo de confiança de 95%, utilizando o Sistema Estatístico R.

Foram realizadas 10 avaliações, onde se compara as resistências de aderência à tração de um mesmo fabricante quando o revestimento é executado com e sem pré-umedecimento da base.

Tabela P.1 – Teste de Tukey para resultados de resistência de aderência para avaliar a existência de diferença entre o pré-umedecimento ou não da base de revestimento de gesso de mesmo fabricante.

As-Ac
Bs-Bc*
Cs-Cc*
Ds-Dc*
Es-Ec*
Fs-Fc*
Gs-Gc
Hs-Hc*
Is-Ic*
Js-Jc*

*Diferença estatisticamente significativa

Legenda: s – sem pré-umedecimento; c – com pré-umedecimento