

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA
MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL URBANA

**DESEMPENHO DE REVESTIMENTO DE ARGAMASSAS REFORÇADAS
COM TELAS: ESTUDO DE FISSURAÇÃO E COMPORTAMENTO MECÂNICO**

Daniela Santana Musse

Salvador
2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA
MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL URBANA

**DESEMPENHO DE REVESTIMENTO DE ARGAMASSAS REFORÇADAS
COM TELAS: ESTUDO DE FISSURAÇÃO E COMPORTAMENTO MECÂNICO**

Daniela Santana Musse

Dissertação apresentada ao **MESTRADO EM
ENGENHARIA AMBIENTAL URBANA** como
requisito parcial à obtenção do título de
MESTRE EM ENGENHARIA AMBIENTAL
URBANA.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Gabriel Santos Silva

Co-orientador: Jardel Pereira Gonçalves

Agência Financiadora: Capes

Salvador
2017

M989 Musse, Daniela Santana

Desempenho de revestimento de argamassas reforçadas com telas: Estudo de fissuração e comportamento mecânico. / Daniela Santana Musse. -- Salvador, 2017.
196 f. : il

Orientador: Francisco Gabriel Santos Silva.

Coorientador: Jardel Pereira Gonçalves.

Dissertação (Mestrado - Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) -- Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica, 2017.

1. Revestimento. 2. Argamassa armada. 3. Telas. 4. Patologias. I. Silva, Francisco Gabriel Santos. II. Gonçalves, Jardel Pereira. III. Título.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todas às pessoas que me apoiaram em especial a minha família e a Orlando Lima pelo total apoio e contribuição em todos os momentos difíceis.

FORMAÇÃO DO CANDIDATO

Engenheira Civil, formada pela Universidade Federal da Bahia, UFBA (2014).

“A persistência é o caminho do êxito”

Charles Chaplin

DANIELA SANTANA MUSSE

“DESEMPENHO DE REVESTIMENTO DE ARGAMASSAS
REFORÇADAS COM TELAS: ESTUDO DE FISSURAÇÃO E
COMPORTAMENTO MECÂNICO.”

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Ambiental Urbana.

Salvador, 30 de Junho de 2017

Banca Examinadora:

Profº Drº Francisco Gabriel Santos Silva
Universidade Federal da Bahia – UFBA

Profº Drº Jardel Pereira Gonçalves
Universidade Federal da Bahia – UFBA

Profº Drº Sandro Fábio César
Universidade Federal da Bahia – UFBA

Profº Drº Elton Bauer
Universidade de Brasília – UNB

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer ao Mestrado de Engenharia Ambiental Urbana da Universidade Federal da Bahia, atual Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, pela oportunidade de realização dos trabalhos em minha área de pesquisa.

À minha família e a Orlando Lima pela ajuda e apoio em todos os momentos.

À fábrica Civil Pré Moldados e a Concremassa pelo apoio e incentivo à pesquisa.

Aos meus orientadores Prof. Dr. Francisco Gabriel Silva e Jardel Pereira Gonçalves pela constante orientação, por acreditar que valia a pena e pela amizade.

Aos colegas do MEAU pelo convívio e troca de conhecimento, em especial as mestrandas Camila Rocha pela companhia na árdua trajetória do mestrado e a Thamires Moura pela amizade. A doutoranda Roseneia Melo pela amizade, paciência e inúmeras sugestões ao tema do meu trabalho.

Aos Bolsistas de Iniciação Científica do grupo de pesquisa Nic, especialmente a Nícolas Aquino e a João Antônio, pelo total suporte nas etapas dos experimentos e pela amizade. Aos mestrandos Otacísio e Guilhermino pela colaboração e amizade.

Ao grupo de pesquisa GPS Fibras, especialmente ao mestrando Moisés e o aluno Gabriel pelo apoio e suporte nos ensaios das telas.

A Daniele Mota pela amizade e assistência ao longo do mestrado.

A toda equipe do CETA-UFBA (Centro Tecnológico de Argamassas) e a Paulo César pelo acolhimento e amizade.

A CAPES pela provisão da bolsa de mestrado.

RESUMO

A utilização das telas para reforço da camada de revestimento tem se tornado um excelente aliado na prevenção e redução de fissuras, pois podem absorver as tensões que surgem no sistema devido à variação térmica, incompatibilidade de materiais empregados, elevada espessura de revestimento ou até mesmo por erros de execução. No entanto, o uso da argamassa armada ainda carece de uma padronização de técnicas de execução e de estudos para avaliar sua funcionalidade quando submetido à variação de térmica. Contudo, esta pesquisa busca avaliar o comportamento e a incidência de fissuras dos revestimentos reforçados com telas, submetidas à variação térmica, visando em contribuir para o conhecimento do desempenho e do comportamento das telas nos revestimentos argamassados. Para tanto, foram construídos protótipos de fachadas revestidos com reboco reforçado com telas, submetidos a uma variação de temperatura, para avaliar a eficiência das telas no controle da fissuração através da termografia infravermelha e mapeamentos. Para análise, primeiramente foi realizado a caracterização dos materiais através de ensaios físicos e mecânicos e avaliação do comportamento mecânico das argamassas com telas por meio de ensaios de compressão axial, tração por compressão diametral, flexão e cisalhamento. Os resultados revelaram que os reforços realizados com a tela galvanizada eletrosoldada possui melhor desempenho ao absorver parte das tensões ocorridas no sistema e reduzir as aberturas das fissuras, além de garantir melhor resistência à flexão.

Palavras-chave: Revestimento; Argamassa armada; Telas; Patologias.

PERFORMANCE OF REINFORCED MORTAR WITH SCREEN: FISSURATION STUDY AND MECHANICAL BEHAVIOR

ABSTRACT

The use of reinforcing layers has become an excellent ally in the prevention and reduction of cracks because they can absorb the stresses that arise in the system due to thermal variation, incompatibility of used materials, high coating thickness or even Errors of execution. However, the use of reinforced mortar still lacks a standardization of execution techniques and studies to evaluate its functionality when submitted to thermal variation. However, this research seeks to evaluate the behavior and incidence of cracks in reinforced screen coatings, submitted to thermal variation, aiming to contribute to the knowledge of the performance and behavior of the screens in the mortar coatings. For this, prototypes of façades coated with reinforced plaster with screens were submitted to a variation of temperature, to evaluate the efficiency of the screens in the control of the cracking through infrared thermography and mapping. For the analysis, the characterization of the materials through physical and mechanical tests and evaluation of the mechanical behavior of the mortars with screens were carried out by axial compression, diametral compression, flexure and shear tests. The results showed that the reinforcements made with galvanized electrowelded screen have better performance by absorbing part of the stresses occurring in the system and reduce the apertures of the cracks, in addition, it guarantees better resistance to bending.

Keywords: Coating; Reinforced mortar; Screens; Pathologies.

SUMÁRIO

| | Pág. |
|---|------|
| AGRADECIMENTOS | vii |
| RESUMO..... | viii |
| ABSTRACT | ix |
| ÍNDICE DE TABELAS | xiv |
| ÍNDICE DE FIGURAS | xvii |
| SÍMBOLOS E ABREVIATURAS..... | xxiv |
| 1 INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 <i>Problema de pesquisa</i> | 2 |
| 1.2 <i>Objetivos</i> | 3 |
| 1.2.1 <i>Geral</i> | 3 |
| 1.2.2 <i>Específicos</i> | 3 |
| 1.3 <i>Hipótese</i> | 3 |
| 1.4 <i>Estrutura da dissertação</i> | 3 |
| 2 SISTEMA DE REVESTIMENTO | 5 |
| 2.1 <i>Revestimento de argamassa</i> | 6 |
| 2.2 <i>Funções do sistema de revestimento</i> | 8 |
| 2.3 <i>Propriedades dos materiais constituintes</i> | 9 |
| 2.3.1 <i>Cimento</i> | 9 |
| 2.3.2 <i>Cales</i> | 10 |
| 2.3.3 <i>Agregado</i> | 10 |
| 2.3.4 <i>Aditivos</i> | 11 |
| 2.3.5 <i>Argilominerais</i> | 12 |
| 2.4 <i>Propriedades da Argamassa no estado fresco</i> | 13 |
| 2.4.1 <i>Plasticidade</i> | 13 |
| 2.4.2 <i>Trabalhabilidade</i> | 13 |
| 2.4.3 <i>Consistência</i> | 13 |
| 2.4.4 <i>Retenção de Água</i> | 14 |
| 2.5 <i>Propriedades da Argamassa no estado endurecido</i> | 15 |
| 2.5.1 <i>Deformação admissível</i> | 15 |
| 2.5.2 <i>Resistência mecânica</i> | 16 |
| 2.5.3 <i>Aderência</i> | 18 |

| | | |
|---------|---|----|
| 2.6 | <i>Detalhes Construtivos do projeto de revestimento</i> | 18 |
| 2.6.1 | Juntas de movimentação | 19 |
| 2.6.2 | Reforço com telas | 20 |
| 3 | ARGAMASSA ARMADA | 25 |
| 3.1 | <i>Tipologia das telas utilizadas para reforço em argamassas</i> | 25 |
| 3.2 | <i>Avaliação da argamassa armada no sistema construtivo</i> | 30 |
| 3.3 | <i>Tensões de origem térmica</i> | 37 |
| 3.4 | <i>Principais patologias em revestimento de argamassa</i> | 44 |
| 3.4.1 | Fissuras | 44 |
| 3.4.2 | Descolamento | 48 |
| 3.4.3 | Falhas nas juntas | 49 |
| 3.4.4 | Eflorescência | 49 |
| 3.5 | <i>Inspeção dos revestimentos na fachada</i> | 50 |
| 3.5.1 | Ensaio de resistência à ação do calor | 51 |
| 3.5.2 | Resistência ao risco | 52 |
| 3.5.3 | Ensaio de percussão | 54 |
| 3.5.4 | Resistência à aderência à tração | 55 |
| 3.5.5 | Termografia infravermelha | 57 |
| 4 | PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL | 63 |
| 4.1 | <i>Materiais</i> | 64 |
| 4.2 | <i>Metodologia</i> | 66 |
| 4.2.1 | Primeira Etapa- Caracterização dos materiais | 66 |
| 4.2.1.1 | Aglomerantes | 66 |
| 4.2.1.2 | Agregados | 66 |
| 4.2.1.3 | Blocos | 66 |
| 4.2.1.4 | Argamassa industrializada | 70 |
| 4.2.1.5 | Telas | 75 |
| 4.2.2 | Segunda Etapa- Estudo de traços para obtenção de fissuras na argamassa | 77 |
| 4.2.3 | Terceira Etapa- Avaliação das propriedades mecânicas das argamassas reforçadas com telas em corpos de prova | 79 |
| 4.2.3.1 | Resistência à compressão axial | 80 |
| 4.2.3.2 | Resistência à tração por compressão diametral | 81 |

| | | |
|---------|---|------------|
| 4.2.3.3 | Resistência à tração na flexão. | 82 |
| 4.2.3.4 | Resistência ao cisalhamento..... | 83 |
| 4.2.4 | Quarta Etapa- Avaliação da incidência de fissuras em revestimentos reforçados com telas..... | 84 |
| 4.2.4.1 | Confecção dos protótipos e tratamento da base | 84 |
| 4.2.4.2 | Aplicação da argamassa e carregamento térmico. | 85 |
| 4.2.4.3 | Análise Termográfica..... | 89 |
| 4.2.4.4 | Mapeamento e índice de fissuração dos painéis..... | 91 |
| 4.2.5 | Quinta Etapa- Avaliação da eficiência do tipo de reparo das fissuras..... | 92 |
| 4.2.6 | Sexta Etapa- Avaliação do comportamento dos revestimentos reforçados quando submetidos ao impacto..... | 94 |
| 5 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 96 |
| 5.1 | <i>Primeira Etapa- Caracterização dos materiais</i> | <i>96</i> |
| 5.1.1 | Aglomerantes | 96 |
| 5.1.2 | Agregados | 97 |
| 5.1.3 | Blocos..... | 98 |
| 5.1.4 | Telas..... | 100 |
| 5.1.5 | Argamassa Industrializada | 103 |
| 5.2 | <i>Segunda Etapa- Estudo de traços para obtenção de fissuras na argamassa.....</i> | <i>104</i> |
| 5.2.1 | Estudo com argamassa industrializada..... | 104 |
| 5.2.2 | Estudo com argamassa mista e argamassa de argilomineral. | 104 |
| 5.3 | <i>Terceira Etapa- Avaliação das propriedades mecânicas das argamassas reforçadas com telas em corpos de prova.....</i> | <i>109</i> |
| 5.3.1 | Resistência à compressão axial | 109 |
| 5.3.2 | Resistência à tração por compressão diametral..... | 113 |
| 5.3.3 | Resistência à tração na flexão..... | 118 |
| 5.3.4 | Resistência ao cisalhamento | 123 |
| 5.3.5 | Discussão dos ensaios realizados na terceira etapa do estudo. .. | 128 |
| 5.4 | <i>Quarta Etapa- Avaliação da incidência de fissuras em revestimentos reforçados com telas.....</i> | <i>129</i> |
| 5.4.1 | Efeito do carregamento térmico de 38° C..... | 129 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 5.4.1.1 | Análise termográfica..... | 129 |
| 5.4.1.2 | Mapeamento e índice de fissuração dos painéis..... | 132 |
| 5.4.2 | Efeito do carregamento térmico de 80° C..... | 137 |
| 5.4.2.1 | Análise termográfica..... | 137 |
| 5.4.2.2 | Mapeamento e índice de fissuração dos painéis..... | 141 |
| 5.5 | <i>Quinta Etapa- Avaliação da eficiência do tipo de reparo das fissuras.</i> | 145 |
| 5.6 | <i>Sexta Etapa- Avaliação o comportamento dos revestimentos reforçados quando submetidos ao impacto.</i> | 147 |
| 6 | CONCLUSÃO | 153 |
| 7 | SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS | 155 |
| 8 | REFERÊNCIAS..... | 156 |
| | APÊNDICE 1- CARACTERIZAÇÃO DA ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA. | 166 |
| | APÊNDICE 2- CARACTERIZAÇÃO DA ARGAMASSA MISTA | 169 |
| | APÊNDICE 3- EVOLUÇÃO DO DELTA- T DOS TERMOGRAMAS..... | 172 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | Pág. |
|---|------|
| Tabela 1. Espessuras admissíveis de revestimentos internos e externos..... | 7 |
| Tabela 2. Critérios de suscetibilidade quanto à fissuração..... | 17 |
| Tabela 3. Valores médios da resistência à tração por compressão diametral e sua relação com a da argamassa sem tela. | 32 |
| Tabela 4. Ensaio de esforço à tração de revestimentos reforçados com tela. . | 35 |
| Tabela 5. Descrição das telas utilizadas na pesquisa. | 65 |
| Tabela 6. Valores de Ψ em função da quantidade de blocos..... | 68 |
| Tabela 7. Dimensão dos fios e área estimada das telas. | 77 |
| Tabela 8. Apresentação dos traços de revestimento de argamassa mista e com argilomineral estudados na pesquisa. | 79 |
| Tabela 9. Altura de lançamento das esferas com suas respectivas energias. . | 94 |
| Tabela 10. Caracterização físico, química e mecânica do cimento CP II Z-32 (RS)..... | 96 |
| Tabela 11. Características físico-químicas da cal CH-I..... | 97 |
| Tabela 12. Resultados dos ensaios de caracterização do agregado miúdo natural. | 97 |
| Tabela 13. Dados individuais da resistência à compressão dos blocos..... | 98 |
| Tabela 14. Absorção Total de água do bloco..... | 99 |
| Tabela 15. Índice de Absorção Inicial de Água (AAI). | 99 |
| Tabela 16. Resultados do ensaio de tração das telas..... | 102 |
| Tabela 17. Caracterização das argamassas conforme a NBR 13281:2005... | 103 |
| Tabela 18. Análise dos traços de revestimento de argamassa mista e com argilomineral estudados na pesquisa. | 106 |
| Tabela 19. Caracterização da argamassa mista com traço em massa de 1:2,5:12:3,10 (c:cal:areia:a/c) a ser aplicada nos painéis e prismas. | 108 |
| Tabela 20. Valores individuais da resistência à compressão axial da argamassa industrializada armada. | 109 |
| Tabela 21. Análise estatística dos valores de F_c encontrados para argamassa industrializada armada. | 110 |
| Tabela 22. Valores individuais da resistência à compressão axial da argamassa mista armada..... | 111 |

| | |
|---|-----|
| Tabela 23. Análise estatística dos valores de F_c encontrados para argamassa mista armada..... | 112 |
| Tabela 24. Valores individuais das resistências à tração por compressão diametral da argamassa industrializada armada. | 114 |
| Tabela 25. Análise estatística dos valores de F_{td} encontrados para argamassa industrializada armada. | 115 |
| Tabela 26. Valores individuais das resistências à tração por compressão diametral da argamassa mista armada. | 116 |
| Tabela 27. Análise estatística dos valores de F_{td} encontrados para argamassa mista armada..... | 116 |
| Tabela 28. Valores individuais das resistências à flexão da argamassa industrializada armada. | 119 |
| Tabela 29. Análise estatística dos valores de R_t encontrados para argamassa industrializada armada. | 119 |
| Tabela 30. Valores individuais das resistências à flexão da argamassa mista armada. | 120 |
| Tabela 31. Análise estatística dos valores de R_t encontrados para argamassa mista armada..... | 121 |
| Tabela 32. Resultados individuais das resistências ao cisalhamento da argamassa industrializada armada..... | 124 |
| Tabela 33. Análise estatística dos valores de R_t encontrados para argamassa industrializada armada. | 124 |
| Tabela 34. Resultados individuais das resistências ao cisalhamento da argamassa mista armada. | 125 |
| Tabela 35. Análise estatística dos valores de encontrados para argamassa mista armada..... | 126 |
| Tabela 36. Resumo dos resultados de resistência mecânica..... | 128 |
| Tabela 37. Evolução do ΔT nos primeiros momentos do resfriamento dos painéis submetidos ao carregamento térmico de 38°C. | 131 |
| Tabela 38. Índice de fissuração dos painéis com espessura de 2,5 cm..... | 134 |
| Tabela 39. Índice de fissuração dos prismas com espessura de 2,5 cm..... | 135 |
| Tabela 40. Evolução do ΔT nos primeiros momentos do resfriamento dos painéis submetidos ao carregamento térmico de 80°C. | 139 |

| | |
|---|-----|
| Tabela 41. Índice de fissuração dos painéis com espessura de 5 cm..... | 142 |
| Tabela 42. Índice de fissuração dos prismas com espessura de 5 cm. | 143 |
| Tabela 43. Resultados dos ensaios de corpo duro dos painéis. | 148 |
| Tabela 44. Análise estatística ANOVA das profundidades das mossas em relação ao painel de referência. | 148 |
| Tabela 45. Resultados dos ensaios de corpo duro dos prismas. | 150 |
| Tabela 46. Análise estatística ANOVA das profundidades das mossas em relação ao prisma de referência. | 150 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Pág. |
|---|------|
| Figura 1. Revestimento com camada dupla. | 5 |
| Figura 2. Solicitações dos fatores extrínsecos que degradam o revestimento... 9 | 9 |
| Figura 3. Representação esquemática da classificação das argamassas quanto à sua consistência ou fluidez: (a) Argamassa seca, (b) Argamassa plástica ou de consistência adequada e (c) Argamassa fluida. | 14 |
| Figura 4. Detalhe da execução da junta de movimentação..... | 19 |
| Figura 5. Uso dos detalhes construtivos na cidade de Porto Alegre. | 20 |
| Figura 6. Utilização da tela como reforço do emboço. | 21 |
| Figura 7. Utilização da tela como ponte de transmissão de tensões..... | 22 |
| Figura 8. Recuperação de destacamento entre pilar e parede..... | 23 |
| Figura 9. Tela hexagonal de 1/2 polegada. | 26 |
| Figura 10. Tela entrelaçada de malha quadrada. | 27 |
| Figura 11. Tela eletrosoldada de malha retangular. | 28 |
| Figura 12. Tela deployée..... | 28 |
| Figura 13. Tela de polietileno malha hexagonal. | 29 |
| Figura 14. Ruptura dos prismas. (a) Revestimento sem tela; (b) Revestimento com tela galvanizada e (c) Revestimento com tela eletrosoldada de aço. | 33 |
| Figura 15. Ensaio de tração na flexão de argamassa reforçada com tela metálica. (a) Corpo de prova (15 x30 cm) e (b) Ruptura do corpo de prova pelo ensaio de tração na flexão de 4 pontos..... | 34 |
| Figura 16. Comparação de médias de resistência à tração na flexão da argamassa armada com telas dispostas a 2/3 da camada..... | 36 |
| Figura 17. Revestimento sujeito a esforço de tração. | 39 |
| Figura 18. Revestimento solicitado à compressão. | 40 |
| Figura 19. Esforços causados pela temperatura no revestimento..... | 41 |
| Figura 20. Detalhes de fissuras mapeadas. | 46 |
| Figura 21. Fissuras horizontais no sistema de revestimento..... | 47 |
| Figura 22. Fissuras verticais. (a) Ruptura em forma de escada, com conformação da junta vertical e (b) Fissura seccionando os componentes de alvenaria..... | 47 |

| | |
|--|----|
| Figura 23. Fissuração em paredes com aberturas. | 48 |
| Figura 24. Ensaio de resistência ao risco. | 53 |
| Figura 25. Ensaio de resistência ao risco. | 54 |
| Figura 26. Ensaio de percussão com martelo de baixo impacto. | 55 |
| Figura 27. Ensaio de aderência à tração. | 55 |
| Figura 28. Tipos de ruptura no ensaio de aderência à tração de revestimentos de argamassa, considerando o revestimento aplicado diretamente ao substrato (sem chapisco). | 56 |
| Figura 29. Termografia da sala de reunião no edifício. | 58 |
| Figura 30. Termogramas do estudo. (a) Termogramas realizados na área com fissuras; (b) Termogramas realizados na área com biodeterioração e (c) Termogramas realizados na área com a presença de umidade. | 60 |
| Figura 31. Programa Experimental. | 63 |
| Figura 32. Telas de reforço utilizadas. (a) tela eletrosoldada galvanizada de malha quadrada; (b) tela de viveiro de polietileno e (c) tela de viveiro galvanizada. | 65 |
| Figura 33. Prensa utilizada na compressão dos blocos de concreto. | 66 |
| Figura 34. Ensaio de Absorção Total dos blocos. (a) blocos colocados na estufa e (b) blocos imersos em água. | 68 |
| Figura 35. Ensaio de Absorção inicial do bloco. | 69 |
| Figura 36. Ensaio de índice de consistência (a) Mesa de consistência e (b) ensaio de medida de consistência. | 71 |
| Figura 37. Aparelho de retenção de água. | 71 |
| Figura 38. Ensaio de resistência à tração na flexão. | 72 |
| Figura 39. Esquema de ensaio de compressão. | 73 |
| Figura 40. Ensaio de capilaridade da argamassa. | 74 |
| Figura 41. Ensaio de resistência potencial de aderência à tração. (a) cortes fitas com serra-copo para colagem das pastilhas; (b) Carregamento axial aplicado e (c) corpos de prova rompidos. | 75 |
| Figura 42. Aparato dos ensaios de telas. | 75 |
| Figura 43. Tela instalada no aparato para realização do ensaio de tração. | 76 |
| Figura 44. Painel artificial. | 77 |

| | |
|---|----|
| Figura 45. Bloco com revestimento de argamassa industrializada com espessura de 20 mm. | 78 |
| Figura 46. Detalhe da tela no corpo de prova no ensaio de compressão axial. | 80 |
| Figura 47. Ensaio de resistência à compressão axial em argamassas reforçadas com telas. | 80 |
| Figura 48. Ensaio de tração por compressão diametral nas argamassas com telas. (a) Detalhe da posição da tela no corpo de prova e (b) Posição do corpo de prova na prensa. | 81 |
| Figura 49. Detalhe da inserção das telas nos corpos de prova. (a) Telas com dimensões (7,5x28,5) cm e (b) corpo de prova preenchido com 1/3 de argamassa e tela. | 82 |
| Figura 50. Ensaio de cisalhamento. Posição da tela no ensaio (a) e detalhe do ensaio de cisalhamento (b). | 83 |
| Figura 51. Painéis e prismas construídos, com tratamento da base realizado em uma das faces. | 85 |
| Figura 52. Detalhe do painel. (a) Instalação da moldura e (b) pinos e aço galvanizados. | 86 |
| Figura 53. Etapa de execução do revestimento. (a) Primeira camada de argamassa; (b) conferência da espessura; (c) instalação da tela; (d) detalhe da amarração da tela e (e) revestimento acabado e sarrafeado. | 87 |
| Figura 54. Revestimento submetido ao carregamento térmico. (a) Painel térmico instalado paralelamente à alvenaria e (b) Isolamento dos painéis com isopor revestido com papel alumínio. | 88 |
| Figura 55. Desenho esquemático da aplicação do revestimento. | 89 |
| Figura 56. Câmera Termográfica profissional FLIR C2. | 90 |
| Figura 57. Etapas do mapeamento das fissuras. (a) medida da espessura com fissurômetro; (b) mapeamento das fissuras com giz de cera; (c) aferição do comprimento com auxílio do barbante e (d) medida do comprimento do fio de barbante com régua graduada. | 91 |
| Figura 58. Etapas de recuperação das fissuras. (a) Aberturas dos sulcos ; (b) Preenchimento dos sulcos com massa acrílica; (c) Instalação da tela de poliéster e (d) Acabamento final com aplicação das últimas camadas de massa acrílica e preenchimento dos sulcos com resina epóxi. | 93 |

| | |
|---|-----|
| Figura 59. Esfera maciça do ensaio de impacto..... | 94 |
| Figura 60. Ensaio de corpo duro. (a) Alvenarias sobre uma camada de areia e (b) medição das mossa de cada impacto. | 95 |
| Figura 61. Curva granulométrica da areia e do arenoso utilizados nas argamassas..... | 97 |
| Figura 62. Ensaio de tração da Tela 1. (a) Tela antes do ensaio e (b) Tela tracionada..... | 100 |
| Figura 63. Ensaio de tração da Tela 2. (a) Tela antes do ensaio e (b) Tela tracionada..... | 100 |
| Figura 64. Ensaio de tração da Tela 3. (a) Tela antes do ensaio e (b) Tela tracionada..... | 100 |
| Figura 65. Diagrama de tensão-deslocamento das telas. | 101 |
| Figura 66. Revestimentos dos blocos com argamassa industrializada após carregamento térmico..... | 104 |
| Figura 67. Avaliação da fissuração das argamassas produzidas em laboratório com aplicação do carregamento térmico aos 14 dias. | 105 |
| Figura 68. Traços que obtiveram fissuras com carregamento térmico no estado fresco..... | 107 |
| Figura 69. Resultados do ensaio de compressão axial da argamassa industrializada armada. | 109 |
| Figura 70 . Resultados do ensaio de compressão axial da argamassa mista armada. | 111 |
| Figura 71. Comparação das resistências por compressão axial das argamassas armadas. | 112 |
| Figura 72. Ruptura dos corpos de prova armados com tela no ensaio de compressão axial. | 113 |
| Figura 73. Resultados da resistência à tração por compressão diametral da argamassa industrializada armada..... | 114 |
| Figura 74. Resultados do ensaio de tração por compressão diametral da argamassa mista armada..... | 115 |
| Figura 75. Comparação das resistências da tração por compressão diametral das argamassas armadas. | 117 |

| | |
|--|-----|
| Figura 76. Ruptura dos corpos de prova armados com tela no ensaio tração por compressão diametral. | 118 |
| Figura 77. Resistência à tração na flexão da argamassa industrializada armada. | 118 |
| Figura 78. Resistência à tração na flexão da argamassa mista armada. | 120 |
| Figura 79. Comparação das resistências à flexão das argamassas armadas. | 121 |
| Figura 80. Ruptura dos corpos de prova armados com tela no ensaio tração na flexão. | 122 |
| Figura 81. Ensaio de cisalhamento da argamassa industrializada reforçada com tela. | 123 |
| Figura 82. Ensaio de cisalhamento da argamassa mista reforçada com tela. | 125 |
| Figura 83. Comparação das resistências ao cisalhamento das argamassas armadas. | 126 |
| Figura 84. Ruptura dos corpos de prova armados com tela no ensaio de cisalhamento. | 127 |
| Figura 85. Análise do carregamento de 38°C e o efeito da tela no combate à fissuração dos painéis revestimentos com espessura de argamassa de 2,5 cm. | 133 |
| Figura 86. Gráfico do índice de fissuração dos painéis revestidos com espessura de 2,5 cm. | 134 |
| Figura 87. Gráfico do índice de fissuração dos prismas revestidos com espessura de 2,5 cm. | 135 |
| Figura 88. Análise do carregamento de 38°C e o efeito da tela no combate à fissuração dos prismas revestimentos com espessura de argamassa de 2,5 cm. | 136 |
| Figura 89. Estudo da fissuração dos revestimentos com espessura de 5 cm. | 141 |
| Figura 90. Gráfico do índice de fissuração dos painéis revestidos com espessura de 5 cm. | 142 |
| Figura 91. Gráfico do índice de fissuração dos prismas revestidos com espessura de 5 cm. | 143 |

Figura 92. Análise do carregamento de 80°C e o efeito da tela no combate à fissuração dos prismas revestimentos com espessura de argamassa de 5,0 cm.

..... 144

Figura 93. Detalhe das fissuras nos painéis devido ao ensaio de impacto. ... 149

Figura 94. Detalhe das fissuras nos prismas devido ao ensaio de impacto. .. 151

ÍNDICE DE QUADROS

| | Pág. |
|---|------|
| Quadro 1. Termogramas dos revestimentos submetidos ao carregamento térmico de 38°C..... | 130 |
| Quadro 2. Termogramas dos revestimentos submetidos ao carregamento térmico de 80°C..... | 138 |
| Quadro 3. Termogramas após aplicação do carregamento térmico..... | 146 |

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

| | |
|-----------|--|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| ABCP | Associação brasileira de cimento portland |
| Arg. | Argamassa |
| Arm. | Armada |
| BWG | Escala Birmingham Wire Gauge |
| CV | Coeficiente de variação |
| Cc | Consumo de cimento |
| Cm | Centímetros |
| DESVPAD | Desvio padrão |
| Fcal | F calculado na análise de variância |
| F crítico | Valor de F tabelado |
| Fbk,est | Resistência característica estimada da amostra |
| GPa | Gigapascal |
| Fc | Resistência à compressão |
| Fd | Resistência à tração por compressão diametral |
| J | Joules |
| % | Porcentagem |
| °C | Grau Celsius |
| ρ | Densidade do material |
| τ | Resistência ao cisalhamento |
| MPa | Megapascal |
| N | Newtons |
| p-valor | Probabilidade de significância |
| Rt | Resistência à flexão |
| W | Watts |

1 INTRODUÇÃO

O sistema de revestimento em vedações de fachada é muito utilizado, principalmente no Brasil, por proporcionar aos elementos estruturais proteção contra agentes agressivos, além de oferecer à edificação isolamento térmico, segurança ao fogo, estanqueidade e valorização da estética. No entanto, seu desempenho pode ser comprometido pelas propriedades inerentes a cada material que o compõe, assim como, método de execução e condições ambientais.

Dentre os fatores que os revestimentos são mais susceptíveis à degradação, está a variação de temperatura que origina tensões térmicas e desencadeiam o aparecimento de fissuras nas fachadas das edificações, provocando desconforto e insegurança ao usuário (GOMES *et al.* 2007).

Levando em consideração que cada camada do sistema de revestimento possui uma deformação diferenciada, devido aos diferentes valores de coeficiente de dilatação térmica linear e módulo de deformação, ao sofrer sucessivas variações de temperatura, o revestimento pode estar sujeito a tensões de tração, compressão e cisalhamento (FIORITO, 1994). Assim, ocorrendo incompatibilidade entre as condições de deformação da base e a capacidade de acomodar deformações da argamassa, podem aparecer pequenas fissuras no revestimento e até mesmo um deslocamento (ANTUNES *et al.*, 2014; FIORITO, 1994).

Aliados aos fatores extrínsecos (solicitações externas provocadas pelas ações ambientais), as falhas de execução, a incompatibilização dos materiais e a ausência de projeto, também podem favorecer ao aparecimento de manifestações patológicas no revestimento. Assim, para absorver as tensões originadas no sistema de revestimento e garantir o desempenho, tem-se empregado telas nas técnicas construtivas.

Atualmente, estas telas são utilizadas como ponte de transmissão de esforços quando há mudanças no material da base e também como reforço dos revestimentos de argamassa que superam as espessuras admissíveis recomendadas pela NBR 13749:2013. No entanto, apesar da larga utilização nas grandes construções, não existe uma normatização que contemple as formas de execução e o tipo de tela para cada aplicação.

Deste modo, para garantir o desempenho da edificação, a NBR 15575:2013 estabelece a necessidade de eliminar falhas construtivas, utilizando materiais adequados e técnicas executivas para garantir qualidade, conforto, manutenção e durabilidade das edificações ao longo de sua vida. Segundo Antunes (2016), este desempenho é alcançado pela colaboração individual de cada material e elemento, como também do efeito gerado quando todas as partes integrantes são solicitadas em conjunto.

Para alcançar o objetivo da norma de desempenho, estudos ainda precisam ser desenvolvidos para avaliar a funcionalidade e durabilidade dos diversos tipos de telas dentro do sistema de revestimento, contemplando o comportamento mecânico e a incidência de fissuração quando submetidos ciclos de variação de temperatura.

Neste sentido, o estudo proposto se justifica por contribuir com meio técnico e científico, investigando a eficiência das telas no controle da fissuração dos revestimentos de argamassa submetidos a um carregamento térmico.

1.1 Problema de pesquisa

Falhas no projeto, na execução e no controle da qualidade do sistema de revestimento vêm acarretando elevados índices de manifestações patológicas provocadas principalmente pela má aderência da argamassa com o substrato e pelo aparecimento de fissuras, nos quais aliadas permitem o deslocamento parcial ou total do revestimento, gerando prejuízos, insumos, desconforto e insegurança ao usuário.

Apesar de normas técnicas brasileiras indicarem a inserção de telas nas camadas de revestimento para absorver as tensões e reduzir o aparecimento de fissuras, não existe um respaldo técnico em relação à execução da técnica construtiva, muito menos um critério de dimensionamento e posição que deve ser empregada. Além disso, carece de estudos que avaliem o comportamento mecânico dos revestimentos reforçados com diferentes tipos de tela submetidos à variação de temperatura.

Neste sentido, este trabalho contribui para o desenvolvimento das técnicas do sistema de revestimento, possibilitando o conhecimento da eficiência de três diferentes tipos de tela no controle da fissuração das argamassas de revestimento.

1.2 Objetivos

1.2.1 Geral

Avaliar o desempenho de revestimento de argamassas reforçadas com telas, através do estudo de fissuração e comportamento mecânico.

1.2.2 Específicos

- Avaliar as propriedades mecânicas de compressão axial, tração por compressão diametral, tração na flexão e cisalhamento das argamassas reforçadas com telas em corpos de prova;
- Constatar a incidência de fissuras em revestimentos reforçados com telas submetidos a um carregamento térmico, por meio da termografia infravermelha e mapeamentos;
- Avaliar a eficiência do tipo de reparo das fissuras quando submetidos ao carregamento térmico;
- Avaliar o comportamento dos revestimentos reforçados quando submetidos ao impacto.

1.3 Hipótese

- As argamassas reforçadas com telas apresentam maiores valores de resistências à flexão, principalmente quando reforçadas com tela metálica.
- As maiores profundidades das fissuras permitem uma melhor visualização nas imagens térmicas, além disso, os revestimentos reforçados possuem maior capacidade de absorver as deformações e reduzir as aberturas das fissuras.
- As fissuras reparadas não sofrem alterações quando expostas a mudança de temperatura.
- O impacto induzido nos revestimentos promove o aparecimento de novas fissuras.

1.4 Estrutura da dissertação

Este projeto de dissertação foi organizado em sete capítulos, onde o primeiro apresenta uma introdução ao assunto de pesquisa.

No capítulo dois, é apresentada uma revisão de literatura sobre sistema de revestimento, assim como, detalhes construtivos do projeto de revestimento, efeito da variação de temperatura nos revestimentos, principais patologias encontradas e inspeção dos revestimentos na fachada.

O capítulo 3 salienta o conceito de argamassa armada, abrangendo a tipologia das telas e avaliação da argamassa no sistema de revestimento.

O programa experimental é apresentado no quarto capítulo, contendo as etapas e ensaios que serão realizados, juntamente com o fluxograma das etapas para a realização deste trabalho.

No quinto capítulo são apresentados os resultados.

O capítulo 6 contempla as conclusões.

Por fim, o sétimo capítulo apresenta as sugestões de trabalhos futuros.

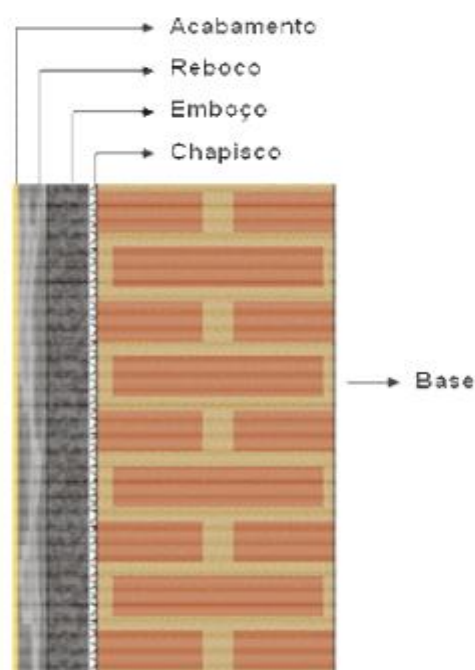
2 SISTEMA DE REVESTIMENTO

Existem várias definições a respeito de sistema de revestimento. Segundo a NBR 13529:2013, o sistema de revestimento é composto pelo revestimento de argamassa e acabamento decorativo, compatível com a natureza da base, condições de exposição, acabamento final e desempenho, previstos em projeto.

Bauer (2005) considera que o sistema de revestimento é um conjunto de subsistemas, que tem objetivo de proteger alvenaria, regularizar as superfícies, oferecer estanqueidade e ainda promover acabamento estético à construção. Além disso, o autor explica que o sistema de revestimento pode apresentar variações nas edificações, devido às características do projeto, da fachada, das paredes e do tipo de revestimento escolhido.

Deste modo, o sistema de revestimento pode se constituir de uma ou duas camadas cujas denominações variam em emboço (massa grossa), reboco (massa fina) ou massa única (emboço paulista), conforme apresenta a Figura 1.

Figura 1. Revestimento com camada dupla.



Fonte: ANTUNES, 2010.

A aplicação incorreta do sistema de revestimento como, por exemplo, a utilização da argamassa para encobrir grosseiras imperfeições da base, devido a

desaprumos e desalinhos encontrados na estrutura e na alvenaria, compromete o seu o funcionamento, permitindo o aparecimento de patologias. Neste contexto, para prevenção deste problema, deve-se analisar o tipo de substrato que será aplicado à argamassa, quais condições de uso e aplicação, assim como o ambiente que o revestimento será submetido.

2.1 Revestimento de argamassa

De acordo com a NBR 13281:2005, argamassa é uma mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, podendo conter aditivos, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada). Já para a NBR 13529:2013, a argamassa de revestimento é definida como sendo o cobrimento de uma superfície (substrato) com uma ou mais camadas, apropriada para receber elementos decorativos.

Este substrato ou base, de acordo com Bauer (2005), podem ser classificados pelo tipo de material (alvenaria de blocos cerâmicos, blocos de concreto, blocos de concreto celular, vigas, pilares e lajes); pela função (elementos de vedação ou estrutural) e pelas características físicas, no qual incluem a capacidade de absorção ou sucção de água, textura e propriedade mecânica.

Antunes (2010) explica que o sistema de revestimento deve ser compatível com o substrato para alcançar uma aderência satisfatória. A rugosidade superficial do substrato pode interferir na funcionalidade do sistema, uma vez que substratos rugosos (blocos) possuem uma maior área de contato com a argamassa aplicada, enquanto os substratos lisos (viga, lajes e pilares) necessitam de um tratamento denominado de chapisco para obter uma rugosidade adequada para garantir a aderência do revestimento no substrato e uniformizar a superfície do mesmo (RECENA, 2012; ANTUNES, 2010).

O método convencional de chapisco é o produzido em obra, com argamassa de traço 1:3, podendo variar a 1:4 (cimento: areia média - grossa, em volume). De acordo com a NBR 7200:1998, este chapisco deve ser lançado rigorosamente sobre a base com uma consistência fluida e curado durante três dias para garantir a hidratação dos grãos de cimento. Já o chapisco rolado, é composto por aditivos poliméricos e argamassa de traço, em volume, de geralmente 1:5 (cimento: areia

fina). Sua aplicação é realizada por meio de um rolo de textura alta, passado na base em um único sentido (SILVA, 2006; ANTUNES, 2010).

O chapisco pode ser ainda industrializado, onde a proporção de água é indicada pelo fabricante e sua aplicação é realizada por uma desempenadeira denteada ou por meio do rolo texturizado.

Segundo Bauer (2005) o emboço é a camada de revestimento de textura áspera que encobre e regulariza a superfície do substrato ou do chapisco se aplicado, melhorando a aderência para aplicação da camada de reboco ou argamassa colante. Já o reboco de acordo com a NBR 13529:13, consiste na camada de acabamento do emboço, propiciando uma superfície mais adequada para receber o revestimento decorativo ou que se constitua no acabamento final. Por fim, a camada única é executada sobre os substratos atendendo as funções do emboço e do reboco (BAUER, 2005; CARASEK, 2007).

As espessuras das camadas de revestimento para ambientes internos e externos são estabelecidas pela norma NBR 13749:2013, apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Espessuras admissíveis de revestimentos internos e externos.

| Revestimento | Espessura (mm) |
|------------------------|-----------------------|
| Parede interna | $5 \leq e \leq 20$ |
| Parede externa | $20 \leq e \leq 30$ |
| Teto interno e externo | $e \leq 0,20$ |

Fonte: Adaptado NBR 13749:2013.

Mesmo com aplicação de um rigoroso controle para se obter uma estrutura plana em uma edificação é comum encontrar variações na espessura do revestimento de argamassa. As espessuras superiores as admissíveis pela norma, são decorrentes muitas vezes pela correção do prumo não alcançado em parte do edifício, diante disto, a NBR 13749:2013 recomenda a utilização de telas entre as camadas para reforçar o sistema de argamassa, evitando, portanto, futuros problemas no revestimento. Já a NBR 13755:1997, estabelece que a tela seja inserida na camada de regularização ou no emboço, ancorada na estrutura-suporte sempre que a espessura a partir do chapisco até o tardo da placa cerâmica for superior a 25 mm, com a finalidade de inibir a retração da argamassa. No entanto, a mesma restringe o uso da tela metálica constituída de fio com diâmetro igual ou

maior do que 2 mm e malha com abertura quadrada de 5 cm por 5 cm, no qual seu posicionamento deve ser estudado para garantir um adequado cobrimento e evitar o aparecimento de uma corrosão.

2.2 Funções do sistema de revestimento

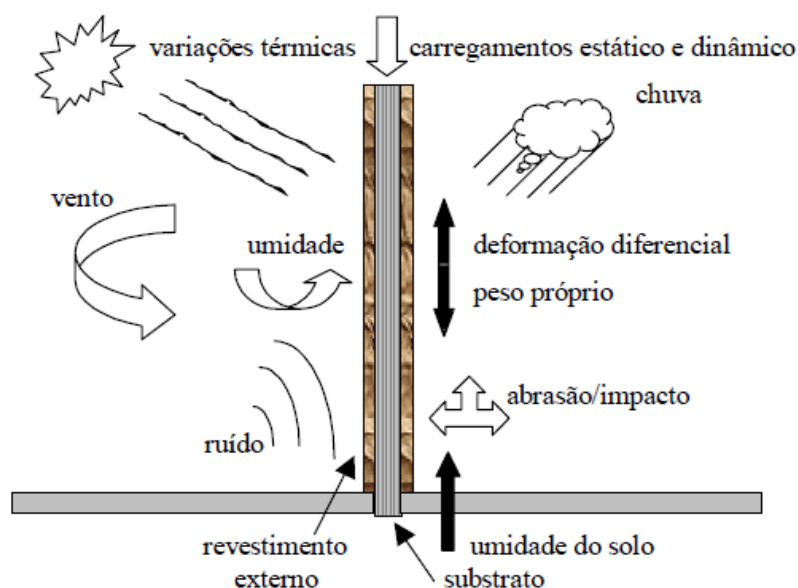
Absorver as movimentações do substrato, principalmente submetidos a trabalho térmico é uma característica primordial das argamassas de revestimento (RECENA, 2012).

Maciel *et al.* (1998) e Carasek (2007) acrescentam que as funções da argamassa dependem diretamente da sua aplicação e finalidade. Se tratando de argamassa de revestimento, estas devem atender o bom funcionamento oferecendo para a edificação:

- Proteção aos elementos de vedação dos edifícios dos agentes agressivos;
- Contribuição ao sistema de vedação dos edifícios no cumprimento de funções como o isolamento térmico e acústico, estanqueidade à água e outros gases;
- Regularização da superfície dos elementos de vedação, servindo de base regular e adequada ao recebimento de outros revestimentos ou constituir-se no acabamento final, contribuindo para a estética da edificação.

No entanto, com o passar do tempo a durabilidade da argamassa de revestimento é afetada pela constante condição de exposição a agentes agressivos ou até mesmo pela ação dos usuários. Cincotto *et al.* (1995) classificam os fatores que degradam a argamassa de revestimento em extrínsecos, que correspondem às solicitações externas provocadas pelas ações ambientais, como por exemplo, à variação de temperatura, umidade e ação dos ventos e em intrínsecos, relativos às propriedades dos materiais, componentes e sistemas. A Figura 2 apresenta as principais solicitações externas relacionadas aos fatores extrínsecos.

Figura 2. Solicitações dos fatores extrínsecos que degradam o revestimento.



2.3 Propriedades dos materiais constituintes

A argamassa convencional para revestimento (dosada na obra) é composta tradicionalmente por cimento, cal, areia, argilominerais, aditivo e água. Quando industrializada, os materiais constituintes são dosados na fábrica e a água é adicionada no ato da mistura de acordo com as quantidades recomendadas pelo fabricante.

2.3.1 Cimento

O cimento é um aglomerante hidráulico responsável pela ligação entre as partículas que compõem a argamassa e pela propriedade mecânica. O tipo de cimento, as características e as quantidades utilizadas são fatores que influenciam no desempenho da argamassa, devendo, portanto, obedecer a critérios de finura, composição química e teor de adições adequadas às características do revestimento, formas de aplicação e condições ambientais (SILVA, 2006).

Dentro das recomendações do uso do cimento, Bauer (2005) explica que a quantidade elevada deste aglomerante na mistura proporciona maiores resistências mecânicas, no entanto, o módulo de deformação também aumenta, tornando o sistema de revestimento pouco deformáveis e favoráveis ao aparecimento de fissuras.

Observa-se então o cuidado de escolher o tipo de material para garantir uma adequada função de todo o sistema de revestimento.

2.3.2 Cales

Cal é um aglomerante inorgânico, aéreo, produzido a partir da calcinação de rochas calcárias ou dolomíticas, composta basicamente de cálcio e de magnésio, podendo ser encontrada na forma virgem (sob a forma de óxidos de cálcio ou óxidos cálcio e magnésio, extinto em obra) ou hidratada (sob a forma de hidróxido de cálcio ou hidróxido de cálcio e magnésio).

A cal possui papel de melhorar as propriedades da argamassa, oferecendo uma melhor plasticidade e trabalhabilidade no estado fresco, além da capacidade de retenção de água, por impedir a sucção excessiva de água pela base. Já no estado endurecido, devido ao seu módulo de deformação, oferece à argamassa a capacidade de absorver deformações (RAGO & CINCOTTO, 1999).

Em seus estudos de reologia utilizando pastas com diferentes cales, Rago & Cincotto (1999), observaram que o tipo de cal influencia na trabalhabilidade. Neste estudo, a pasta produzida com cal CH-III magnesiana apresentou maior fluidez, seguida da cal CH-I magnesiana, CH-III cálcica e CH-I cálcica, para pastas de mesma relação água/materiais secos. Desta forma, Silva (2006) reforça que a cal para ser utilizada na argamassa deve estar na forma hidratada ou extinta, obedecendo aos critérios de finura, quantidade, composição e dosagem de aditivos compatíveis com o bom desempenho no revestimento.

2.3.3 Agregado

De acordo com a NBR 9935:2011, agregado é um material particulado, geralmente inerte quimicamente, com dimensões adequadas para a produção de argamassas e concretos. Os agregados são classificados de acordo com sua origem (natural ou artificial), dimensão das partículas (graúdo ou miúdo) e peso específico aparente (leves médios ou pesados).

Nas argamassas de revestimento, são utilizados os agregados miúdos, mais especificamente a areia. Esta é considerada o “esqueleto” do sistema de

revestimento por influenciar diretamente na resistência mecânica, aderência e a retração (BAUER, 2005).

A granulometria, forma e textura do agregado podem interferir nas propriedades da argamassa, uma vez que o uso excessivo de areias grossas compromete a trabalhabilidade e diminui a extensão de aderência. Se tratando de areias finas em elevada quantidade, estas aumentam o consumo de água da mistura e, conseqüentemente, podem promover fissuras por efeito da retração (ANTUNES, 2010).

2.3.4 Aditivos

Os aditivos são produtos químicos adicionados em pequenas quantidades à argamassa para modificar suas propriedades tanto no estado fresco quanto no endurecido. Estes aditivos químicos são classificados de acordo com sua função, sendo os mais utilizados os incorporadores de ar e os retentores de água.

O aditivo incorporador de ar é o mais empregado nas argamassas para melhorar a plasticidade, diminuir a quantidade de água e a fissuração. Segundo Recena (2012) estes aditivos tem a finalidade de formar bolhas que, ao serem incorporadas no aglomerante aumentam o volume de pasta da mistura. Sendo um agente tensoativo aniônico, o aditivo incorporador de ar possui propriedade hidrofílica (polar) e outra hidrofóbica (apolar), que quando adicionado na pasta cimentícia tem predisposição de adsorção nas interfaces, diminuindo a tensão superficial de água e garantindo a formação e a estabilização das bolhas de ar (TORRES *et al.*, 2014).

Já os aditivos retentores de água, são polímeros que possuem a função de manter a argamassa aplicável por um período de tempo sem alterar a trabalhabilidade, em situações que provoquem a perda de água, seja por evaporação, sucção do substrato ou reações de hidratação. Além de reter água, estes aditivos também aumenta a viscosidade da fase aquosa da mistura (Bauer, 2005).

Existem ainda os aditivos estabilizadores de hidratação, que têm a função de controlar a reação de hidratação do cimento, inibindo a formação de hidratos enquanto a argamassa estiver saturada. No entanto, seu uso deve ser controlado para evitar imprevistos com o tempo de pega, uma vez que a depender do tipo de

cimento utilizado, altos teores deste aditivo podem provocar um atraso ou pega imediata (HARTMANN *et al.*, 2011; BAUER *et al.*, 2015).

2.3.5 Argilominerais

Os argilominerais, também conhecidos como saibros, são adicionados em argamassas de assentamento e de revestimentos para incrementar a plasticidade e obter trabalhabilidade apropriada. O saibro é um solo originado do granito e gnaisses e de outras formações geológicas, sendo formado com preeminência de areia, silte e com baixo teor de argila (OLIVEIRA *et al.*, 2009).

Segundo Silva (2006), as características físicas e mineralógicas dos saibros influenciam na aderência das argamassas de assentamento e de revestimento, favorecendo o surgimento de fissuras associadas ao seu uso indiscriminado, aleatório e da inexistência de uma norma técnica para assegurar os limites de utilização e garantir o desempenho da argamassa. Oliveira *et al.* (2009) acrescentam que a granulometria dos saibros apresentam uma elevada heterogeneidade e, conseqüentemente, dificulta a compatibilidade das características do sistema de revestimento.

Utilizada em larga escala na década de 90, as argamassas com argilominerais quando aplicadas em revestimentos de fachada apresentavam patologias frequentes, como por exemplo, pulverulência superficial e fissuras. Segundo Gomes & Neves (2002) que desenvolveram um método de dosagem específico para este tipo de argamassa, as patologias encontradas eram decorrentes da ausência de dosagem dos agregados, no qual o consumo de adições argilosas utilizado na mistura era em torno de 50% da quantidade total de agregados. Desta forma, as proporções adequadas pelos autores são de até 35% de adição de argilomineral, com uma ressalva que o limite do teor de finos deve ser de no máximo 7%.

Atualmente, a utilização deste tipo de argamassa se encontra escassa principalmente pelo surgimento de manifestações patológicas e pela qualidade da argamassa no desempenho da sua função.

2.4 Propriedades da Argamassa no estado fresco

2.4.1 Plasticidade

É a propriedade que a argamassa tende a permanecer deformada após a remoção das tensões de deformação (CARASECK, 2010). Recena (2012) menciona que as argamassas de revestimento de paredes devem ter maiores plasticidades e que essa característica é obtida pelo aumento de volume da pasta através do incremento da quantidade de água para sua produção. O aumento da plasticidade permite de forma imediata a aderência com o substrato, assim como um melhor acabamento da superfície.

De acordo com Rago e Cincotto (1999), o uso da cal possibilita maiores plasticidades e melhora a trabalhabilidade das argamassas, além de contribuir na para uma melhor produtividade na execução do revestimento.

2.4.2 Trabalhabilidade

Entende-se por trabalhabilidade a facilidade que a argamassa possui para ser aplicada na superfície do substrato, mantendo uma consistência suficiente para que não se agregue durante a aplicação. Carasek (2007) define a trabalhabilidade como a capacidade que a argamassa possui de espalhar-se por uma superfície composta de saliências, reentrâncias e fissuras, impondo um contato entre a argamassa e o substrato, afetando a capacidade e extensão de aderência do revestimento.

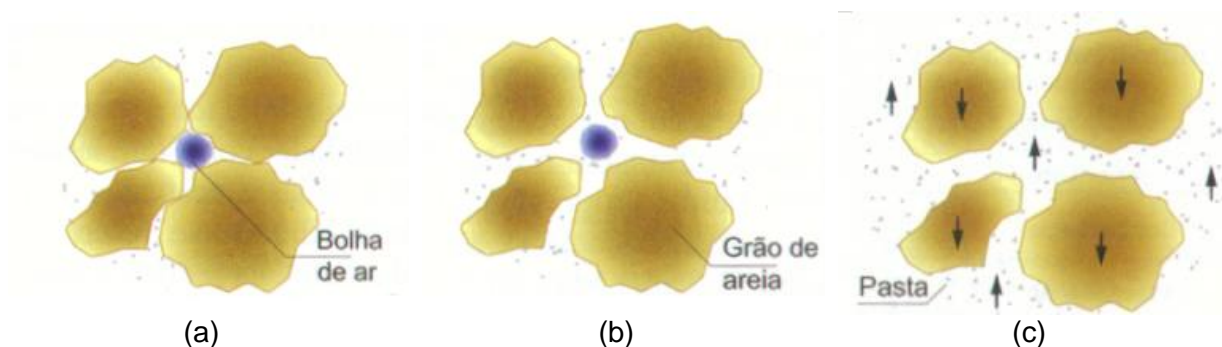
De acordo com Bauer (2005), argamassas que não possuem trabalhabilidade são facilmente identificadas, por exemplo, devido ao aspecto áspero, baixa ou elevada fluidez, segregação e exsudação excessiva, dificuldade de espalhar sobre a base de aplicação e de manuseio. Assim, a trabalhabilidade da argamassa pode ser influenciada pela dosagem dos materiais, características da base, tempo de mistura e execução.

2.4.3 Consistência

Consistência é explicada como a maior ou menor facilidade da argamassa deformar-se sob a ação de cargas (BAUER, 2005; CARASEK, 2007). A depender da quantidade de pasta existente ao redor dos grãos de agregados, a argamassa

pode ser classificada como seca, plástica ou fluida, conforme ilustrado pela Figura 3 (VALDEHITA ROSELLO *apud* CARASEK, 2007).

Figura 3. Representação esquemática da classificação das argamassas quanto à sua consistência ou fluidez: (a) Argamassa seca, (b) Argamassa plástica ou de consistência adequada e (c) Argamassa fluida.



Fonte: CARASEK, 2007.

A consistência adequada pode variar a depender do tipo de serviço que será executado. Para revestimentos de paredes a norma ABNT NBR 13276:2005 recomenda a utilização de argamassas com índice de consistência (espalhamento do tronco de cone na mesa ABNT) de 260 ± 5 mm.

2.4.4 Retenção de Água

A retenção de água está associada à capacidade da argamassa impedir a perda de água de amassamento por evaporação ou sucção pela base, sem alterar a sua trabalhabilidade.

A perda precoce de água compromete as reações de hidratação do cimento, causando danos à resistência mecânica, à aderência, à capacidade de absorver deformações e, conseqüentemente, na durabilidade (Maciel *et al.*, 1998).

Desta forma, se a argamassa apresentar uma excessiva capacidade de reter água, significa que a perda de água de amassamento será lenta e a resistência mecânica terá um aumento progressivo, garantindo uma melhor estruturação do material e minimizando os processos de fissuração. Esta capacidade de reter água reflete na garantia da aderência dos substratos, evitando o deslocamento das camadas aplicadas nos revestimentos (RECENA, 2012).

Bauer (2005) destaca duas formas de incrementar a retenção de água da argamassa. A primeira corresponde ao aumento do teor de materiais com elevada área específica, utilizando o saibro e cal, que são materiais constituídos de partículas muito finas e viabiliza uma maior área molhada devido à elevada área específica, mantendo água adsorvida nas partículas por meio de tensões superficiais. A segunda maneira é utilizar aditivos retentores de água, composto de derivado de celulose que impedem a perda de água.

2.5 Propriedades da Argamassa no estado endurecido

2.5.1 Deformação admissível

As argamassas se deformam devido às solicitações impostas por carregamento, retração, acomodação da alvenaria ou até mesmo por variações térmicas. Desta forma, para o sistema de revestimento é aconselhado que a argamassa seja capaz de absorver tensões sem se romper ou fissurar drasticamente.

Absorver deformação é a capacidade do revestimento de deformar devido à aplicação de uma tensão sem ocorrer ruptura. Está relacionada ao módulo de elasticidade da argamassa, que é entendida como a tensão necessária para promover deformação de uma unidade de comprimento medida sobre um corpo de prova (RECENA, 2012). Este módulo de elasticidade está relacionado com a resistência mecânica do material, no qual um material que possui grande deformabilidade, ou seja, de baixo módulo de elasticidade, apresenta baixa resistência à compressão.

Silva (2006) acrescenta que o sistema de revestimento possui diversas camadas sobrepostas com propriedades distintas que necessitam compatibilizar os módulos de elasticidade, devido às solicitações térmicas que geram tensões e uma predisposição à deformação diferencial entre as camadas, ocasionando patologias com o surgimento de fissuras e deslocamento de cerâmicas.

Esta propriedade depende também da espessura das camadas do revestimento, da existência de juntas de trabalho e da técnica de execução. Embora maiores espessuras das camadas ocasionem à retração e perda de aderência, elas propiciam uma melhor deformabilidade. As juntas de trabalho por sua vez,

contribuem por delimitar panos com dimensões menores, compatíveis com as deformações. Por fim, a aplicação e o acabamento devem ser executados de acordo com as especificações técnicas, respeitando o tempo de execução, de modo a não originar fissuras (MACIEL *et al.*, 1998).

2.5.2 Resistência mecânica

A resistência mecânica das argamassas consiste na capacidade de resistir a esforços de tração, compressão ou cisalhamento resultantes de cargas estáticas ou dinâmicas, ou ainda decorrentes das condições ambientais. Ressalta-se que nos revestimentos de argamassa, as maiores solicitações de resistência são de tração ou cisalhamento (NAKAKURA & CINCOTTO, 2004).

Deste modo, a propriedade mecânica da argamassa depende do consumo e da natureza dos agregados e aglomerantes, tal como a técnica de execução durante a sua aplicação e acabamento, uma vez que argamassas com elevadas resistências, possuem elevado módulo de elasticidade e forte tendência à retração o que potencializa o surgimento de fissuras nos revestimentos.

De acordo com Silva (2011), a intensidade das tensões e a capacidade da argamassa resistir a estas tensões de tração nela induzidas pelo efeito da restrição da retração, devido principalmente, pela aderência ao substrato, são fatores que interferem na resistência do revestimento à fissuração. Para o *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment* (CSTB, 1993), a tendência à fissuração aumenta com o aumento da retração de secagem e, também, quanto maior for a resistência de tração na flexão desenvolvida na argamassa devido à retração restringida. Desta forma, os parâmetros considerados para avaliação de susceptibilidade à fissuração de revestimento de argamassa de acordo com o CSTB (1993) são: retração por secagem, módulo de elasticidade, e pela relação do módulo de elasticidade e resistência à tração na flexão (Tabela 2).

Tabela 2. Critérios de suscetibilidade quanto à fissuração.

| Características (aos 28 dias) | Critérios de classificação quanto à fissuração | | |
|--|---|-----------------------------------|----------------------------------|
| | Baixa susceptibilidade | Média susceptibilidade | Alta susceptibilidade |
| Retração por secagem (m/m) | $DI/I \leq 0,7$ | $0,7 < DI/I < 1,2$ | $DI/I \geq 1,2$ |
| Módulo de elasticidade (MPa) | $E \leq 7000$ | $7000 < E < 12000$ | $E \geq 12000$ |
| Módulo de elasticidade/resistência à tração na flexão (E/Rt) | $E/Rt \leq 2500$ | $2500 < E/Rt < 3500$ | $E/Rt \geq 3500$ |

Fonte: CSTB, 1993.

Segundo VEIGA (1998), ao relacionar a resistência à tração na flexão e a resistência à compressão (R_t/R_c) da argamassa, pode-se avaliar susceptibilidade à fissuração de revestimentos de argamassa. Isto é possível devido esta relação ser um indicador de ductibilidade da argamassa, visto que a variação entre a ruptura por tração na flexão e a ruptura por compressão se deve, principalmente, à fragilidade.

Silva (2011) em sua avaliação da fissuração em revestimentos de argamassas e para medidas de retração livre e restringida a partir da moldagem, observou em seus resultados que a avaliação da fissuração pelo o método do *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment* (CSTB, 1983), não se mostrou eficiente para os resultados dos ensaios apresentados na pesquisa devido a retração por secagem, no entanto, substituindo a retração por secagem por retração livre linear, medida nas primeiras 24 horas, o método se mostrou eficaz nas primeiras idades. Já utilizando o indicador ductibilidade, o autor explica que no seu estudo, esta relação é mais pertinente para avaliação da susceptibilidade de fissuração de revestimentos em idades mais avançadas.

Se tratando da avaliação da resistência mecânica das argamassas no Brasil, atualmente adotam-se os procedimentos de ensaios prescritos na NBR 13279:2005 (*“Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão”*). Os corpos de prova prismáticos (4 cm x 4 cm x 16 cm) utilizados neste ensaio, de acordo com Nakakura & Cincotto (2004) indicam uma melhor simulação do comportamento da argamassa aplicada na base, devido a espessura do corpo de prova (4 cm) se aproximar daquela utilizada no revestimento de argamassas.

2.5.3 Aderência

Aderência é a capacidade da interface do revestimento e da base resistir a esforços de tração e cisalhamento (CRESCÊNCIO & BARROS, 2005). Já Thurler & Ferreira (1995) definem aderência como a ligação de natureza atômica ou molecular existente na interface entre um corpo sólido e outro qualquer. Estas ligações segundo os autores podem ser de origem física, mecânica ou química.

De acordo com Silva (2006), as ligações químicas ocorrem por meio de forças eletrostáticas de Van Der Waals, relativamente fraca. Segundo Carasek *et al.* (2001), o mecanismo de aderência da argamassa endurecida ao substrato é basicamente mecânico, devido à penetração da matriz de pasta de ligante ou da própria argamassa nas irregularidades superficiais da base de aplicação. A resistência de aderência pode ser explicada através do intertravamento de cristais de etringita nos poros do substrato. Quando o cimento Portland se mistura com a água, os primeiros componentes que se dissolvem são a gipsita e o aluminato tricálcico, liberando íons sulfato (SO_4^{2-}), cálcio (Ca^{2+}) e aluminato (AlO_4^{4-}). Esses íons em solução são transportados para os poros capilares do substrato, através da absorção capilar proporcionado pela base porosa, formando assim a etringita. A zona de contato argamassa/substrato e poros superficiais da base são preenchidos com maior abundância pela etringita e com menor quantidade por outros produtos de hidratação do cimento, como o C-S-H ou até mesmo por produtos provenientes da carbonatação da cal (calcita) (CARASEK *apud* CARASEK *et al.*, 2001).

A aderência ainda pode sofrer significativas interferências devido às características do substrato, propriedades das argamassas no estado fresco, forma de execução da camada de revestimento ou até mesmo por variações ambientais.

2.6 Detalhes Construtivos do projeto de revestimento

O detalhamento de um projeto deve considerar a natureza e tipos de materiais que irão ser empregados, assim como, a condição de exposição da edificação e as técnicas de execução. Deve ainda prever a deformação da estrutura e especificar a localização de juntas de trabalho para garantir um correto funcionamento dos seus componentes.

Segundo Maciel *et al.* (1998), o projeto de revestimento de argamassa possibilita aumento da qualidade de execução do serviço, além de reduzir falhas,

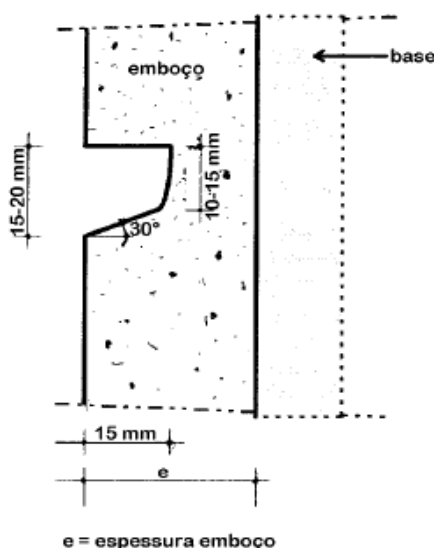
desperdícios e custos. Os autores afirmam que detalhes construtivos, como por exemplo, juntas de trabalho, peitoris e reforço de tela metálica devem ser especificadas no projeto, para contribuir com um correto desempenho do sistema construtivo.

2.6.1 Juntas de movimentação

A junta de movimentação (de trabalho) permite o alívio das tensões produzidas pela movimentação da base ou do próprio revestimento quando submetidos a uma variação térmica e, conseqüentemente, evita que o revestimento se movimente e ocasione fissuras.

As recomendações propostas por Maciel *et al.* (1998), estabelecem a inserção de juntas horizontais em cada pavimento e verticais a cada 6 metros de distância, considerando painéis superiores a 24 m². Devem ser previstas no encontro da alvenaria com a estrutura, no encontro de dois de diferentes revestimentos, nos peitoris ou topos das janelas, seguindo as juntas de trabalho do substrato e das juntas estruturais. Segundo os autores, as profundidades desta junta equivalente à metade da espessura da camada do revestimento e, no mínimo, de 15 mm, devendo ser deixado pelo menos, no fundo da junta 10 mm de revestimento, conforme mostra a Figura 4.

Figura 4. Detalhe da execução da junta de movimentação.



Fonte: Maciel *et al.* (1998).

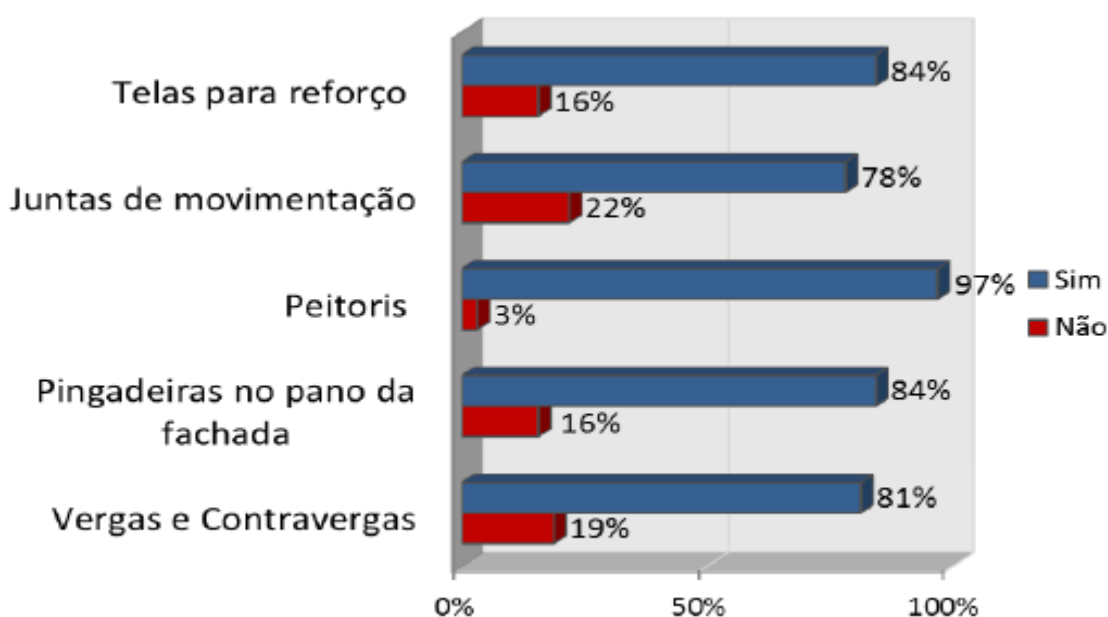
2.6.2 Reforço com telas

Sendo utilizadas comumente para reparar fissuras e reforçar sistemas de revestimento de argamassa, as telas exercem função de disseminar as tensões e garantir maior segurança, durabilidade e resistência nas camadas de revestimentos das fachadas (Antunes, 2016).

É importante compatibilizar o tipo de tela com a matriz cimentícia para obter melhorias nas propriedades do compósito, levando em consideração os detalhes construtivos. Dentre estes detalhes construtivos mais utilizados, as telas são indicadas em projetos de fachada sempre que houver mudança de material; região de verga e contraverga; platibanda e para fortalecer reforço de revestimento com espessuras exageradas (ANTUNES, 2016). De acordo com a NBR 13755:1996 devem utilizar telas sempre que as espessuras dos rebocos ultrapassarem 25 mm, com intuito de evitar deslocamento e garantir uma uniformidade e estabilidade do revestimento externo.

Em uma pesquisa realizada por meio de aplicação de um questionário respondido em 32 empreendimentos na cidade de Porto Alegre, Fernandes *et al.* (2015), constatou que 84% das construções utilizam tela como reforço de revestimento, evidenciando a larga escala de utilização e a importância do aperfeiçoamento da técnica (Figura 5).

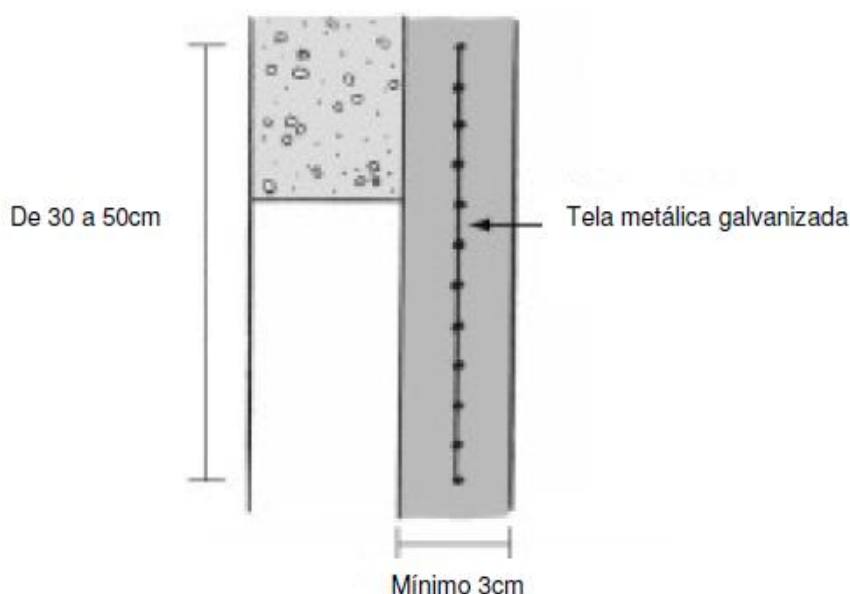
Figura 5. Uso dos detalhes construtivos na cidade de Porto Alegre.



Fonte: Fernandes *et al.*(2015).

Para função de argamassa armada (reboco reforçado), é necessário que o emboço possua espessura superior a 30 mm e que a tela seja instalada na metade da espessura total do emboço, conforme mostra a Figura 6. Para tanto, primeiramente deve-se aplicar a primeira metade do emboço na superfície e realizar o alisamento da camada, em seguida, aplica-se a tela comprindo-a contra a argamassa para obter aderência, por fim, a segunda camada do emboço deve ser aplicada (MACIEL *et al.*, 1998; SILVA, 2006).

Figura 6. Utilização da tela como reforço do emboço.



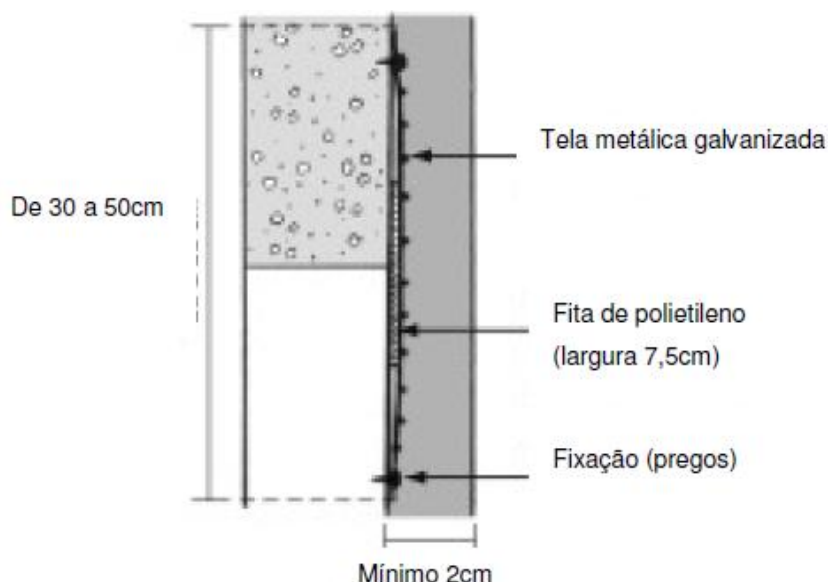
Fonte: Manual de revestimento, ABCP (2003).

Alguns autores recomendam a fixação da tela na estrutura por meio de pinos galvanizados inseridos na alvenaria ou na camada anterior. Costa e Silva *et al.* (2003), recomenda a fixação da tela 16 horas após a execução da primeira camada de revestimento de forma que uma parcela significativa da retração já tenha ocorrido, evitando assim uma queda prematura da argamassa devido a uma falha de ancoragem entre as camadas. Costa *et al.* (2010) acrescentam que os fixadores devem ser espaçados de acordo com maleabilidade da malha da tela utilizada, no qual quanto mais rígida for a malha maiores serão os espaçamentos utilizados, em contra partida, quanto mais maleável for a malha, menores serão os espaçamentos.

Para a tela ter função de transmissão de esforços, a tela é utilizada diretamente quando há troca de material, onde segundo a NBR 7200:1998, deve ser

aplicada na junção de base composta de diferentes materiais se for submetida a esforços que gerem deformações diferenciais como, por exemplo, em balanços, platibandas e últimos pavimentos. Para tanto, deve-se instalar uma tira de fita de polietileno sobre a interface alvenaria/concreto e em seguida, coloca-se a tela metálica galvanizada sobre a base, fixando-a com parafusos, pinos ou grampos em suas extremidades (Figura 7). A argamassa é aplicada sobre o conjunto de modo que a tela fique imersa no revestimento com 20 mm de espessura mínima do emboço (MACIEL *et al.*, 1998; SILVA, 2006).

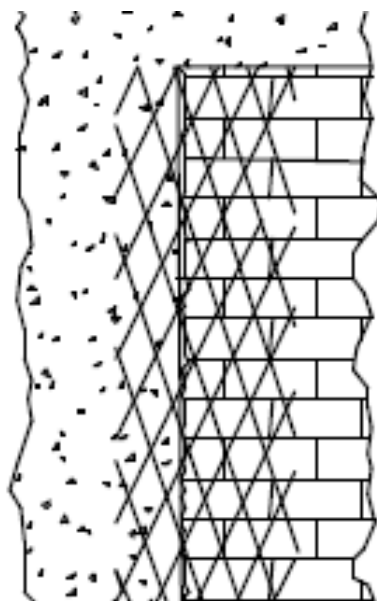
Figura 7. Utilização da tela como ponte de transmissão de tensões.



Fonte: Manual de revestimento, ABCP (2003).

Quando a tela não é prevista no projeto em áreas de mudança de material, as fissuras por retração podem aparecer. A recuperação ou prevenção destas fissuras é alcançada conforme a NBR 7200:1998, aplicando uma tela metálica no encontro com do concreto, considerando um transpasse de 20 cm para cada um dos lados de acordo com a Figura 8.

Figura 8. Recuperação de destacamento entre pilar e parede.



Fonte: OLIVEIRA, 2001.

O reparo deve ser realizado sempre considerando as fissuras ativas (que apresentam movimentação), pois pequenas mudanças na abertura continuam a ocorrer em função das variações térmicas e higroscópicas da alvenaria e do próprio revestimento (LORDLEEM JÚNIOR, 1997).

Sahade *et al.* (2013) avaliaram o comportamento de cinco tipos de tratamento de fissuras existentes no mercado nacional quanto às etapas de aplicação, as qualidades e dificuldades encontradas de cada produto com relação à reincidência de fissuras. Segundo os autores, somente nos casos onde estavam sujeitas a grandes tensões e na ausência de qualquer tipo de reforço houve a reincidências das aberturas de fissuras e desta forma, a escolha do tratamento deve ser aplicado conforme a monitoração prévia das fissuras e análise do seu sistema construtivo. Dentre os métodos utilizados para recuperar as fissuras, os autores utilizaram tela de poliéster e massa acrílica, obtendo facilidade na quantidade de serviços e no custo dos materiais. Basicamente, o autor realizou aberturas de sulcos nas fissuras para aplicação da primeira camada de massa acrílica, seguida da colocação da tela e da segunda camada de massa acrílica.

Segundo Thomaz (2006) a abertura de sulcos na região da trinca com aproximadamente 10 mm de profundidade, podendo ser recuperada com tinta elástica a base de resina acrílica, reforçada com tela de náilon de 10 cm de largura. Além disso, o autor ressalta que a recuperação ideal para fissuras ativas é a

utilização de selantes flexíveis, como por exemplo, silicones e poliuretano. No entanto, o autor não descarta a recuperação das fissuras com aplicação de telas metálicas leves e preenchidas com argamassa mista.

Nota-se que existem várias técnicas de evitar e corrigir fissuras no revestimento utilizando telas. Com isso, o uso da argamassa armada permite um melhor desempenho dos componentes do sistema de revestimento, possibilitando redução das patologias encontradas em mudança de material e em camadas espessas do reboco, além de recuperar fissuras e aumentar a resistência da alvenaria.

3 ARGAMASSA ARMADA

A argamassa armada é um material compósito, constituído de diferentes malhas de arame de aço e matriz de argamassa. Segundo Lalaj *et al.* (2015), diferentes tipos de telas podem ser usadas para produzir a argamassa armada, dependendo dos requisitos da aplicação.

A utilização da argamassa armada exige conhecimento sobre o comportamento mecânico do material a ser utilizado como reforço, tal como suas propriedades, durabilidade na condição de aplicação, desempenho estrutural e suas particularidades para uso no sistema estrutural. Segundo Ramires (2007), a argamassa armada se comporta mecanicamente de forma similar ao concreto armado, contendo as seguintes características:

- Quando submetidos a baixos níveis de tensão de tração axial, a argamassa e o aço resistem em conjunto aos esforços, no qual cada um resiste a uma fração de esforços proporcional a sua rigidez.
- Ocorrendo aumento da tensão de tração, a rigidez do conjunto argamassa-aço é reduzida, ocorrendo microfissuras na argamassa e após a sua fratura, a armadura suporta todos os esforços de tração.
- Aumentando-se ainda mais os esforços de tração aparecem micro-fissuras próximas à primeira fissura e falhas de aderência entre o aço e a argamassa. Este fato contribui para o agravamento das fissuras na direção da superfície das peças.

Ramires (2007) explica que o espaçamento e o diâmetro da armadura influenciam no comportamento da argamassa, podendo conter às micro fissuras nas argamassas antes de sua propagação se utilizar armaduras pouco espaçadas.

Apesar do crescimento da utilização da argamassa armada como material de reparo e reforço para estruturas de concreto e de alvenaria, ainda existem dúvidas em relação à possibilidade de corrosão da armadura devido à pequena espessura do revestimento (OLIVEIRA, 2001).

3.1 Tipologia das telas utilizadas para reforço em argamassas

Se tratando dos tipos de telas empregadas nos ramos da construção civil, estas podem ser classificadas em armadura difusa e discreta. Chamelete (1999) afirma que a armadura difusa é constituída de fios de pequeno diâmetro, pouco

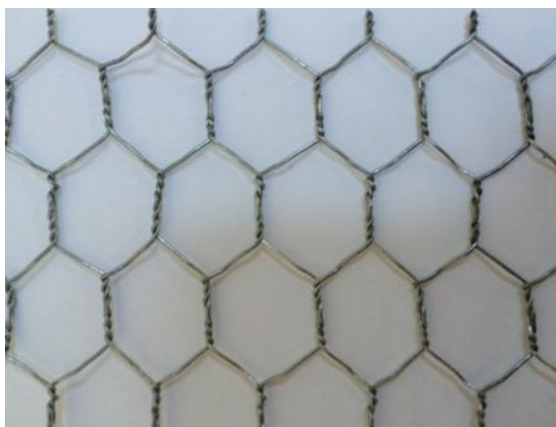
espaçados e distribuídos de forma uniforme na argamassa. Já a armadura discreta, possui função de suporte à armadura difusa, beneficiando a mesma com fios e barras de aço para resistir aos esforços solicitantes.

A aplicação da armadura difusa na argamassa armada visa então em resistir aos esforços de tração na região instalada, promovendo fissuras pouco espaçadas e de menor abertura. Ao contrário, a discreta fortalece e facilita a instalação da tela da armadura difusa, além disso, pode complementar de forma localizada à insuficiência de seção transversal de aço para que sejam obedecidos os requisitos de segurança à ruptura e deformações excessivas (PANIAGO & HANAI, 2002).

Dentre as telas classificadas como difusas, podem ser encontradas como tecidas (malha quadrada, retangular ou hexagonal), soldadas (de malhas quadradas ou retangulares) e chapas expandida.

De acordo com Paniago & Hanai (2002), as telas de malha hexagonal são produzidas para construções de viveiros de pequenos animais e aves, conhecidas popularmente com “telas de galinheiro”. São telas que possuem resistência mecânica devido à geometria e entrelaçamento dos fios e por isso, são aplicadas na argamassa armada para uso em obras rurais de pequeno porte ou ainda em moldagem artesanais sem o uso de fôrmas. Usualmente em argamassa armada as bitolas de telas hexagonais têm arames de diâmetro 0,559 mm ou 0,711 mm (nº 24 ou nº 22 pela escala Birmingham Wire Gauge - BWG) e malha de 1/2 polegada. Um exemplo da malha hexagonal de malha de 1/2 polegada e fio de diâmetro 0,559 é mostrada na Figura 9.

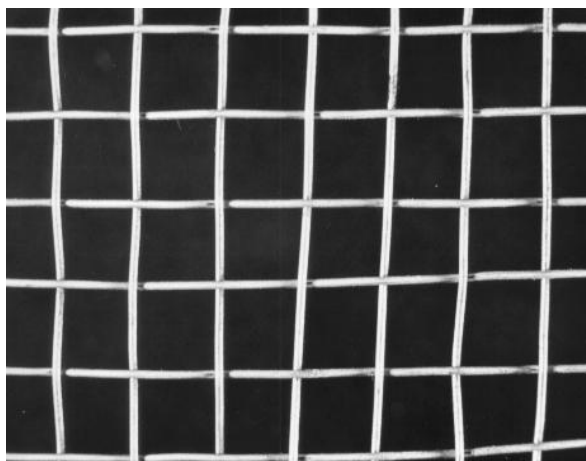
Figura 9. Tela hexagonal de 1/2 polegada.



Fonte: A autora.

A tela tecida de malha quadrada ou retangular é conhecida como telas de “peneira”, composta por arames galvanizados ou não galvanizados, entrelaçados formando malhas quadradas (Figura 10).

Figura 10. Tela entrelaçada de malha quadrada.



Fonte: CHAMELETE, 1999.

Esta tela possui boa maleabilidade podendo se adaptar a peças complexas, no entanto, são menos eficientes no controle das fissuras devido à maior deformabilidade dos fios entrelaçados. Segundo Chamelete (1999), ao aplicar a tela de peneira, deve-se considerar que quando os fios longitudinais são tracionados sofrem uma predisposição a uma retificação, provocando um incremento de tensões na região dos fios transversais e aumento na abertura das fissuras.

Se tratado das telas soldadas, estas são formadas por fios de aço retilíneo, dispostos para formar malhas quadradas ou retangulares, eletrosoldados nos cruzamentos (Figura 11). Muito utilizada em argamassa armada, possui um maior módulo de deformação em comparação às outras telas deformáveis e, consequentemente, oferece melhor controle de fissuração. Estas telas são exclusivamente utilizadas para reforço estrutural, já que o material possui melhores características para esta função (CHAMELETE, 1999).

Figura 11. Tela eletrosoldada de malha retangular.



Fonte: A autora.

A tela de metal expandido, também conhecida como *deployée*, é obtida industrialmente, por meio de finas chapas de aço que sofrem perfurações e são expandidas no sentido transversal, no qual dependendo do tipo de corte podem ter malhas losangulares ou hexagonais, conforme apresenta a Figura 12 (ANTUNES & MASUERO, 2016).

Figura 12. Tela *deployée*.



Fonte: ANTUNES & MASUERO, 2016.

Segundo Antunes & Masuero (2016), dentre as aplicações das telas de metal expandido, as que mais se destacam é a sua utilização em locais que se deseja a passagem livre de luz e ar, como grades de proteção, portões, pisos, plataformas e na execução de estuques em gesso ou argamassa. No entanto, as autoras explicam que estas telas são mais deformáveis e não possuem eficiência no controle da

fissuração, uma vez que não conservam a forma da malha quando aplicadas nos revestimentos da argamassa.

Embora apresente resistência equivalente às telas soldadas na direção perpendicular à expansão da chapa, seu uso ainda é pouco comum no Brasil. No entanto, a resistência mecânica onde ocorre a expansão da chapa é bastante inferior, e por isso recomenda-se que não sejam utilizadas em estruturas bidimensionais sem o suporte de outras telas instaladas alternadamente (CHAMELETE, 1999).

Por fim, as telas de polietileno são encontradas comercialmente para reforçar o revestimento de argamassa (Figura 13). Este tipo de fibra polimérica, segundo Bentur & Mindess (1990) comparadas às fibras vegetais e metálicas, apresenta vantagem como reforço por não se degradar pela ação de bactérias, resistir ao meio alcalino do cimento e não desenvolver corrosão. No entanto, estas fibras possuem baixo módulo de elasticidade, não contribuindo diretamente para uma melhora na resistência à tração direta dos compósitos por ela reforçados, embora apresentem melhorias na tenacidade.

Figura 13. Tela de polietileno malha hexagonal.



Fonte: A autora.

Como mencionado, são vários os tipos de telas que podem ser indicados para reforço e reabilitação dos revestimentos. Desta forma, é de extrema importância caracterizar estas telas para conhecer o desempenho das suas funções no revestimento, porém não existem normas brasileiras que considerem o ensaio de tração em telas.

Antunes & Masuero (2013) propôs um método de ensaio de tração em telas metálicas utilizando como base as normas NBR 6207:1982, NBR ISO 6892: 2002 e ASTM E8/E8M: 2011 para ensaios em fios. Para tanto, as autoras criaram um dispositivo para distribuir as cargas nas amostras com dimensões 30 x 50 cm de uma tela metálica eletrosoldada galvanizada, de malha quadrada 25 x 25 mm e fio de 1,24mm, utilizando uma velocidade de carregamento de 0,05 KN/s. Os resultados obtidos não apresentaram diferenças significativas comparado com o ensaio do fio de aço, sendo considerado, portanto, um método de ensaio apto para aquisição da resistência à tração das telas.

Já Pozzobon *et al.* (2014), analisaram a resistência à tração das telas utilizando os mesmos critérios de Antunes & Masuero (2013), porém estudando quatro diferentes tipos de telas que foram a tela eletrosoldada metálica; hexagonal metálica; tela fibra de vidro e tela de PVC. Os valores médios das resistências à tração encontrada pelos autores foram de 465,65 MPa para a tela eletrosoldada metálica; 99,67 MPa para a hexagonal metálica; 133,23 MPa para tela fibra de vidro e 15,37 MPa para a tela de PVC. Nota-se que as telas de viveiro e de PVC não apresentaram valores satisfatórios de resistência, principalmente a tela de PVC que obteve elevada deformação.

Observa-se a importância de estudos em avaliar o desempenho das telas nos revestimentos armados e a sua contribuição na construção de projetos e execução de revestimentos.

3.2 Avaliação da argamassa armada no sistema construtivo.

Atualmente, existe uma preocupação em avaliar e obter um melhor aproveitamento dos sistemas construtivos, especialmente em relação à alvenaria estrutural e em técnicas construtivas de revestimento de fachadas. Neste contexto, vários pesquisadores vêm estudando o comportamento de alvenarias e revestimento com variados métodos construtivos a fim de obter um melhor resultado para aplicação na construção civil.

Costa e Silva *et al.* (2003), avaliaram o desempenho de argamassas reforçadas com tela metálica e com fibra de polipropileno para distribuição das cargas pontuais localizadas. Desta forma, os autores realizaram ensaio de tração na flexão utilizando 4 corpos de prova prismáticos de (5 x 10 x 40) cm, sendo 2 telas

com fibras de polipropileno, nos teores de 1000 g/m³ e 2500 g/m³ e as outras 2 com telas metálicas galvanizadas, uma de malha de 14 mm quadrada e eletrosoldada com fios de diâmetros 1,50 mm e a outra de malha hexagonal e trançada de 1/2" com diâmetro de fio de 0,56 mm. Além disso, foram instalados extensômetros eletrônicos na metade do corpo de prova para medir o comportamento da deformação.

Os ensaios mostraram que as argamassas com reforço de telas quadradas rígidas apresentaram melhores resultados na capacidade resistente e na distribuição de esforços, devido ao aparecimento de menores aberturas de fissuras. Ao contrário, as argamassas armadas com tela hexagonal apresentaram um baixo desempenho e, conseqüentemente, são insuficientes para o controle de aberturas de fissuras. Se tratando das argamassas contendo teores de fibras, os valores da resistência residual pós-ruptura foi levemente superior para as argamassas contendo um maior teor de fibras, no entanto, é evidente que com os teores trabalhados não houve capacidade de resistir às tensões e prevenir o surgimento de fissuras mais espaçadas. Portanto, existe ainda a necessidade de estudos sobre o tipo de reforço para argamassa, tal como a determinação de instalação das telas.

Gomes *et al.* (2007), analisaram o reforço de argamassas com quatro tipos de tela sendo uma metálica quadrada galvanizada de malha de 25 x 25 mm; metálica com malha hexagonal e abertura de 12,5 mm; de poliéster engomado com abertura de malha quadrada de 2 mm e de poliéster revestido com PVC, com abertura de 5 mm. Nos ensaios de flexão, os autores utilizaram corpos de prova prismáticos (500 mm x 150 mm x 30 mm) para analisar o desempenho das telas próximo à superfície e no meio da camada de argamassa, considerando dois tipos de exposição (ambiente externo e ciclos de molhagem e secagem). Além disso, os autores avaliaram à tração na compressão diametral através de corpos de prova cilíndricos (50 mm x 100 mm) contendo telas na superfície. Desta forma, de acordo com os resultados os autores concluíram que a tela galvanizada, apresenta melhorias após ciclos de molhagem e secagem, sugerindo que o uso desta tela no sistema de revestimento de fachadas, em locais úmidos e sujeitos à ação do calor pode favorecer o comportamento das fachadas.

Se tratando da análise dos ensaios de tração por compressão diametral, a Tabela 3 apresenta a resistência média como o valor da resistência no início da

fissura e os valores entre parênteses indicam a resistência na ruptura dos corpos-de-prova.

Tabela 3. Valores médios da resistência à tração por compressão diametral e sua relação com a da argamassa sem tela.

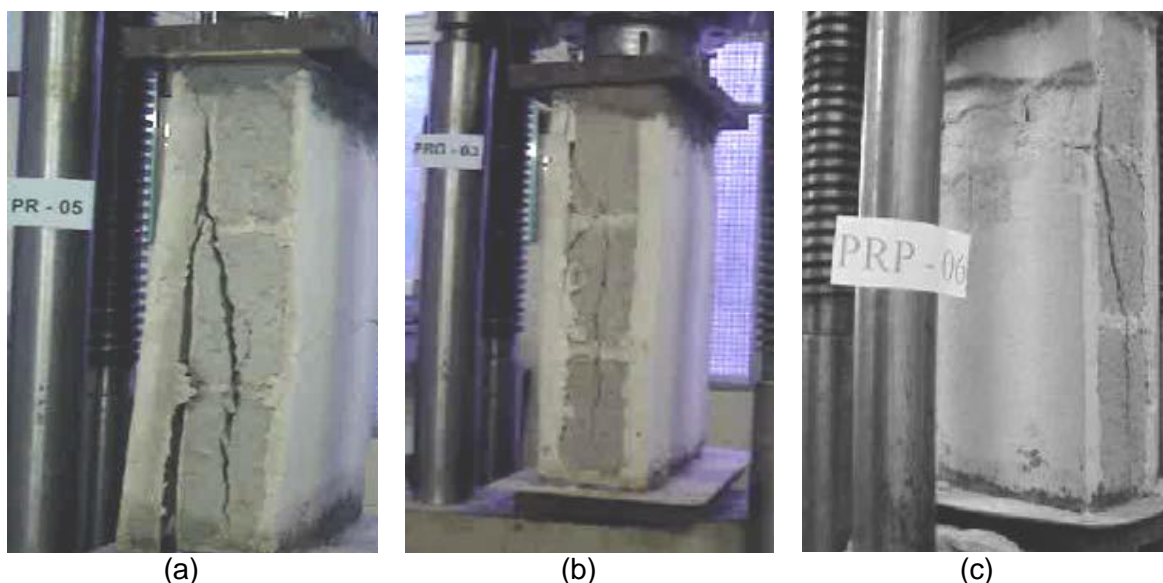
| Amostra | Resistência Média (MPa) | Relação com tela/sem tela |
|----------------|--------------------------------|----------------------------------|
| Sem tela | 0,54 | - |
| Viveiro | 0,55 (0,69) | 1,0 (1,3) |
| Galvanizada | 0,45 (0,86) | 0,8 (1,6) |
| Poliéster | 0,65 | 1,2 |
| PVC | 0,61 | 1,1 |

Fonte: Gomes *et al.* (2007).

Com base nos resultados da Tabela 3, observa-se que as argamassas com telas metálicas, de malha quadrada e de viveiro, mantiveram capacidade de absorver cargas, mesmo após o início da fissuração e, portanto, os autores afirmam que o uso de telas no sistema de revestimento é mais eficiente quando a tela é instalada próxima à superfície externa.

Silva *et al.* (2008), analisaram através de ensaio de compressão axial o comportamento estrutural de prismas de blocos de concreto de vedação, reforçados com argamassa armada. Para este estudo, foram avaliados os reforços das argamassas de revestimento com telas de aço galvanizado com fios de 2,6 mm de diâmetro e espaçamento de 5 cm na direção horizontal e 10 cm na vertical e com telas eletrosoldadas nervuradas de aço com diâmetro dos fios de 4,2 mm e espaçamento de 10 cm nas direções horizontal e vertical. A ruptura dos prismas confeccionados com 3 blocos e revestidos em ambas as faces com argamassa armada é apresentada na Figura 14.

Figura 14. Ruptura dos prismas. (a) Revestimento sem tela; (b) Revestimento com tela galvanizada e (c) Revestimento com tela eletrosoldada de aço.



Fonte: Silva *et al.* (2008).

De acordo com os resultados encontrados no ensaio de compressão axial e com a forma de ruptura (Figura 14), a adição da tela de aço no interior da argamassa, aumentou a capacidade de carga do prisma revestido com tela galvanizada em aproximadamente 23% e de 50% para o caso de tela eletrosoldada, além disso, estes prismas apresentaram ruptura menos brusca em comparação aos prismas revestidos somente com argamassa. Além disso, os autores observaram uma transferência de carga dos blocos para as camadas de revestimento de argamassa, após o início do processo de fissuração.

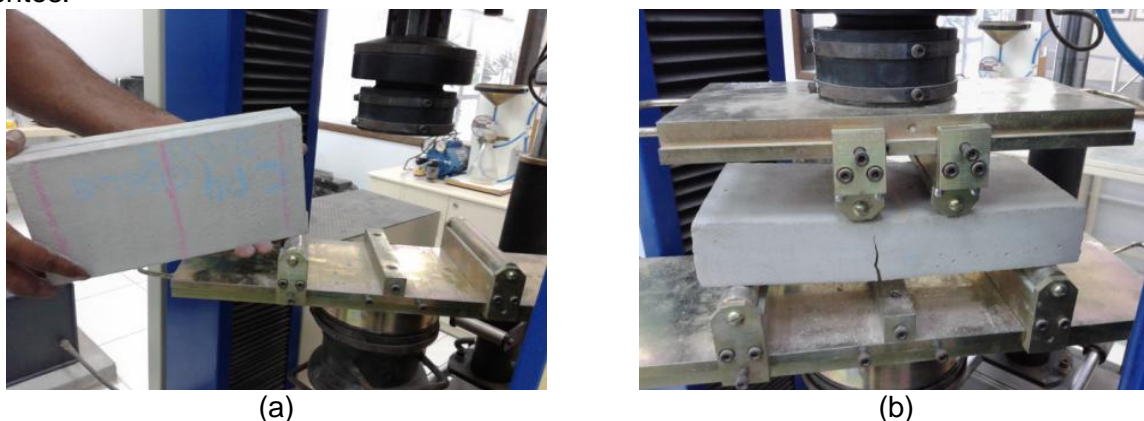
Portanto, o uso de argamassa armada aumentou a capacidade de carga dos prismas e as telas eletrosoldadas apresentaram melhores resultados devido a uma melhor aderência e uniformidade da seção de aço nas duas direções.

Mota & Oliveira (2013) com o objetivo de avaliar o reforço de alvenarias resistentes com aplicação de argamassa contendo adição de metacaulim, ensaiaram três classes de prismas utilizando blocos cerâmicos. A primeira classe consistia nos prismas de referência (sem argamassa de revestimento), a segunda nos prismas chapiscados (traço 1:4 – cimento e areia) e revestidos nas duas faces com argamassa fraca (traço 1:2: 9 – cimento, cal e areia) e por fim, a terceira classe foi à aplicação da argamassa de reforço sobre os prismas, onde se aplicou a argamassa armada (com espessura de 3 cm) e adição de metacaulim nas duas faces com traço

1:1:6:1,5 (cimento, cal, areia e relação água cimento). Vale ressaltar que a tela usada na argamassa armada era formada por fios de diâmetro de 5,0 mm a cada 10,0 cm ligados por dois conectores de 8,0 mm de diâmetro, aplicada nos dois lados do prisma da classe 2. Os autores concluíram que o reforço apresenta uma maior durabilidade com a adição do metacaulim e um aumento tanto na resistência mecânica quanto na ductilidade devido à armadura em malha e conectores. Além do aumento da resistência mecânica, os prismas contendo argamassa armada obtiveram elevados deslocamentos sem desmoronamentos.

Antunes *et al.* (2014) avaliaram o desempenho de argamassa armada com tela metálica eletrosoldada galvanizada de malha quadrada (25 x 25) mm de diâmetro de fio de 1,24mm, através do ensaio de tração na flexão de 4 pontos em corpos de prova de dimensão (15 x30 cm), até a ruptura da argamassa (Figura 15).

Figura 15. Ensaio de tração na flexão de argamassa reforçada com tela metálica. (a) Corpo de prova (15 x30 cm) e (b) Ruptura do corpo de prova pelo ensaio de tração na flexão de 4 pontos.



Fonte: Antunes *et al.* (2014).

Para a realização deste estudo, a tela metálica foi inserida na metade da espessura da camada da argamassa industrializada de 5 cm, em corpos de prova com dimensões de (15 x 30) cm, utilizando 20 exemplares. A resistência média à tração na flexão obtida foi de 1,68 MPa, com desvio padrão de 0,31 MPa e coeficiente de variação de 18,74%, certificando uma reduzida variabilidade dos resultados. Além disso, os autores concluíram através de uma margem de erro que são necessários apenas 4 amostras para executar o ensaio. Portanto, o ensaio

proposto pelos autores se mostra eficiente devido à rápida execução, baixa amostragem e reduzida variabilidade dos resultados.

Pozzobon *et al.* (2014) estudaram por meio de ensaio de tração, a eficiência de quatro tipos de telas quando posicionadas para servir de ponte de transmissão de tensões e para estruturação da argamassa em situações de camadas mais espessas. Utilizando corpos de prova de dimensões de 50 cm x 25 cm x 2,5 cm, para servir de ponte de transmissão de tensões a tela foi fixada após a camada de chapisco e fixada com quatro buchas e em seguida foi realizado o emboço. Já para estruturar a camada de argamassa do revestimento, a tela foi posicionada no meio da camada de emboço. Os resultados encontrados pelos autores são mostrados na Tabela 4.

Tabela 4. Ensaio de esforço à tração de revestimentos reforçados com tela.

| Posição da Tela | Tela eletrosoldada metálica (MPa) | Tela hexagonal (MPa) | Tela de fibra de vidro (MPa) | Tela de PVC (MPa) | Sem Tela (MPa) |
|-------------------------------------|--|-----------------------------|-------------------------------------|--------------------------|-----------------------|
| Ponte de transmissão de tensões | 0,61 | 0,39 | 0,59 | 0,30 | 0,43 |
| | 0,65 | 0,50 | 0,64 | 0,38 | 0,40 |
| | 0,71 | 0,34 | 0,61 | 0,44 | 0,32 |
| Estruturação da camada de argamassa | 0,63 | 0,29 | 0,47 | 0,48 | 0,43 |
| | 0,61 | 0,31 | 0,42 | 0,54 | 0,40 |
| | 0,58 | 0,20 | 0,40 | 0,28 | 0,32 |

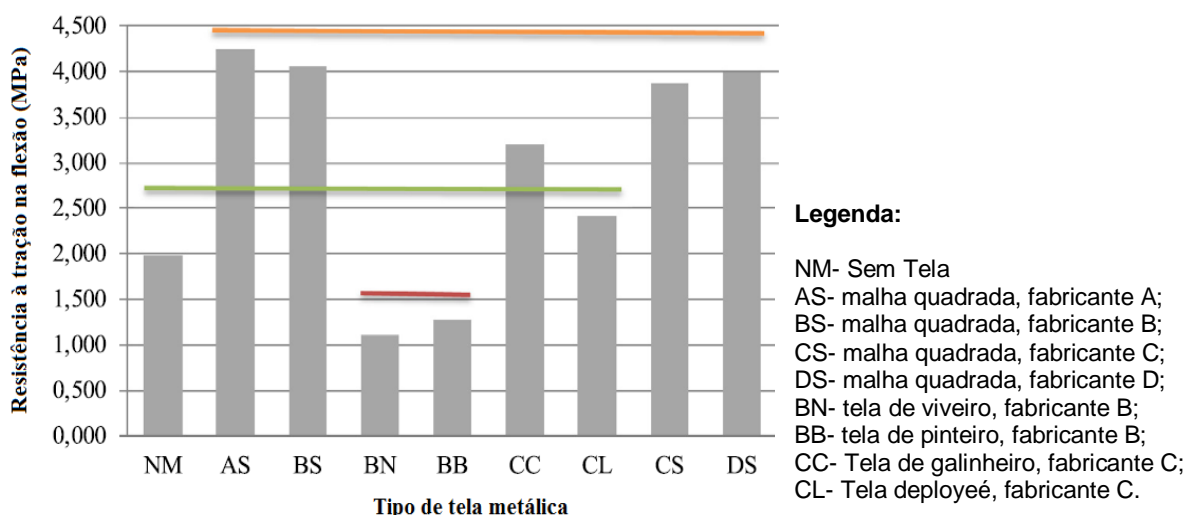
Fonte: Adaptada Pozzobon *et al.* (2014).

De acordo com a Tabela 4, o ensaio de tração dos revestimentos apresentou melhores resultados para as argamassas contendo telas metálicas eletrosoldadas, no qual se mostrou capaz de suportar elevadas tensões tanto para transmitir tensões quanto para estruturar a camada da argamassa. Houve variação dos resultados para as argamassas armadas com tela hexagonal, com comportamento mais frágil quando usada para estruturar o revestimento. Já a inserção da tela de vidro para reforço apresentou resultados similares ao da argamassa reforçada com tela metálica, porém quando a tela é trocada de posição na estrutura existe uma pequena queda de suporte de tensão. As telas de PVC na argamassa apresentaram melhores valores para estruturar a camada da argamassa.

Portanto, neste estudo os autores concluíram que para reforçar revestimentos argamassados, as telas metálicas eletrosoldadas e as telas de fibra de vidro são eficazes para suportar as tensões existentes nas camadas do revestimento.

Antunes & Masuero (2016) desenvolveram um estudo de tração na flexão em 4 pontos utilizando 5 diferentes tipos de tela e quatro fabricantes distintos. De forma análoga ao estudo realizado no ano de 2014, os autores utilizaram telas com dimensões (15x30) cm inseridas a 1/3 da espessura da camada de 5 cm de argamassa industrializada. Os resultados obtidos estão apresentados na Figura 16.

Figura 16. Comparação de médias de resistência à tração na flexão da argamassa armada com telas dispostas a 2/3 da camada.



Fonte: ANTUNES & MASUERO, 2016.

Conforme apresenta a Figura 16, as telas de malhas quadradas AS, BS, CS e DS, apresentaram os melhores resultados de desempenho. Em seguida, a Tela CC apresentou resultados intermediários de desempenho, em relação à argamassa referência. Segundo as autoras, por serem constituídas de fios entrelaçados de malha hexagonal com bitola de 1,24 mm (igual à tela de malha quadrada), esta tela apresenta maior rigidez e melhor desempenho se comparada com as outras telas entrelaçadas analisadas. Já as telas CL, apresentaram estatisticamente o mesmo desempenho da argamassa referência sem tela (NM) e, portanto, não são consideradas eficientes. Por último, as telas entrelaçadas, BN (viveiro) e BB

(pinteiro) desempenharam uma diminuição da resistência em relação à argamassa referência.

As autoras explicam que esta diminuição da capacidade resistente pode ser atribuída ao efeito de corte (cisalhante) que a tela promove no conjunto, além da incompatibilidade geométrica das malhas com as características reológicas da argamassa industrializada utilizada. Acredita-se que a argamassa utilizada não apresentou coesão e fluidez suficientemente compatível para garantir a total impregnação dos fios de pequena espessura (0,56mm) das malhas entrelaçadas e, conseqüentemente, impossibilitando a total aderência e interação entre os materiais (tela/argamassa). Nota-se como esperado, que as telas metálicas de malha quadrada oferecem melhores resultados na resistência à tração das argamassas.

De acordo com o presente levantamento bibliográfico do uso da argamassa armada, observa-se que os estudos ainda são escassos, apesar da sua larga utilização na execução dos revestimentos da fachada. Desta forma, nota-se a importância das pesquisas nesta área, uma vez que ainda não há parâmetros técnicos-científicos normatizados com o uso da tela em revestimentos.

Portanto, este presente estudo colabora no conhecimento técnico-científico na utilização de telas como reforço de argamassa para aplicação em fachadas, considerando a espessura das camadas, o tipo de telas e o surgimento de fissuras devido carregamento térmico.

3.3 Tensões de origem térmica.

De modo geral, as tensões existentes nos revestimentos, podem se equilibrar ou somar, acarretando, neste caso, uma compressão máxima no revestimento. Uma variação térmica, por exemplo, é capaz de aumentar ou diminuir esta compressão e com o tempo gradativamente poderá romper por fadiga a ligação revestimento/suporte (FIORITO, 1994). Este efeito cíclico promove o surgimento e à propagação de microfissuras pré-existentes no material (MOSCOSO, 2013).

Fiorito (1994) e Saraiva (1998), acrescentam que as tensões que atuam deformando os revestimentos podem ser originadas por variações térmicas; retração da argamassa que liga os elementos das alvenarias e/ou pela retração da argamassa utilizada no emboço ou no contrapiso; deformação lenta do concreto da estrutura, no qual a dos pilares e vigas atua sobre os revestimentos verticais e a das

lajes no revestimento dos pisos; pelo o recalque das fundações; variação da umidade relativa do ar atuando sobre as argamassas endurecidas e, devido à dilatação higroscópica dos elementos cerâmicos e cargas acidentais sobre os pisos.

Se tratando dos diferentes estágios de danos pela variação cíclica de temperatura, Moscoso (2013) explica que os defeitos podem resultar em uma seção inicial ileso e propagar até ocorrer fraturas catastróficas. Desta forma, o autor estabelece a sequência de danos por fadiga da seguinte forma:

- 1- Alterações na subestrutura e microestrutura dos componentes do revestimento;
- 2- Surgimento de fissuras microscópicas;
- 3- Intensificação das fissuras já existentes que podem desencadear em uma falha de maior abertura;
- 4- Propagação estável da macro-fissura dominante e;
- 5- Instabilidade estrutural ou fratura completa.

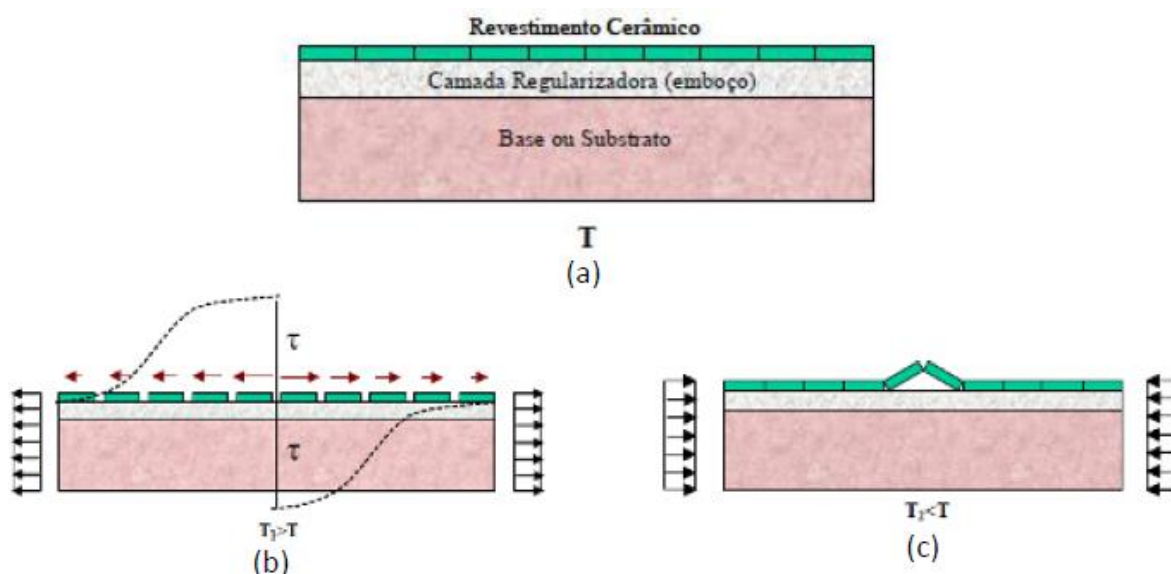
Dentre os exemplos das deformações motivadas pela variação de temperatura entre as faces superior e inferior de um piso elevado, entre as faces interna e externa da edificação, ou até mesmo pelas condições ambientais de exposição, Fiorito (1994) destaca:

- Imaginando uma laje que separa o andar superior do inferior e que a temperatura do andar superior seja menor que a inferior devido à existência de ar condicionado, poderá então ocorrer dependendo das condições de apoio compressão no revestimento, no centro da laje, e tração nas suas bordas;
- Se tratando das fachadas, a compressão do revestimento pode ocorrer quando a temperatura externa é inferior à temperatura do ambiente interno (época de frio), ou até mesmo após um longo período de calor a temperatura cai bruscamente externa ou internamente;
- A tensão de compressão pode estar presente também nos revestimentos dos pisos industriais, no qual por questão de higiene são lavados com água quente ou jato de vapor de água e, conseqüentemente, o revestimento sofre dilatação brusca;

- Nos pisos próximos a caldeiras ou fornos, também sofre compressão devido à constante elevação de temperatura.

A Figura 17(a) apresenta um modelo do sistema de revestimento submetido ao efeito de temperatura. Durante o aquecimento gradativo, ocorre a dilatação do revestimento e solicitação do material a esforços de tração, provocando o afastamento das placas e das juntas e também o processo de cisalhamento simples entre a base das peças e a argamassa colante, ($T_1 > T$) Figura 17 (b). Quando a temperatura se reduz ($T_2 < T$), a base sofre encurtamento e as placas cerâmicas podem se deslocar devido ação de compressão no plano do revestimento Figura 17 (c) (FIORITO, 1994; UCHÔA, 2007; ANTUNES, 2010; MOSCOSO, 2013).

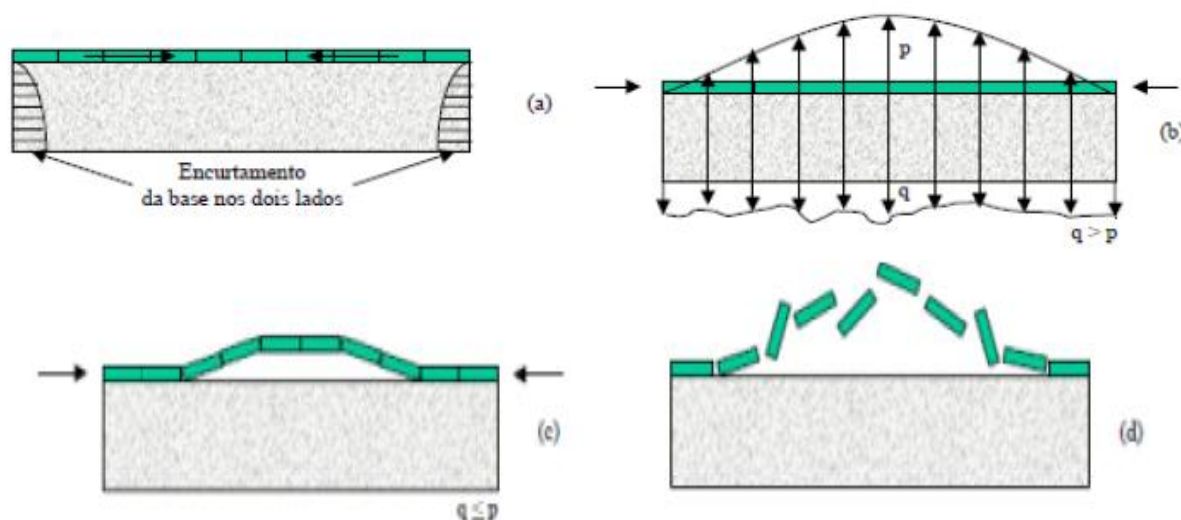
Figura 17. Revestimento sujeito a esforço de tração.



Fonte: UCHÔA, 2007.

A Figura 18 (a) apresenta a ocorrência da tensão compressão no sistema de revestimento cerâmico devido à retração da camada regularizadora (emboço). Os esforços de compressão dão origem à força “p” que é a componente vertical de tração que tende a arrancar o revestimento de sua base, porém a força “q” se opõe à força “p” e representa a resistência de aderência (FIORITO, 1994; MOSCOSO, 2013; UCHÔA, 2007).

Figura 18. Revestimento solicitado à compressão.



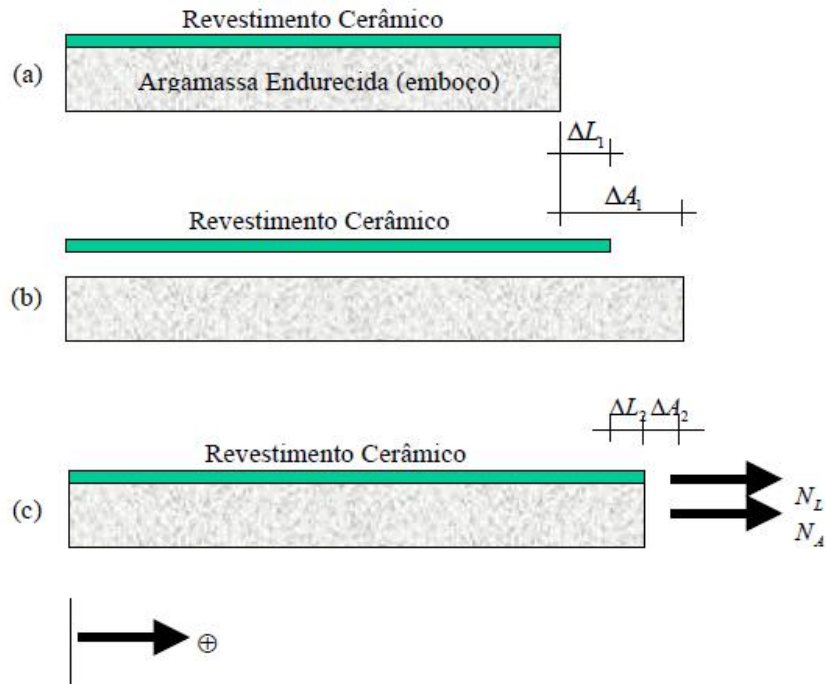
Fonte: UCHÔA, 2007.

Quando a aderência for maior que a componente vertical de tração ($q > p$), tem-se compressão do revestimento, mas o revestimento permanece inalterado (Figura 18 (b)) (FIORITO, 1994). No entanto, quando o componente vertical de tração é maior que o de aderência, ou seja, $p > q$ (Figura 18 (c)), as peças soltam-se da base provocando o colapso (Figura 18 (d)).

Como exposto, é de extrema importância conhecer todas as variáveis que interferem no equilíbrio mecânico e que favorecem o surgimento de tensões elevadas e, conseqüentemente, interferem no desempenho do revestimento. Vale ressaltar que cada material que compõe o sistema de revestimento não possuem a mesma deformação, devido aos diferentes valores de coeficiente de dilatação térmica linear e módulo de deformação (FIORITO, 1994; UCHÔA, 2007; THOMAZ, 2006).

Fiorito (1994) apresenta o efeito da variação de temperatura na ligação entre o revestimento e a argamassa na Figura 19. A Figura 19 (a) apresenta uma variação de temperatura (Δt), uniforme nas duas camadas, a qual produzirá os deslocamentos do revestimento ($\Delta L1$) e da argamassa ($\Delta A1$), conforme a Figura 19 (b). Devido ao revestimento e a argamassa estarem intimamente ligados e, as forças internas e, que deverão estar sempre em equilíbrio, produzirão os deslocamentos do revestimento ($\Delta L2$) e da argamassa ($\Delta A2$), Figura 19 (c).

Figura 19. Esforços causados pela temperatura no revestimento.



Fonte: UCHÔA, 2007.

Onde:

d: comprimento inicial;

S_L : seção do revestimento;

E_L : módulo de elasticidade do revestimento;

α_L : coeficiente de dilatação térmica linear do revestimento;

S_A : seção da argamassa;

E_A : módulo de elasticidade da argamassa;

α_A : coeficiente de dilatação térmica linear da argamassa.

A partir das Equações 1 e 2 são realizados os cálculos dos deslocamentos do revestimento e da argamassa.

$$\Delta L_1 = \alpha_L \times \Delta t \times d \quad (1)$$

$$\Delta A_1 = \alpha_A \times \Delta t \times d \quad (2)$$

$$\Delta L_2 = \frac{N_L}{E_L S_L} \times (d + \Delta L_1) \quad \text{Na camada de revestimento} \quad (3)$$

$$\Delta A_2 = \frac{N_A}{E_A S_A} \times (d + \Delta A_1) \quad \text{Na camada de argamassa} \quad (4)$$

A partir das condições:

$$N_A + N_L = 0 \quad (5)$$

$$\Delta L_1 + \Delta L_2 = \Delta A_1 + \Delta A_2 \quad (6)$$

Com aproximação:

$$(1 + \alpha_L \Delta t) \cong (1 + \alpha_A \Delta t) \cong 1 \quad (7)$$

Obtém:

$$N_L = \frac{E_L S_L}{1 + \frac{E_L S_L}{E_A S_A}} \times (\alpha_A - \alpha_L) \times \Delta t \quad (8)$$

Sabendo-se que o coeficiente de dilatação térmica linear da argamassa (α_A) é maior que o coeficiente de dilatação térmica linear do revestimento cerâmico (α_L), o sentido da força N_L dependerá da variação da temperatura. Assim, para uma queda de temperatura uniforme em toda a estrutura do revestimento, haverá compressão no revestimento e tração na argamassa. E, para uma elevação de temperatura uniforme em todo conjunto, haverá tração no revestimento e compressão na argamassa.

Considerando uma faixa de largura unitária: $S_L = e_L$ e $S_A = e_A$, no qual e_L e e_A correspondem às espessuras do revestimento e da argamassa, a tensão térmica no revestimento e na argamassa é calculada pela Equação 9 e 10:

$$\sigma_L = \frac{E_L S_L}{1 + \frac{E_L e_L}{E_A e_A}} \times (\alpha_A - \alpha_L) \times \Delta t \quad (9)$$

$$\sigma_A = \frac{N_A}{e_A} \quad \text{sendo } N_A = -N_L \quad (10)$$

Através das análises considerando um aumento de temperatura uniforme no sistema de revestimento intimamente ligado, mas com deslocamento livre nas laterais, Fiorito (1994), pode concluir que:

- Existe tensão de tração no revestimento;

- Não há variação significativa das tensões térmicas de compressão em função da espessura ou do traço das argamassas;
- As juntas entre as peças do revestimento cerâmico, ou outro revestimento rígido, mais as juntas dividindo o revestimento em painéis e, mais as juntas entre o revestimento e outros acabamentos ou saliências, são fundamentais para a estabilidade do revestimento.

Na literatura, as análises das tensões térmicas foram e são desenvolvidas pela Universidade de Brasília, se destacando as pesquisas de Saraiva (1998), Uchôa (2007) e Moscoso (2013) que abordaram estas tensões por meio de simulação matemática pelo Método dos Elementos Finitos. Em programas experimentais, as tensões são obtidas com auxílio de strain gages.

O estudo de Saraiva (1998) avaliou a partir de uma análise numérica as tensões existentes na interface da argamassa colante e cerâmica quando submetidas a esforços térmicos, variando a espessura da camada de emboço, coloração da cerâmica (escura, clara) e o tipo de rejunte. Dentre os resultados, observou-se que as tensões não apresentam variações significativas dentre dos casos analisados, no entanto, houve um aumento em torno de 60% nas tensões ao se empregar cerâmicas com elevado coeficiente de absorção térmica (escura) e uma pequena diminuição nas tensões de compressão nas cerâmicas ao aumentar a espessura do reboco.

Uchôa (2007) propôs uma metodologia para avaliar a resistência à fadiga de sistemas de revestimento, usando análise experimental e numérica, considerando o sistema de revestimento sob a ação cíclica da temperatura ambiente. Baseado nas condições de contorno adotadas, o autor considerou uma aderência absoluta entre argamassa de emboço e o substrato, o que gerou elevadas tensões, pois o substrato foi considerado indeformável (substrato perfeitamente rígido).

Moscoso (2013) ao avaliar o comportamento da argamassa colante submetido à fadiga, por meio de análise numérica encontrou os limites de resistência de compressão de 5,06 MPa e de tração de 1,69 MPa. Isto conclui que de acordo com as condições de análise aplicada, não houve risco de ruptura por fadiga termo-mecânica no revestimento.

Portanto, conforme os resultados encontrados nas pesquisas por análise numérica, os valores de tensões térmicas ocorridas nos revestimentos dependem

diretamente das condições de contorno adotadas, como por exemplo, espessura da argamassa, coloração da cerâmica, tipo de substrato e exposição ambiental do revestimento.

3.4 Principais patologias em revestimento de argamassa.

Dentre os principais elementos que compõem uma vedação vertical se destacam o substrato de alvenaria ou de estrutura de concreto e os revestimentos interno e externo. Cada um destes sistemas possuem diferentes comportamentos mecânicos quando sujeitos às mesmas condições de carregamento, no entanto, quando solidarizados tendem a se deformar em conjunto, provocando tensões nas junções das camadas que podem originar fissuras. Em geral, as tensões que surgem nos revestimentos são de compressão, tração e cisalhamento, oriundas de fatores extrínsecos relacionados a variadas solicitações (ARAÚJO JR., 2004).

Segundo Thomaz (2006), todos os materiais empregados na construção civil estão sujeitos à dilatação com o aumento da temperatura e a retração quando ocorre a diminuição. Assim, o sol é a principal fonte de calor que atua na vedação e a variação de temperatura dos materiais expostos depende da atuação combinada da intensidade da radiação solar, absorvância da superfície do componente à radiação solar, emitância da superfície do componente, condutância térmica superficial, assim como calor específico, entre outras propriedades térmicas.

Neste contexto, vários são os fatores responsáveis pelos problemas de revestimento em argamassa, Bauer (1997) aponta que os principais são ocasionados pela inexistência de projeto, desconhecimento das características dos materiais empregados, utilização de materiais inadequados, erros de execução, desconhecimento ou não cumprimento de normas técnicas e falhas na manutenção.

Entre as principais manifestações patológicas em sistemas de revestimento argamassados cita-se fissuração, descolamento, deterioração das juntas de movimentação e eflorescências (ANTUNES, 2010).

3.4.1 Fissuras

A NBR 9575:2010 relaciona as aberturas de acordo com as espessuras, no qual as microfissuras são aberturas com espessura inferior a 0,05 mm; fissuras

(espessura inferior ou igual 0,5 mm) e trinca (abertura superior a 0,5 mm e inferior a 1 mm). Sahade *et al.* (2013), classifica as fissuras quanto à forma (geométricas ou mapeadas) e quanto à atividade (ativa ou passiva).

As fissuras ativas correspondem a aberturas que possuem variações de aberturas ao longo do tempo, devido principalmente à variação de temperatura e umidade. Já as fissuras passivas, são aquelas aberturas ditas estabilizadas que não possuem variações nas suas dimensões.

De modo geral, a intensidade da fissuração é procedente do alívio de tensões entre parcelas de um elemento ou entre dois elementos em contato. A depender da força deste alívio de tensão, a aderência do revestimento com o substrato pode não resistir aos esforços e comprometer a estanqueidade dos revestimentos à água e aos gases (PEREIRA, 2007). Estas tensões são mais elevadas quando as solicitações ambientais (ciclos de molhagem/secagem) são mais frequentes e juntamente com a deformação da estrutura, originam microfissuras no sistema de revestimento.

Para Sahade *et al.* (2013), o aparecimento das fissuras dependem das características da argamassa de revestimento, tal como o seu módulo de deformação e da capacidade de absorver deformações. O autor explica que argamassas com menor retração e maior resistência à tração, suportam maiores deformações sem apresentar ruptura.

Dentre as causas mais comuns no aparecimento de fissuras no revestimento quando existe fissuração ou movimentação da base, estão às movimentações térmicas e higroscópicas, atuação de sobrecargas, deformabilidade das estruturas de concreto armado, recalques de fundação, retração dos produtos à base de cimento e as alterações químicas dos materiais de construção (THOMAZ, 2006).

Bauer (2010) afirma que quando não há movimentação e/ ou fissuração na alvenaria ou em estruturas de concreto, a fissura no revestimento decorre da execução do revestimento argamassado, solicitações higrotérmicas, e principalmente por retração hidráulica da argamassa. Além disso, o autor explica que a fissuração é função de fatores inerentes, como o consumo de cimento, o teor de finos, quantidade de água de amassamento, e de outros fatores que podem ou não contribuir na fissuração, como a resistência de aderência à base, espessura das camadas, o intervalo de tempo decorrido entre a aplicação de uma e outra camada,

a perda de água de amassamento por sucção da base ou pela ação de agentes atmosféricos.

Se apresentado de diversas maneiras, a fissuras quando aparecem mapeadas distribuídamente no revestimento (Figura 20), são originadas movimentações higrotérmicas diferenciadas entre revestimento e a estrutura, devido à retração de secagem da argamassa (THOMAZ, 2006; ANTUNES, 2010). A NBR 13749:2013, salienta que as fissuras mapeadas além de se formar devido à retração da argamassa, podem ser originadas devido à elevada quantidade de finos do traço ou até mesmo pelo excesso de desempenamento.

Figura 20. Detalhes de fissuras mapeadas.

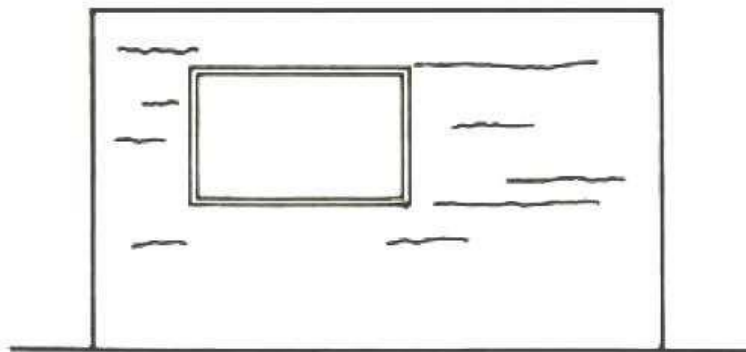


Fonte: ANTUNES, 2010.

Segundo Lordsleem Júnior (1997) e Thomaz (2006), as fissuras provocadas por movimentação térmica são originadas por movimentações diferenciais entre componentes de um elemento, entre elementos de um sistema e entre regiões distintas de um mesmo material. Estas movimentações diferenciais acontecem devido à união de materiais com diferentes coeficientes de dilatação térmica; exposição de elementos a diferentes solicitações térmicas naturais e variação de temperatura em uma área da edificação.

As fissuras que se apresentam na forma horizontal e vertical, geralmente são decorrentes da variação térmica. As horizontais conforme mostra a Figura 21, são decorrentes da expansão da argamassa de assentamento que acompanham as juntas de assentamento da alvenaria.

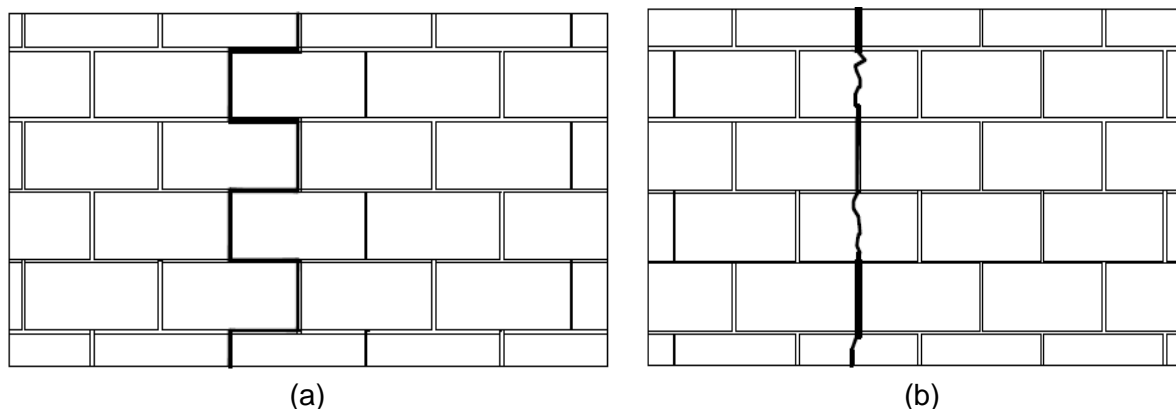
Figura 21. Fissuras horizontais no sistema de revestimento.



Fonte: THOMAZ, 2006.

Já as verticais aparecem em paredes mais longas e nos encontros de parede, podendo ainda, ocorrer nas juntas verticais do assentamento do bloco (formato de escada) quando os componentes de alvenaria forem mais resistentes à tração que à argamassa ou à tensão de aderência argamassa/blocos, no entanto, quando a maior capacidade de resistir à tração for da argamassa, as fissuras cortam os blocos estendendo-se por toda a alvenaria (Figura 22) (OLIVEIRA, 2001; THOMAZ, 2006).

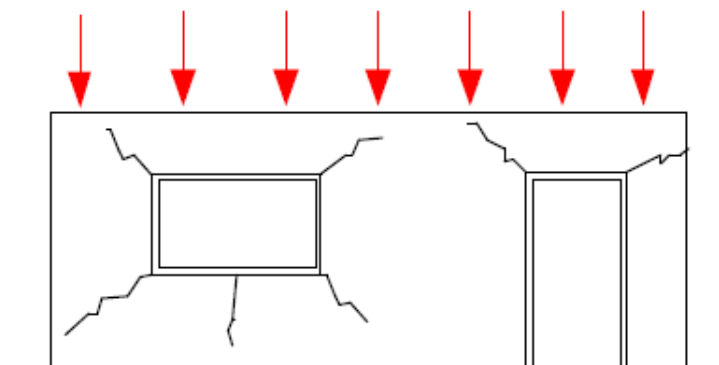
Figura 22. Fissuras verticais. (a) Ruptura em forma de escada, com conformação da junta vertical e (b) Fissura seccionando os componentes de alvenaria.



Fonte: OLIVEIRA (2001).

De acordo com Oliveira (2001) e Antunes (2010), as fissuras podem ainda surgir nas envoltórias das aberturas (janelas e portas) devido à atuação de sobrecargas ocorridas pela solicitação excessiva da alvenaria e à inexistência de vergas e contravergas nas aberturas de portas e janelas, concentram tensões inclinadas nos cantos da abertura do vão (Figura 23).

Figura 23. Fissuração em paredes com aberturas.



Fonte: OLIVEIRA, 2001.

3.4.2 Descolamento

O descolamento é a perda de aderência das ligações entre as camadas que constituem o sistema de revestimento. Esta perda ocorre gradativamente ao longo do tempo e se inicia com ruptura na interface entre camadas e com a formação de bolsões que se propagam afetando todo o sistema de revestimento (ANTUNES, 2010).

Segundo Bauer (1997), quando são deslocados, uma ou mais camadas de revestimentos se separam e apresentam dimensão variável, desde áreas restritas ou até a totalidade de uma alvenaria. Medeiros e Sabbatini (1999) acrescentam que dentre os problemas de revestimento de fachadas, o deslocamento é o mais preocupante, devido aos riscos de acidentes aos transeuntes em virtude da queda parcial de partes da camada.

O deslocamento podem se manifestar com empolamento, em placas, ou com pulverulência. Se tratando do deslocamento por empolamento, o principal responsável por esta anomalia é a presença de cal em grandes proporções na argamassa. De acordo com Bauer (2010), a cal virgem existente no revestimento de argamassa por ocasião da sua execução, irá se extinguir depois de aplicada, aumentando de volume e causando expansão. Esta instabilidade do volume pode ser atribuída também pela lentidão da hidratação do óxido de magnésio, acarretando à expansão e, conseqüentemente, empolamento do revestimento.

O deslocamento em placas ocorre pela ruptura na ligação das camadas de reboco, emboço e alvenaria. A fragilidade das placas deslocadas se dá pela falta de

aderência das camadas de revestimento com a base, devido à execução do chapisco. Este quando executado com areia fina, necessita de uma camada mais espessa para adquirir uma superfície rugosa satisfatória, gerando tensões provocadas pela retração da argamassa (BAUER, 2010).

Quando a argamassa apresenta esfarelamento e baixa resistência ao risco favorece a ocorrência de descolamento por pulverulência. A causa mais frequente desta patologia é o tempo insuficiente de carbonatação da cal existente na argamassa, não respeitando um período de três dias para aplicação de outra camada de revestimento. Outro fato importante é a substituição da cal por produtos não pozolânicos, no qual não promove ligação dos agregados e, conseqüentemente, sofre expansões e contrações em função do grau de umidade desagregando com facilidade (BAUER, 2010).

Longhi & Masuero (2013) ressaltam que ciclos de aquecimento solar e resfriamento em superfícies de argamassa também são agentes que alteram as características do revestimento, devido à dilatação e retração do material e, conseqüentemente, formação de fissuras que facilitam o acesso da água entre a interface substrato/argamassa, no qual ao longo de novos períodos de variação térmica causam uma força interna de condução o descolamento do revestimento.

3.4.3 Falhas nas juntas

A deterioração das juntas de assentamento ocorre em regiões de encontro com as esquadrias; pela ação das intempéries; envelhecimento, manifestado nas resinas de origem orgânica pela alteração da cor; especificação e/ou uso e erros de aplicação do rejunte; infiltração de produtos potencialmente agressivos e água (ANTUNES, 2010).

Estas falhas favorecem a migração de água para as camadas de revestimento, podendo provocar as patologias citadas anteriormente, ou até mesmo eflorescências.

3.4.4 Eflorescência

A eflorescência são formações de depósitos salinos de metais alcalinos (sódio e potássio) e alcalino-terrosos (cálcio e magnésio) na superfície de alvenarias,

resultantes da migração de sais solúveis presentes nos materiais e/ou componentes da alvenaria (BAUER, 2010).

As eflorescências alteram a aparência da superfície que se depositam, criando manchas, descolamento da pintura, ou até mesmo, desagregação profunda (SILVA & SALES, 2013; BAUER, 2010).

Este tipo de patologia ocorre pela presença simultânea do teor de sais solúveis existentes nos materiais ou componentes, da presença de água e da pressão hidrostática necessária para que a solução migre para a superfície. Estes sais podem pertencer ao aglomerante da argamassa, que possuem um elevado teor de álcalis (Na_2O e K_2O) que se transformam em carbonato de sódio e potássio durante a hidratação (BAUER, 2010).

3.5 Inspeção dos revestimentos na fachada

A confiabilidade do sistema de revestimento deve ser garantida através de vistorias para prevenir a incidência de futuras manifestações patológicas. O conforto, manutenção e durabilidade das edificações ao longo de sua vida útil são regidos na NBR 15575: “Edificações Habitacionais– Desempenho”, que entrou em vigor oficialmente em 2013 e foi dividida em 6 partes. Seu objetivo é estabelecer requisitos e critérios para uma edificação habitacional e seus sistemas, com base na necessidade do usuário, independentemente da sua forma ou dos materiais constituintes.

Se tratando dos requisitos de desempenho do revestimento argamassado nas fachadas das edificações, as principais exigências estabelecidas é que tenha uma boa aderência ao substrato, se mantendo fixa (sem deslocamentos), ter estanqueidade e contribuir para a estética da edificação. Estas premissas dependem das propriedades da argamassa às condições de exposição, o tipo da base e dos processos de execução do revestimento (MACIEL *et al.*, 1998). Segundo a NBR 15575: 2013, para avaliar o desempenho são necessários um rico conhecimento científico sobre cada aspecto funcional de uma edificação, assim como materiais e técnicas de construção, como também das diferentes exigências dos usuários nas mais diversas condições de uso.

Desta forma, para conferir a durabilidade, segurança e conforto dos usuários é necessário identificar preventivamente os problemas patológicos por meio de inspeções visuais, com auxílio de lunetas e de câmera fotográfica de alta resolução.

Alguns ensaios laboratoriais e/ou testes *in-situ* são recomendados para obter exatidão, de modo a identificar as características físicas, químicas e mecânicas dos componentes do revestimento, assim como a presença de fissuras e deslocamentos. Dentre as técnicas estão: à resistência à ação do calor; avaliação da resistência ao risco, percussão, aderência à tração e termografia.

3.5.1 Ensaio de resistência à ação do calor

Em países tropicais como o Brasil, a ação destes agentes são mais intensos nas fachadas das edificações devido ao choque térmico provocado pela constatare exposição da radiação solar e ao resfriamento através de chuvas e oscilações térmicas (OLIVEIRA *et al.* 2014).

De modo a avaliar o comportamento do sistema de vedação vertical quando submetidos variação de temperatura, a NBR 15575-4 (ABNT, 2013b) recomenda um método de ensaio para analisar a ocorrência fissuras e/ou falhas que possam comprometer o desempenho deste sistema, durante e após ciclos sucessivos de calor e resfriamento.

O ensaio é realizado através de um painel radiante capaz de fornecer uma temperatura superficial de 80°C (controlada com termopares) na superfície de um painel de alvenaria de 1,20 m de comprimento e altura equivalente ao pé-direito da edificação, com os detalhes do sistema de revestimento executados. Para tanto, ambos os painéis são posicionados paralelamente durante uma hora, promovendo-se, em seguida, o resfriamento via jato de água (simulação da chuva) até atingir uma temperatura superficial de 20°C. Este processo é repetido em dez ciclos sucessivos analisando as degradações no revestimento.

Silva & Bauer (2009) aplicaram um carregamento térmico em argamassas, utilizando um painel contendo seis lâmpadas de 250 W e um ventilador, com o intuito de simular condições de agressividade ambiental (insolação e vento) e produzir um excesso de fissuração na superfície do revestimento utilizando argamassas mistas com excesso de cimento, excesso de cal e excesso de agregado. Os resultados mostram que o efeito térmico e de vento proporcionam aumento na formação de

fissuras, tal como o aumento do teor de finos proporcionou o mesmo fenômeno. No entanto, os painéis contendo menores teores de cimento obtiveram fissuras.

Fontenelle (2012), com objetivo de detectar fissuras nas placas cimentícias compostas de juntas verticais e horizontais preenchidas com tela de fibra de vidro, realizou ciclos de choque térmico seguindo às recomendações da NBR 15.575. Para tanto, o autor utilizou uma fonte radiante com 1,2 m de largura por 2,4 m de altura, formada de 98 lâmpadas incandescentes de 150 W cada. As placas apresentaram fissuras na região onde foram realizadas as juntas entre placas cimentícias após receber os ciclos de choque térmico, se destacando ainda mais nas juntas verticais com proximidade na interseção da junta horizontal.

Com base em revisões bibliográficas e nos experimentos ensaiados de acordo com a NBR 15.575-4 (ABNT, 2013), Oliveira *et al.* (2014) observaram inadequações na norma brasileira quanto o tempo de permanência do corpo de prova na fase aquecida, dimensões e restrições impostas ao corpo-de-prova e consideraram à necessidade de desenvolver estudos considerando a quantidades de ciclos no ensaio.

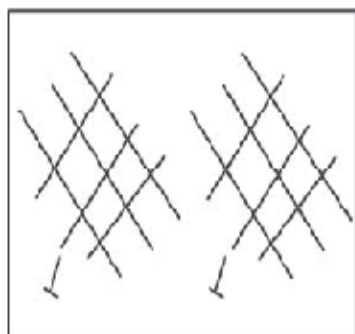
3.5.2 Resistência ao risco

A NBR 13749:2013, entende que o revestimento é resistente ao risco/pulverulência quando não ocorre desintegração pela pressão das mãos. Segundo a norma, esta avaliação pode indicar a qualidade do revestimento, no entanto, necessita de ensaios técnicos que abranjam características de aceitação ou rejeição do revestimento.

A avaliação da resistência ao risco é empírica, de modo que a qualidade do revestimento é obtida através da análise da abertura e profundidade do rasgo realizado por meio de uma haste metálica. De acordo com Ceotto *et al.* (2005), a dureza e a resistência da superfície podem ser avaliadas pela profundidade dos sulcos de riscos cruzados executados na superfície do revestimento, de modo que quanto mais profundo for o sulco, menor é a dureza e resistência da superfície. Logicamente, quanto mais difícil for à execução do risco, maior é a dureza e resistência da superfície do revestimento (Figura 24).

Figura 24. Ensaio de resistência ao risco.

Riscos Cruzados



Profundidade do sulco



Fonte: Ceotto *et al.* (2005).

Silva (2006) contribuindo com a metodologia de Ceotto *et al.* (2005), verificou a resistência de aderência superficial da argamassa de emboço aplicando os seguintes procedimentos:

1. Primeiramente, deve-se realizar uma limpeza superficial do revestimento para eliminação de qualquer material pulverulento que possa ter;
2. Por meio de uma régua graduada pressionada no revestimento e com auxílio de uma haste metálica (um prego) com dimensões menores que 0,05mm e maiores que 1,5mm, realiza-se um rasgo no revestimento numa distância de 30 cm, em dois lugares distintos (Figura 25);
3. A medida da abertura do risco na argamassa é coletada em três pontos em cada rasgo (1/4, 2/4 e 3/4 da distância) por meio de um fissurômetro e com a média dos seis pontos é determinada a abertura de risco do revestimento;
4. É necessário o mesmo operador para todas as avaliações.

Figura 25. Ensaio de resistência ao risco.



Fonte: A autora.

Ao avaliar a resistência de aderência superficial em argamassas produzidas em diversas condições de dosagem, com efeitos de carregamento térmico e de vento, excesso de desempenho, e argamassa em estado de repouso pré-aplicação, Silva & Bauer (2009) constataram que em comparação com a argamassa de referência, todas as argamassas com traço rico em cimento, ricas em cal e em agregado obtiveram significância na maioria dos resultados.

3.5.3 Ensaio de percussão

O deslocamento do revestimento pode ser detectado por percussão de um martelo de leve impacto na superfície da fachada, observando a existência de sons cavos (Figura 26). A inspeção de toda área da fachada é realizada através da descida de balancins individuais desde a cobertura até o pavimento térreo, mapeando todo trecho encontrado com som cavo.

Figura 26. Ensaio de percussão com martelo de baixo impacto.



Fonte: A autora.

3.5.4 Resistência à aderência à tração

Aderência à tração certifica a capacidade da argamassa se manter aderida ao substrato, resistindo aos esforços de tração solicitados. O ensaio de aderência deve ser realizado de acordo com a norma NBR 13528: 2010, que descreve o método de ensaio da resistência de aderência à tração para revestimentos de paredes e tetos, utilizando um equipamento de tração com aplicação lenta e progressiva da carga. Deste modo, a norma determina que sejam ensaiados 12 corpos-de-prova de seção circular, com diâmetro de 5 cm, onde são coladas pastilhas metálicas na superfície de revestimento e arrancados com um dinamômetro de tração, que impõe um carregamento axial de tração ao corpo-de-prova. A Figura 27 apresenta o ensaio de aderência à tração no revestimento.

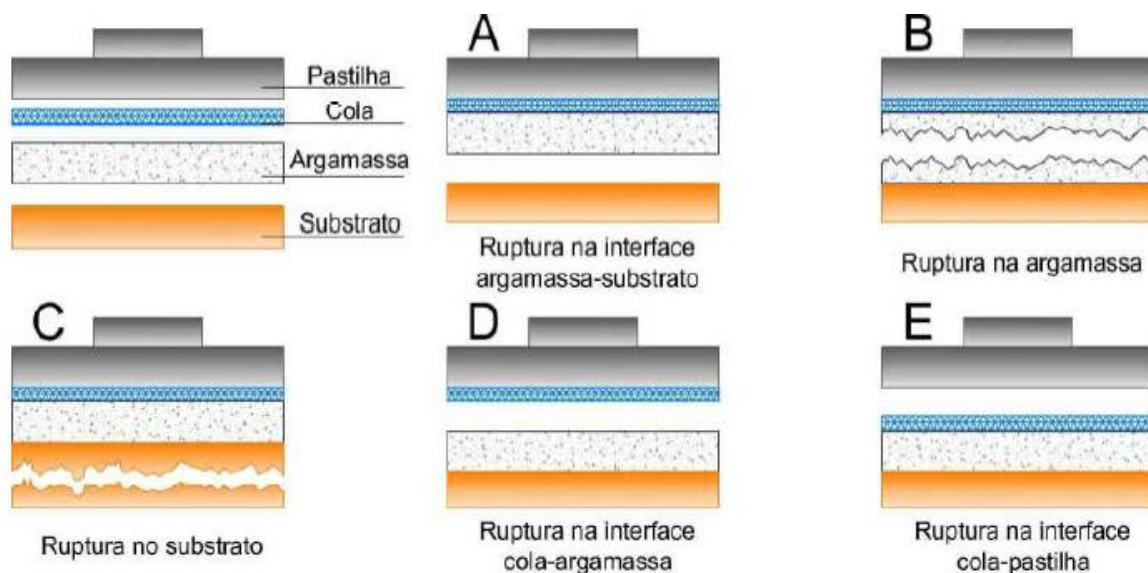
Figura 27. Ensaio de aderência à tração.



Fonte: LIMA, 2016.

O tipo da ruptura deve ser identificado tomando como referência os tipos de ruptura definidos pela norma NBR 13528:2010, conforme mostra a Figura 28.

Figura 28. Tipos de ruptura no ensaio de aderência à tração de revestimentos de argamassa, considerando o revestimento aplicado diretamente ao substrato (sem chapisco).



Fonte: Carasek *et al.* (2001).

A ruptura do tipo B e C são consideradas coesivas e ocorrem no interior da argamassa e do substrato. Neste caso, os valores das resistências encontradas só são preocupantes caso sejam muito baixos. Já a ruptura tipo adesiva (tipo A), os valores são mais elevados e a ruptura ocorre na interface argamassa/substrato, evidenciando maior potencial para patologia. Quando a ruptura acontece na camada superficial da argamassa (interface argamassa- cola) indica que esta é a camada mais fraca do revestimento e quando os valores obtidos são baixos, conclui-se que a resistência superficial inadequada (pulverulência). Por fim, quando há ruptura entre a pastilha e a cola indica uma falha na colagem e o ensaio deve ser desprezado (CARASEK, 2007).

Avaliando a resistência de aderência à tração de argamassas de três diferentes traços, Barreto & Brandão (2014) constataram que os maiores valores das resistências de aderência à tração são obtidos para as argamassas que possui o maior percentual de cimento em relação aos demais componentes, cal e agregados miúdos, apresentando ruptura do revestimento no interior do substrato, evidenciando

que a argamassa e a zona de transição (interface) são mais resistentes que o substrato utilizado.

3.5.5 Termografia infravermelha

Uma das técnicas não destrutivas que vêm se destacando em países da Europa e pouco usada no Brasil devido aos elevados custos dos aparelhos, é a termografia infravermelha. Esta fornece uma imagem térmica formada de diferentes cores que retrata cada uma, um nível de temperatura superficial dos objetos, acarretando a identificação de anomalias na estrutura (GRINZATO *et al.*, 2011).

A técnica termogravimétrica se baseia na transferência de calor entre corpos ou um corpo e o ambiente através do mecanismo de radiação. Esta radiação é transformada em pulsos elétricos através de uma câmara termográfica, formando imagens digitais com escala de temperatura, podendo ser analisadas através de softwares (ALTOÉ & OLIVEIRA FILHO; 2012).

Tal técnica apresenta a vantagem de não provocar nenhuma destruição na estrutura, reduzindo o tempo e a quantidade de trabalho, porém não defini a profundidade e a espessura da fissura. Para inspecionar estrutura de concreto se for realizada durante o período da noite, a maior parte das anomalias produzirá superfícies com temperaturas entre 0,01 °C e 5 °C abaixo da temperatura das superfícies sem anomalias. Ao contrário, umas inspeções diurnas às anomalias estarão mais quentes que as superfícies sem defeitos (MENDONÇA, 2005).

Segundo Bauer & Pavón (2015) a termografia dependendo da forma que seja utilizada, pode ser dividida em passiva ou ativa. A termografia é dita passiva quando o fluxo térmico tem origem da radiação solar (fonte natural), obtendo um diferencial de temperatura natural entre o objeto de estudo e o meio que o mesmo se encontra. Já a ativa necessita de uma fonte artificial para provocar um contraste térmico no objeto avaliado. Dentre as fontes artificiais, pode ser utilizado aquecimento, ciclos de calor, vibração, entre outros.

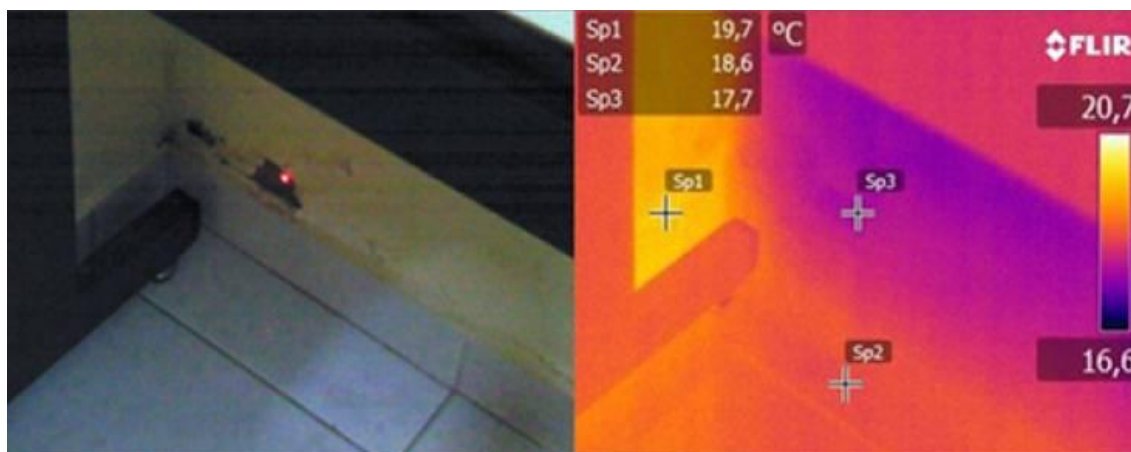
Este método não destrutivo abrange uma elevada quantidade de variáveis que permitem analisar os dados para inspecionar as patologias, podendo sofrer influência de fatores que podem dificultar a interpretação do termograma e provocar resultados errôneos. Dentre das principais dificuldades que podem ser encontradas na termografia passiva, estão à definição do momento para realizar a inspeção (dia

ou noite), pois as imagens da patologia podem ser mais quentes ou mais frias. Deve-se ter cuidado também com materiais que podem refletir e com materiais que possuem diferente emissividade. Além destes fatores que alteram a temperatura, o ângulo que é realizado a imagem também pode alterar os valores se coletados com ângulos maiores que 45° e em superfícies com acabamentos arredondados (BAUER & PAVÓN; 2015).

As análises de inspeção dos termogramas são realizadas geralmente somente de forma qualitativa, no qual identifica somente se há a presença de alguma anormalidade na estrutura. No entanto, a forma quantitativa além de identificar as anormalidades ela determina a gravidade do problema encontrado (ALTOÉ & OLIVEIRA FILHO, 2012; BAUER *et al.*, 2016).

Altoé & Oliveira Filho (2012) realizaram uma investigação de patologias em uma edificação localizada no Campus da Universidade Federal de Viçosa, utilizando uma câmara termográfica. Neste estudo os termogramas foram analisados qualitativamente, considerando o fluxo radiante apenas pela incidência solar, com temperatura média ambiente de 16 °C. Como a edificação foi avaliada ao todo, os autores encontraram uma temperatura do telhado em relação ao solo com uma diferença de 7,3 °C, devido a maior parcela de radiação solar ser absorvido pelo telhado. Como o prédio passou por uma reforma, só foi encontrada uma patologia na sala de reunião, conforme mostra a Figura 29. Nota-se que o ponto de menor temperatura (Sp3) corresponde ao local que possui o problema e o de maior temperatura (Sp1) ao do ponto sem problemas.

Figura 29. Termografia da sala de reunião no edifício.



Fonte: ALTOÉ & OLIVEIRA FILHO, 2012.

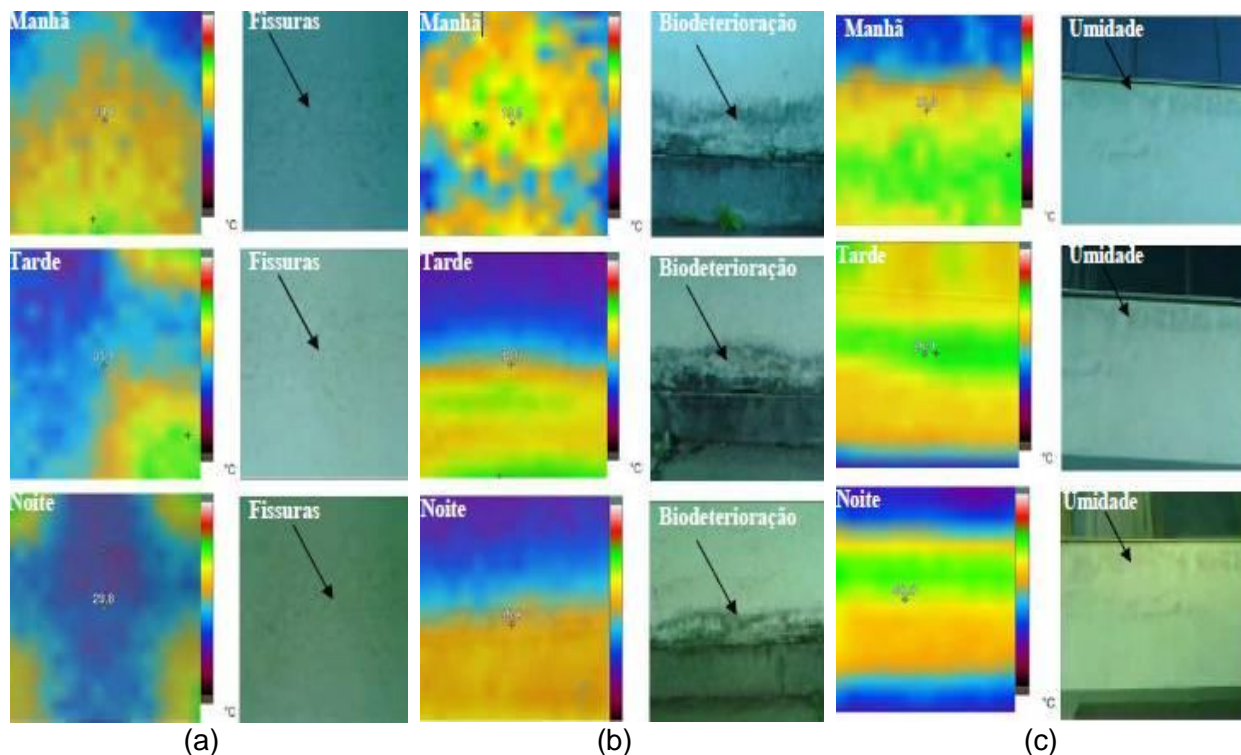
A temperatura mais baixa (Sp3) já era esperada pelos autores devido à inspeção visual constatar a presença de umidade na superfície. Portanto, esta pesquisa possibilitou a realização de uma rápida vistoria na edificação, identificando a patologia e possibilidade de uma manutenção preventiva.

Com objetivo de verificar a aplicação da termografia infravermelha para avaliar fissuras relacionadas à temperatura nos revestimentos de fachada, Freitas *et al.* (2014) realizaram primeiramente um mapeamento de fissuras e outras patologias em dois blocos das Escolas de Engenharia da Universidade Federal de Goiás (UFG) e em seguida, caracterizaram o comportamento higrotérmico das fachadas através da termografia infravermelha, capturando as imagens por 2 dias (seco e chuvoso), nos horários de 8 h, 15 h e 21 h utilizando uma termocâmara com uma faixa de detecção de temperatura de -20 °C a 250 °C, com precisão de ± 2 °C.

As imagens capturadas no horário das 15h e em dias secos possibilitaram uma melhor identificação das fissuras, contudo, nem todas as manifestações patológicas mapeadas foram visualizadas nas imagens termográficas, sendo necessária a utilização do programa computacional da câmara termográfica para sobrepor as imagens térmica e digital e aferir a temperatura superficial em pontos de interesse de análise. Desta forma, foi observado que o revestimento fissurado possui temperatura cerca de 1 °C inferior ao revestimento sem defeitos. A técnica da termografia infravermelha nesta pesquisa comprovou seu potencial para identificar os problemas do revestimento de fachadas, associados às questões térmicas e higroscópicas.

Moresco *et al.* (2015) também avaliaram a eficiência da termografia para identificar as patologias no edifício da Universidade do Vale do Rio dos Sinos, em São Leopoldo, Rio Grande do Sul. Para este estudo, foi realizada inspeções visuais na fachada e termografias considerando a emissividade da superfície. Desta forma, a termografia foi realizada em dia seco sendo levantado ao todo 9 termogramas, considerando três períodos (manhã, tarde e noite) para avaliar patologias ocasionadas por fissura, biodeterioração e umidade (Figura 30).

Figura 30. Termogramas do estudo. (a) Termogramas realizados na área com fissuras; (b) Termogramas realizados na área com biodeterioração e (c) Termogramas realizados na área com a presença de umidade.



Fonte: Moresco *et al.* (2015).

Contudo, pode ser observado na Figura 30 (a) que a análise termográfica para identificar às fissuras realizada no período da manhã apresentou maiores temperaturas (cor laranja) e menores temperaturas no período da tarde e da noite (cor azul). Este fato é explicado devido à dificuldade do fluxo de calor ser absorvido durante o aquecimento da superfície, aumentando a temperatura do local quando há manifestação patológica.

Na Figura 30 (b), nota-se que as maiores temperaturas na região com este tipo de patologia ocorrem devido à produção de calor no metabolismo dos microorganismos, sendo visualizadas nos três períodos de análise (representada pela cor laranja). A inexistência de manifestação patológica na estrutura foi evidenciada por menores temperaturas (cor azul).

Se tratando dos termogramas onde a umidade foi identificada visualmente, a Figura 30 (c) mostra que no período da manhã existe uma temperatura menor na parte superior da imagem no local que possui a presença de umidade, representada pela cor azul. Já para o período da tarde, as menores temperaturas (cor laranja),

apareceram nos pontos periféricos e a maior temperatura (cor verde) no ponto central, evidenciando que existem pontos que estão úmidos e não estão visíveis a olho nu. No entanto, de acordo com as imagens as áreas com presença de umidade apresentaram maiores temperatura (cor verde) ao decorrer do dia. No período da noite, a presença da umidade está apresentada na parte superior da imagem, na área de maior temperatura (cor verde).

Portanto, os autores concluíram que as imagens da técnica de termografia infravermelha mostraram a presença de manifestações patológicas a partir da diferença de emissão de radiação compatíveis com as patologias identificadas visualmente.

Israel (2016) utilizou a termografia infravermelha para analisar a eficácia da técnica, mapeando os defeitos ocultos em painéis revestidos com argamassa industrializada. Para tanto, o autor produziu painéis com dimensões 1,20 x 1,50 metros de vão, revestidos com espessura de 2,5 cm. A avaliação foi realizada em laboratório e em campo, sendo os painéis armazenados em laboratórios submetidos a aquecimento com painel térmico com potência total de 7350 Watts. Para identificar os defeitos, o autor capturou os termogramas imediatamente após a retirada do painel térmico com intervalos de cinco minutos entre imagens até a estabilização térmica do painel em relação à temperatura ambiente.

Segundo o autor, durante o resfriamento, os defeitos passam por uma inversão térmica na qual mudam de uma condição mais quente para uma mais fria em relação às áreas sem defeito. Além disso, as bordas dos painéis foram menos intensas que as áreas mais centrais do defeito, porém sem perder a definição de forma em razão da dispersão térmica e em diferentes intervalos de tempo ocorreram baixos gradientes térmicos e os defeitos ficaram pouco ou nada visíveis nos termogramas. Ao utilizar o resfriamento forçado com água, os defeitos ficaram visíveis por menos tempo e a melhor condição de visualização ocorreu em torno de 40 minutos após o resfriamento.

Bauer *et al.* (2016) ao realizar um estudo com a termografia passiva de forma quantitativa em uma fachada revestida com argamassa apresentando fissuração intensa, constatou que em fissuras ramificadas os valores de Delta-T são menores (inferiores a 3°C), sendo atribuído às fissuras mais superficiais dos revestimentos. Além disso, a interpretação dos termogramas se tornou mais difícil devido a

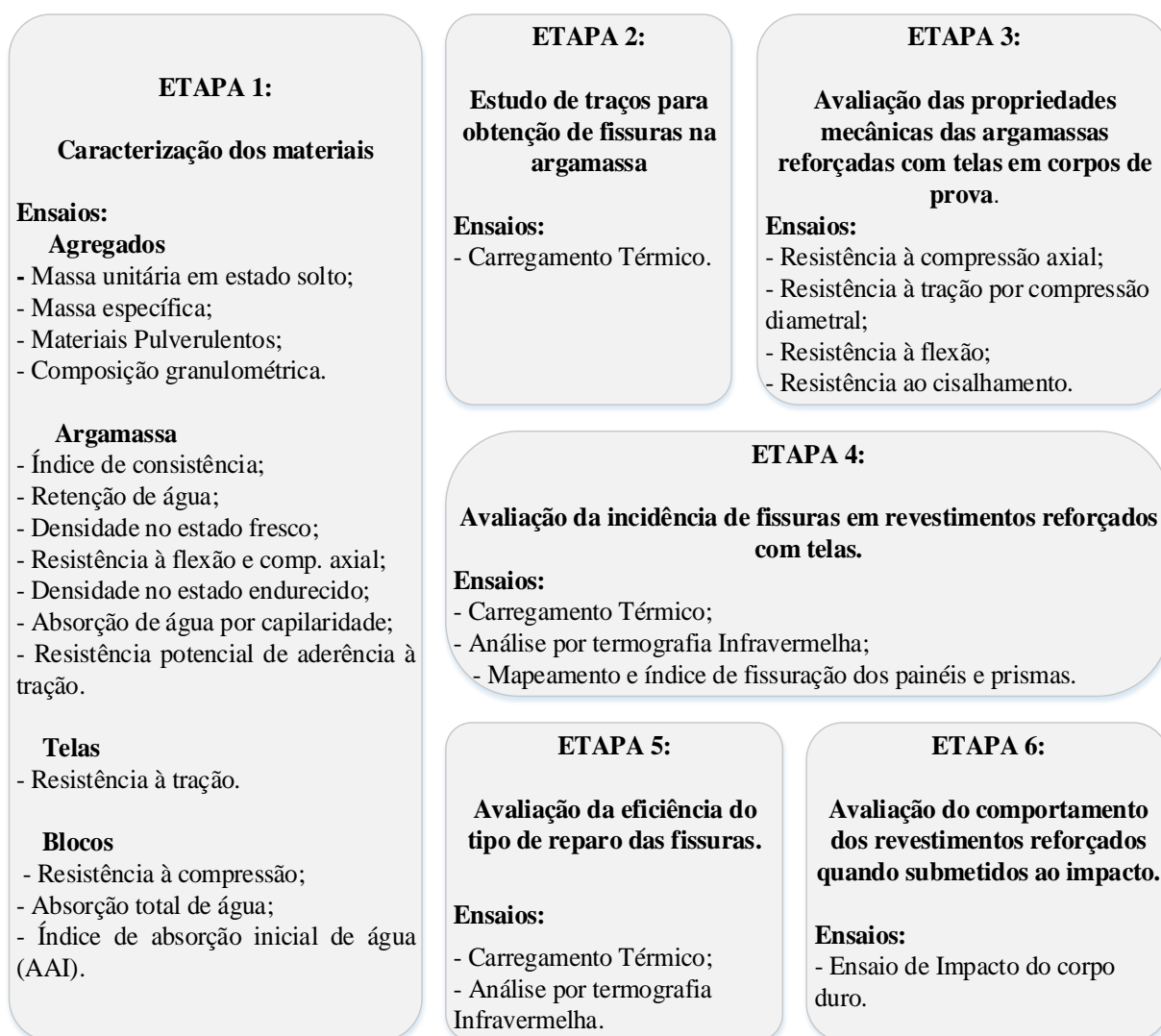
geometria não uniforme das fissuras. Segundo os autores, as melhores análises deste estudo foram adquiridas com maiores Delta-T, permitindo a identificação das regiões degradadas.

Apesar do grande avanço das pesquisas utilizando a termografia infravermelha como técnica de controle para detecção de manifestações patológicas em revestimentos de fachada, não foram encontrados estudos em revestimentos armados com telas. A necessidade de aplicação de técnicas de controle na execução e inspeção de revestimentos reforçados com telas é de extrema importância devido à sua larga escala de utilização e à carência de conhecimento quanto ao comportamento destes revestimentos quando submetidos à variação de temperatura. Desta forma, a termografia infravermelha possui elevado potencial de aplicação, viabilizando informações de forma rápida, eficaz e sem danificar o revestimento.

4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Foi realizada inicialmente uma revisão bibliográfica para definir os parâmetros a serem utilizados. Para atingir os objetivos deste trabalho, foi elaborado um programa experimental, contendo seis etapas, mostradas na Figura 31, no qual todas às atividades foram desenvolvidas no Laboratório de Construção e Estruturas (Timoshenko) e no Centro Tecnológico de Argamassas (CETA), da Escola Politécnica da UFBA.

Figura 31. Programa Experimental.



Fonte: A autora.

4.1 Materiais

a) Aglomerantes

Devido à dificuldade de encontrar comercialmente o cimento composto por fíler calcário (CP II F- 32), que não apresenta em sua composição outra adição pozolânica e tradicionalmente utilizado na produção de argamassa por permitir melhor trabalhabilidade, optou-se em utilizar o cimento composto CP II Z- 32 (RS) nas argamassas produzidas em laboratório. O CP II Z-32 (RS) escolhido foi da marca Poty por apresentar uma taxa de fíler calcário de até 10% e material pozolânico de 6 a 14% em massa, que lhe confere uma menor permeabilidade. Além disso, é indicado para produção de concretos e argamassas, principalmente em áreas com presença de água.

Na fabricação das argamassas mistas foi utilizada a cal hidratada CHI da marca Trevo como aglomerante aéreo.

b) Agregados

A areia e o argilomineral (arenoso) utilizados nas argamassas produzidas em laboratório são provenientes da região de Salvador-Ba.

c) Blocos

Foram utilizados blocos de concreto de alvenaria estrutural com dimensões de 140x190x390 mm (L x A x C), com resistência de 6 MPa, para a construção de painéis e prismas.

d) Argamassa Industrializada

Nos estudos dos revestimentos foi utilizada também uma argamassa industrializada para reboco pronto extra forte da marca Concremassa, apropriada para aplicação em ambientes externos. De acordo com o fabricante, a composição química desta argamassa é formada de cimento portland CP-32; dióxido de silício; silicato de alumínio, cálcio e ferro; materiais carbonáticos e impermeabilizantes. As características desta argamassa de acordo com a NBR 13281:2005, são:

- Resistência à compressão: Classe P4 (4,0 a 6,5 MPa)
- Densidade no estado endurecido: Classe M5 (1.600 a 2.000 kg/m³).
- Resistência à tração na flexão: Classe R4 (2,0 a 3,5 MPa).

- Coeficiente de capilaridade: Classe C3 (2,0 a 4,0 g/dm².min^{1/2}).
- Densidade de massa no estado a fresco: Classe D3 (1.400 a 1.800 kg/m³).
- Retenção de água: Classe U3 (80 a 90%).
- Resistência potencial de aderência à tração: Classe A3 ($\geq 0,3$ MPa).

e) Telas

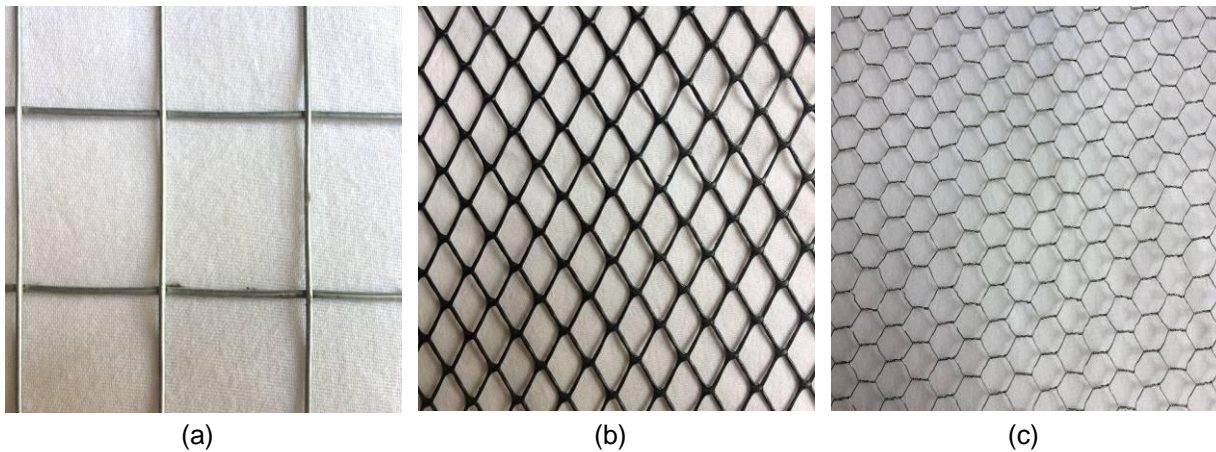
Foram utilizadas três diferentes telas conforme mostra a Tabela 5 e a Figura 32.

Tabela 5. Descrição das telas utilizadas na pesquisa.

| Tela | Tipo | Malha | Tipo da malha (mm) | Dimensão do Fio (mm) |
|-------------|---------------------------|--------------|---------------------------|-----------------------------|
| Tela 1 | Eletrosoldada Galvanizada | Quadrada | 25 x25 | 1,24 |
| Tela 2 | Polietileno | Hexagonal | 13,0 | 1,5x 1,0 |
| Tela 3 | Galvanizada (viveiro) | Hexagonal | 12,7 | 0,56 |

Fonte: A autora.

Figura 32. Telas de reforço utilizadas. (a) tela eletrosoldada galvanizada de malha quadrada; (b) tela de viveiro de polietileno e (c) tela de viveiro galvanizada.



Fonte: A autora.

4.2 Metodologia

4.2.1 Primeira Etapa- Caracterização dos materiais.

4.2.1.1 Aglomerantes

As características químicas, físicas e mineralógicas do cimento e da cal hidratada foram fornecidas pelo fabricante.

4.2.1.2 Agregados

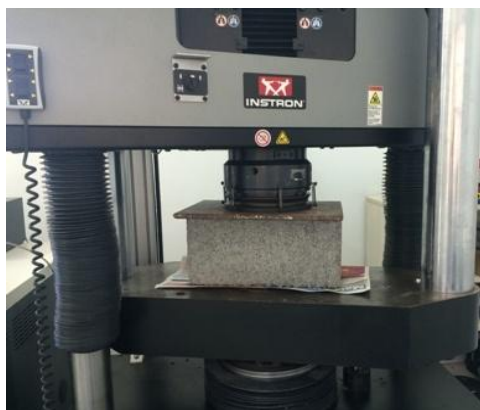
Os agregados miúdos tiveram as seguintes características físicas determinadas: massa unitária em estado solto (NBR NM 45:2006); massa específica (NBR NM 52:2009), teor de materiais pulverulentos (NBR NM 46:2003) e composição granulométrica, de acordo com a NBR NM 248:2003 (granulometria, dimensão máxima característica e módulo de finura).

4.2.1.3 Blocos

a) Resistência à compressão

Foram ensaiados 6 exemplares de bloco de concreto, de acordo com a norma NBR 12118:2013 (*Blocos vazados de concreto simples para alvenaria- Métodos de ensaio*). A velocidade de carga aplicada no ensaio foi de $0,05 \pm 0,01$ MPa/s, conforme a referida norma, utilizando uma máquina de ensaios universal de marca Instron, modelo 1000HDX com capacidade de carga de 1000KN (Figura 33).

Figura 33. Prensa utilizada na compressão dos blocos de concreto.



Fonte: A autora.

A resistência à compressão foi calculada dividindo a carga máxima obtida no ensaio pela área bruta do bloco, e o cálculo do fbk_{est} obedeceu aos critérios da NBR 6136:2014, que estabelece dois critérios:

1) Quando o valor do desvio padrão da fábrica não é conhecido, o valor de fbk_{est} é calculado de acordo com a Equação 11.

$$fbk_{est} = 2 \times \left[\frac{fb(1) + fb(2) + \dots + fb(i-1)}{i-1} \right] - fbi \quad (11)$$

Sendo:

$i = n/2$, se n for par;

$i = (n-1)/2$, se n for ímpar.

Onde:

fbk_{est} é a resistência característica estimada da amostra, expressa em MPa;

$fb(1)$, $fb(2)$, ... fbi são os valores da resistência à compressão individual dos corpos de prova da amostra, ordenados em ordem crescente;

n é igual à quantidade de blocos da amostra.

2) Critério de Ψ

A NBR 6136 estabelece que para a determinação da resistência característica da amostra, fbk , o seu valor deve ser igual à fbk_{est} , não sendo admitido valor de fbk inferior a $\Psi \times fb(1)$, ou seja, se o resultado for inferior, adota-se para fbk o valor de $\Psi \times fb(1)$. O valor de fbk_{est} é calculado utilizando a Equação 12.

$$fbk = \psi \times fb(1) \quad (12)$$

Onde:

$fb(1)$ é o menor valor de resistência obtido no lote ensaiado;

Ψ é dado pela NBR 6136 (Tabela 6) em função da quantidade de blocos ensaiados.

Tabela 6. Valores de Ψ em função da quantidade de blocos.

| Quant. de blocos | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 18 |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Ψ | 0,89 | 0,91 | 0,93 | 0,94 | 0,96 | 0,97 | 0,98 | 0,99 | 1,00 | 1,01 | 1,02 | 1,04 |

Fonte: NBR 6136:2014.

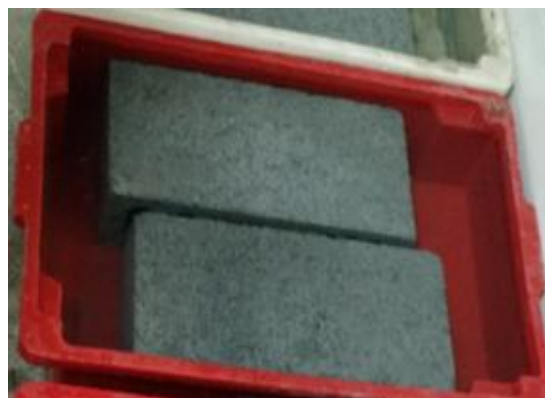
b) Absorção total de água dos blocos

O ensaio de absorção foi realizado conforme os procedimentos da NBR 12118:2013. Primeiramente foram realizadas as anotações das massas seca dos blocos ao ar (m_3) e em seguida, os mesmos foram colocados em estufa à temperatura de 110 ± 5 °C, por um período mínimo de 24 h, medindo a sua massa a cada 2hs, até que a sua variação de massa não fosse superior a 0,5% da massa anterior, sendo então considerada como a massa seca (m_1), conforme mostra a Figura 34(a). Na sequência, os blocos foram resfriados em temperatura ambiente e colocados em imersão com água à temperatura de 23 ± 5 °C por 24 h (Figura 34 (b)) e então a massa saturada (m_2) foi encontrada.

Figura 34. Ensaio de Absorção Total dos blocos. (a) blocos colocados na estufa e (b) blocos imersos em água.



(a)



(b)

Fonte: A autora.

O cálculo da absorção foi realizado por meio da Equação 13, na idade de 28 dias, utilizando com três exemplares para o ensaio.

$$a = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (13)$$

Onde:

a = absorção total (%);

m_1 = massa do corpo de prova seco em estufa (g);

m_2 = massa do corpo de prova saturado (g).

c) Índice de Absorção Inicial de Água (AAI)

O ensaio do Índice de absorção inicial de água é preconizado pela NBR 15270-3: 2005 para blocos cerâmicos, sendo adotado neste trabalho com aplicações para blocos de concreto já que não existem limites normativos para este tipo de material. Sabendo-se que a sucção de água que o substrato promove nas argamassas de assentamento e revestimento interfere na aderência substrato/argamassa, este ensaio tem por objetivo de determinar a quantidade de retirada da água da argamassa e a aderência do conjunto argamassa-bloco, indicando se será necessário umedecer o bloco previamente para executar o levante da alvenaria.

Seguindo as recomendações da NBR 15270-3:2005 para secagem, os blocos foram resfriados em temperatura ambiente e logo em seguida, suas massas secas foram medidas. Após mensurar as massas secas, os blocos foram colocados num recipiente com hastes metálicas mantendo o nível de água constante de 3 ± 2 mm e deixados por 60 ± 1 s, conforme mostra a Figura 35.

Figura 35. Ensaio de Absorção inicial do bloco.



Fonte: A autora.

Para medir a massa úmida e calcular o índice de absorção inicial, utilizou-se a Equação 14.

$$AAI = 193,55 \times \frac{\Delta p}{\text{Área}} \quad (14)$$

Onde:

AAI = índice de absorção d'água inicial (sucção) da face ensaiada dos blocos, expresso em (g/193,55cm²)/min;

Δp = variação de massa obtida no ensaio (g);

Área é a área bruta ou área líquida dos blocos ensaiados (cm²).

De acordo com a NBR 15270-3:2005 os blocos cerâmicos devem atingir um limite de absorção de água inicial máximo de (30 g/193,55cm²)/min, e caso esse valor seja superior ao limite normativo, os blocos devem ser previamente umedecidos antes do assentamento.

4.2.1.4 Argamassa industrializada

A argamassa industrializada foi utilizada para assentar os blocos e para revestir a alvenaria externamente. A mistura da argamassa foi produzida em um misturador mecânico (argamassadeira) com capacidade de 5 litros, de acordo com as recomendações da NBR 13276:2005. Para a utilização da argamassa em revestimentos, a NBR 13281:2005 (*Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos*) recomenda a realização de alguns ensaios para aplicação e aceitação, conforme realizado neste trabalho.

a) Índice de consistência

O índice de consistência foi determinado utilizando uma mesa de consistência (*flow table*), por meio da medição do espalhamento horizontal da argamassa no estado fresco, conforme as recomendações da NBR 13276:2005. A Figura 36 (a) e (b) mostram o aparelho para ensaio e a medida realizada, respectivamente.

Figura 36. Ensaio de índice de consistência (a) Mesa de consistência e (b) ensaio de medida de consistência.



Fonte: A autora.

b) Retenção de água.

O valor da retenção de água da argamassa foi encontrado conforme as prescrições da NBR 13277:2005 (*“Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água”*), no qual utiliza um funil de Buchner modificado, de 200 mm de diâmetro, com uma bomba de vácuo, conforme mostra a Figura 37.

Figura 37. Aparelho de retenção de água.



Fonte: A autora.

c) Densidade no estado fresco.

O método de ensaio para a determinação da densidade de massa no estado fresco é normatizado pela NBR 13278:2005 (*“Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e teor de ar incorporado”*). O ensaio foi executado utilizando um recipiente cilíndrico rígido, não absorvente e calibrado, com capacidade aproximada de 400 cm³.

d) Resistência à tração na flexão.

Os ensaios de resistência à tração na flexão foram realizados em quatro corpos de prova prismáticos de 4x 4 x 16 cm (largura x altura x comprimento) e curados durante 28 dias em temperatura ambiente. Seguindo as prescrições da norma 13279:2005 (*Argamassa para assentamento de paredes e de revestimento de paredes e tetos- Determinação da resistência à tração e à compressão*), na face de rasamento e na oposta (face correspondente ao fundo da forma) foram realizadas linhas a 30 mm das extremidades dos corpos de prova, para marcar a posição onde estes seriam apoiados na máquina, e em seguida mais uma marca de 50 mm sinalizando local de aplicação da carga. Os valores foram obtidos por meio da prensa elétrica servocontrolada, com capacidade de 20 toneladas para argamassa, da marca Contenco, como mostra a Figura 38.

Figura 38. Ensaio de resistência à tração na flexão.



Fonte: A autora.

e) Resistência à compressão axial.

Os ensaios de compressão axial foram realizados na idade de 28 dias com as metades dos corpos de prova do ensaio de flexão e aplicação de uma força de $(500 \pm 50) \text{ N/s}$, de acordo com a norma NBR 13279:2005, como mostra a Figura 39.

Figura 39. Esquema de ensaio de compressão.



Fonte: A autora.

f) Densidade no estado endurecido.

Para encontrar a densidade no estado endurecido da argamassa utilizaram-se os mesmos corpos de prova que foram ensaiados para avaliar a resistência à tração na flexão na idade de 28 dias. Este ensaio seguiu as recomendações da NBR 13280:2005 (*Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos- Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido*), no qual recomenda que as medidas de cada corpo de prova sejam aferidas com auxílio de um paquímetro para calcular o volume. Os corpos de provas foram pesados em uma balança com resolução de 0,1 g e a densidade expressa em kg/m^3 .

g) Absorção de água por capilaridade.

Nesse ensaio é avaliada a velocidade de penetração da água por sucção capilar, através do ganho de massa dos corpos de prova em função do tempo. O método de ensaio é preconizado pela NBR 15259:2005 (*Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos- Determinação da absorção de*

água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade”), no qual recomenda a avaliação de três exemplares na idade de 28 dias (Figura 40).

Figura 40. Ensaio de capilaridade da argamassa.

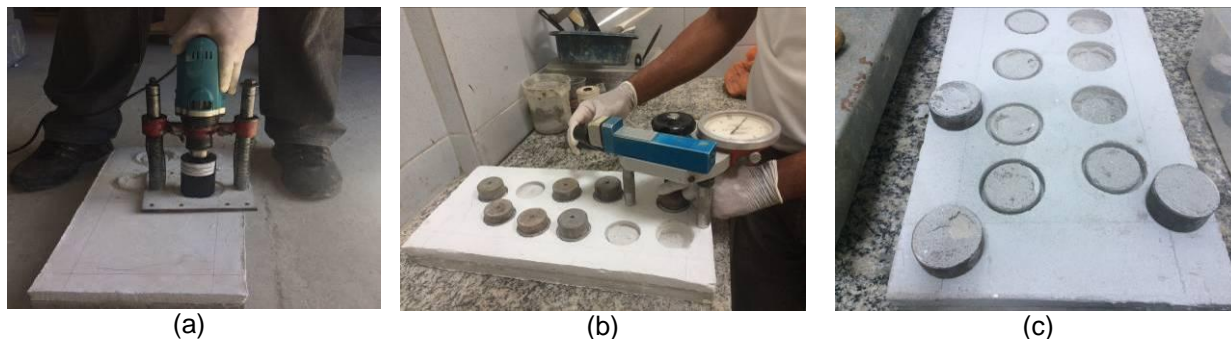


Fonte: A autora.

h) Resistência potencial de aderência à tração.

Neste estudo, o ensaio de aderência foi realizado de acordo com a norma NBR 15258:2005, que descreve o método de ensaio da resistência de aderência à tração para revestimentos de paredes e tetos, utilizando um equipamento de tração (dinamômetro) responsável por aplicar um carregamento axial de tração ao corpo-de-prova, por meio de um gancho rotulado conectado a um orifício da pastilha metálica previamente colada ao revestimento cortado com serra-copo (Figura 41). As argamassas foram aplicadas em um substrato padrão, para ensaiar 10 corpos-de-prova de seção circular, com diâmetro de 5 cm realizados com uma serra-copo e arrancados com equipamento de tração específico na idade de 28 dias.

Figura 41. Esao de resistência potencial de aderência à tração. (a) cortes fitas com serra-copo para colagem das pastilhas; (b) Carregamento axial aplicado e (c) corpos de prova rompidos.



Fonte: A autora.

4.2.1.5 Telas

O ensaio da tela foi executado adaptando a técnica de Antunes & Masuero (2013), através de uma prensa da marca Emic com capacidade de carga de 20 KN. Para tanto, foi necessário produzir um aparato baseado no dispositivo criado por Antunes & Masuero (2013) e por Pozzobon *et al.* (2014), com objetivo de distribuir uniformemente a tensão de tração.

Desta forma, o aparato trata-se de duas chapas de alumínio revestidas internamente com lixa para criar uma superfície rugosa, fixadas através de parafusos instaladas uma junto à base e à parte superior da prensa (Figura 42). Para evitar o escorregamento da tela na fixação do aparato e garantir uniformidade das tensões em toda à amostra, primeiramente a extremidade da tela foi dobrada em torno de uma chapa de espessura 1 milímetro e então instalada entre as chapas do aparato.

Figura 42. Aparato dos ensaios de telas.



Fonte: A autora.

O ensaio foi executado utilizando seis amostras de cada tipo de tela com dimensões úteis de 29,5 cm x 10 cm (largura x altura). A carga foi aplicada sobre o corpo de prova de forma contínua com velocidade de carregamento de 10 mm/min, conforme apresenta a Figura 43.

Figura 43. Tela instalada no aparato para realização do ensaio de tração.



Fonte: A autora.

Antunes & Masuero (2013) salientam que para avaliar a capacidade de ruptura à tração, o cálculo do limite de resistência, leva em consideração a quantidade de fios longitudinais que compõe a tela, conforme a Equação 15.

$$\sigma_R = \frac{F_m}{n \times S} \quad (15)$$

Onde:

σ_R = Limite de resistência à tração;

F_m = Carga máxima;

n = número de fios longitudinais da amostra;

S = área da seção de cada fio.

Assim, a área estimada da amostra foi encontrada através da quantidade de fios longitudinais e da área da seção de cada fio, conforme apresenta a Tabela 7.

Tabela 7. Dimensão dos fios e área estimada das telas.

| Tipo de Tela | Área da seção de um fio (mm²) | Número de fios da amostra | Área estimada da tela (mm²) |
|---------------------|---|----------------------------------|---|
| Tela 1 | 1,21 | 12 | 14,49 |
| Tela 2 | 1,3 | 20 | 26,00 |
| Tela 3 | 0,25 | 21 | 5,17 |

Fonte: A autora.

Vale ressaltar, que o fio das Telas 1 e 3 possuem seção circular e a Tela 2 o fio é de formato retangular.

4.2.2 Segunda Etapa- Estudo de traços para obtenção de fissuras na argamassa.

Com objetivo de encontrar uma argamassa que obtivesse fissuras nos revestimentos, foram realizados estudos com argamassa industrializada, mista e argamassa com argilo mineral. Para tanto, as argamassas de revestimento foram aplicadas na face do bloco de concreto estrutural (substrato), utilizando uma moldura de madeira com dimensão de 20 x 160 x 360 mm, para manter a espessura do revestimento padrão de 20 mm.

Neste estudo, para se criar fissuras por retração térmica nos revestimentos, os mesmos foram submetidos a um choque térmico conforme as prescrições da norma NBR 15575-4:2013. Desta forma, a fonte artificial de calor aplicada consistiu em um painel constituído por 24 lâmpadas incandescentes de 100 W (Figura 44), posicionado paralelamente aos blocos de concreto.

Figura 44. Painel artificial.



Fonte: A autora.

À distância estabelecida entre a fonte de calor e a superfície do revestimento foi definida por meio de testes pilotos, no qual se constatou que uma potência total de 2400 Watts, posicionado a uma distância média de 20 cm da superfície a ser aquecida, proporciona uma temperatura de 80 °C no período de duas horas e meia de exposição.

a) Estudos na argamassa industrializada

Foram realizadas o total de 5 misturas com diferentes concentrações de água, respeitando as recomendações do fabricante de 3,5 a 4,5 litros de água para cada 25 kg de reboco pronto. Após a idade de cura de 14 dias em temperatura ambiente, os blocos revestidos foram submetidos a 2 ciclos de aquecimento e resfriamento artificial com duração média de 4h cada um. Este resfriamento foi realizado através da aspersão de água em temperatura ambiente por meio de um borrifador. A Figura 45 apresenta os revestimentos realizados com a argamassa industrializada.

Figura 45. Bloco com revestimento de argamassa industrializada com espessura de 20 mm.



Fonte: A autora.

b) Estudo com argamassas produzidas em laboratório.

Com base nos estudos de Silva (2006), Oliveira (2011) e Pereira (2007), traços de argamassa com alto teor de cal e de finos foram executados. Os traços com argilomineral foram desenvolvidos de acordo com a metodologia de Gomes e Neves (2002), considerando o consumo de cimento de 190 kg/m³ (Cc), quantidade de água de 285 L/m³ e ausência de aditivo. Os blocos revestidos foram curados em

temperatura ambiente até a idade de 14 dias, para então serem submetidos ao carregamento térmico durante 2 horas e 30 minutos a uma temperatura de 80 °C.

Os traços adotados com argamassa mista (cimento: cal: areia: a/c) com correção água/cimento e os traços desenvolvidos com argilomineral (cimento: areia: argilomineral: a/c) são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Apresentação dos traços de revestimento de argamassa mista e com argilomineral estudados na pesquisa.

| Argamassa | Traços em massa | Traços em volume | Tipo de argamassa | Referência para execução do traço |
|------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------|--|
| Arg.Mista-01 | 1: 2,5: 12: 3,10 | 1: 4,55: 8,05: 3,10 | Mista | Silva (2006) |
| Arg.Mista-02 | 1: 3,24: 12: 3,30 | 1: 5,89: 8,05: 3,30 | Mista | Silva (2006) |
| Arg.Mista-03 | 1: 3,50: 10: 3,28 | 1: 6,36: 6,71: 3,28 | Mista | Oliveira (2011) |
| Arg.Mista-04 | 1: 0,24: 5,74: 1,23 | 1: 0,44: 3,85: 1,23 | Mista | Pereira (2007) |
| Arg.Adição-01 | 1: 3,66: 5,49: 2,52 | 1: 2,46: 4,36: 2,52 | 60% de Argilomineral | Autora |
| Arg.Adição-02 | 1: 4,10: 5,00: 2,31 | 1: 2,75: 3,97: 2,31 | 55% de Argilomineral | Autora |
| Arg.Adição-03 | 1: 4,59: 4,59: 2,36 | 1: 3,08: 3,64: 2,36 | 50% de Argilomineral | Autora |

Fonte: A autora.

Devido à facilidade de fissuração destas argamassas produzidas em laboratório e também pelas instalações do mesmo, optou-se em realizar somente um ciclo de aquecimento e resfriamento natural (por exposição à temperatura ambiente).

4.2.3 Terceira Etapa- Avaliação das propriedades mecânicas das argamassas reforçadas com telas em corpos de prova.

Esta etapa corresponde à avaliação da resistência mecânica das argamassas (industrializada e mista) reforçadas utilizadas nos revestimentos, comparando-as com as propriedades mecânicas das argamassas sem reforço. A mistura da argamassa foi realizada de acordo com a NBR 13276:2005 e a cura dos corpos de prova ocorreu em temperatura ambiente.

4.2.3.1 Resistência à compressão axial

Para este ensaio, foi utilizado telas com a mesma altura do corpo de prova (20 cm) e comprimento de circunferência de aproximadamente 18,8 cm, de forma a obter um cobrimento de 2 cm no corpo de prova, conforme apresenta a Figura 46.

Figura 46. Detalhe da tela no corpo de prova no ensaio de compressão axial.



Fonte: A autora.

Primeiramente, as telas foram colocadas nos corpos de prova e em seguida, estes foram preenchidos com quatro camadas de argamassa com 30 golpes cada uma, conforme a NBR 7215:1997. Os corpos de prova foram curados no período de 28 dias em temperatura ambiente e ensaiados de acordo com a norma NBR 5739:2007 (*“Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos”*), com velocidade de carregamento de $0,45 \pm 0,15$ MPa/s, utilizando uma máquina de ensaios universal de marca Instron, modelo 1000HDX com capacidade de carga de 1000KN (Figura 47).

Figura 47. Ensaio de resistência à compressão axial em argamassas reforçadas com telas.



Fonte: A autora.

Ao total foram produzidos 16 corpos de prova para cada tipo de argamassa (industrializada e mista), sendo 4 para cada tipo de tela inserida na argamassa e 4 para argamassa de referência (sem tela). Antes da realização do ensaio de resistência a compressão axial os corpos de prova foram capeados com enxofre derretido, com o propósito de distribuir a carga uniformemente na superfície dos cp's.

4.2.3.2 Resistência à tração por compressão diametral.

Neste ensaio foram avaliados os corpos de prova na idade de 28 dias, utilizando a mesma quantidade de corpos de prova do ensaio de compressão axial. Os corpos de prova armados foram moldados inserindo a tela na metade do corpo de prova (Figura 48 (a)) e ensaiados utilizando as recomendações da NBR 7222:2011. O contato entre o corpo de prova e os pratos da máquina de ensaio deu-se ao longo de duas tiras de chapa dura de fibra de madeira ou aglomerada (geratrizes), conforme especificado na NBR 10024/2012, dispostas diametralmente opostas ao corpo de prova (Figura 48 (b)). A velocidade da carga aplicada foi $0,05 \pm 0,02$ MPa/s.

Figura 48. Ensaio de tração por compressão diametral nas argamassas com telas. (a) Detalhe da posição da tela no corpo de prova e (b) Posição do corpo de prova na prensa.



(a)



(b)

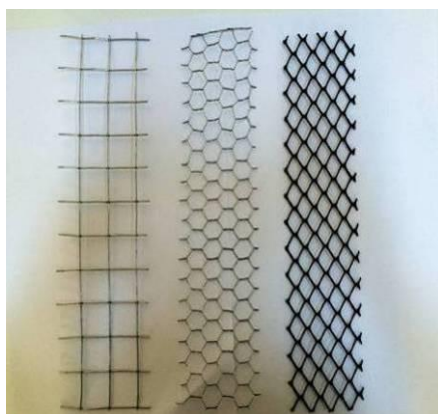
Fonte: A autora.

4.2.3.3 Resistência à tração na flexão.

Ao total foram moldados três corpos de prova prismáticos de dimensões 7,5x 7,5x 28,5 cm para cada tipo de argamassa com tela e de argamassa de referência (sem tela) na avaliação da resistência à flexão na idade de 28 dias.

A moldagem foi executada em quatro camadas, adensando manualmente cada uma delas com 30 golpes através de uma soquete. Após colocar a primeira camada de argamassa a 1/3 da altura do corpo de prova e adensá-la, a tela com as mesmas dimensões do corpo de prova (Figura 49 (a)) foi inserida e apertada manualmente (Figura 49 (b)). Em seguida, as camadas restantes foram colocadas e adensadas para engavetar a tela e retirar possíveis bolhas.

Figura 49. Detalhe da inserção das telas nos corpos de prova. (a) Telas com dimensões (7,5x28,5) cm e (b) corpo de prova preenchido com 1/3 de argamassa e tela.



(a)



(b)

Fonte: A autora.

Este ensaio foi realizado baseado nas recomendações da NBR 13279: 2005 com velocidade de carregamento igual a 0,05KN/s. Os resultados obtidos para a resistência à tração na flexão da argamassa armada serão obtidos conforme Equação 16.

$$\sigma_{tf} = \frac{3 pl}{2bd^2} \quad (16)$$

Onde:

σ_{tf} = resistência à tração na flexão, em MPa;

p = carga máxima aplicada, em N;

l = distância entre cutelos de suporte, em mm;

b = largura média do corpo de prova na seção de ruptura, em mm;

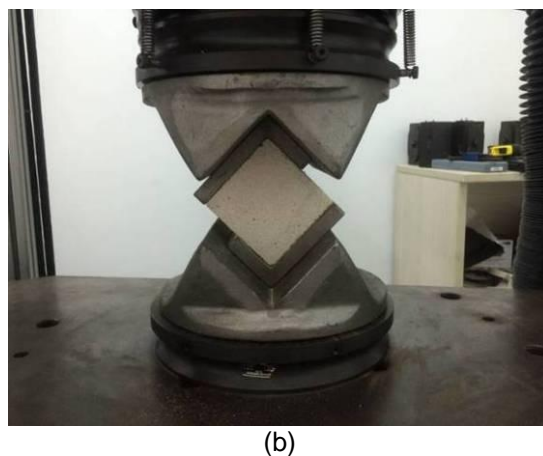
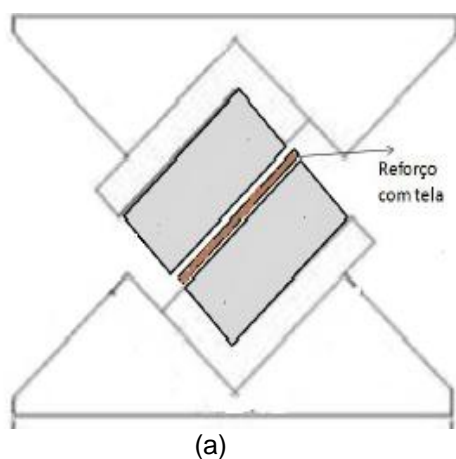
d = altura média do corpo de prova, na seção de ruptura, em mm.

4.2.3.4 Resistência ao cisalhamento

Para estudar a ação cisalhante das argamassas contendo as três diferentes telas em estudo, foram moldados 2 corpos de prova com dimensões de 7,5x7,5x28,5 cm para cada tipo de tela inserida nas argamassas estudadas. Estes corpos de prova foram preenchidos com 4 camadas de argamassa, adensadas manualmente cada uma com 30 golpes. A tela foi introduzida no corpo de prova a 1/2 de sua altura (na segunda camada de argamassa), e a mesma foi engavetada manualmente sobre a argamassa, em seguida, as camadas de argamassa restantes foram inseridas e adensadas para retirada de possíveis bolhas.

Como não existe norma brasileira para execução do ensaio de cisalhamento, este ensaio foi realizado conforme a metodologia desenvolvida por Pinto *et al.* (2016). Na idade de 28 dias de cura ambiente, os corpos de prova foram cortados em um equipamento de retífica, eliminando os bordos, com comprimento aproximado de 5 cm, para obter o total de 4 corpos de prova de 7,5 x 7,5 x10 (cm) para cada tipo de reforço e ensaiá-los em dispositivos de formato de L, confeccionados para esta finalidade, como mostrado na Figura 50 (a). Estes dispositivos são acoplados na base metálica e por meio na prensa, o conjunto é submetido a um carregamento constante de 0,1mm/s (Figura 50 (b)).

Figura 50. Ensaio de cisalhamento. Posição da tela no ensaio (a) e detalhe do ensaio de cisalhamento (b).



Fonte: A autora.

A tensão cisalhante foi calculada por meio da equação originada pelo ciclo de Mohr, encontrando também a tensão de compressão, conforme mostra a Equação 17.

$$\tau_{\text{máx}} = \tau = \frac{P\sqrt{2}}{2A} \quad (17)$$

Onde:

τ = Tensão cisalhante (MPa);

P = Força aplicada (N);

A = Área da seção cisalhada (m²);

4.2.4 Quarta Etapa- Avaliação da incidência de fissuras em revestimentos reforçados com telas.

4.2.4.1 Confeccção dos protótipos e tratamento da base

Nesta etapa, foram confeccionados 3 painéis para aplicação da argamassa armada com as três telas selecionadas para o estudo (Tela 1- eletrosoldada galvanizada de malha quadrada, Tela 2 - viveiro de polietileno e Tela 3- galvanizada de viveiro) e um painel de referência (sem reforço) para comparação dos resultados. Estes painéis possuem área útil de 0,49 m² e são constituídos de bloco de concreto estrutural de dimensão 140x190x390 mm (L x A x C) assentados com a argamassa industrializada.

O estudo foi analisado também em prismas constituídos de dois blocos de concreto, com área de 0,15 m². Para tanto, foram construídos oito exemplares, sendo dois destinados a cada tipo de reforço. Os dois lados das alvenarias foram revestidos, se diferenciando principalmente pela espessura do revestimento e do carregamento térmico. O tratamento da base foi realizado em somente uma das faces dos painéis e dos prismas destinadas ao revestimento de 2,5 cm de espessura e carregamento térmico de 38°C, utilizando chapisco industrializado (com adesivo), próprio para ambientes externos. Sua aplicação foi realizada por meio de um rolo de textura alta e sua cura foi realizada durante 3 dias para garantir a resistência e endurecimento, conforme as recomendações da NBR 7200:1998 (*“Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Procedimento”*). A Figura 51 apresenta os painéis e prismas construídos para o estudo.

Figura 51. Painéis e prismas construídos, com tratamento da base realizado em uma das faces.



Fonte: A autora.

4.2.4.2 Aplicação da argamassa e carregamento térmico.

- a) Revestimentos reforçados com tela, submetidos ao carregamento térmico de 38° C.

Para avaliar o efeito das três diferentes telas no combate à fissuração devido à retração inicial quando submetido ao carregamento térmico de 38 °C, os painéis e os prismas foram revestidos com argamassa com 2,5 centímetros de espessura.

Dado o intervalo de cura do chapisco, foram instaladas molduras de madeira com espessuras de 2,5 cm e pinos galvanizados nos painéis e prismas, visando em garantir a mesma espessura do reboco e fixar as telas com fios de aço galvanizado para impedir escorregamento das mesmas, respectivamente. Estes pinos foram instalados na parte superior e inferior dos painéis, distanciados 5 cm das bordas e com espaçamento entre um pino e outro de 34 cm, já nos prismas a distância entre

um pino e outro foi de 29 cm, também instalados na parte superior e inferior. Na Figura 52 é possível observar a instalação da moldura e dos pinos galvanizados.

Figura 52. Detalhe do painel. (a) Instalação da moldura e (b) pinos e aço galvanizados.



Fonte: A autora.

A mistura da argamassa foi produzida em uma betoneira com capacidade de 120 litros. O revestimento foi realizado de forma manual (convencional) com duas camadas de argamassa mista, no qual a primeira camada foi aplicada com 1 cm de espessura, comprimida e alisada, seguida da instalação da tela por meio de amarração através de aço e pinos galvanizados e por fim, a segunda camada de argamassa de 1,5 cm de espessura foi aplicada. O sarrafeamento e acabamento final do revestimento foram executados com a argamassa ainda no estado plástico. A etapa de execução do revestimento é apresentada na Figura 53.

Figura 53. Etapa de execução do revestimento. (a) Primeira camada de argamassa; (b) conferência da espessura; (c) instalação da tela; (d) detalhe da amarração da tela e (e) revestimento acabado e sarrafeado.



Fonte: A autora.

Logo após a finalização do acabamento do reboco, os painéis e prismas foram submetidos a um carregamento térmico, através do painel artificial constituído de 6 lâmpadas incandescentes de 100 Watts. Com potência total de 600 Watts e mesma área dos painéis, a fonte artificial de calor foi posicionada paralelamente às alvenarias com uma distância de 20 centímetros, durante um período de 45 minutos

para alcançar aproximadamente 38°C de temperatura na superfície do revestimento. Para direcionar o calor em toda área da superfície e evitar sua perda, foi necessário isolar todas as laterais e a parte superior e inferior dos painéis com isopor revestido de papel alumínio. A Figura 54 apresenta detalhes da instalação do painel na alvenaria.

Figura 54. Revestimento submetido ao carregamento térmico. (a) Painel térmico instalado paralelamente à alvenaria e (b) Isolamento dos painéis com isopor revestido com papel alumínio.



(a)



(b)

Fonte: A autora.

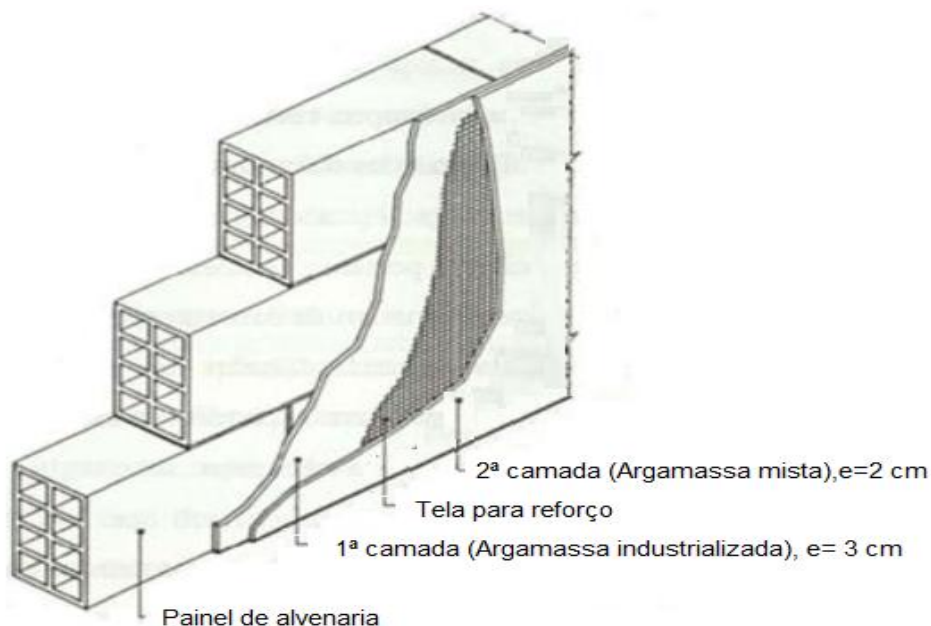
O acompanhamento da variação de temperatura na superfície do material foi realizado por meio de um termômetro digital de superfície com mira a laser, já a temperatura ambiente e a umidade relativa do ar foram acompanhadas por meio de um termo-higrômetro digital.

b) Revestimento reforçado com tela com aplicação do carregamento térmico de 80 °C.

A aplicação do revestimento seguiu as mesmas etapas citadas anteriormente no estudo do carregamento térmico de 38 °C. No entanto, não houve tratamento da base das alvenarias, além disso, os painéis e os prismas foram revestidos com duas camadas de argamassa sendo a primeira com espessura de 3 cm, utilizando argamassa industrializada, seguida da colocação da tela e da segunda camada de

espessura de 2 cm com argamassa mista, totalizando um reboco de 5 cm de espessura. A Figura 55 apresenta o desenho esquemático da aplicação do revestimento.

Figura 55. Desenho esquemático da aplicação do revestimento.



Fonte: Adaptado Veiga (1998).

Para este estudo, foi necessário utilizar o total de 24 lâmpadas incandescentes de 100 W no painel térmico para alcançar aproximadamente 80 °C de temperatura na superfície em um período de 2 horas e 30 minutos de exposição.

4.2.4.3 Análise Termográfica

Imediatamente após a remoção do painel térmico foi realizada a análise por termografia infravermelha de forma qualitativa e quantitativa por meio da análise do Delta $-T$, que é a diferença de temperatura entre a região com e sem defeito. Esta análise foi realizada somente nos painéis devido à pequena área de análise dos prismas. Para tanto, foi utilizada uma câmera infravermelha profissional (Flir C2), na faixa de temperatura de -10 to 150°C, 2% de precisão, faixa espectral de 7.5 a 14 μm , resolução de 320 x 240 pixels e IFOV de 11 mrad, conforme apresenta a Figura 56.

Figura 56. Câmera Termográfica profissional FLIR C2.



Fonte: <http://www.flir.com.br>

As imagens foram captadas com a câmera posicionada a um ângulo de 45° graus e a 1,50 metros de distância em relação aos painéis. As imagens foram tratadas utilizando o Software FLIR Tools, que acompanha o aparelho, no qual produz imagens e permite a edição referente à intensidade das cores para melhorar a visualização.

A fim de garantir a qualidade dos termogramas e a mesma composição dos dados, foi necessário padronizar a calibração/ajuste da câmera térmica inserindo os valores de emissividade e da distância entre a câmera e a alvenaria. Desta forma, a emissividade foi determinada pelo método prescrito pela ASTM 1933:1999, no qual uma fita negra padrão de emissividade conhecida, foi inserida na superfície do revestimento para determinação da temperatura a um metro e meio de distância do painel, no ponto da fita e também na superfície do revestimento (sem fita). Assim, alterando o valor da emissividade no visor da câmera até o equilíbrio da temperatura destas duas regiões, o valor determinado para a emissividade foi de 0,95.

A temperatura refletida foi fixada em 32 °C e a umidade relativa encontrada por meio de um termohigrômetro digital foi de 80%, sendo este valor característico para a região de Salvador-Ba.

Feito isso, as imagens termográficas foram realizadas antes do aquecimento forçado e imediatamente após a remoção do painel térmico (durante o resfriamento) com intervalos de trinta minutos entre imagens até a estabilização térmica do painel em relação à temperatura ambiente. Vale ressaltar que esta análise foi realizada

somente nos painéis, devido a maior área de revestimento e melhor visualização das imagens.

4.2.4.4 Mapeamento e índice de fissuração dos painéis.

O comprimento e a abertura das fissuras foram monitorados desde o surgimento até a idade de 28 dias, com auxílio de um fissurômetro. Passados a idade de cura, o mapeamento das fissuras foi realizado de acordo com Silva e Bauer (2009), através da identificação visual das fissuras com marcação de giz de cera para identificar a trajetória das mesmas. Além disso, o comprimento das fissuras foi medido com auxílio de um fio de barbante e de uma régua graduada. As etapas deste estudo podem ser observadas na Figura 57.

Figura 57. Etapas do mapeamento das fissuras. (a) medida da espessura com fissurômetro; (b) mapeamento das fissuras com giz de cera; (c) aferição do comprimento com auxílio do barbante e (d) medida do comprimento do fio de barbante com régua graduada.



(a)



(b)



(c)



(d)

Fonte: A autora.

O objetivo deste ensaio de acordo com Silva e Bauer (2009) consiste em identificar a forma, tamanho e orientação das fissuras. Para tanto, a intensidade das fissuras foi definida através da soma dos comprimentos das mesmas em todas as direções ocorridas divididas pela área do painel, com resultado expresso em m/m².

4.2.5 Quinta Etapa- Avaliação da eficiência do tipo de reparo das fissuras.

As fissuras dos revestimentos armados com espessuras de cinco centímetros de reboco foram recuperadas por meio de massa acrílica com telas de poliéster e resina epóxi (Compound Adesivo TIX). Na recuperação das fissuras dos painéis, os mesmos foram divididos em duas partes para aplicação dos dois métodos construtivos e nos prismas, cada unidade foi recuperada por um dos diferentes tratamentos. As descrições das etapas para recuperação das fissuras com massa acrílica e tela adotada neste trabalho são descritas a seguir:

- 1- Primeiramente abriu-se um sulco (profundidade de 1 cm) nas fissuras com auxílio de uma serra mármore com disco diamantado, em seguida, todo material pulverulento foi removido por meio de um pincel (Figura 58 (a));
- 2- Com uma espátula os sulcos abertos foram preenchidos com duas demãos de massa acrílica, respeitando a secagem entre uma demão e outra de 4 horas (Figura 58 (b));
- 3- Aplicou-se a tela de poliéster com transpasse de 2 cm para cada lado do sulco, fixando-a com uma fina camada de massa acrílica, aguardando a secagem de 4 horas (Figura 58 (c));
- 4- Para finalizar aplicaram-se duas demãos de massa acrílica em todo lado do painel com intervalo entre uma e outra de 4 horas (Figura 58 (d)).

Nas fissuras recuperadas com resina epóxi, o procedimento foi mais simples. Primeiramente, abriu-se um sulco nas fissuras e retirou-se todo material pulverulento, em seguida, com auxílio de uma espátula os sulcos foram preenchidos com resina Epóxi. Vale resaltar, que não houve acabamento com massa acrílica no lado destinado ao tratamento com resina (Figura 58 (d)).

Com objetivo de analisar o tipo de recuperação em ambientes expostos a elevadas temperaturas, os revestimentos após 14 dias de recuperados foram

submetidos a um carregamento térmico de 38 °C, resfriados por 24 horas em temperatura ambiente e reaquecidos com temperatura de 80 °C.

A análise foi realizada de forma qualitativa avaliando o aparecimento de fissuras e deslocamentos no revestimento. Além disso, para melhor observação imagens termográficas foram realizadas.

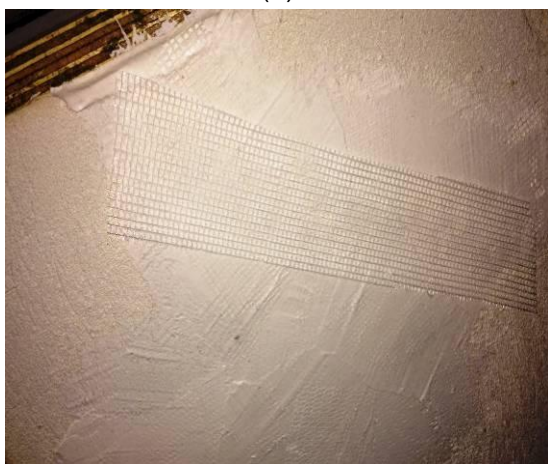
Figura 58. Etapas de recuperação das fissuras. (a) Aberturas dos sulcos ; (b) Preenchimento dos sulcos com massa acrílica; (c) Instalação da tela de poliéster e (d) Acabamento final com aplicação das últimas camadas de massa acrílica e preenchimento dos sulcos com resina epóxi.



(a)



(b)



(c)



(d)

Fonte: A autora.

4.2.6 Sexta Etapa- Avaliação do comportamento dos revestimentos reforçados quando submetidos ao impacto.

Este ensaio foi realizado baseado nas recomendações da NBR 15575-2:2013, que estabelece a energia potencial gravitacional (resistência de impacto) que uma esfera deve atingir um elemento estrutural com objetivo de provocar mossas, falhas, fissuras, destacamentos e ruínas.

O experimento foi executado apenas nos revestimentos com espessura de 2,5 cm submetidos ao carregamento térmico de 38 °C. Deste modo, os painéis e os prismas foram deitados sobre uma camada de 5 cm de areia, para então uma esfera de aço maciça com massa de 1 kg ser lançada em queda livre em uma determinada altura por dez vezes consecutivas. A esfera de aço utilizada é apresentada na Figura 59.

Figura 59. Esfera maciça do ensaio de impacto.



Fonte: A autora.

A Tabela 9 apresenta as alturas e suas respectivas energias empregadas neste estudo.

Tabela 9. Altura de lançamento das esferas com suas respectivas energias.

| Impacto | Massa (kg) | Altura (m) | Energia (J) |
|--|------------|------------|-------------|
| Aplicação de 10 impactos de corpo duro | 1,00 | 2,00 | 20 |
| | 1,00 | 1,00 | 10 |

Fonte: A autora.

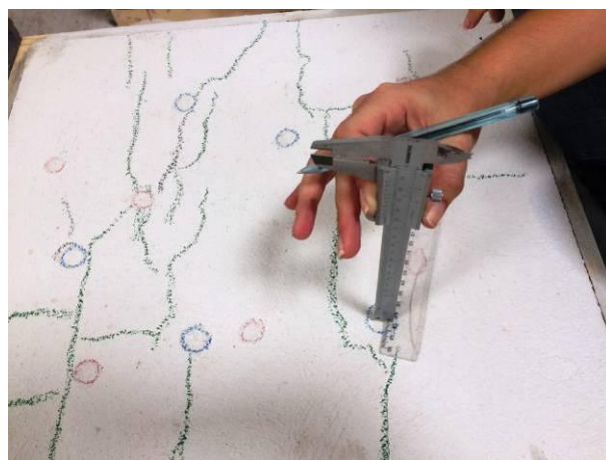
Para garantir a mesma altura de lançamento da esfera, o ensaio foi executado utilizando um suporte com a altura padronizada de lançamento. Além disso, uma mesma pessoa lançou a esfera.

Após cada queda da esfera, foi realizada a medição das profundidades das mossas através de um paquímetro, observando também falhas como fissuras, destacamentos e ruínas. A Figura 60 apresenta o ensaio de corpo duro.

Figura 60. Ensaio de corpo duro. (a) Alvenarias sobre uma camada de areia e (b) medição das mossas de cada impacto.



(a)



(b)

Fonte: A autora.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados obtidos nesta pesquisa, que está subdividido em 6 etapas.

5.1 Primeira Etapa- Caracterização dos materiais

5.1.1 Aglomerantes

A composição física - química do cimento foi fornecida pelo fabricante pode ser observada na Tabela 10. Nota-se que o cimento atende às exigências químicas da NBR 11578:1997 (*“Cimento Portland composto – Especificação”*).

Tabela 10. Caracterização físico, química e mecânica do cimento CP II Z-32 (RS).

| Propriedades Químicas | Valor médio | ABNT NBR |
|---|--------------------|-----------------|
| Perda ao fogo (%) | 5,22 | ≤ 6,5 |
| Resíduo insolúvel (%) | 3,03 | ≤ 16 |
| SO ₃ (%) | 3,40 | ≤ 4,0 |
| Propriedades Físicas e Mecânicas | Valor médio | ABNT NBR |
| Massa específica (g/cm ³) | 3,15 | - |
| Área específica (Blaine) (cm ² /g) | 3673 | ≥ 2600 |
| Finura - #325 (%) | 11,69 | N/A |
| Finura - #200 (%) | 1,49 | ≤ 12,0 |
| Expansibilidade a quente (mm) | - | ≤ 5,0 |
| Início de Pega (min) | 300 | ≥ 60 |
| Fim de Pega (min) | 369 | ≤ 600 |
| Água da Pasta de Consistência (%) | 26 | N/A |
| Resistência à Compressão (MPa) | Valor médio | ABNT NBR |
| 3 dias | 28,4 | ≥ 10,0 |
| 7 dias | 34,2 | ≥ 20,0 |
| 28 dias | 41,4 | ≥ 32 ≤ 49,0 |

Fonte: Fabricante do cimento.

A Tabela 11 apresenta a caracterização físico-química fornecida pela fabricante da cal utilizada nesta pesquisa.

Tabela 11. Características físico-químicas da cal CH-I.

| Características Específicas | |
|------------------------------------|------------------------|
| Densidade aparente | 0,55 g/cm ³ |
| Resíduo insolúvel (RI) | < 3% |
| Óxidos não hidratados | < 3% |
| Óxidos totais | > 90% |
| Anidrido carbônico | < 5 % |

Fonte: Fabricante da cal.

5.1.2 Agregados

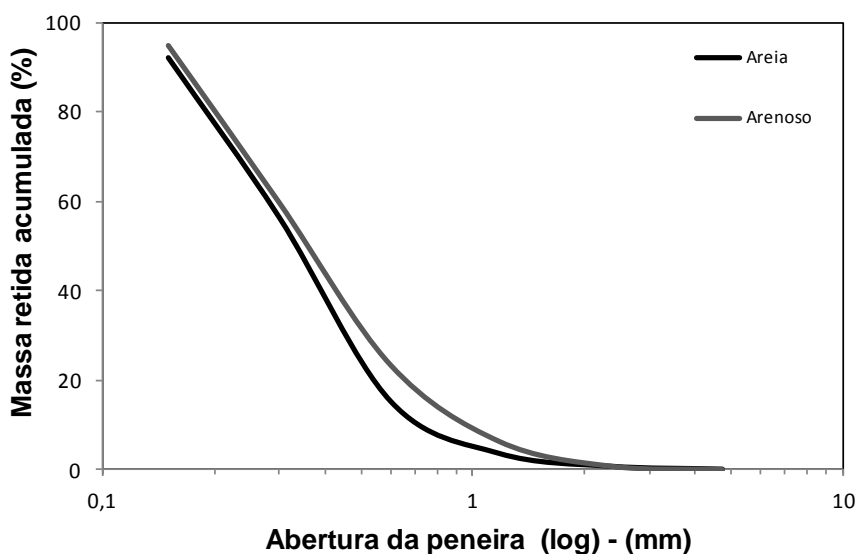
Os parâmetros obtidos pela caracterização física da areia e do argilo mineral (arenoso) utilizados nas argamassas produzidas em laboratório são apresentados na Tabela 12. Estes agregados possuem granulometria bem graduada (granulometria contínua), contendo todas as frações em sua curva de distribuição granulométrica, conforme apresenta a Figura 61.

Tabela 12. Resultados dos ensaios de caracterização do agregado miúdo natural.

| Características | Norma | Areia | Arenoso |
|--|------------------|--------------|----------------|
| Massa unitária em estado solto (kg/dm ³) | NBR NM 45, 2006 | 1,49 | 1,26 |
| Massa específica (kg/dm ³) | NBR NM 52, 2009 | 2,64 | 2,66 |
| Materiais pulverulentos (%) | NBR NM 46, 2003 | 0,80 | 11,73 |
| D max (# mm) | NBR NM 248, 2003 | 1,18 | 2,36 |
| Módulo de Finura | NBR 7211, 2009 | 1,68 | 1,85 |

Fonte: A autora.

Figura 61. Curva granulométrica da areia e do arenoso utilizados nas argamassas.



Fonte: A autora.

5.1.3 Blocos

a) Resistência à compressão dos blocos

Com a realização do ensaio de resistência à compressão dos blocos foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 13, utilizando o critério de fbk da NBR 6136:2014 e o valor médio da amostra.

Tabela 13. Dados individuais da resistência à compressão dos blocos.

| Unidades | Resistência à compressão (MPa) |
|--------------------------------------|---------------------------------------|
| CP 1 | 6,0 |
| CP 2 | 5,6 |
| CP 3 | 6,9 |
| CP4 | 6,4 |
| CP5 | 5,6 |
| CP6 | 5,9 |
| Fbk,est | 4,7 |
| $\Psi \times 0,89$ | 5,4 |
| Fbk | 5,4 |
| Média | 6,1 |
| DesvPad | 0,51 |
| CV(%) | 8,42 |

Fonte: A autora.

Fazendo uma análise comparativa entre o valor da resistência à compressão obtida pelo método do Fbk e pela média aritmética simples, observa-se uma diferença entre os valores.

b) Absorção total de água

Foram utilizados três exemplares do bloco de concreto estrutural com dimensões de 140x190x390 mm (L x A x C). Os resultados encontrados podem ser visualizados na Tabela 14.

Tabela 14. Absorção Total de água do bloco.

| Nº da amostra | Absorção Total (%) |
|-----------------------|--------------------|
| CP-01 | 5,84 |
| CP-02 | 5,34 |
| CP-03 | 5,92 |
| Média | 5,70 |
| Desvio Padrão | 0,32 |
| Coef. de variação (%) | 5,54 |

Fonte: A autora.

Observa-se que a absorção total do bloco encontrado foi de 5,70%, se enquadrando nos valores de referência estabelecidos pela NBR 6136:2014. Sendo que para Fbk maior ou igual à 3 MPa, a absorção média deve ser $\leq 10\%$ e absorção individual $\leq 12\%$. E para Fbk entre 4 e 8 MPa, a absorção média deve ser $\leq 8\%$ e absorção individual $\leq 10\%$.

c) Índice de Absorção Inicial de Água (AAI)

Para este ensaio foram utilizados os mesmos blocos destinados para avaliar a absorção total de água, utilizando três corpos de prova. O ensaio foi realizado em apenas uma superfície do bloco, seguindo as recomendações de secagem estabelecidas pela NBR 15270-3: 2005. Os valores encontrados no ensaio são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15. Índice de Absorção Inicial de Água (AAI).

| Nº da amostra | AAI (g/193,55cm ²)/min |
|-----------------------|------------------------------------|
| CP-01 | 26,55 |
| CP-02 | 24,64 |
| CP-03 | 33,07 |
| Média | 28,09 |
| Desvio Padrão | 4,42 |
| Coef. de variação (%) | 15,75 |

Fonte: A autora.

Nota-se que o bloco atingiu o critério estabelecido pela norma NBR 15270-3, que estabelece absorção máxima de (30 g/193,55 cm²)/min. Assim, os blocos estudados podem ser assentados sem ser umedecidos.

5.1.4 Telas

Os pontos de ruptura da Tela 1 (galvanizada eletrosoldada) em todas as amostras ocorreram distanciados dos pontos de solda (Figura 62). Se tratando da Tela 2 (polietileno), esta indicou elevada deformação (Figura 63). Por fim, a Tela 3 (galvanizada de viveiro) apresentou, ruptura no entrelaçamento dos fios na região do central da amostra e no canto inferior (Figura 64).

Figura 62. Ensaio de tração da Tela 1. (a) Tela antes do ensaio e (b) Tela tracionada.



Fonte: A autora.

Figura 63. Ensaio de tração da Tela 2. (a) Tela antes do ensaio e (b) Tela tracionada.



Fonte: A autora.

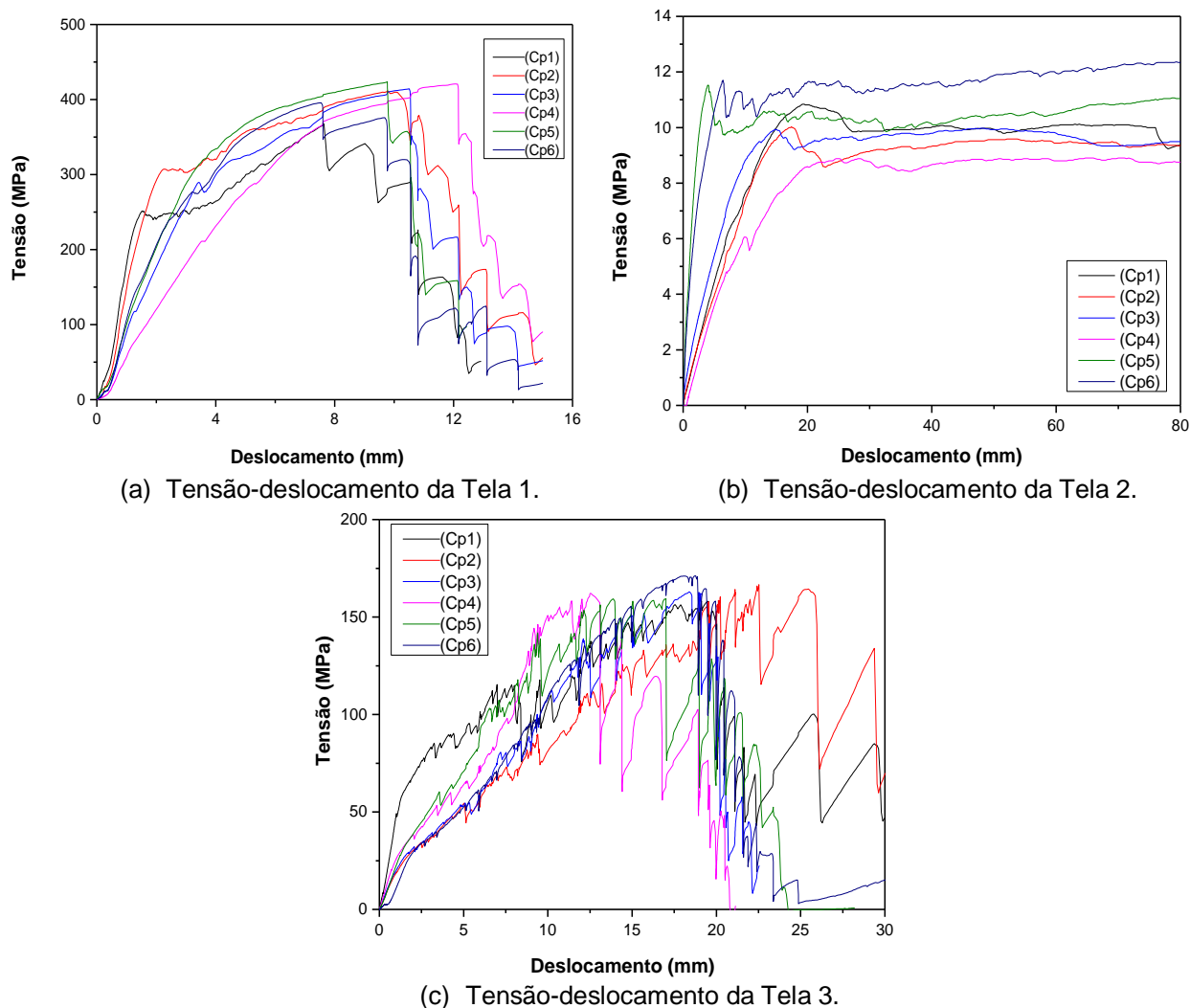
Figura 64. Ensaio de tração da Tela 3. (a) Tela antes do ensaio e (b) Tela tracionada.



Fonte: A autora.

O comportamento do gráfico de tensão em função do deslocamento das telas no ensaio de tração é apresentado na Figura 65.

Figura 65. Diagrama de tensão-deslocamento das telas.



Fonte: A autora.

Se tratando de um ensaio de tração de um componente composto de vários fios de aço, os diagramas de tensão-deslocamento das telas 1 e 3 como esperado, apresentaram vários pontos de acréscimo e decréscimo de tensões devido à ruptura de cada fio da tela (Figura 61 (a) e (c)). Já Figura 61 (b), observa-se o comportamento típico de um material polimérico, uma vez que a força de tração atinge um ponto máximo e se mantém em seguida constante.

Os valores das tensões encontrados neste ensaio são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16. Resultados do ensaio de tração das telas.

| Tipo de Tela | Amostras | Carga Máxima (N) | Limite de resistência (MPa) |
|---|-----------------|-------------------------|------------------------------------|
| Tela 1 Eletrosoldada galvanizada | 1 | 5338,90 | 368,41 |
| | 2 | 5968,60 | 411,87 |
| | 3 | 6002,30 | 414,19 |
| | 4 | 6096,30 | 420,68 |
| | 5 | 6142,60 | 423,87 |
| | 6 | 5731,80 | 395,53 |
| | Média | 5880,08 | 405,76 |
| | DesvPad | 301,10 | 20,78 |
| | CV% | 5,12 | 5,12 |
| Tela 2 Tela de polietileno | 1 | 281,79 | 10,84 |
| | 2 | 262,61 | 10,10 |
| | 3 | 259,30 | 9,97 |
| | 4 | 233,50 | 8,98 |
| | 5 | 299,65 | 11,53 |
| | 6 | 322,14 | 12,39 |
| | Média | 276,50 | 10,63 |
| | DesvPad | 31,57 | 1,21 |
| | CV% | 11,42 | 11,42 |
| Tela 3 Tela galvanizada de viveiro | 1 | 818,26 | 158,20 |
| | 2 | 861,92 | 166,64 |
| | 3 | 842,73 | 162,93 |
| | 4 | 838,76 | 162,16 |
| | 5 | 824,87 | 159,48 |
| | 6 | 885,07 | 171,12 |
| | Média | 845,27 | 163,42 |
| | DesvPad | 24,72 | 4,78 |
| | CV% | 2,92 | 2,92 |

Fonte: A autora.

Observa-se que a Tela 1, apresentou capacidade de suportar elevadas tensões de tração, com resistência de 405,76 MPa. Estes resultados são compatíveis com os estudos de Antunes & Masuero (2013) e Pozzobon *et al.* (2014) que obtiveram resistências médias de 539,43 MPa e 465,53 MPa, respectivamente.

A Tela 2 obteve capacidade de resistência de apenas 10,63 MPa, devido a junção dos fios e sua elevada deformação, dificultando sua utilização como reforço ou na reabilitação de revestimentos argamassados de fachadas.

O ensaio da Tela 3 foi realizado com as amostras instaladas com os fios entrelaçados horizontalmente, posição que foi inserida nos revestimentos deste trabalho. Apresentando resistência de 163,42 MPa, esta posição segundo Pozzobon

et al. (2014) é a pior situação a ser utilizada como ponte de transmissão de tensões ou para estruturar a camada do revestimento, uma vez que quando a união dos fios estão posicionados na posição vertical, a amostra se deforma menos e garante uma maior resistência.

Portanto, com base nos resultados encontrados na resistência à tração das telas, a Tela 1 como esperado, apresentou maior resistência, com baixa deformação e maior rigidez. No entanto, esta questão é discutível devido aos valores de tensões térmicas nos revestimentos serem pequenas, no qual de acordo com os estudos numéricos de Saraiva *et al.* (2001) estas tensões são menores que 0,1 MPa.

5.1.5 Argamassa Industrializada

Para a utilização da argamassa em revestimentos, a NBR 13281:2005 (*Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos*) recomenda a realização de alguns ensaios para aplicação e aceitação. Desta forma, os resultados médios dos ensaios de caracterização da argamassa industrializada são apresentados na Tabela 17.

Tabela 17. Caracterização das argamassas conforme a NBR 13281:2005.

| Determinação | Argamassa Industrializada | DESPAD | CV% |
|--|---------------------------|--------|--------|
| Índice de consistência (mm) | 259 | 1,15 | 0,45 |
| Índice de retenção de água (%) | 82 | - | - |
| Densidade de massa no estado fresco (Kg/m ³) | 1524 | - | - |
| Resistência à tração na flexão (MPa) | 2,31 | 0,02 | 0,77 |
| Resistência à compressão (MPa) | 5,41 | 0,50 | 9,30 |
| Densidade no estado endurecido (kg/m ³) | 1711 | 13,44 | 0,79 |
| Coeficiente de capilaridade (g/dm ² .min ^{1/2}) | 7,5 | 0,60 | 7,97 |
| Resistência potencial de aderência à tração (MPa) | 0,31 | 0,04 | 14,27% |

Fonte: A autora.

Baseado nos ensaios realizados pode-se concluir que a argamassa industrializada apresenta resultados aceitáveis conforme as especificações da norma NBR 13281:2005. Além disso, de acordo com a norma francesa CSTB (1993), a resistência à tração por flexão encontrada, permite sua utilização para

revestimentos sujeitos a choques e também para revestimentos cerâmicos. Já a retenção de água se encontra dentro da classe mínima de aceitação (classe U3) de acordo com a NBR 13281/2005.

5.2 Segunda Etapa- Estudo de traços para obtenção de fissuras na argamassa.

5.2.1 Estudo com argamassa industrializada.

Os revestimentos realizados com as cinco misturas não apresentaram fissuras na cura ambiente de 14 dias, muito menos com a aplicação dos ciclos de aquecimento e resfriamento nos revestimentos. Apesar deste critério influenciar no aparecimento de fissuras, não foi encontrado mudanças nos revestimentos estudados, devido provavelmente pela quantidade de aditivos na composição da argamassa (Figura 66).

Figura 66. Revestimentos dos blocos com argamassa industrializada após carregamento térmico.

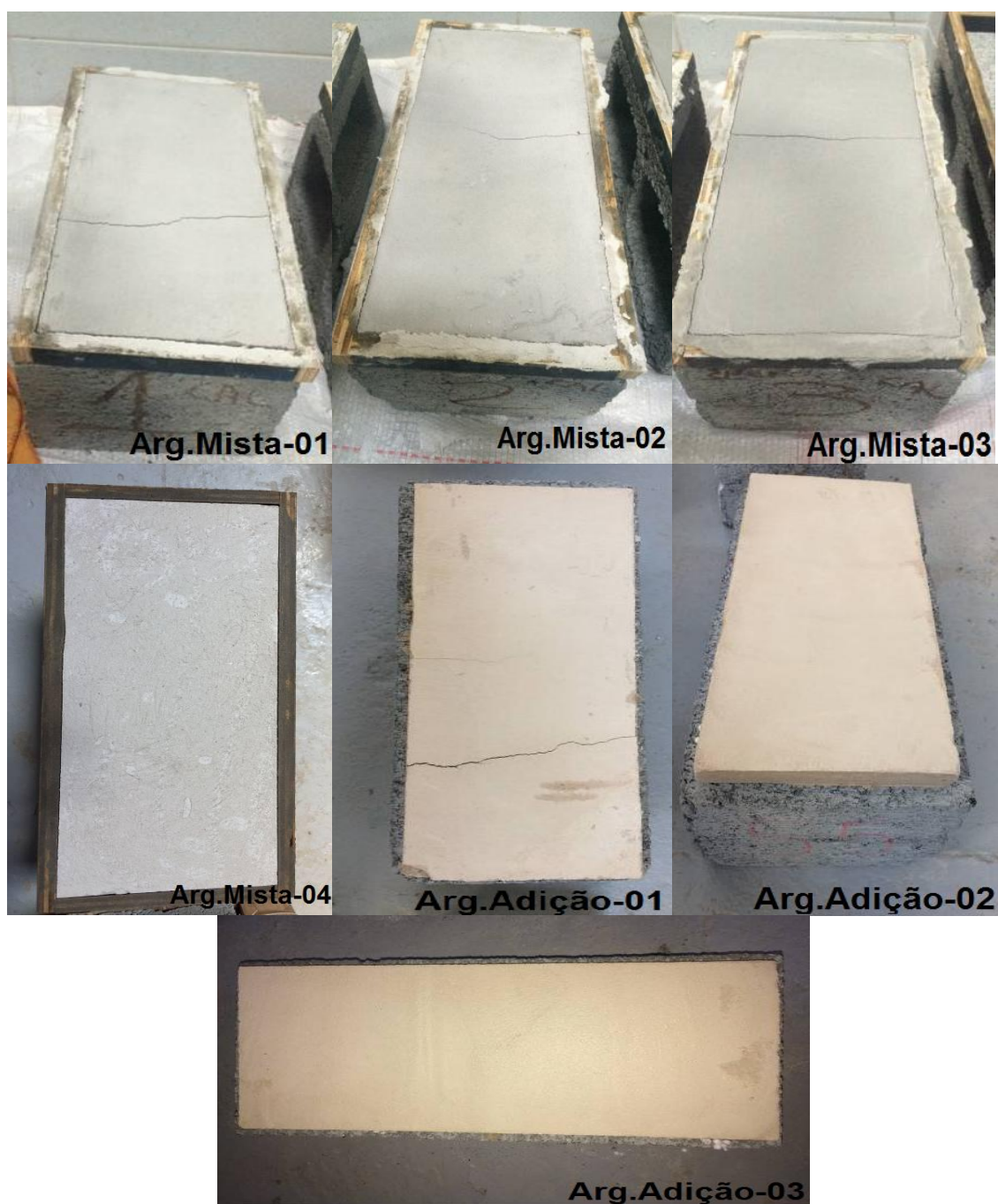


Fonte: A autora.

5.2.2 Estudo com argamassa mista e argamassa de argilomineral.

A Figura 67 e a Tabela 18 apresentam a avaliação da fissuração nos estudos das argamassas produzidas em laboratório, com aplicação do carregamento térmico após a cura de 14 dias.

Figura 67. Avaliação da fissuração das argamassas produzidas em laboratório com aplicação do carregamento térmico aos 14 dias.



Fonte: A autora.

Tabela 18. Análise dos traços de revestimento de argamassa mista e com argilomineral estudados na pesquisa.

| Argamassa | Fissuras com 24 horas | Carregamento térmico aos 14 dias | Fissuras após carregamento térmico |
|------------------|------------------------------|---|---|
| Arg.Mista-01 | sim | sim | não |
| Arg.Mista-02 | sim | sim | não |
| Arg.Mista-03 | sim | sim | não |
| Arg.Mista-04 | não | sim | não |
| Arg.Adição-01 | sim | sim | não |
| Arg.Adição-02 | não | sim | não |
| Arg.Adição-03 | não | sim | não |

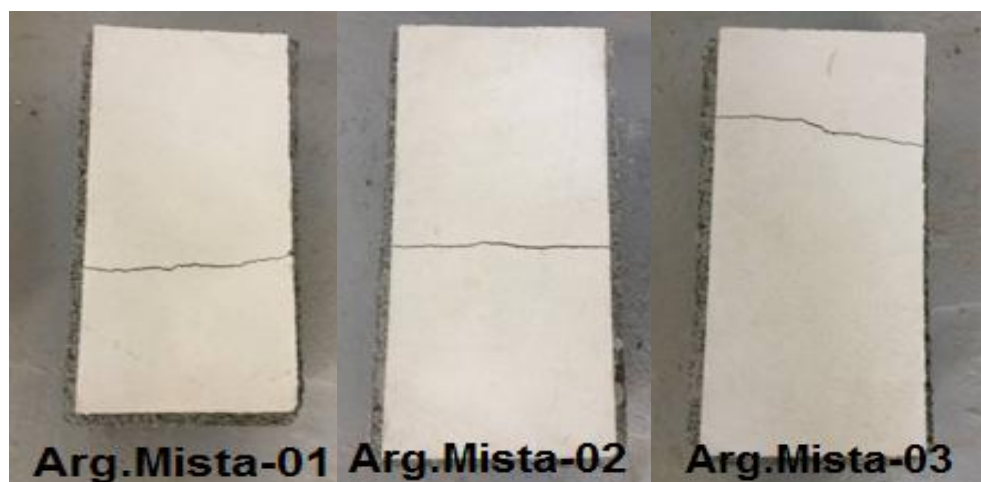
Fonte: A autora.

Nota-se que as argamassas Arg.Mista-01, Arg.Mista-02, Arg.Mista-03 e Arg.Adição-01 apresentaram fissuras. No entanto, estas fissuras ocorreram somente após 24 horas de cura ambiente e não houve incidência de novas fissuras com aplicação do carregamento térmico, devido à dissipação das tensões com a abertura das fissuras. Apesar deste carregamento induzir o aparecimento de fissuras nos revestimentos, as demais argamassas avaliadas não desenvolveram fissuração com a sua aplicação.

As argamassas Arg.Mista-01, Arg.Mista-02 e Arg.Mista-03, foram reproduzidas para serem submetidas ao carregamento térmico imediatamente após a execução do reboco. Optou-se de não aprofundar os estudos da Arg. Adição-01, devido à pulverulência apresentada nas argamassas, o que poderia prejudicar a aderência da argamassa no sistema de revestimento.

Analisando os resultados, observou-se o aparecimento de uma única fissura em todos os traços de revestimento, conforme apresenta a Figura 68.

Figura 68. Traços que obtiveram fissuras com carregamento térmico no estado fresco.



Fonte: A autora.

Percebe-se que todos os revestimentos com excesso de cal deste estudo fissuraram, com e sem carregamento térmico nas primeiras horas de aplicação. Fato este explicado pelo aumento do teor de finos da cal na composição da argamassa e pelo maior consumo de água na mistura. A Arg.Mista-01, obteve melhor desempenho devido a maior espessura da fissura (4 mm) e menor tempo de aquisição de fissuras durante a exposição de calor (30 min), comparada com as demais argamassas que adquiriram espessura de fissura de 3 mm em espaço de tempo aproximadamente de uma hora e trinta minutos.

Conforme a análise dos resultados encontrados e no índice de fissuração classificado como média nos estudos de Silva (2006), a argamassa Arg.Mista-01, cujo traço em massa é 1: 2,5: 12: 3,10 (cimento: cal: areia: a/c), foi escolhida para estudar o comportamento das argamassas reforçadas com telas neste trabalho, juntamente com a argamassa industrializada.

Para análise de estudo, foi necessário caracterizar a Arg. Mista-01, conforme a NBR 13281:2005, no qual os valores encontrados são apresentados na Tabela 19.

Tabela 19. Caracterização da argamassa mista com traço em massa de 1:2,5:12:3,10 (c:cal:areia:a/c) a ser aplicada nos painéis e prismas.

| Determinação | Argamassa Mista | DESPAD | CV% |
|---|------------------------|---------------|------------|
| Índice de consistência (mm) | 260 | 0,72 | 0,28 |
| Índice de retenção de água (%) | 81 | - | - |
| Densidade de massa no estado fresco (Kg/m ³) | 2047 | - | - |
| Resistência à tração na flexão (MPa) | 0,80 | 0,06 | 6,96 |
| Resistência à compressão (MPa) | 1,29 | 0,06 | 5,63 |
| Densidade no estado endurecido (kg/m ³) | 1816 | 16,34 | 0,90 |
| Coefficiente de capilaridade (g/dm ² .min ^{1/2}) | 27,2 | 2,21 | 8,13 |
| Resistência potencial de aderência à tração (MPa) | 0,14 | 0,02 | 12,33 |

Fonte: A autora.

A retenção de água desta argamassa mista a classifica segundo a NBR 13281:2005 em U3 (80 a 90 %). O valor encontrado para a resistência à tração na flexão (0,80 MPa) classifica essa argamassa na classe R1 ($\leq 1,5$ MPa), considerada segundo a norma francesa (CSTB,1993) inadequada para aplicação em revestimentos sujeitos a choques e também para revestimentos cerâmicos.

O coeficiente de capilaridade encontrado pertence ao limite máximo de aceitação (classe C6). Já a resistência potencial de aderência à tração se enquadra na classe mínima de aceitação da norma brasileira (classe A1).

Nota-se que a argamassa mista possui uma menor resistência de aderência à tração e uma maior porosidade em relação à argamassa industrializada, devido a maior quantidade de partículas finas na sua composição. O alto valor de absorção de água por capilaridade prejudica as propriedades mecânicas e permite o surgimento de fissuras, afetando a durabilidade do revestimento. Sendo assim, o uso das telas para reforçar argamassa pode minimizar as fissuras surgidas neste revestimento.

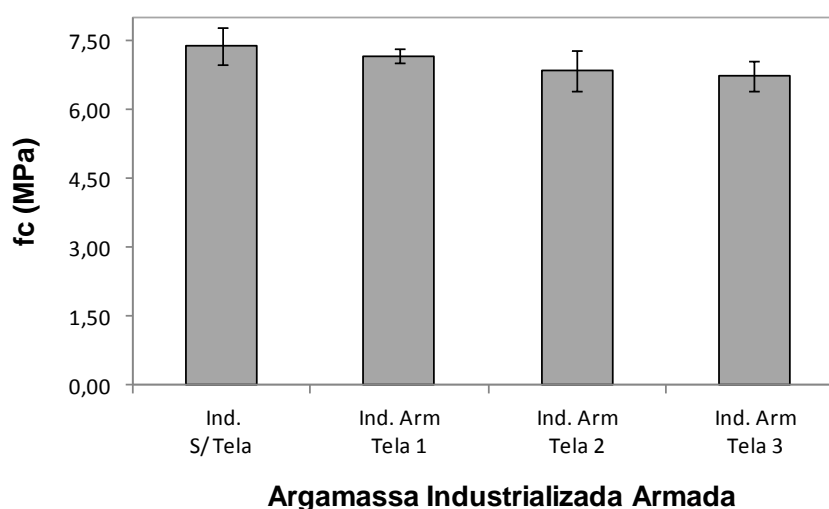
5.3 Terceira Etapa- Avaliação das propriedades mecânicas das argamassas reforçadas com telas em corpos de prova.

5.3.1 Resistência à compressão axial

a) Argamassa industrializada

Os valores das resistências por compressão axial encontradas nas argamassas industrializadas reforçadas com telas são apresentados na Figura 69 e na Tabela 20.

Figura 69. Resultados do ensaio de compressão axial da argamassa industrializada armada.



Fonte: A autora.

Tabela 20. Valores individuais da resistência à compressão axial da argamassa industrializada armada.

| Fc (MPa) | | | | |
|----------------|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| CP | Ind. S/ Tela | Ind. Arm Tela 1 | Ind. Arm Tela 2 | Ind. Arm Tela 3 |
| 1 | 7,65 | 7,40 | 7,35 | 7,17 |
| 2 | 7,16 | 7,16 | 6,27 | 6,70 |
| 3 | 7,83 | 7,05 | 6,94 | 6,78 |
| 4 | 6,98 | 7,11 | 6,83 | 6,36 |
| Média | 7,40 | 7,18 | 6,85 | 6,75 |
| DesvPad | 0,40 | 0,16 | 0,44 | 0,33 |
| CV (%) | 5,39 | 2,17 | 6,50 | 4,89 |

Fonte: A autora.

Os dados mostram que os três tipos de telas utilizadas para reforçar a argamassa promoveram uma diminuição da resistência à compressão axial. Comparando com a argamassa industrializada não armada, este decréscimo da resistência foi de 3,03% para Ind. Arm- Tela 1 , 7,52% para Ind. Arm- Tela 2 e de 8,77% pra a Ind. Arm –Tela 3.

Desta maneira, foi realizada a análise estatística ANOVA, com intuito de verificar se há diferença significativa entre os valores da resistência à compressão, obtidos nas argamassas industrializadas armadas em relação à argamassa industrializada não armada. Estes valores podem ser verificados na Tabela 21.

Tabela 21. Análise estatística dos valores de Fc encontrados para argamassa industrializada armada.

| Argamassas | Fcal | Valor-p | Fcrítico | Significativo |
|--------------------------------|-------------|----------------|-----------------|----------------------|
| Ind. S/ Tela x Ind. Arm-Tela 1 | 1,10 | 0,3350 | 5,99 | Não |
| Ind. S/ Tela x Ind. Arm-Tela 2 | 3,48 | 0,1115 | 5,99 | Não |
| Ind. S/ Tela x Ind. Arm-Tela 3 | 6,29 | 0,0460 | 5,99 | Sim |

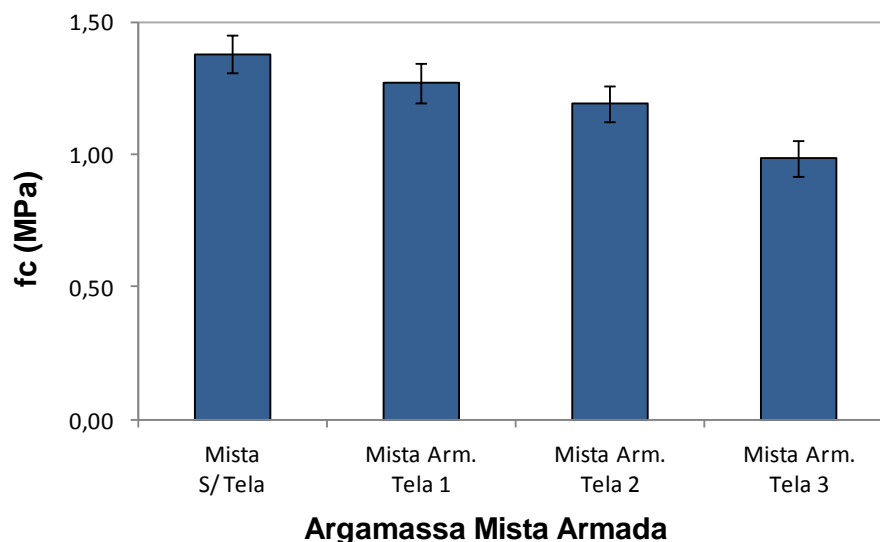
Fonte: A autora.

Considerando um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$) na análise da ANOVA, percebe-se que não existem diferenças significativas na resistência à compressão axial na comparação das argamassas armadas Ind. Arm-Tela 1 e Ind. Arm-Tela 2 em relação à argamassa de referência (Ind S/ Tela), pois o valor calculado (Fcal) é inferior ao valor tabelado (Fcrítico). Já comparando Ind. Arm-Tela 3 com a Ind S/ Tela, observou-se um decréscimo significativo nas resistências, pois o valor-p é inferior ao nível de significância ($\alpha = 0,05$), além disso, o Fcal é superior ao Fcrítico.

b) Argamassa Mista

Os valores das resistências por compressão axial encontradas nas argamassas mistas reforçadas com telas são apresentados na Figura 70 e na Tabela 22.

Figura 70 . Resultados do ensaio de compressão axial da argamassa mista armada.



Fonte: A autora.

Tabela 22. Valores individuais da resistência à compressão axial da argamassa mista armada.

| Fc (MPa) | | | | |
|----------------|---------------|------------------|------------------|-------------------|
| CP | Mista S/ Tela | Mista Arm Tela 1 | Mista Arm Tela 2 | Mista. Arm Tela 3 |
| 1 | 1,37 | 1,36 | 1,17 | 0,92 |
| 2 | 1,29 | 1,29 | 1,23 | 0,97 |
| 3 | 1,40 | 1,25 | 1,26 | 1,07 |
| 4 | 1,46 | 1,18 | 1,11 | 0,99 |
| Média | 1,38 | 1,27 | 1,19 | 0,99 |
| DesvPad | 0,07 | 0,08 | 0,07 | 0,06 |
| CV (%) | 5,28 | 5,94 | 5,48 | 6,57 |

Fonte: A autora.

Observando os dados da Tabela 22, nota-se que houve uma diminuição na resistência à compressão em todas as argamassas mistas armadas em relação à argamassa mista não armada. Esta redução foi de 7,94 % para Mista Arm- Tela 1, 13,51 % para a Mista Arm- Tela 2 e de 28,52 % correspondente Mista Arm- Tela 3. Na Tabela 23 são mostradas as verificações estatísticas entre as resistências das argamassas mistas armadas e à argamassa mista não armada.

Tabela 23. Análise estatística dos valores de F_c encontrados para argamassa mista armada.

| Argamassas | F_{cal} | Valor-p | $F_{crítico}$ | Significativo |
|----------------------------------|-----------|---------|---------------|---------------|
| Mista S/ Tela x Mista Arm-Tela 1 | 4,37 | 0,0816 | 5,99 | Não |
| Mista S/ Tela x Mista Arm-Tela 2 | 14,50 | 0,0089 | 5,99 | Sim |
| Mista S/ Tela x Mista Arm-Tela 3 | 65,24 | 0,0002 | 5,99 | Sim |

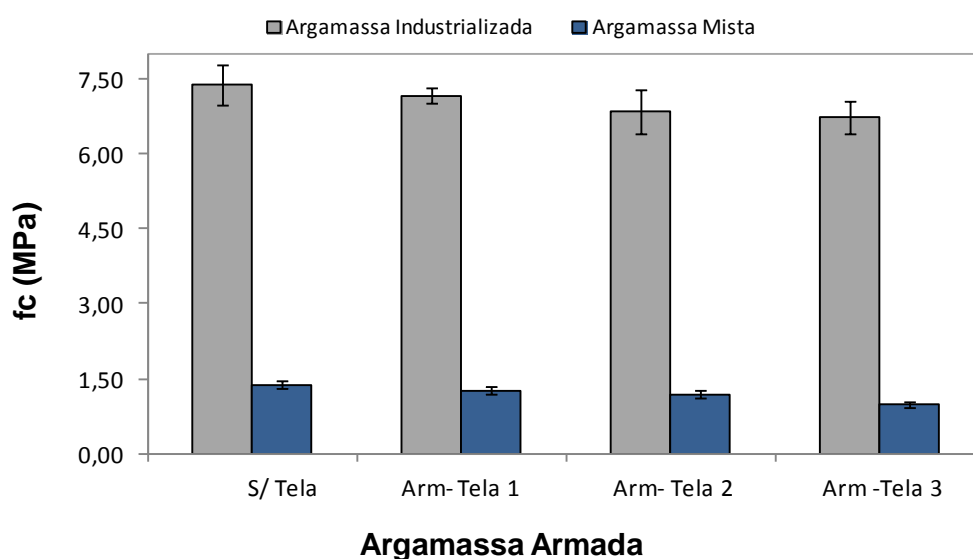
Fonte: A autora.

Ao analisar os dados comparativos da ANOVA, percebe-se que a resistência à compressão não possui variação significativa em relação à argamassa de referência (Mista S/ Tela) apenas para a Mista Arm-Tela 1.

c) Comparação da resistência à compressão das argamassas.

A Figura 71 apresenta a comparação das resistências das argamassas industrializadas e mistas.

Figura 71. Comparação das resistências por compressão axial das argamassas armadas.

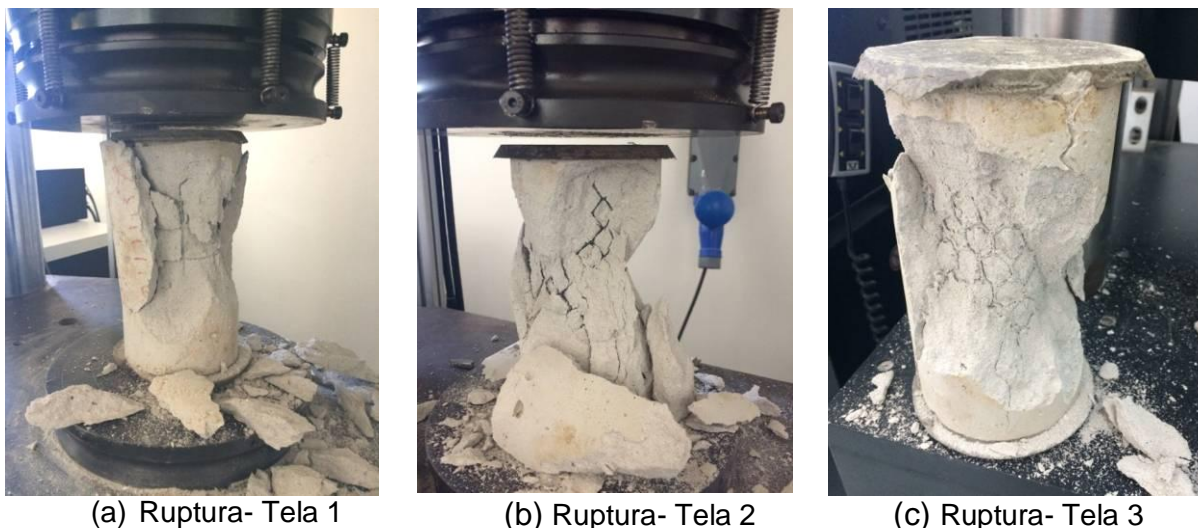


Fonte: A autora.

Pode-se observar uma redução de cerca de 80% da resistência das argamassas mistas em relação às argamassas industrializadas. A diminuição da resistência à compressão em todas as argamassas reforçadas está atribuída à posição da tela no corpo de prova. Considerando que as telas em formato cilíndrico foram inseridas na camada de argamassa com dois centímetros de cobertura da

fôrma, isto resultou no encapsulamento de uma parte da argamassa e na fragilidade da argamassa da parte externa a esta armação (Figura 72).

Figura 72. Ruptura dos corpos de prova armados com tela no ensaio de compressão axial.



Fonte: A autora.

Desta forma, nota-se que a inserção das telas no corpo de prova cilíndrico restringiu o comportamento mecânico do ensaio, interferindo nos resultados encontrados.

O estudo corrobora com as análises de Gomes *et al.* (2007) que constataram que o uso de telas no sistema de revestimento é mais eficiente quando posicionadas próximo à superfície externa.

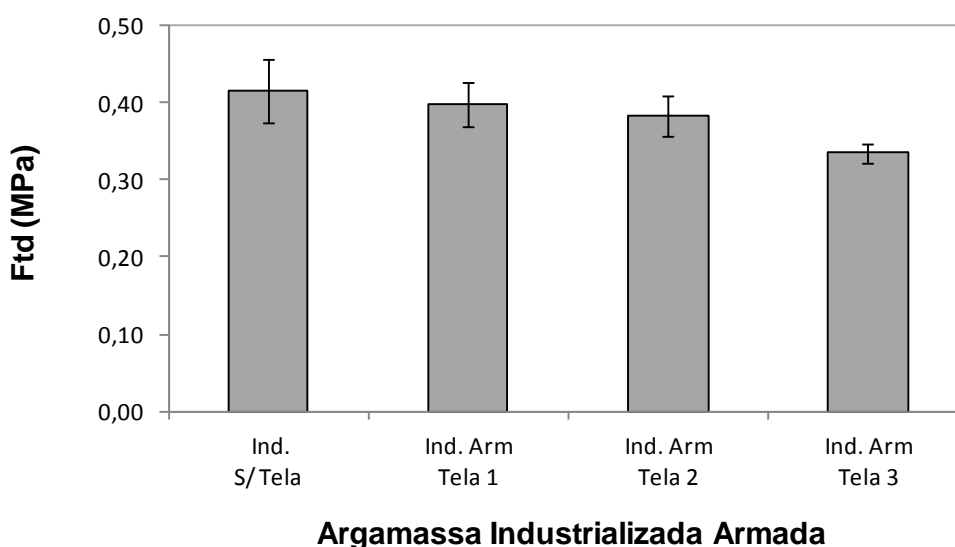
Este fato está relacionado também à coesão e fluidez das argamassas, como também nas características das telas. Exemplo disto está na redução significativa proporcionada pelo reforço realizado com a Tela 3 e também com a Tela 2 no reforço de argamassas mistas.

5.3.2 Resistência à tração por compressão diametral.

a) Argamassa Industrializada

Os resultados encontrados para o ensaio de resistência à tração por compressão diametral para a argamassa industrializada armada são mostrados na Figura 73 e na Tabela 24.

Figura 73. Resultados da resistência à tração por compressão diametral da argamassa industrializada armada.



Fonte: A autora.

Tabela 24. Valores individuais das resistências à tração por compressão diametral da argamassa industrializada armada.

| Ftd (MPa) | | | | |
|----------------|-------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| CP | Ind S/ Tela | Ind. Arm Tela 1 | Ind. Arm Tela 2 | Ind. Arm Tela 3 |
| 1 | 0,47 | 0,41 | 0,38 | 0,34 |
| 2 | 0,40 | 0,43 | 0,40 | 0,33 |
| 3 | 0,41 | 0,36 | 0,35 | 0,35 |
| 4 | 0,38 | 0,39 | 0,41 | 0,32 |
| Média | 0,42 | 0,40 | 0,38 | 0,33 |
| DesvPad | 0,04 | 0,03 | 0,03 | 0,01 |
| CV (%) | 9,69 | 7,07 | 6,87 | 3,47 |

Fonte: A autora.

Nota-se que as argamassas reforçadas com telas, obtiveram uma pequena redução na resistência de 4,14%, 7,79% e 19,49%, para Ind. Arm-Tela 1, Ind. Arm-Tela 2 e Ind. Arm-Tela 3, respectivamente.

Analisando a estatística ANOVA das resistências encontradas em relação à argamassa não armada, observa-se que a redução da resistência à tração por

compressão diametral só é significativa para a Ind. Arm-Tela 3, conforme apresenta a Tabela 25.

Tabela 25. Análise estatística dos valores de F_{td} encontrados para argamassa industrializada armada.

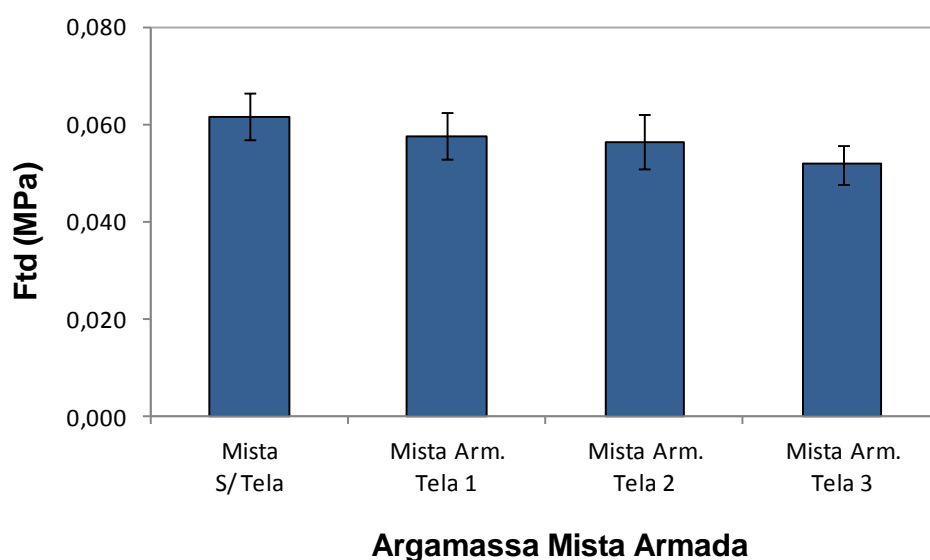
| Argamassas | Fcal | Valor-p | Fcrítico | Significativo |
|--------------------------------|-------|---------|----------|---------------|
| Ind. S/ Tela x Ind. Arm-Tela 1 | 0,49 | 0,5102 | 5,99 | Não |
| Ind. S/ Tela x Ind. Arm-Tela 2 | 1,81 | 0,2272 | 5,99 | Não |
| Ind. S/ Tela x Ind. Arm-Tela 3 | 14,95 | 0,0083 | 5,99 | Sim |

Fonte: A autora.

b) Argamassa Mista

Os resultados encontrados para o ensaio de resistência à tração por compressão diametral da argamassa mista armada são mostrados na Figura 74 e na Tabela 26.

Figura 74. Resultados do ensaio de tração por compressão diametral da argamassa mista armada.



Fonte: A autora.

Tabela 26. Valores individuais das resistências à tração por compressão diametral da argamassa mista armada.

| Ftd (MPa) | | | | |
|------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| CP | Mista S/ Tela | Mista Arm Tela 1 | Mista Arm Tela 2 | Mista. Arm Tela 3 |
| 1 | 0,064 | 0,059 | 0,054 | 0,049 |
| 2 | 0,056 | 0,063 | 0,064 | 0,048 |
| 3 | 0,060 | 0,053 | 0,057 | 0,057 |
| 4 | 0,067 | 0,055 | 0,051 | 0,053 |
| Média | 0,062 | 0,058 | 0,056 | 0,052 |
| DesvPad | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 |
| CV (%) | 7,68 | 8,16 | 9,85 | 7,92 |

Fonte: A autora.

As inserções das telas para reforçar as argamassas mistas tiveram o mesmo comportamento das argamassas industrializadas armadas. A argamassa Mista Arm-Tela 1 teve uma Ftd de 6,58% menor que a Mista S/Tela, seguida da Mista Arm-Tela 2 com 8,54% e da Mista Arm-Tela 3 com 16,13%. Com base na análise estatística apresentada na Tabela 27, conclui-se que a Mista Arm-Tela 1 e a Mista Arm-Tela 2 não apresentam discrepância relevantes dos resultados em relação à argamassa Mista S/Tela. No entanto, a Mista Arm-Tela 3 apresenta um nível de significância inferior a 5%, tornando o valor encontrado significativo em relação à Mista S/Tela.

Tabela 27. Análise estatística dos valores de Ftd encontrados para argamassa mista armada.

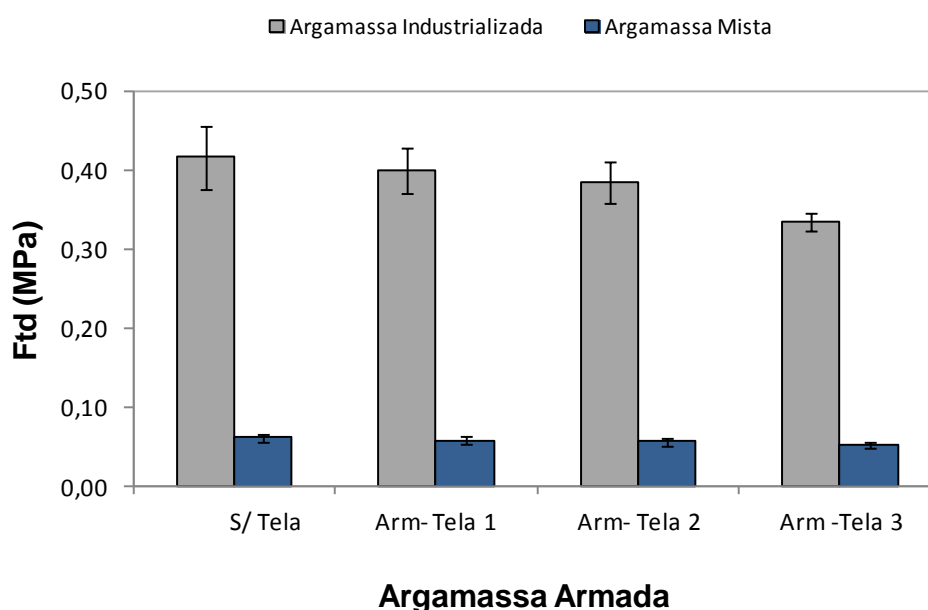
| Argamassas | Fcal | Valor-p | Fcrítico | Significativo |
|----------------------------------|-------------|----------------|-----------------|----------------------|
| Mista S/ Tela x Mista Arm-Tela 1 | 1,48 | 0,2696 | 5,99 | Não |
| Mista S/ Tela x Mista Arm-Tela 2 | 2,08 | 0,1991 | 5,99 | Não |
| Mista S/ Tela x Mista Arm-Tela 3 | 10,09 | 0,0192 | 5,99 | Sim |

Fonte: A autora.

- c) Comparação da resistência à tração por compressão diametral das argamassas.

A Figura 75 apresenta uma análise comparativa das resistências encontradas no ensaio de resistência à tração por compressão diametral das argamassas industrializadas e mistas.

Figura 75. Comparação das resistências da tração por compressão diametral das argamassas armadas.

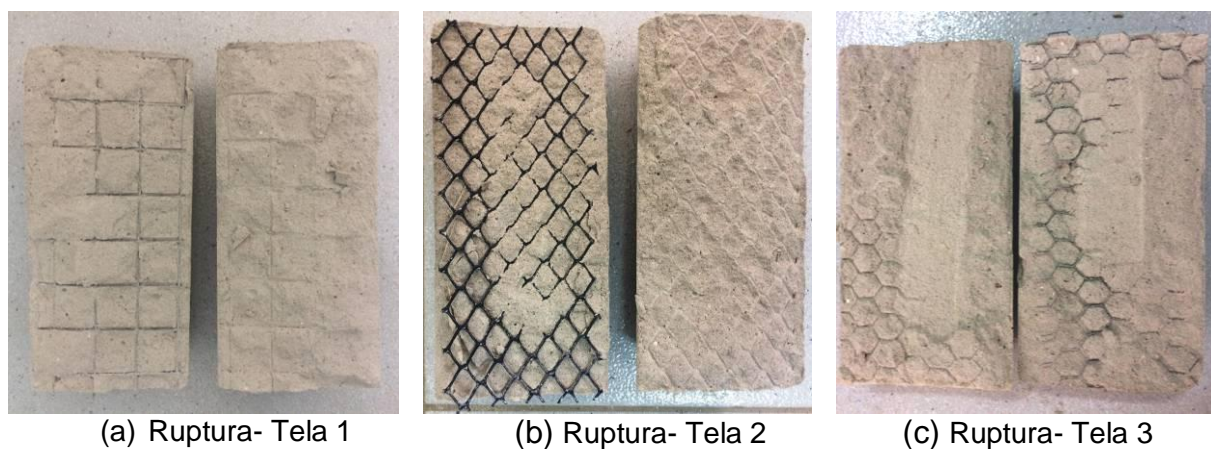


Fonte: A autora.

Conforme apresenta a Figura 75, o comportamento das telas no reforço das duas diferentes argamassas foi equivalente para o ensaio de tração por compressão diametral. Analisando a ruptura dos corpos de prova armados com tela (Figura 76), notou-se que a tela ao ser inserida no plano de ruptura de tração gerou uma zona de transição, diminuindo a resistência das argamassas.

Assim, a perda de resistência é atribuída ao conjunto (argamassa/tela) ser menos homogêneo, ocasionando interferência na junção entre camadas de argamassa e efeito de corte cisalhante, principalmente com a tela 3 que possui menor abertura de malha e fios entrelaçados.

Figura 76. Ruptura dos corpos de prova armados com tela no ensaio tração por compressão diametral.



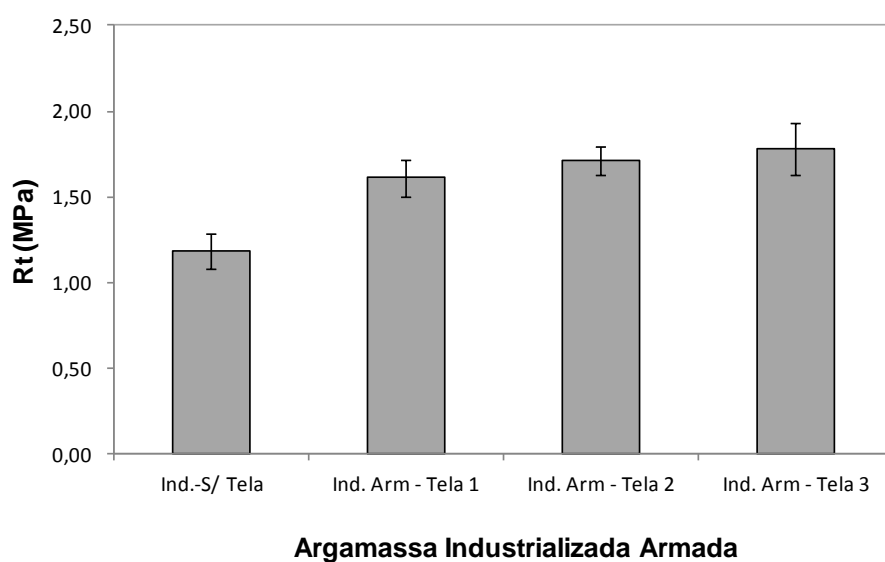
Fonte: A autora.

5.3.3 Resistência à tração na flexão

a) Argamassa Industrializada

A Figura 77 e a Tabela 28 exibem os valores das resistências à tração na flexão das argamassas industrializadas reforçadas com tela na idade 28 dias.

Figura 77. Resistência à tração na flexão da argamassa industrializada armada.



Fonte: A autora.

Tabela 28. Valores individuais das resistências à flexão da argamassa industrializada armada.

| Rt (MPa) | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| CP | Ind S/ Tela | Ind. Arm Tela 1 | Ind. Arm Tela 2 | Ind. Arm Tela 3 |
| 1 | 1,12 | 1,52 | 1,64 | 1,77 |
| 2 | 1,30 | 1,59 | 1,69 | 1,63 |
| 3 | 1,13 | 1,73 | 1,81 | 1,93 |
| Média | 1,18 | 1,61 | 1,71 | 1,78 |
| DesvPad | 0,10 | 0,11 | 0,08 | 0,15 |
| CV (%) | 8,35 | 6,68 | 4,93 | 8,48 |

Fonte: A autora.

Observa-se que, a resistência média à tração na flexão das argamassas constituídas de telas no seu interior supera as argamassas de referência em até 50,29%, no caso da argamassa reforçada com tela galvanizada de malha hexagonal (Ind. Arm-Tela 3). As argamassas Ind. Arm- Tela 1 e a Ind. Arm-Tela 2 obtiveram um aumento de 36,29% e de 42,29%, respectivamente, em relação à argamassa sem tela (referência).

Levando em consideração um nível de significância de 5%, a análise estatística exposta na Tabela 29 indica que os valores das probabilidades são inferiores ao nível de significância adotada, sendo, portanto, significativos.

Tabela 29. Análise estatística dos valores de Rt encontrados para argamassa industrializada armada.

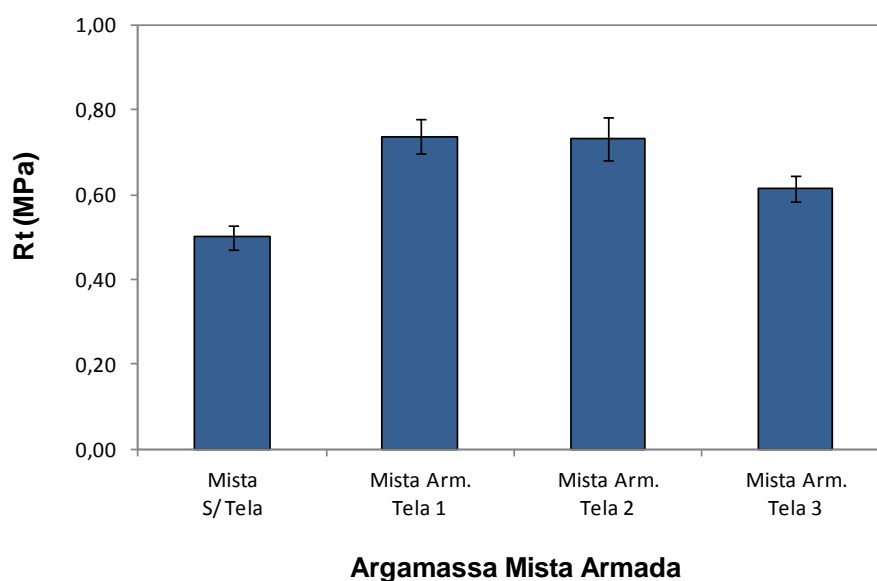
| Argamassas | Fcal | Valor-p | Fcrítico | Significativo |
|--------------------------------|-------------|----------------|-----------------|----------------------|
| Ind. S/ Tela x Ind. Arm-Tela 1 | 25,88 | 0,0070 | 7,71 | Sim |
| Ind. S/ Tela x Ind. Arm-Tela 2 | 49,91 | 0,0021 | 7,71 | Sim |
| Ind. S/ Tela x Ind. Arm-Tela 3 | 32,69 | 0,0046 | 7,71 | Sim |

Fonte: A autora.

b) Argamassa Mista

Os valores das resistências à tração na flexão das argamassas mistas reforçadas com tela na idade 28 dias são apresentadas na Figura 78 e na Tabela 30.

Figura 78. Resistência à tração na flexão da argamassa mista armada.



Fonte: A autora.

Tabela 30. Valores individuais das resistências à flexão da argamassa mista armada.

| Rt (MPa) | | | | |
|----------------|---------------|------------------|------------------|-------------------|
| CP | Mista S/ Tela | Mista Arm Tela 1 | Mista Arm Tela 2 | Mista. Arm Tela 3 |
| 1 | 0,49 | 0,70 | 0,69 | 0,63 |
| 2 | 0,53 | 0,78 | 0,79 | 0,64 |
| 3 | 0,48 | 0,74 | 0,72 | 0,58 |
| Média | 0,50 | 0,74 | 0,73 | 0,61 |
| DesvPad | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,03 |
| CV (%) | 5,76 | 5,46 | 6,81 | 4,95 |

Fonte: A autora.

Semelhante ao ocorrido nas argamassas industrializadas houve um incremento na resistência à flexão das argamassas mistas armadas. Comparando as resistências encontradas, percebe-se que as telas proporcionaram um aumento de 47,63%, 46,67% e de 22,73% nas argamassas mistas armadas com Tela 1, Tela 2 e Tela 3, respectivamente. Este acréscimo na resistência mostrou-se bastante significativo segundo a análise estatística ANOVA, conforme apresenta na Tabela 31.

Tabela 31. Análise estatística dos valores de R_t encontrados para argamassa mista armada.

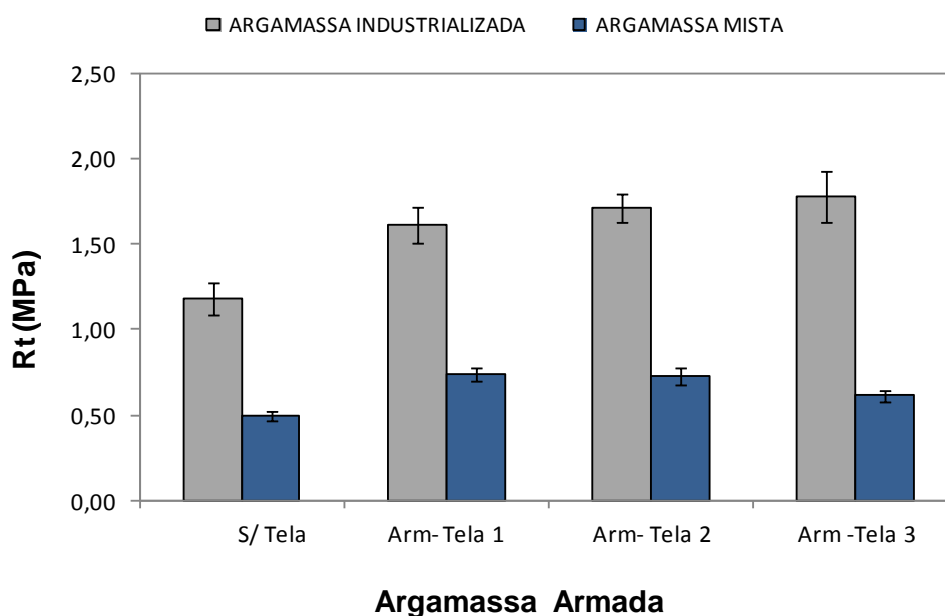
| Argamassas | Fcal | Valor-p | Fcrítico | Significativo |
|----------------------------------|-------|---------|----------|---------------|
| Mista S/ Tela x Mista Arm-Tela 1 | 69,38 | 0,0011 | 7,71 | Sim |
| Mista S/ Tela x Mista Arm-Tela 2 | 45,29 | 0,0025 | 7,71 | Sim |
| Mista S/ Tela x Mista Arm-Tela 3 | 22,12 | 0,0093 | 7,71 | Sim |

Fonte: A autora.

c) Comparação da resistência à flexão das argamassas.

O comportamento das resistências encontradas no ensaio de resistência à flexão das argamassas industrializadas e mistas é apresentado na Figura 79.

Figura 79. Comparação das resistências à flexão das argamassas armadas.



Fonte: A autora.

Conforme apresentado nos resultados, as telas inseridas na zona tracionada dos corpos de prova proporcionaram melhores desempenhos nas argamassas. De acordo com a ruptura dos corpos de prova (Figura 80), notou-se que as telas absorveram a tensão promovendo uma única fissura nos corpos de prova na região central e uma melhor resistência na argamassa.

Figura 80. Ruptura dos corpos de prova armados com tela no ensaio tração na flexão.



(a) Ruptura- Tela 1



(b) Ruptura- Tela 2



(c) Ruptura- Tela 3

Fonte: A autora.

A Tela 1 apresentou o melhor incremento da resistência à tração na flexão quando utilizada para reforçar a argamassa mista, porém este valor foi o menor no reforço da argamassa industrializada. Este último fato pode estar atribuído a falhas no adensamento dos corpos de prova, uma vez que Antunes & Masuero (2016) ao analisar argamassas industrializadas com o mesmo tipo de tela e mesma posição, encontraram nos ensaios de flexão de quatro pontos as melhores contribuições na resistência voltadas ao uso da tela eletrosoldada galvanizada de malha 25 x 25 mm.

Além disso, a tela metálica galvanizada atribui uma melhor resistência mecânica à flexão, devido a sua excelente aderência com a matriz cimentícia, maior abertura de malha e ainda maior módulo de elasticidade. Portanto, isso comprova que houve resultados falhos no reforço realizado nos corpos de prova com a argamassa industrializada.

Apesar do baixo módulo de deformação, a tela de polietileno (Tela 2) obteve aproximadamente o mesmo desempenho da resistência nos dois tipos de argamassa utilizada no estudo. A elevada deformabilidade desta tela e a sua baixa resistência à tração não garantem um desempenho para reforço em argamassas, além disso, quando usadas para tal função podem aumentar a incidência e a abertura das fissuras.

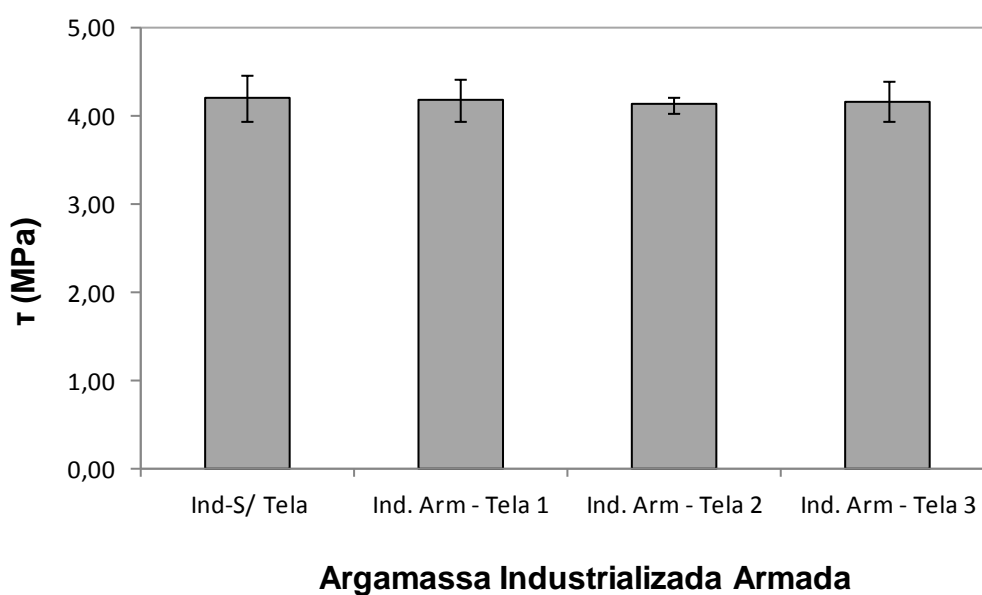
Se tratando dos reforços utilizando a Tela 3, estes apresentaram o menor crescimento da resistência à tração na flexão na argamassa mista. Este fato pode está atribuído a problemas de aderência na relação da tela com a argamassa, uma vez que na argamassa industrializada, a tela 3 viabilizou um aumento na resistência de 50,29%. Característica como coesão da argamassa industrializada concedeu uma melhor impregnação da malha da tela composta de fios finos e entrelaçados na camada da argamassa.

5.3.4 Resistência ao cisalhamento

a) Argamassa Industrializada

Com a realização do ensaio de cisalhamento foram obtidos os resultados apresentados na Figura 81 e na Tabela 32.

Figura 81. Ensaio de cisalhamento da argamassa industrializada reforçada com tela.



Fonte: A autora.

Tabela 32. Resultados individuais das resistências ao cisalhamento da argamassa industrializada armada.

| CP | τ (MPa) | | | |
|--------------|--------------|------------------|------------------|------------------|
| | Ind- S/ Tela | Ind. Arm- Tela 1 | Ind. Arm- Tela 2 | Ind. Arm -Tela 3 |
| 1 | 4,36 | 4,24 | 4,07 | 4,34 |
| 2 | 3,82 | 3,83 | 4,27 | 4,31 |
| 3 | 4,23 | 4,37 | 4,06 | 4,15 |
| 4 | 4,40 | 4,28 | 4,11 | 3,86 |
| Média | 4,20 | 4,18 | 4,13 | 4,17 |
| DesvPad | 0,26 | 0,24 | 0,10 | 0,22 |
| CV (%) | 6,28 | 5,74 | 2,40 | 5,30 |

Fonte: A autora.

É possível observar que a inserção das telas promoveu uma perda na resistência ao cisalhamento. A Tela 1 é responsável em reduzir a resistência ao cisalhamento em torno de 0,54% quando inserida na argamassa, enquanto na argamassa reforçada com a Tela 3, esta redução foi de 0,82%. A maior perda na resistência ocorreu na Ind. Arm- Tela 2 que obteve um percentual de resistência de 1,75% inferior à Ind. S/Tela.

No entanto, esta pequena redução de acordo com a análise ANOVA (Tabela 33), não apresenta valores significativos, ou seja, não demonstram variações relevantes comparadas com os obtidos nas argamassas sem tela.

Tabela 33. Análise estatística dos valores de R_t encontrados para argamassa industrializada armada.

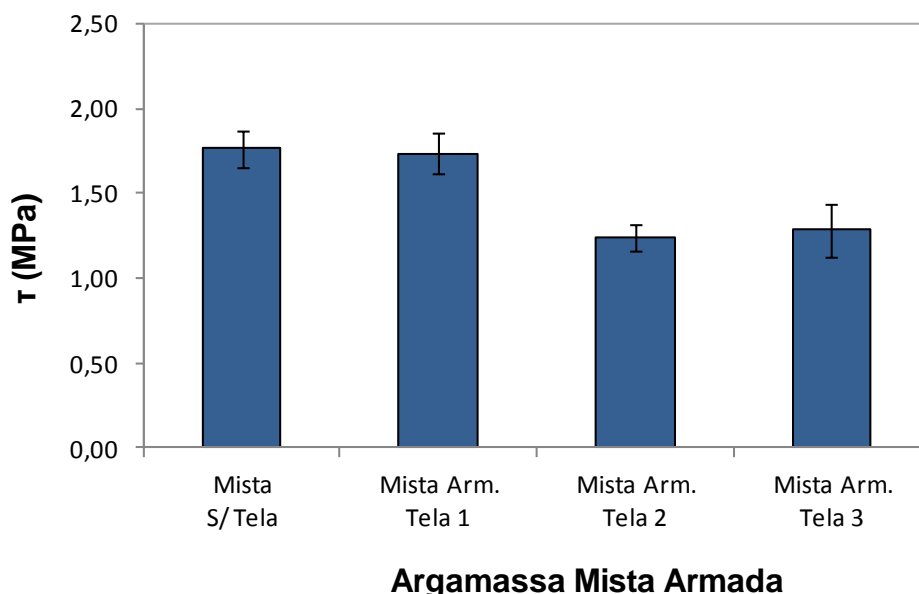
| Argamassas | Fcal | Valor-p | Fcrítico | Significativo |
|--------------------------------|------|---------|----------|---------------|
| Ind. S/ Tela x Ind. Arm-Tela 1 | 0,02 | 0,9022 | 5,99 | Não |
| Ind. S/ Tela x Ind. Arm-Tela 2 | 0,27 | 0,6206 | 5,99 | Não |
| Ind. S/ Tela x Ind. Arm-Tela 3 | 0,04 | 0,8481 | 5,99 | Não |

Fonte: A autora.

b) Argamassa Mista

Comparada com a argamassa Mista S/ Tela, as argamassas mistas armadas igualmente às industrializadas obtiveram perda de resistência ao cisalhamento conforme mostram a Figura 82 e a Tabela 34.

Figura 82. Ensaio de cisalhamento da argamassa mista reforçada com tela.



Fonte: A autora.

Tabela 34. Resultados individuais das resistências ao cisalhamento da argamassa mista armada.

| CP | τ (MPa) | | | |
|--------------|----------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | Mista- S/ Tela | Mista Arm- Tela 1 | Mista Arm- Tela 2 | Mista Arm- Tela 3 |
| 1 | 1,66 | 1,57 | 1,28 | 1,50 |
| 2 | 1,89 | 1,81 | 1,17 | 1,28 |
| 3 | 1,70 | 1,83 | 1,33 | 1,12 |
| 4 | 1,80 | 1,72 | 1,18 | 1,25 |
| Média | 1,76 | 1,73 | 1,24 | 1,29 |
| DesvPad | 0,10 | 0,12 | 0,08 | 0,16 |
| CV (%) | 5,96 | 6,84 | 6,15 | 12,20 |

Fonte: A autora.

Percebe-se que a Mista Arm- Tela 2 apresentou a menor resistência comparada com a Mista S/Tela. Contudo, esta perda foi 29,60% para a Mista Arm. – Tela 2, de 26,98% para Mista Arm.- Tela 3 e de 1,53% para Mista Arm. – Tela 1. A análise estatística destes resultados é apresentada na Tabela 35.

Tabela 35. Análise estatística dos valores de encontrados para argamassa mista armada.

| Argamassas | Fcal | Valor-p | Fcrítico | Significativo |
|----------------------------------|-------|---------|----------|---------------|
| Mista S/ Tela x Mista Arm-Tela 1 | 0,12 | 0,7460 | 5,99 | Não |
| Mista S/ Tela x Mista Arm-Tela 2 | 64,57 | 0,0002 | 5,99 | Sim |
| Mista S/ Tela x Mista Arm-Tela 3 | 25,28 | 0,0024 | 5,99 | Sim |

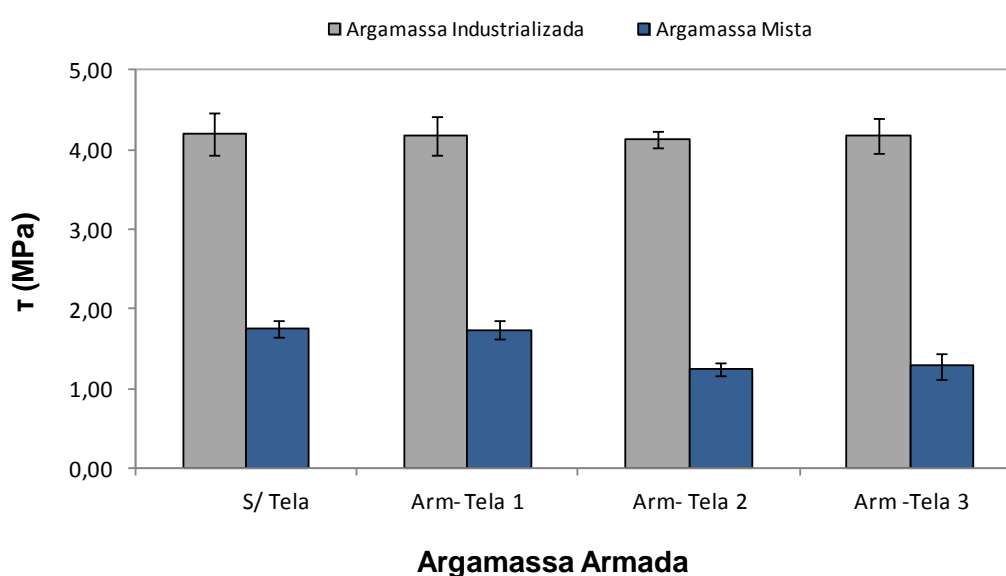
Fonte: A autora.

A perda da resistência da Mista Arm-Tela 2 e Mista Arm-Tela 3 apresentaram variações significativas diferentemente dos resultados encontrados para a argamassa industrializada armada.

c) Comparação das resistências ao cisalhamento das argamassas.

Observando a forma de ruptura dos corpos de prova, constatou-se como esperado, um comportamento cisalhante bem mais notório que o de compressão, sendo pouco observado o comportamento de tração no material. Os resultados para análise do comportamento cisalhante nas argamassas reforçadas são apresentados na Figura 83.

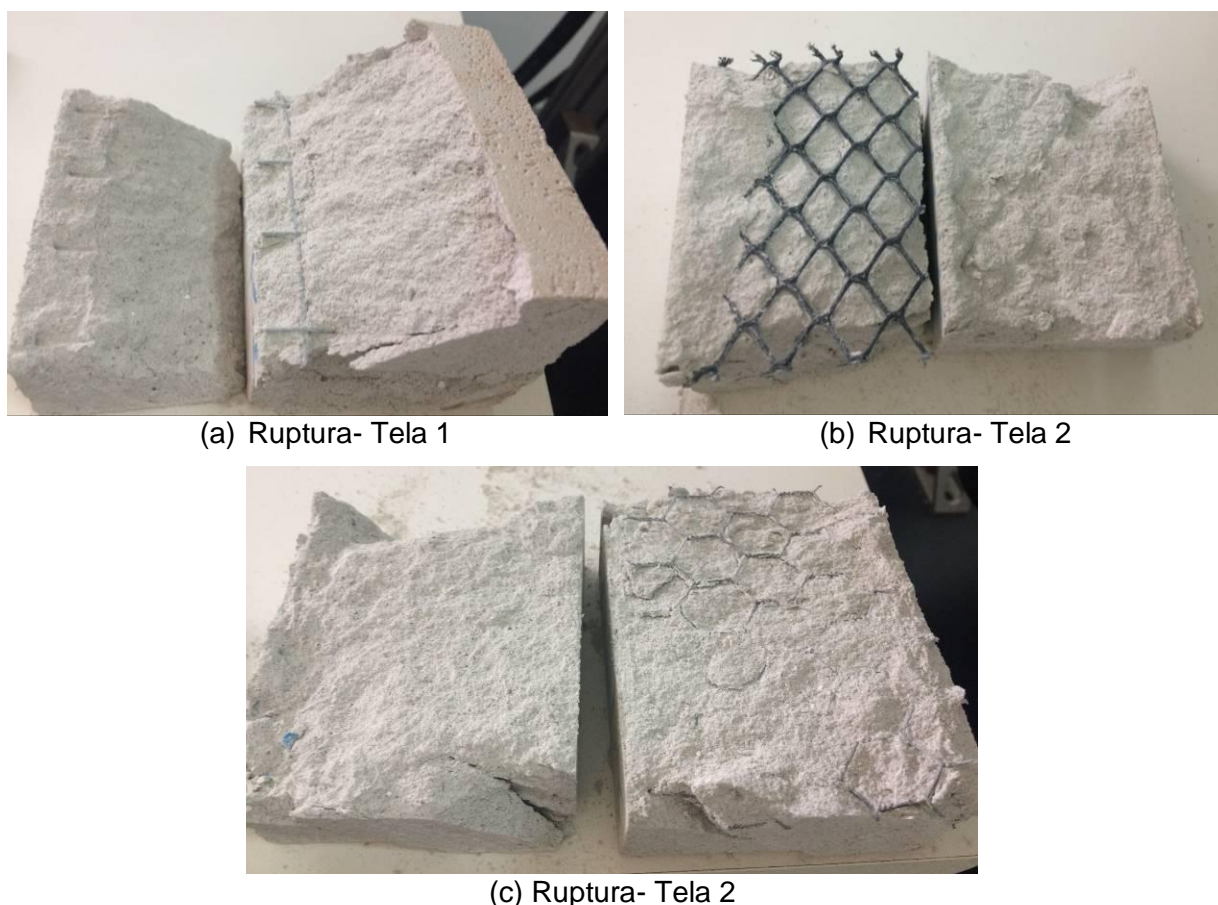
Figura 83. Comparação das resistências ao cisalhamento das argamassas armadas.



Fonte: A autora.

A função das telas no reforço das argamassas é de absorver uma parcela das tensões, aumentando a rigidez da seção e, conseqüentemente, a resistência do sistema. No entanto, neste ensaio de cisalhamento as telas concederam uma pequena redução da resistência, devido provavelmente à formação de um conjunto menos homogêneo, conforme observado na ruptura dos corpos de prova (Figura 84).

Figura 84. Ruptura dos corpos de prova armados com tela no ensaio de cisalhamento.



Fonte: A autora.

Nota-se que inserção da tela entre as camadas de argamassa não garantiram a completa junção dos materiais e, conseqüentemente, a tela se comportou como um elemento divisório das camadas, prejudicando a aderência e diminuindo a área resistente da argamassa. Como visto, as telas 2 e 3 que apresentam menor diâmetro de malha tiveram maiores reduções, apesar destas reduções não serem significativas quando utilizada à argamassa industrializada. Isso torna ainda mais evidente que as telas obteve o papel de dividir as camadas, uma vez que a

incorporação da argamassa nestas telas se torna mais difícil, devido principalmente à reologia da argamassa.

5.3.5 Discussão dos ensaios realizados na terceira etapa do estudo.

A Tabela 36 apresenta um resumo dos resultados obtidos nesta etapa.

Tabela 36. Resumo dos resultados de resistência mecânica.

| Propriedades Mecânicas | Argamassa Industrializada | | | | Argamassa Mista | | | |
|-------------------------------------|----------------------------------|----------------|----------------|----------------|------------------------|----------------|----------------|----------------|
| | Sem Tela | Arm. Tela 1 | Arm. Tela 2 | Arm. Tela 3 | Sem Tela | Arm. Tela 1 | Arm. Tela 2 | Arm. Tela 3 |
| Compressão axial (MPa) | 7,40 | 7,18 | 6,85 | 6,75 | 1,38 | 1,27 | 1,19 | 0,99 |
| Tração por comp. Diametral (MPa) | 0,42 | 0,40 | 0,38 | 0,33 | 0,062 | 0,058 | 0,056 | 0,053 |
| Flexão (MPa) | 1,18 | 1,61 | 1,71 | 1,78 | 0,50 | 0,74 | 0,73 | 0,61 |
| Cisalhamento (MPa) | 4,20 | 4,18 | 4,13 | 4,17 | 1,76 | 1,73 | 1,24 | 1,29 |

Fonte: A autora.

Com base nos resultados encontrados, observa-se que somente no ensaio de resistência à tração na flexão as telas conceberam reforço nas argamassas. Isto pode ser explicado devido à tela ter sido inserida na região das tensões de tração, aumentando a resistência.

Se tratando do ensaio de compressão axial, notou-se que a tela pode ter modificado o comportamento mecânico do ensaio, restringindo a ruptura do corpo de prova, uma vez que este ensaio rompe por tração na região central. Assim, para a execução deste ensaio, primeiramente, deveria ter sido realizado uma análise do modelo do comportamento da ruptura do corpo de prova para poder inserir a tela com a função de reforço.

Já no ensaio de tração por compressão diametral, no qual a tela foi inserida na metade do corpo de prova, não houve identificação da função de reforço devido à tela se comportar como um elemento divisor das camadas e, conseqüentemente, reduzindo a resistência do corpo de prova. O mesmo fato foi notado no ensaio de cisalhamento, onde a tela foi inserida na metade do corpo de prova prismático.

As análises mecânicas das argamassas estudadas (industrializada e mista) obtiveram resultados análogos. As argamassas mistas obtiveram menores resistências em comparação às argamassas industrializadas, devido a maior quantidade de finos na composição e elevada relação a/c. No entanto, foi observado que as características da argamassa podem interferir nos resultados, prejudicando a impregnação da tela com argamassa ao se trabalhar com telas de menores aberturas de malha (tela 2 e tela 3).

Portanto, conforme apresentado nesta etapa, os resultados de tração na flexão reforçam os encontrados por Antunes & Masuero (2016), confirmando as telas como elemento de reforço. Já os ensaios de compressão axial, tração por compressão diametral e de cisalhamento devem ser analisados com mais detalhes.

5.4 Quarta Etapa- Avaliação da incidência de fissuras em revestimentos reforçados com telas.

5.4.1 Efeito do carregamento térmico de 38° C.

5.4.1.1 Análise termográfica

Em um primeiro momento, a análise termográfica foi analisada de forma qualitativa, consistindo na identificação das fissuras adquiridas nos painéis. Através da inspeção visual dos revestimentos houve a identificação de fissuras ramificadas em todos os painéis. No entanto, houve uma dificuldade de identificação dos defeitos por meio da interpretação dos termogramas obtidos durante o resfriamento dos painéis.

No Quadro 1, é possível observar os termogramas obtidos a partir do ensaio termográfico, referentes às imagens térmicas logo após a retirada do painel e após 3 horas de resfriamento. Nos termogramas do revestimento sem tela, notou-se a presença de fissuras nos pontos de maiores temperaturas logo após a retirada do carregamento térmico, desaparecendo nas imagens após 60 minutos do resfriamento, no entanto, os defeitos dos revestimentos reforçados com telas não foram identificados nas imagens, mesmo ajustando a escala de captura e tratando as imagens no software Flir Tools.

Quadro 1. Termogramas dos revestimentos submetidos ao carregamento térmico de 38°C.

| | Imediatamente após o carregamento térmico de 38°C | Após 3 horas de resfriamento |
|----------------|--|--|
| Sem Tela | <p>Sp1 38,4 °C Sp2 37,9 °C Sp3 37,5 °C Sp4 36,6 °C</p> <p>FLIR 30,6 39,7</p> | <p>Sp1 28,6 °C Sp2 28,8 °C Sp3 28,9 °C Sp4 28,8 °C</p> <p>FLIR 27,5 33,7</p> |
| Reforço-Tela 1 | <p>Sp1 38,3 °C Sp2 37,6 °C Sp3 37,3 °C Sp4 36,8 °C</p> <p>FLIR 31,1 39,7</p> | <p>Sp1 28,4 °C Sp2 28,7 °C Sp3 29,2 °C Sp4 29,0 °C</p> <p>FLIR 27,3 33,4</p> |
| Reforço-Tela 2 | <p>Sp1 37,7 °C Sp2 37,3 °C Sp3 37,4 °C Sp4 36,0 °C</p> <p>FLIR 30,0 38,5</p> | <p>Sp1 27,5 °C Sp2 27,4 °C Sp3 27,4 °C Sp4 27,2 °C</p> <p>FLIR 25,8 31,9</p> |
| Reforço-Tela 3 | <p>Sp1 34,4 °C Sp2 34,8 °C Sp3 34,4 °C Sp4 33,6 °C</p> <p>FLIR 29,8 35,9</p> | <p>Sp1 27,5 °C Sp2 27,9 °C Sp3 28,1 °C Sp4 27,4 °C</p> <p>FLIR 24,9 31,1</p> |

Fonte: A autora.

Devido à dificuldade de identificação dos defeitos por meio da interpretação qualitativa dos termogramas, foi realizada uma análise para quantificar os danos dos revestimentos. Assim, a análise quantitativa ocorreu através da evolução do comportamento térmico das fissuras por meio da variação das temperaturas (ΔT) dos pontos com fissuras identificadas visualmente (sp1, sp2 e sp3) em relação ao ponto sem defeitos (sp4) indicados nos termogramas do Quadro 1.

Estas variações de temperatura (ΔT_s) apresentaram resultados mais relevantes nas três primeiras leituras, conforme apresenta a Tabela 37.

Tabela 37. Evolução do ΔT nos primeiros momentos do resfriamento dos painéis submetidos ao carregamento térmico de 38°C.

| Leitura | PONTOS | ΔT (° C) | | | |
|------------|--------|------------------|----------------|----------------|----------------|
| | | Sem tela | Reforço tela 1 | Reforço tela 2 | Reforço tela 3 |
| inicial | Sp1 | 1,8 | 1,5 | 1,7 | 0,8 |
| | Sp2 | 1,3 | 0,8 | 1,3 | 1,2 |
| | Sp3 | 0,9 | 0,5 | 1,4 | 0,8 |
| 30 minutos | Sp1 | 1,0 | 0,8 | 1,1 | 1,1 |
| | Sp2 | 0,8 | 0,3 | 0,6 | 1,2 |
| | Sp3 | 0,8 | 0,7 | 0,7 | 1,0 |
| 60 minutos | Sp1 | 0,6 | 0,30 | 0,70 | 1,2 |
| | Sp2 | 0,7 | 0,30 | 0,70 | 1,3 |
| | Sp3 | 0,8 | 0,40 | 0,50 | 1,3 |

Fonte: A autora.

De acordo com os resultados, o ΔT máximo dos revestimentos sem tela nos pontos que apresentaram fissuras foram visualizados com nitidez, apresentando valores de 1,8 °C, 1,3 °C e 0,9 °C, para sp1, sp2 e sp3, respectivamente.

Apesar de apresentar máximos valores de ΔT na primeira leitura do termograma de 1,5°C, 1,7 °C e 1,2°C, respectivamente, os painéis com reforço- Tela 1, Tela 2 e Tela 3 não permitiram identificação dos defeitos nas imagens (Quadro 1). Por meio da avaliação qualitativa, as fissuras visualizadas e identificadas como sp1, sp2 e sp3, apresentaram maiores temperaturas, sendo a região sem defeito (sp4) a mais fria.

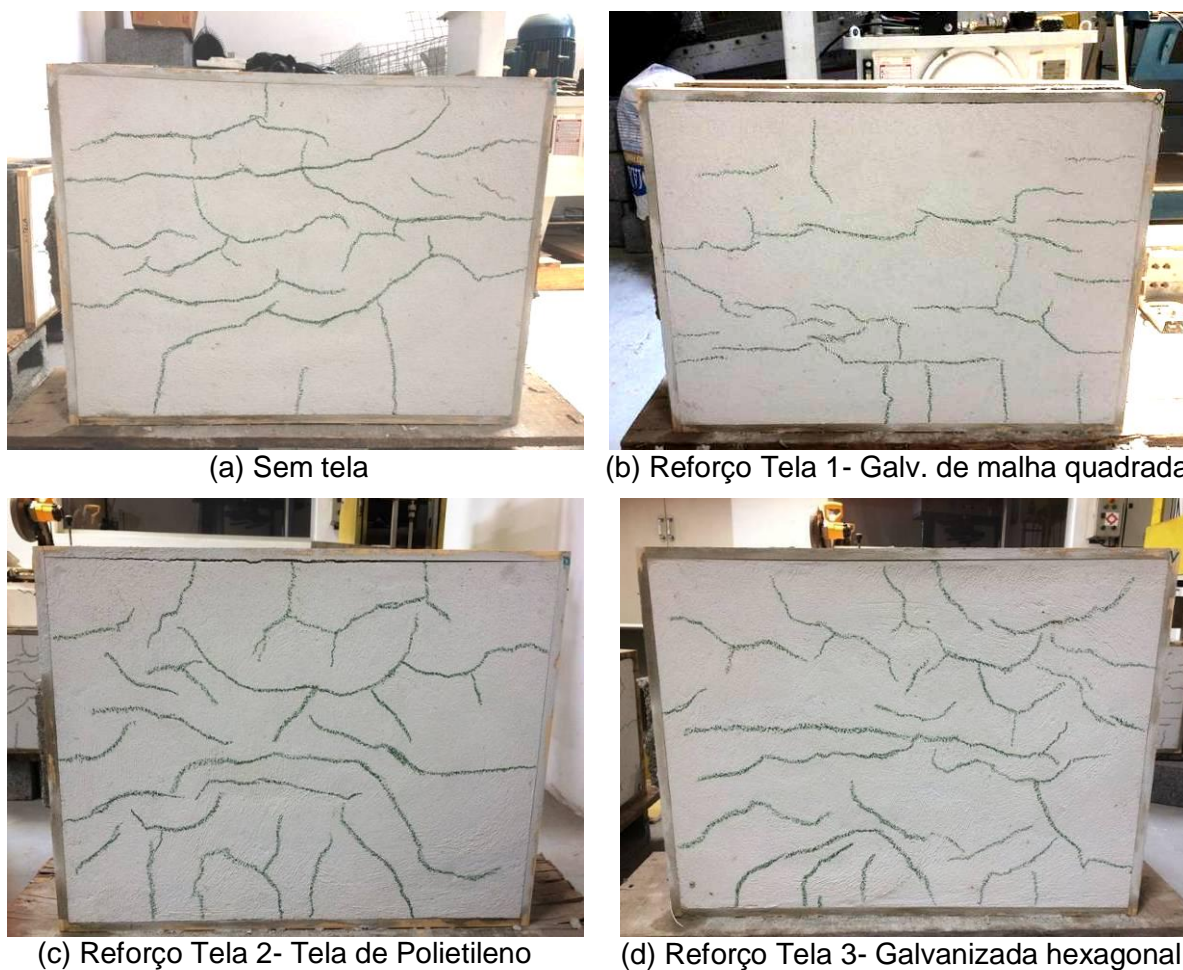
Em geral, a Tabela 37 apresenta valores de Delta-T abaixo de 1,8 °C, ou seja, ao decorrer do resfriamento sem ação da fonte de calor, o fluxo térmico diminui e as temperaturas das zonas que fissuraram se aproximaram das temperaturas dos pontos sem defeito. Este fato foi observado principalmente nos termogramas realizados após três horas de resfriamento (Quadro 1), ocorrendo o equilíbrio da temperatura dos painéis com a temperatura ambiente.

A dificuldade de identificação dos defeitos pode ser explicada pela tipologia das fissuras nos revestimentos dos painéis, levando em consideração a sua profundidade. Este fato confirma os encontrados nos estudos de termografia passiva tratada de forma quantitativa de Bauer & Pávon (2016), em que uma determinada região com fissuras ramificadas desorganizadas, as temperaturas da região com defeito são muito próximas da região íntegra, ou seja, com Delta -T de menor valor. Isto dificulta a medição e interpretação dos termogramas, sendo necessária a adequação de critérios para identificação das patologias por meio de ajustes de fluxo de calor.

5.4.1.2 Mapeamento e índice de fissuração dos painéis.

Para melhor identificar a incidência de fissuras nos revestimentos na idade de 28 dias, molhou-se a superfície do revestimento através de um borrifador e em seguida, realizou-se o contorno das fissuras por meio de um giz de cera. A avaliação do carregamento térmico de 38 °C e o efeito das três diferentes telas no combate à fissuração devido à retração inicial nos painéis revestidos com espessura de 2,5 cm de argamassa podem ser observados na Figura 85.

Figura 85. Análise do carregamento de 38°C e o efeito da tela no combate à fissuração dos painéis revestimentos com espessura de argamassa de 2,5 cm.



Fonte: A autora.

Como esperado, houve fissuras em todos os painéis. A argamassa mista utilizada no revestimento possui na sua composição, um elevado teor de finos e cal em excesso, no qual em conjunto prejudicam o desempenho do revestimento, provocando fissuras. Além disso, o carregamento térmico aplicado logo após a execução do revestimento favorece ainda mais a formação destas fissuras, por conta da elevada perda de água por evaporação da argamassa. Observa-se na Figura 85, que todos os painéis obtiveram fissuras mapeadas e não orientadas, que são características do tipo de fissuração por retração.

O índice de fissuração dos painéis provocado pelo carregamento térmico de 38°C é apresentado na Tabela 38 e na Figura 86. A classificação da intensidade de fissuração foi realizada de acordo com Silva e Bauer (2009), que a definem em três intensidades: Alta, que constitui os valores iguais ou superiores a 0,90 m/m²; Média,

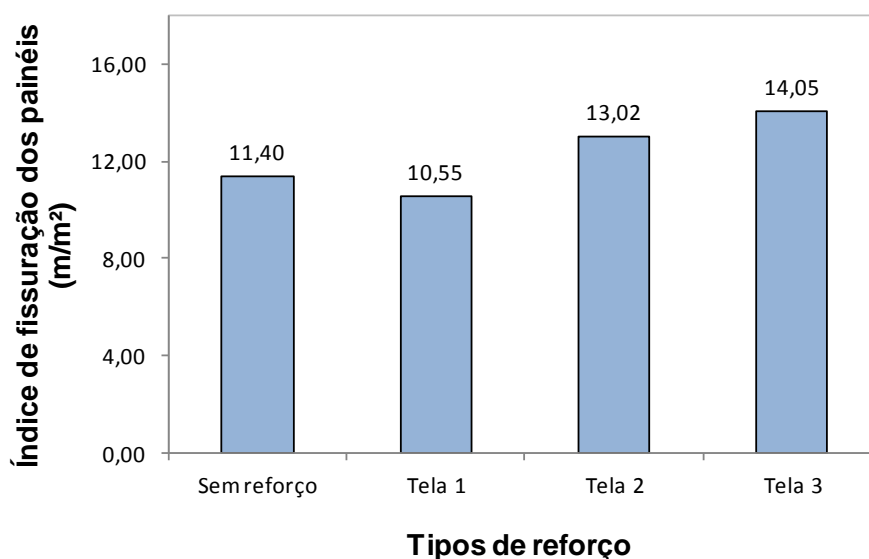
cujos valores pertencem ao intervalo de 0,30 a 0,90 m/m² e Baixa, com valores iguais ou menores a 0,30 m/m². A verificação estatística dos valores encontrados não foi realizada por se tratar apenas de um valor único por painel.

Tabela 38. Índice de fissuração dos painéis com espessura de 2,5 cm.

| Tipos de Reforço | Área do painel (m²) | Comprimentos das fissuras (m) | Índice de fissuração dos painéis (m/m²) | Intensidade de fissuração |
|-------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|---|----------------------------------|
| Sem tela | 0,43 | 4,93 | 11,40 | Alta |
| Tela 1 | 0,43 | 4,56 | 10,55 | Alta |
| Tela 2 | 0,43 | 5,63 | 13,02 | Alta |
| Tela 3 | 0,43 | 6,07 | 14,05 | Alta |

Fonte: A autora.

Figura 86. Gráfico do índice de fissuração dos painéis revestidos com espessura de 2,5 cm.



Fonte: A autora.

A Tela 1 aplicada no reforço do revestimento promoveu melhores resultados na distribuição de esforços, devido ao aparecimento de menores aberturas de fissuras (0,3 e 0,1 mm) e de uma redução de 7,51% do índice de fissuração comparada com o revestimento sem tela.

O mesmo não ocorreu para o reforço realizado pela Tela 2 que obteve um índice de fissuração de 13,02 mm/m², cerca 14,16% superior ao valor encontrado para os revestimentos sem reforço. Além disso, a abertura encontrada foi de 0,7

milímetros, enquanto que os revestimentos sem reforço apresentaram espessuras de 0,8 mm e um índice de fissuração de 11,49 mm/m².

Já o reforço ocorrido através da Tela 3, o índice de fissuração foi de 23,17% superior em relação a de referência. No entanto, as fissuras adquiridas tiveram espessuras médias de 0,4 milímetros, ou seja, a Tela 3 conseguiu distribuir as tensões, promovendo aumento do índice de fissuras, porém com menores aberturas.

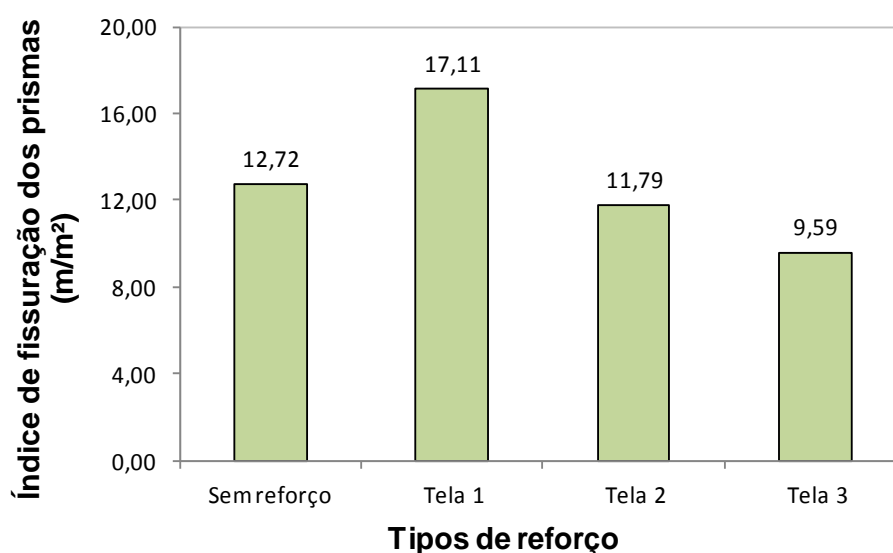
Analizando o desempenho da tela na mesma exposição de temperatura, porém em uma área de aplicação menor, foi observado mudanças na quantidade de fissuras, conforme apresenta a Tabela 39 e Figura 87.

Tabela 39. Índice de fissuração dos prismas com espessura de 2,5 cm.

| Tipos de Reforço | Área do prisma (m²) | Média do comprimento das fissuras | Índice de fissuração dos painéis (m/m²) | Intensidade de fissuração |
|-------------------------|---------------------------------------|--|---|----------------------------------|
| Sem tela | 0,13 | 1,69 | 12,72 | Alta |
| Tela 1 | 0,13 | 2,28 | 17,11 | Alta |
| Tela 2 | 0,13 | 1,57 | 11,79 | Alta |
| Tela 3 | 0,13 | 1,28 | 9,59 | Alta |

Fonte: A autora.

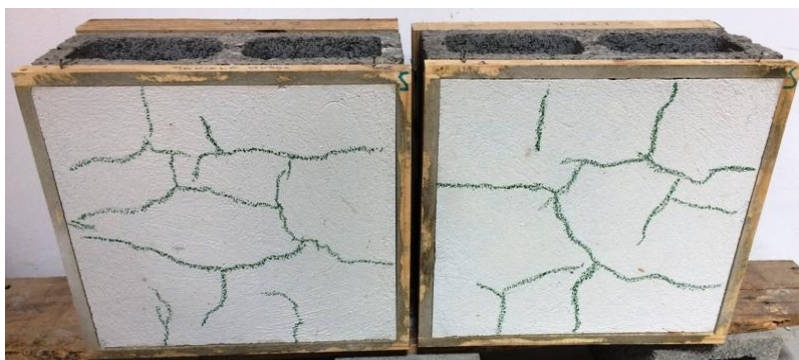
Figura 87. Gráfico do índice de fissuração dos prismas revestidos com espessura de 2,5 cm.



Fonte: A autora.

Na Figura 88, observa-se o mapeamento das fissuras dos revestimentos realizados nos prismas com as mesmas espessuras das camadas do reboco (2,5 cm), também submetido ao carregamento térmico.

Figura 88. Análise do carregamento de 38°C e o efeito da tela no combate à fissuração dos prismas revestimentos com espessura de argamassa de 2,5 cm.



(a) Sem Tela



(b) Reforço - Tela 1



(c) Reforço - Tela 2



(d) Reforço - Tela 3

Fonte: A autora.

Pode-se observar que as incidências de fissuras nos prismas foram distintas em relação aos revestimentos dos painéis. Conforme apresenta as Tabelas 39 e Figura 87, o revestimento do prisma reforçado com a Tela 1, obteve aumento de 34,52% em relação ao sem reforço. Para os revestimentos realizados com a Tela 2 e Tela 3, houve uma redução do índice de fissuração de 7,35 e 24,61%, respectivamente. Embora os índices de fissuração adquirida nos prismas ser divergentes dos encontrados nos painéis, as aberturas das fissuras tiveram comportamento semelhante. As aberturas encontradas foram de 0,5 mm nos revestimentos dos prismas sem reforço; 0,1 mm para o reforço realizado com a tela 1; 0,4 mm para o reforço feito com a Tela 2 e de 0,2 mm de aberturas nas fissuras do reforço com a Tela 3.

Nota-se que a função do reforço das telas nos revestimentos com espessura de argamassa de 2,5 cm, não apresentou resultados coerentes quando aplicadas em uma área menor (nos prismas), uma vez que ao absorver uma parcela das tensões geradas no revestimento, as telas formam fissuras pouco espaçadas de menores aberturas e de maiores comprimentos e, conseqüentemente, aumentam o índice de fissuração. Vale ressaltar, que o painel reforçado com a tela 1 também apresentou incoerência no seu índice de fissuração. Este fato pode ser atribuído a falhas na aplicação do carregamento térmico de 38 °C, devido à distribuição das lâmpadas incandescentes no painel artificial ou por uma eventual perda de calor ao montar o ensaio.

No entanto, apesar desta incoerência nos índices de fissuração, as Tela 1 e 3 demonstraram uma contribuição para distribuir as tensões que o revestimento foi submetido, criando fissuras de menores espessuras.

5.4.2 Efeito do carregamento térmico de 80° C.

5.4.2.1 Análise termográfica

De forma similar a análise dos termogramas realizados anteriormente, os termogramas obtidos a partir do ensaio termográfico, referentes às imagens térmicas após a retirada do painel e após 5 horas de resfriamento são apresentados no Quadro 2. Como esperado, os revestimentos em questão apresentaram resfriamento mais lento devido à aplicação de um maior carregamento térmico.

Quadro 2. Termogramas dos revestimentos submetidos ao carregamento térmico de 80°C.

| | Imediatamente após o carregamento térmico de 80°C | Após 5 horas de resfriamento |
|----------------|---|---|
| Sem Tela | <p>Sp1 57,1 °C Sp2 56,2 °C Sp3 55,1 °C Sp4 50,0 °C</p> <p>79,7 30,2</p> <p>FLIR</p> | <p>Sp1 29,1 °C Sp2 28,8 °C Sp3 29,0 °C Sp4 28,9 °C</p> <p>33,9 27,8</p> <p>FLIR</p> |
| Reforço-Tela 1 | <p>Sp1 63,3 °C Sp2 64,9 °C Sp3 66,3 °C Sp4 60,9 °C</p> <p>72,3 28,9</p> <p>FLIR</p> | <p>Sp1 33,1 °C Sp2 34,4 °C Sp3 34,3 °C Sp4 32,6 °C</p> <p>35,8 29,7</p> <p>FLIR</p> |
| Reforço-Tela 2 | <p>Sp1 51,6 °C Sp2 51,6 °C Sp3 50,6 °C Sp4 48,7 °C</p> <p>79,5 29,2</p> <p>FLIR</p> | <p>Sp1 28,6 °C Sp2 28,4 °C Sp3 28,2 °C Sp4 28,2 °C</p> <p>33,8 27,7</p> <p>FLIR</p> |
| Reforço-Tela 3 | <p>Sp1 69,1 °C Sp2 70,1 °C Sp3 64,6 °C Sp4 62,9 °C</p> <p>76,3 29,2</p> <p>FLIR</p> | <p>Sp1 31,7 °C Sp2 32,3 °C Sp3 31,4 °C Sp4 30,5 °C</p> <p>34,4 28,2</p> <p>FLIR</p> |

Fonte: A autora.

Os termogramas dos revestimentos sem tela permitiram a identificação das fissuras logo após a remoção do painel térmico, no entanto, ao longo do resfriamento houve uma pequena perda de nitidez dos defeitos devido à diminuição do gradiente térmico (Quadro 2 – sem defeito). Comparando estes termogramas com os da etapa anterior em revestimentos sem tela, observa-se que para uma temperatura mais elevada a nitidez do defeito torna-se melhor, facilitando a identificação das fissuras nos termogramas.

Nos revestimentos reforçados não foi possível a identificação das fissuras. As imagens mostraram as regiões mais quentes e mais frias de acordo com a escala, porém apresentaram distorções que inviabilizaram a mensuração qualitativa das fissuras.

Considerando os pontos com fissuras identificadas visualmente (sp1, sp2 e sp3) em relação ao ponto sem defeitos (sp4) indicados nos termogramas do Quadro 2, foi analisado o Delta $-T$ para avaliação dos danos. Igualmente nos termogramas com carregamento térmico de 38°C, os resultados foram representativos nas três primeiras leituras, conforme apresenta a Tabela 40.

Tabela 40. Evolução do Delta- T nos primeiros momentos do resfriamento dos painéis submetidos ao carregamento térmico de 80°C.

| Leitura | PONTOS | Delta T (° C) | | | |
|------------|--------|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | Sem tela | Reforço tela 1 | Reforço tela 2 | Reforço tela 3 |
| inicial | Sp1 | 7,1 | 2,4 | 2,9 | 6,20 |
| | Sp2 | 6,2 | 4,0 | 2,9 | 7,20 |
| | Sp3 | 5,1 | 5,4 | 1,90 | 1,70 |
| 30 minutos | Sp1 | 5,2 | 4,2 | 2,40 | 7,00 |
| | Sp2 | 3,7 | 3,9 | 3,00 | 4,50 |
| | Sp3 | 3,4 | 6,7 | 1,80 | 1,20 |
| 60 minutos | Sp1 | 4,40 | 2,6 | 1,20 | 5,40 |
| | Sp2 | 3,00 | 4,1 | 1,80 | 3,30 |
| | Sp3 | 1,90 | 4,8 | 1,20 | 0,90 |

Fonte: A autora.

Nos revestimentos sem reforço de tela, os valores encontrados para Delta- T foram expressivos, alcançando valores máximos logo após a retirada do painel

térmico (leitura inicial) de: 7,1 °C, 6,2°C, e 5,1°C, para os pontos sp1, sp2 e sp3, respectivamente, facilitando a identificação dos defeitos. Ao longo de um resfriamento com menor velocidade de queda, ao contrário do estudo anterior, as fissuras puderam ser observadas até mesmo com o equilíbrio térmico do revestimento com a temperatura ambiente, onde o ΔT mínimo foi abaixo de 0,5 °C.

Para os revestimentos com reforço da Tela 1, o ΔT máximo encontrado foi após 30 minutos da retirada do painel térmico, cujos valores foram de 4,2 °C, 3,9 °C, e 6,7 °C, para os pontos sp1, sp2 e sp3, respectivamente. Apesar do valor encontrado no ponto sp3 ser equivalente aos valores de ΔT máximo dos revestimentos sem reforço, não houve identificação das fissuras em nenhum dos termogramas.

Se tratando do revestimento com reforço por meio da Tela 2, este apresentou o pior valor de ΔT , com maiores valores obtidos na primeira e na segunda leitura.

De forma análoga ao comportamento do ΔT do revestimento reforçado com a Tela 1, o revestimento reforçado pela Tela 3 apresentou valores máximos de ΔT representativos nas três primeiras leituras, porém as fissuras também não foram identificadas nos termogramas.

Embora os painéis reforçados com a Tela 1 e Tela 3, tenham alcançado uma diferença de temperatura entre a região com e sem defeito de aproximadamente 7 °C, similar aos painéis sem reforço, este gradiente térmico não possibilitou a identificação dos defeitos nestes painéis. A eficiência do reforço promovido por estes dois tipos de telas, pode ter absorvido uma parcela das tensões ocorridas devido ao carregamento térmico, distribuindo as tensões em toda área do painel e criando fissuras superficiais com menores espessuras.

Segundo Israel (2016) a visualização destas microfissuras pode ser facilitada por meio de condições de gradiente térmico mais favorável através de ciclos de aquecimento e resfriamento artificial de água. De acordo com o autor, a presença de umidade nas fissuras mais superficiais associada às condições de incidência de radiação sobre a zona fissurada representa uma condição importante para usos da tecnologia na identificação desse tipo de defeito.

As imagens termográficas podem ter sofrido interferências devido às condições ambientais do laboratório, uma vez que a incidência solar ao decorrer do dia pode ter influenciado nos resultados dos termogramas. Contudo, os termogramas encontrados mostraram que as variações de ΔT_s , profundidade das fissuras, carregamento térmico aplicado, tal como o ambiente de realização da análise são fatores que influenciaram na visualização dos defeitos, já que foi aplicada as mesmas condições de contorno em todo estudo.

5.4.2.2 Mapeamento e índice de fissuração dos painéis.

A fissuração induzida pelo carregamento térmico de 80 °C aplicado nos revestimentos com espessura de 5 cm reforçados com as três diferentes telas nos painéis, podem ser observados na Figura 89.

Figura 89. Estudo da fissuração dos revestimentos com espessura de 5 cm.



(a) Sem tela



(b) Reforço Tela 1- Galv. de malha quadrada



(c) Reforço Tela 2- Tela de Polietileno



(d) Reforço Tela 3- Galvanizada hexagonal

Fonte: A autora.

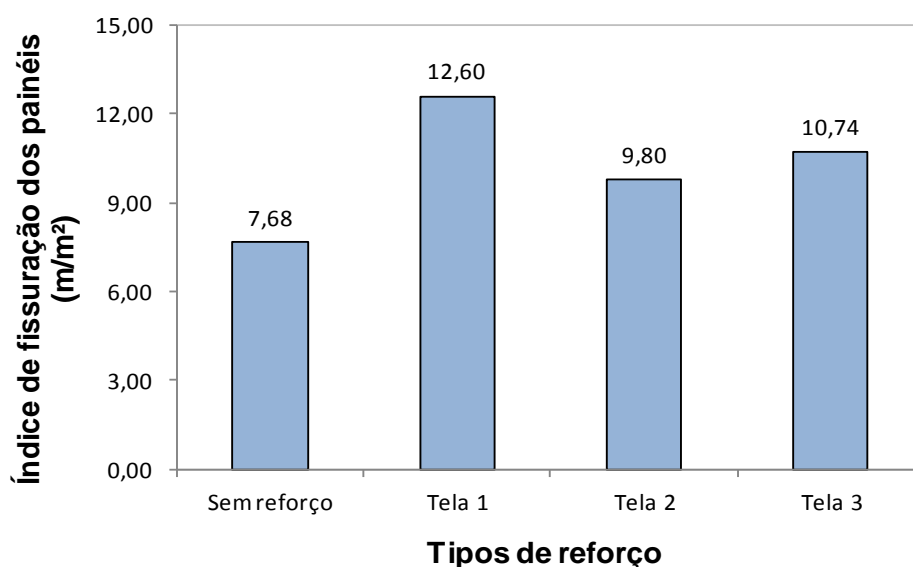
Os painéis que mais apresentaram fissuras foram os que tiveram reforço realizado com a Tela 1, seguido da Tela 3 e por fim dos painéis com reforço da Tela 2. A Tabela 41 e a Figura 90 apresentam os valores do índice de fissuração dos painéis estudados.

Tabela 41. Índice de fissuração dos painéis com espessura de 5 cm.

| Tipos de Reforço | Área do painel (m²) | Comprimentos das fissuras (m) | Índice de fissuração dos painéis (m/m²) | Intensidade de fissuração |
|-------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|---|----------------------------------|
| Sem tela | 0,43 | 3,32 | 7,68 | Alta |
| Tela 1 | 0,43 | 5,45 | 12,60 | Alta |
| Tela 2 | 0,43 | 4,24 | 9,80 | Alta |
| Tela 3 | 0,43 | 4,64 | 10,74 | Alta |

Fonte: A autora.

Figura 90. Gráfico do índice de fissuração dos painéis revestidos com espessura de 5 cm.



Fonte: A autora.

Houve um acréscimo da incidência de fissuração em relação ao painel sem reforço de 64,04% para o reforço realizado com a Tela 1, 27,61% para o revestimento reforçado com Tela 2 e de 39,81% para o painel reforçado pela Tela 3.

As fissuras se apresentaram de forma mapeada e sem mudanças no comprimento e nas espessuras, sendo, portanto, fissuras passivas. O painel de referência (sem tela), embora apresente um menor índice de fissuração, possui fissuras profundas e com maiores aberturas (0,4 a 0,5 mm).

A Tela 2 apesar de ter oferecido um menor incremento do índice de fissuração, não promoveu grandes melhorias quanto ao fechamento das fissuras, no qual os valores encontrados nas aberturas foi de 0,3 mm. As Telas 3 e 1 obtiveram aberturas equivalentes, com 0,2 e 0,1 milímetros.

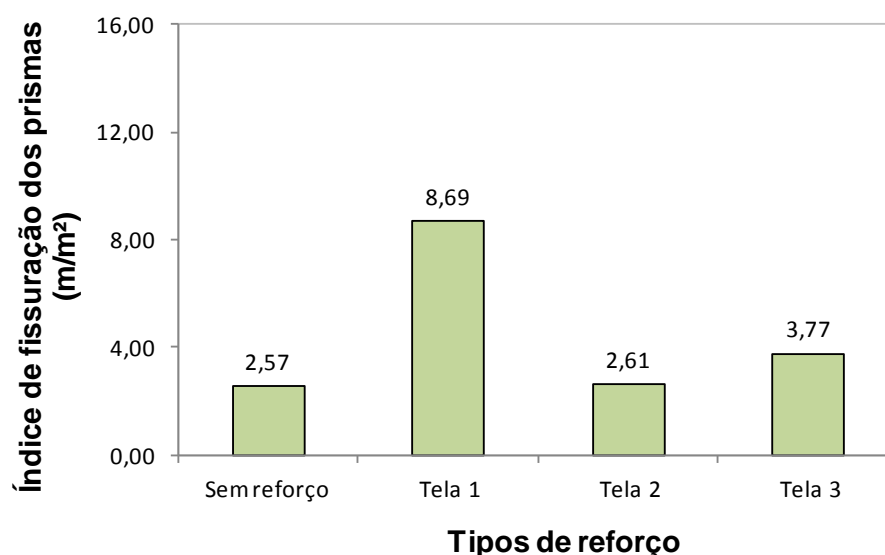
Os revestimentos realizados nos prismas obtiveram o mesmo comportamento dos painéis, quando submetidos ao carregamento térmico de 80 °C. O índice de fissuração pode ser visualizado na Tabela 42 e na Figura 91.

Tabela 42. Índice de fissuração dos prismas com espessura de 5 cm.

| Tipos de Reforço | Área do prisma (m²) | Média do comprimento das fissuras (m) | Índice de fissuração dos painéis (m/m²) | Intensidade de fissuração |
|-------------------------|---------------------------------------|--|---|----------------------------------|
| Sem tela | 0,13 | 0,34 | 2,57 | Alta |
| Tela 1 | 0,13 | 1,16 | 8,69 | Alta |
| Tela 2 | 0,13 | 0,35 | 2,61 | Alta |
| Tela 3 | 0,13 | 0,50 | 3,77 | Alta |

Fonte: A autora.

Figura 91. Gráfico do índice de fissuração dos prismas revestidos com espessura de 5 cm.



Fonte: A autora.

Na Figura 92, observa-se o mapeamento das fissuras dos revestimentos realizados nos prismas com as mesmas espessuras das camadas do reboco (5 cm), também submetido ao carregamento térmico.

Figura 92. Análise do carregamento de 80°C e o efeito da tela no combate à fissuração dos prismas revestimentos com espessura de argamassa de 5,0 cm.



(a) Sem Tela



(b) Reforço - Tela 1



(c) Reforço - Tela 2



(d) Reforço - Tela 3

Fonte: A autora.

As espessuras das fissuras encontradas nos revestimentos dos prismas foram às mesmas dos painéis. A incidência de fissura no reforço com a Tela 1 foi superior o equivalente a 238,30% em relação ao painel sem reforço, já as Telas 2 e 3, o aumento foi de 1,61% e de 46,64%, respectivamente.

A função do reforço das argamassas ficou mais evidente nas espessuras de cinco centímetros de reboco submetidos a um maior carregamento térmico, uma vez que os esforços solicitados foram redistribuídos por toda extensão dos revestimentos promovendo uma maior incidência de fissuras com menores aberturas.

O controle de fissuração encontrado nas análises de termografia e nos mapeamentos é resultante do comportamento de tensão-deslocamento das telas, evidenciando melhores resultados ao se utilizar uma tela de maior rigidez (tela 1). Como já mencionado, a tela 2 apresentou maior deformação e, conseqüentemente, não disponibiliza uma capacidade de reforçar a matriz cimentícia após fissuração.

Portanto, constata-se que a Tela 1 e a Tela 3, mostraram um melhor funcionamento na absorção das tensões, concedendo uma maior elasticidade ao revestimento para que o mesmo tivesse a capacidade de suportar os esforços de tração promovidos pelo carregamento térmico nas duas diferentes espessuras do reboco. Esta redução das aberturas está associada segundo os estudos de Speck (2014), aos valores de dilatação térmica linear das telas de aço, uma vez que apresentam menores valores e mostraram atuação em várias direções dos revestimentos, reduzindo as movimentações de origem térmica ocorridas no sistema e, conseqüentemente, no aparecimento de fissuras.

5.5 Quinta Etapa- Avaliação da eficiência do tipo de reparo das fissuras.

A recuperação realizada nos revestimentos para os dois métodos aplicados foi considerada eficiente, devido ao não aparecimento de fissuras até 14 dias da sua realização e após o carregamento térmico de 38 e 80 °C. Isso comprova que as fissuras ocorridas nos revestimentos não sofreram modificações ao decorrer do tempo sendo, portanto, passivas. As imagens termográficas mostraram-se comportamento similar nos dois carregamentos e em todos os tipos de reforço, não encontrando vestígios de fissuras.

Os termogramas realizados nos painéis logo após a retirada do carregamento térmico são apresentados no Quadro 3.

Quadro 3. Termogramas após aplicação do carregamento térmico.

| | Após 38° C | Após 80° C |
|----------------|------------|------------|
| Sem Tela | | |
| Reforço-Tela 1 | | |
| Reforço-Tela 2 | | |
| Reforço-Tela 3 | | |

Fonte: A autora.

As temperaturas nos pontos (sp1) correspondentes ao sistema de recuperação com massa acrílica e tela de poliéster apresentaram menores temperaturas, comparadas aos locais onde o revestimento permaneceu íntegro sem fissuras e sem tratamento (sp3). As maiores temperaturas adquiridas nos painéis foram nos locais com tratamento com resina epóxi (sp2).

Este aumento de temperatura na região do tratamento com epóxi (sp2) está relacionado com a absorção da radiação da região mais escura, uma vez que as emissões de energia em zonas de menor reflexão geram aumento na taxa de energia absorvida nestas zonas.

Portanto, os materiais utilizados para o revestimentos dos painéis são considerados opacos (refletem e absorvem radiação), no qual quando a taxa de reflexão é mínima, a taxa de absorção tende a ser maior quando a cor se torna mais escura. Isto explica as menores temperaturas adquiridas na recuperação realizada com massa acrílica (sp1) (cor branca), que assumiram uma menor absorção e maior reflexão, seguida da argamassa de revestimento (sp3- cor cinza claro).

Vale ressaltar que nestes termogramas pode ter ocorrido uma pequena interferência na leitura das temperaturas, uma vez que se trabalhou com três diferentes materiais (massa acrílica, argamassa e resina epóxi), adotando o mesmo valor de emissividade ($\epsilon = 0,95$).

5.6 Sexta Etapa- Avaliação o comportamento dos revestimentos reforçados quando submetidos ao impacto.

Os impactos correspondem aos choques da esfera por energia de impacto, não provocaram destacamentos e ruínas nos revestimentos com espessura de 2,5 centímetros. As profundidades das mossa são apresentadas na Tabela 43.

Tabela 43. Resultados dos ensaios de corpo duro dos painéis.

| Quantidade de lançamento da esfera | Profundidade das mossas (mm) | | | | | | | |
|------------------------------------|------------------------------|------------|----------------|------------|----------------|------------|----------------|------------|
| | Sem Tela | | Reforço Tela 1 | | Reforço Tela 2 | | Reforço Tela 3 | |
| | 10 J | 20 J | 10 J | 20 J | 10 J | 20 J | 10 J | 20 J |
| 1 | 1,8 | 2,4 | 1,5 | 2,4 | 1,5 | 2,9 | 1,4 | 2,3 |
| 2 | 1,6 | 3,0 | 1,5 | 2,3 | 1,6 | 2,7 | 1,6 | 3,5 |
| 3 | 1,6 | 3,7 | 1,8 | 2,4 | 1,6 | 3,7 | 1,8 | 2,2 |
| 4 | 1,5 | 2,5 | 1,6 | 2,4 | 1,5 | 3,9 | 2,2 | 3,3 |
| 5 | 1,7 | 2,8 | 1,7 | 2,8 | 1,8 | 2,4 | 1,6 | 2,3 |
| 6 | 1,5 | 2,5 | 1,7 | 3,3 | 1,6 | 2,5 | 1,9 | 2,5 |
| 7 | 1,6 | 3,1 | 1,6 | 3,0 | 1,6 | 2,8 | 2,0 | 2,8 |
| 8 | 2,2 | 2,3 | 1,5 | 2,9 | 1,6 | 2,9 | 1,9 | 2,7 |
| 9 | 1,3 | 2,6 | 1,5 | 2,6 | 1,5 | 2,8 | 1,8 | 2,0 |
| 10 | 1,6 | 2,5 | 1,2 | 2,5 | 1,5 | 2,9 | 1,4 | 2,4 |
| Média | 1,6 | 2,7 | 1,6 | 2,7 | 1,6 | 3,0 | 1,8 | 2,6 |
| DesvPad | 0,24 | 0,42 | 0,16 | 0,33 | 0,09 | 0,48 | 0,26 | 0,48 |

Fonte: A autora.

Como a esfera é lançada aleatoriamente, a profundidades das mossas possuem variações. Realizando a análise estatística ANOVA, observa-se na Tabela 44 que os valores encontrados nas profundidades não apresentaram modificações significativas comparadas com o revestimento sem reforço.

Tabela 44. Análise estatística ANOVA das profundidades das mossas em relação ao painel de referência.

| Energia de Impacto (J) | Revestimentos dos painéis | Fcal | Valor-p | Fcrítico | Significativo |
|------------------------|---------------------------|------|---------|----------|---------------|
| 10 | S/ Tela x Reforço-Tela 1 | 0,87 | 0,3629 | 4,41 | Não |
| | S/ Tela x Reforço-Tela 2 | 0,56 | 0,4644 | | Não |
| | S/ Tela x Reforço - Tela | 1,17 | 0,2937 | | Não |
| 20 | S/ Tela x Reforço-Tela 1 | 0,22 | 0,6428 | 4,41 | Não |
| | S/ Tela x Reforço-Tela 2 | 1,07 | 0,3146 | | Não |
| | S/ Tela x Reforço- Tela 3 | 0,47 | 0,5000 | | Não |

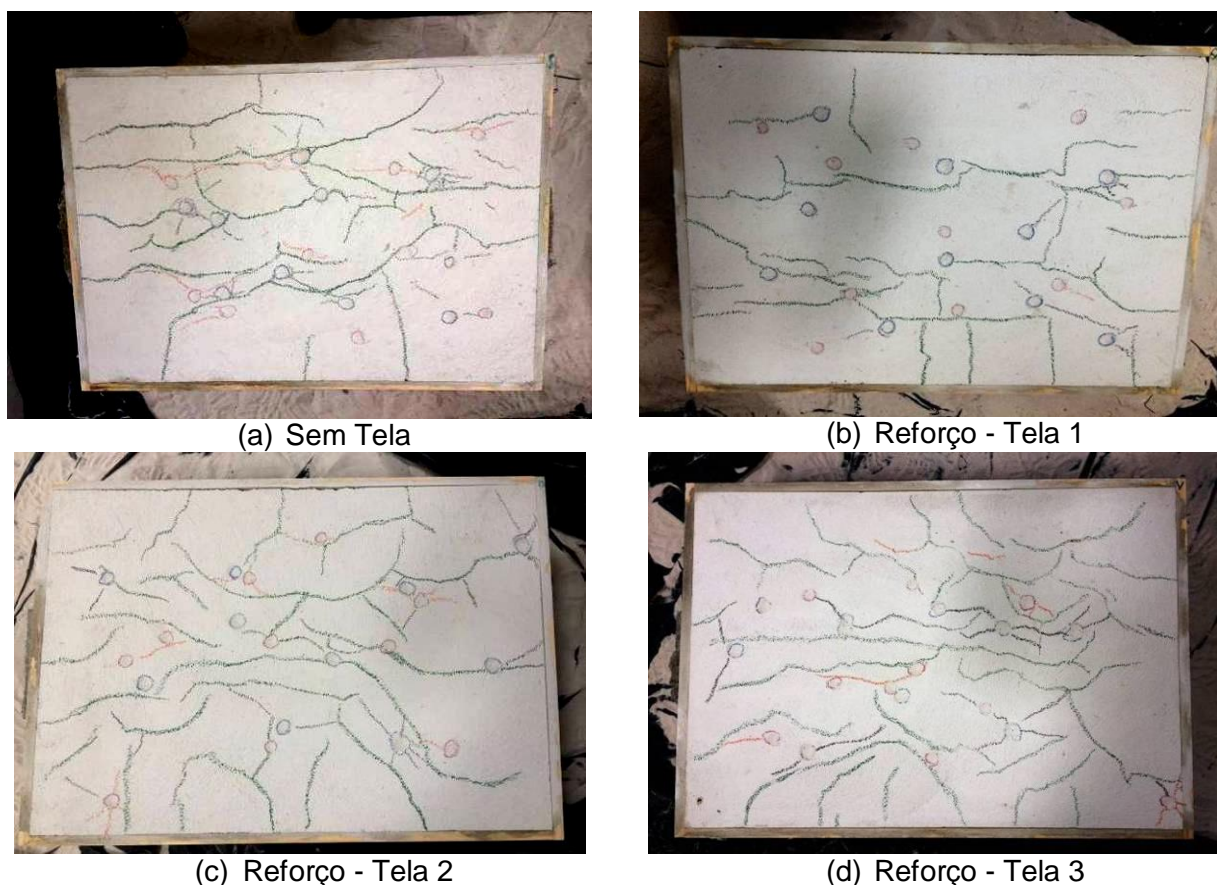
Fonte: A autora.

Para os impactos realizados com energia potencial de 10 Joules, as profundidades das mossas foram menores que 2,0 mm. Já para 20 Joules de energia, estes valores variaram de 2,6 a 3,0 mm. Este fato segundo a NBR 15575-

2:2013 evidencia que os revestimentos se enquadram dentro do nível mínimo de desempenho, considerando qualquer profundidade de mossas, não ocorrência de ruínas e admitidas falhas superficiais como mossas, fissuras e desagregações.

Apesar da norma de desempenho admitir o aparecimento de fissuras, a análise dos revestimentos dos painéis destacou maiores comprimentos e aberturas de fissuras nos revestimentos sem reforço. O revestimento reforçado com a tela 1 obteve microfissuras (menores que 0,05 mm de abertura) e os reforçados com a tela 2 e tela 3, as aberturas das fissuras foi de 0,1 milímetro. Já o revestimento sem reforço adquiriu fissuras com aberturas de 0,3 mm e um aumento nas aberturas já existentes. As novas fissuras surgidas devido ao impacto podem ser observadas na Figura 93.

Figura 93. Detalhe das fissuras nos painéis devido ao ensaio de impacto.



Fonte: A autora.

Comparando a Figura 93 com a Figura 85, nota-se que o revestimento reforçado com a Tela 1, apresentou menos fissuras devido ao impacto do corpo duro. Observa-se na Tabela 45, que as profundidades das mossas encontradas para

impactos com energia potencial de 10 e 20 Joules nos revestimentos dos prismas foram equivalentes aos painéis.

Tabela 45. Resultados dos ensaios de corpo duro dos prismas.

| Quantidade de lançamento da esfera | Profundidade das mossa (mm) | | | | | | | |
|------------------------------------|-----------------------------|------------|----------------|------------|----------------|------------|----------------|------------|
| | Sem Tela | | Reforço Tela 1 | | Reforço Tela 2 | | Reforço Tela 3 | |
| | 10 J | 20 J | 10 J | 20 J | 10 J | 20 J | 10 J | 20 J |
| 1 | 2,0 | 3,2 | 1,4 | 2,4 | 1,6 | 2,5 | 1,5 | 2,3 |
| 2 | 2,3 | 3,1 | 2,0 | 2,6 | 2,2 | 2,7 | 1,8 | 2,4 |
| 3 | 1,5 | 3,2 | 1,8 | 3,0 | 1,5 | 2,3 | 1,8 | 2,6 |
| 4 | 1,5 | 2,9 | 1,6 | 2,9 | 1,5 | 3,1 | 1,5 | 2,5 |
| 5 | 2,1 | 3,1 | 1,4 | 2,6 | 1,8 | 2,5 | 2,2 | 2,6 |
| 6 | 1,6 | 3,2 | 1,4 | 3,0 | 1,5 | 2,8 | 1,6 | 2,7 |
| 7 | 1,7 | 3,0 | 1,3 | 3,4 | 2,2 | 2,6 | 2,3 | 2,8 |
| 8 | 1,9 | 3,2 | 2,4 | 3,2 | 2,1 | 3,0 | 1,7 | 2,4 |
| 9 | 1,9 | 2,5 | 1,8 | 3,7 | 2,3 | 3,4 | 2,4 | 2,8 |
| 10 | 1,4 | 2,4 | 1,0 | 3,0 | 2,3 | 2,3 | 2,1 | 3,6 |
| Média | 1,8 | 3,0 | 1,6 | 3,0 | 1,9 | 2,7 | 1,9 | 2,7 |
| DesvPad | 0,30 | 0,29 | 0,42 | 0,39 | 0,36 | 0,34 | 0,35 | 0,37 |

Fonte: A autora.

A análise estatística das profundidades das mossa nos revestimentos dos prismas, também não demonstraram variações significativas, pois o valor de p-value é maior que o nível de significância adotada no teste ($\alpha = 0,05$), conforme apresenta a Tabela 46.

Tabela 46. Análise estatística ANOVA das profundidades das mossa em relação ao prisma de referência.

| Energia de Impacto (J) | Revestimentos dos prismas | Fcal | Valor-p | Fcrítico | Significativo |
|-------------------------|---------------------------|------|---------|----------|---------------|
| 10 | S/ Tela x Reforço-Tela 1 | 1,00 | 0,3303 | 4,41 | Não |
| | S/ Tela x Reforço-Tela 2 | 0,45 | 0,5105 | | Não |
| | S/ Tela x Reforço -Tela 3 | 0,38 | 0,5455 | | Não |
| 20 | S/ Tela x Reforço-Tela 1 | 0 | 1,0 | 4,41 | Não |
| | S/ Tela x Reforço-Tela 2 | 3,18 | 0,0916 | | Não |
| | S/ Tela x Reforço -Tela 3 | 3,86 | 0,0650 | | Não |

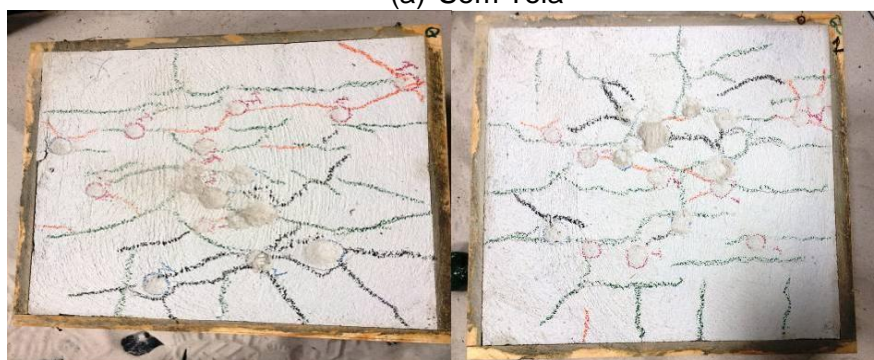
Fonte: A autora.

A Figura 94 apresenta as novas fissuras surgidas nos prismas devido ao impacto do corpo duro.

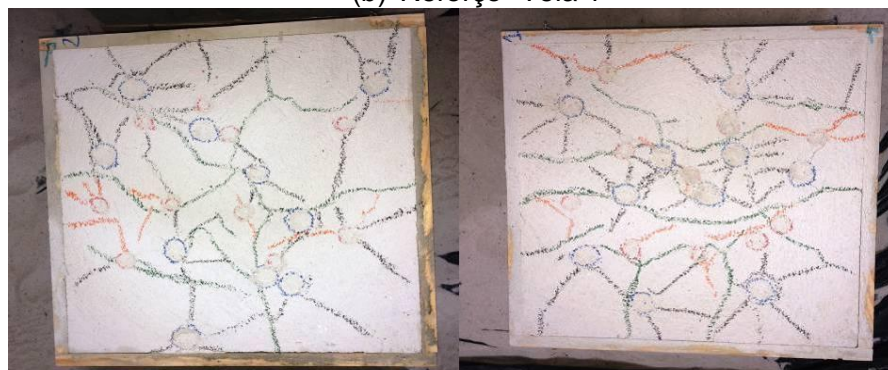
Figura 94. Detalhe das fissuras nos prismas devido ao ensaio de impacto.



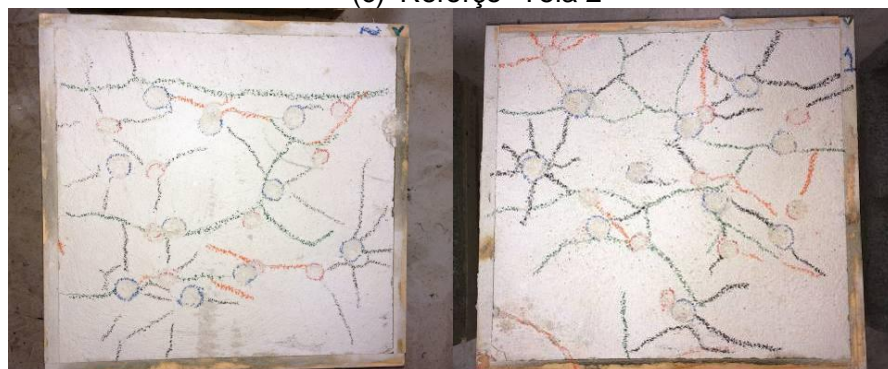
(a) Sem Tela



(b) Reforço- Tela 1



(c) Reforço- Tela 2



(d) Reforço- Tela 3

Fonte: A autora.

Os revestimentos dos prismas apresentaram o mesmo comportamento dos painéis, ou seja, sem ruínas, sem deslocamentos e surgimento de novas fissuras. De modo geral, os revestimentos reforçados apresentaram maior desempenho em relação ao revestimento sem reforço, por desenvolverem fissuras com aberturas de 0,1 mm.

Relacionando os resultados encontrados no ensaio de impacto com os gráficos de tensão - deslocamento das telas e rigidez, observa-se que a tela 1 desenvolve melhores condições para absorver a energia de impacto, promovendo menores fissuras. Desta forma, os revestimentos reforçados com a tela 1 evidenciaram uma maior tenacidade em relação aos outros revestimentos reforçados.

Os revestimentos reforçados com a tela 3 e com a tela 2 apresentaram também capacidade de absorver a energia, porém devido às características de deformação destas telas, principalmente da tela 2, as aberturas das fissuras adquiridas foram maiores comparadas com as fissuras adquiridas no revestimento reforçado com a tela 1.

O resultado deste ensaio de impacto condiz com os valores encontrados no ensaio de resistência à tração na flexão das argamassas reforçadas, uma vez que as telas incrementam a resistência das argamassas quando posicionadas na zona de tração.

Portanto, este ensaio mostrou-se bastante prático e com resultados bastante satisfatórios, no entanto, se restringe à avaliação da resistência superficial do revestimento.

6 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos neste estudo, pode-se apresentar as seguintes conclusões:

- A argamassa com excesso de cal adquiriu fissuras devido ao teor de finos da cal na composição da argamassa e pelo maior consumo de água na mistura. Na análise corretiva destas fissuras no revestimento com duas espessuras variáveis de reboco, as telas galvanizadas quadrada e hexagonal apresentaram capacidade de absorver as tensões e minimizar o aparecimento de fissuras.

- Na avaliação mecânica das argamassas armadas, observou-se que as características de coesão e fluidez da argamassa, como também o tamanho da malha da tela influenciaram na perda de resistência dos corpos de prova armados em comparação às argamassas não armadas, nos ensaios de compressão axial, tração por compressão diametral e cisalhamento. Já os resultados de resistência à flexão mostraram que as telas inseridas na zona tracionada dos corpos de prova proporcionaram melhores desempenhos nas argamassas, principalmente a tela eletrosoldada galvanizada.

- Através das imagens termográficas só foi possível identificar as fissuras nos revestimentos sem reforço nos tipos de carregamento térmico estudado, devido a maior profundidade das fissuras. Além disso, observou-se que no carregamento térmico de 80 °C (revestimentos com espessuras de 5 cm), os painéis reforçados com a Tela 1 e Tela 3, adquiriram aproximadamente o mesmo Delta- T encontrado no painel sem revestimento, porém este gradiente térmico não foi eficiente para identificar as fissuras superficiais criadas pela eficiência destas telas em absorver as tensões. Desta forma, é necessária a realização de outras abordagens para analisar as fissuras que não foram identificadas, variando as condições de captura dos termogramas, para possibilitar a visualização e quantificação dos danos nos revestimentos.

- As telas galvanizadas de malha quadrada e a tela hexagonal de viveiro mostraram eficiência no controle das aberturas das fissuras, absorvendo as tensões ocasionadas no sistema e fornecendo desempenho para suportar os esforços de tração promovidos pelo carregamento térmico nas duas diferentes espessuras do reboco. Já o reforço realizado com a tela 2 não forneceu capacidade de absorver as

tensões e, portanto, obteve o mesmo desempenho dos revestimentos sem tela. Fato este já era esperado devido à elevada deformação da tela e sua baixa resistência à tração.

- Os reforços realizados com massa acrílica e tela de poliéster, juntamente com os reforços com resina epóxi, apresentaram um adequado desempenho, pois não apresentaram fissuras com aplicação do carregamento térmico de 38 e 80 ° C. O tratamento realizado com massa acrílica e tela se mostrou mais prático e barato para recuperar as fissuras. Nos termogramas, ficou evidente que os materiais com coloração mais escura absorvem maior parte da energia devido a menor reflexão.

- Os revestimentos com espessura de 2,5 centímetros de reboco quando submetidos ao impacto do corpo duro não apresentaram deslocamentos e ruínas, mas moissas e novas fissuras foram identificadas. O melhor desempenho dos revestimentos reforçados ocorreu com a utilização da tela 1 (eletrosoldada galvanizada), promovendo melhores condições para absorver a energia de impacto e menores fissuras. Todos os revestimentos se enquadram no nível mínimo de desempenho segundo a NBR 15575-2: 2013, se restringindo à avaliação da resistência superficial do elemento.

Portanto, os resultados desta pesquisa comprovam a eficiência da tela galvanizada eletrosoldada em reforçar os revestimentos, devido à capacidade de distribuir as tensões e melhor aderência com a matriz cimentícia. Os diagramas de tensão-deslocamento das telas e o incremento da resistência no ensaio de tração na flexão refletem significativamente na função da tela para controle da fissuração dos revestimentos. No entanto, devido aos reduzidos estudos nesta área, é necessário um maior aprofundamento a fim de estudar a influência da dimensão dos fios, tamanho das malhas e tipo de material quando empregados para reforçar o reboco, principalmente quando estão submetidos a variações de temperatura.

7 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Com o intuito de colaborar para a melhoria do desempenho e qualidade dos sistemas na utilização de telas no revestimento, já que existe uma carência na sua aplicação e no comportamento, propõem-se alguns estudos como:

- Estudar as tensões do sistema de revestimento contendo telas por meio de extensômetros, variando a localização da mesma, considerando o efeito do carregamento térmico;
- Realizar simulações computacionais do sistema de revestimento com reforço;
- Realizar testes mecânicos utilizando os próprios painéis revestidos;
- Estudar o desempenho do revestimento com a tela aplicada após o período de cura da primeira camada;
- Estudar o efeito do envelhecimento do revestimento reforçado.

8 REFERÊNCIAS

- ALTOÉ, L.; OLIVEIRA FILHO, D. Termografia infravermelha aplicada à inspeção de edifícios. **Acta Tecnológica**, v.7, p.55-59, 2012.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E1862-97 (2010)**. Standard Test Methods for Measuring and Compensating for Reflected Temperature Using Infrared Imaging Radiometers. vol. 97. West Conshohocken, Pennsylvania, United States: 2010.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM 1933-99**. Standard Test Methods for Measuring and Compensating for Emissivity Using Infrared. West Conshohocken, Pennsylvania, United States: 1999.
- ANTUNES, G.R. **Estudo de manifestações patológicas em revestimento de fachada em Brasília – sistematização da incidência de casos**. 178p. 2010. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil), Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2010.
- ANTUNES, G. R.; MASUERO, A.B. Proposição de ensaio de resistência à tração de tela metálica adotada no reforço de argamassa. **In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas**, Fortaleza, 2013.
- ANTUNES, G. R.; MASUERO, A. B.; MAÇANEIRO, M. N. Avaliação do desempenho de argamassa reforçada com tela metálica através do ensaio de tração na flexão. **In: XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**. Maceió (Alagoas), v. 5, n. 8, p.1-10, nov. 2014.
- ANTUNES, G. R. **Contribuição para avaliação de desempenho de revestimentos de argamassa reforçados com telas metálicas**. 2016.186p.Tese (Doutorado em Engenharia Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.2016.
- ANTUNES, G. R.; MASUERO, A.B. Flexural tensile strength in mortar coating reinforced with different types of metal mesh: A statistical comparison. **Construction and Building Materials** 121 (2016) 559–568.
- ARAÚJO JR., J. M. **Contribuição ao estudo das propriedades físico-mecânicas das argamassas de revestimento**. 2004. 175p. Dissertação (Mestrado). Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Brasília, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7215:** Cimento Portland - determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1997.

_____. **NBR 13755.** Revestimento de paredes externas e fachadas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante – Procedimento. Rio de Janeiro, 1997.

_____. **NBR 7200:** Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Procedimento. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR 13276** - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro. 2005.

_____. **NBR 9778.** Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13277.** Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos: Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 2005.

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

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

_____. **NBR 13280.** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro. 2005.

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

_____. **NBR 15258.** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos. Determinação da resistência potencial de aderência à tração. Rio de Janeiro. 2005.

_____. **NBR 15259.** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos. Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro. 2005.

_____. **NBR 15270-3.** Componentes cerâmicos. Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação - Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 5739.** Concreto - ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 7211.** Agregados para concretos. Rio de Janeiro. 2009.

_____. **NBR 13528.** Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas- Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 9575.** Impermeabilização-Seleção e projeto. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 7222.** Argamassa e Concreto-Determinação da Resistência à Tração por Compressão Diametral de Corpos - de –Prova Cilíndricos. Rio de Janeiro. 2011.

_____. **NBR 9935.** Agregados-Terminologia. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 10024.** Chapa dura de fibras de madeira – Procedimento. Rio de Janeiro. 2012.

_____. **NBR15575-4.** Edificações habitacionais - Desempenho Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 12118:** Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 13749.** Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos. Especificação. Rio de Janeiro. 2013.

_____. **NBR 6136.** Bloco vazado de concreto simples para alvenaria estrutural. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NM 46:** Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

_____. **NM 45:** Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária - Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

_____. **NM 52:** Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009. 6 p.

_____. **NM 248:** Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2011. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLANDE (ABCP). **Manual de revestimentos de argamassa.** ABCP, 2003.

BARRETO, M. F. O.; Brandão, P. R. G. Avaliação da resistência de aderência à tração de argamassas de cimento portland novas e envelhecidas. **In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais- CBECIMAT**, p.1132-1141, 2014.

BASTOS, P. K. X.; DÉTRICHÉ, C.H.; BALAYSSAC, J.P.; CINCOTTO, M.A. Retração e desenvolvimento de propriedades mecânicas em argamassas de revestimento. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.2, n.2.p 57-70, 2002.

BAUER, E. Patologia em revestimentos de argamassa inorgânica. **In: II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas.** Salvador, Ba, 1997.

BAUER, E (editor). **Revestimento de argamassa: características e peculiaridades.** Brasília: LEM – UnB; Sinduscon, 2005.

BAUER, R. J.F. **Falhas em revestimentos.** In: L. A. Falcão Bauer. (Org.). **Materiais de construção.** 5ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010, v. 2, p. 903-945.

BAUER E, PAVÓN E. "Termografia de infravermelho na identificação e avaliação de manifestações patológicas em edifícios". **Concreto & Construções.** 93–98. 2015.

BAUER, E; REGUFFE, M; NASCIMENTO, M. L. M. CALDAS; L. R. Requisitos das argamassas estabilizadas para revestimento. **In: XI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas.** Porto Alegre, RS, 2015.

BAUER, E; PAVÓN, E; OLIVEIRA, E. Inspeção termográfica de fachadas – investigação da influência da fissuração. **In: Congresso Brasileiro de Patologia das Construções.** Belém, Pa. 2016. Anais... Belém, Pa : CBPAT, 2016. p1432-1440.

BENTUR, A.; MINDESS, S. Fibre reinforced cementitious composites. United Kingdom. *Barking, Elsevier.* 1990.

CALLISTER, William D. Jr. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 5ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

CARASEK, H.; CASCUDO, O.; SCARTEZINI, L. M. Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa. In: **Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas**, UnB/ANTAC, Brasília, 2001.

CARASEK, H. Argamassas. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais – Volume 2**. São Paulo: IBRACON, p. 863-904. 2007

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT. **Certification CSTB des enduits monocouches d'imperméabilisation – Cahier MERUC**. Livraison 341, cahier 2669- 3, juillet-août 1993. Paris, 1993.

CEOTTO, L. H; BANDUCK, RAGUEB. C.; NAKAKURA, ELZA. H. **Revestimentos de argamassa: Boas práticas em projeto, execução e avaliação**. V.1 Porto Alegre: ANTAC, 2005.96p.

CHAMELETE, A. G. **Armaduras para argamassa armada**. São Paulo, Associação Brasileira de Cimento Portland, 2.ed. 24p. (ET-93).1999.

CINCOTTO, M. A; SILVA, M. A. C; CARASEK, H. **Argamassas de revestimento: Características, propriedades, e métodos de ensaios**. Boletim 68 IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, 1995.

COSTA, A.; ARÊDE, A.; COSTA, A.; GUEDES, J.; SILVA, B. – **Experimental testing, numerical modelling and seismic strengthening of traditional stone masonry: comprehensive study of a real Azorian pier**. Springer Science Business Media, 2010.

COSTA E SILVA, A.J.; FIGUEIREDO, A.D.; BITTENCOURT, T.N. Análise comparativa entre argamassas de revestimento reforçadas com telas metálicas e com fibras de polipropileno. In: **V Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto**, São Paulo, 2003.

CRESCENCIO, R. M.; BARROS, M. M. S. B. de. **Revestimento decorativo monocamada: produção e manifestações patológicas**. São Paulo: EPUSP, 2005. Boletim Técnico n. 389.

FERNANDES, T. S.; MASUERO, A. B.; ANTUNES, G.R. Práticas e materiais mais empregados para construir revestimentos externos aderidos em Porto Alegre/RS. In: **XI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas**. Porto Alegre, RS, 2013.

FIORITO, A. J. S. I. **Manual de Argamassa e Revestimento – Estudo e Procedimento de Execução**. Editora Pini. São Paulo, SP. 1994.

FONTENELLE, J.H. **Sistema de fixação e juntas em vedações verticais constituídas por placas cimentícias: estado da arte, desenvolvimento de um sistema e avaliação experimental**. 2012. 219p. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Escola Politécnica Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

FREITAS, J. G. DE; CARASEK, H.; CASCUDO, O. Utilização de termografia infravermelha para avaliação de fissuras em fachadas com revestimento de argamassa e pintura. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 57-73, jan./mar. 2014.

GOMES, A. O.; NEVES, C.; SOUZA, S. L. M. Utilização de telas em sistemas de revestimentos com argamassa. In: **VII Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas**. Recife-PE, 2007.

GOMES, A. O.; NEVES, C. M. M.; Proposta de método racional de argamassas contendo argilominerais. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.2.p. 19-30,2002.

GRINZATO,E.;LUDWING,N.;CADELANO,G.;BERTUCCI,M.;GARGANO,M.;BISON,P . Infrared Thermography For Moisture Detection: a laboratory study and in-situ test. **Materials Evaluation**, p. 97-104, jan. 2011.

HARTMANN, CARINE; JEKNAVORIAN, ARA; SILVA, DENISE; BENINI, Humberto. **Aditivos Químicos para Concretos e Cimentos**. In: ISAIA, G. C. (ed.) **Concreto: Ciência e Tecnologia**. 1. Ed. São Paulo: IBRACON, 2011, v. 1, p. 347-380.

ISRAEL, M. C. **Ensaio não destrutivo aplicado à avaliação de revestimentos de argamassa**. 2016.167p. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade de São Paulo. São Paulo, 2016.

LALAJ, O; YARDIM, Y; YILMAZ, S. Recent perspectives for ferrocement. **Research on Engineering Structures & Materials** 1 (2015) 11-23.

LIMA, Eduardo Campos. FACHADA À PROVA: Projeto e controle tecnológico são fundamentais para garantir desempenho de revestimentos externos de edifícios habitacionais. **Revista TÉCNE**, número 230, 2016.

LONGHI, M. A.; MASUERO, A. B. Análise do desempenho de revestimentos de argamassa industrializada submetido a envelhecimento acelerado. In: **X Simpósio Brasileiro de Tecnologia das argamassas**. Fortaleza, 2013.

LORDSLEEM JÚNIOR, A. C. **Sistemas de recuperação de fissuras da alvenaria de vedação: avaliação da capacidade de deformação**. 1997.174p. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade de São Paulo. São Paulo. 1997.

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

MENDONÇA, L. V. **Termografia Por Infravermelhos: inspeção de betão**. Engenharia e Vida, v. 1, n. 16, p. 53-57, 2005.

MEDEIROS, J. S.; SABBATINI, F. H. **Tecnologia e projeto de revestimentos cerâmicos de fachadas de edifícios**. Boletim Técnico: BT/PCC/246. São Paulo: EPUSP, 1999, 28p.

MOTA, J. M. F.; OLIVEIRA, R. A. Modelo de reforço com argamassa armada com adição de pozolana para alvenaria resistente. In: 55º Congresso Brasileiro do Concreto, Gramado-RS, 2013. **Anais....** São Paulo: IBRACON, 2013.

MORESCO, J. M.; BORDIN, F.; VERONEZ, M. R.; TUTIKIAN, B. F. Detecção de manifestações patológicas em fachadas com revestimento argamassado por termografia infravermelha. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17. (SBSR), 2015, João Pessoa. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2015. p. 3958-3965.

MOSCOSO, Y. F. M. **Estudo Numérico e Experimental das Tensões Atuantes na Argamassa Colante de Fachadas de Edificações sob ação da Fadiga Termo-mecânica**. 2013.142p. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil). Universidade de Brasília, Brasília- DF. 2013.

NAKAKURA, E. H.; CINCOTTO, M. A. **Análise dos requisitos de classificação de argamassas de assentamento e revestimento.** (Boletim Técnico, n. 359), São Paulo: Escola Politécnica da USP, 2004.

OLIVEIRA, R. A.; REGO, W. A.; FERREIRA, S. R.M.; MOTA, J. M. F. Manifestações patológicas em revestimentos de argamassas com saibros. **In: X Congreso Latino americano de Patología y XII Congreso de Calidad en la Construcción.** CONPAT 2009. Valparaíso-Chile.

OLIVEIRA, F. L. **Reabilitação de paredes de alvenaria pela aplicação de revestimentos resistentes de Argamassa armada.** 2001. 203 pg. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos-Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

OLIVEIRA, L. A.; FONTENELLE, J. H.; MITIDIERI FILHO, C. V. Durabilidade de fachadas: método de ensaio para verificação da resistência à ação de calor e choque térmico. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 53-67, out./dez. 2014.

PANIAGO, D. G.; HANAI, J. B. **Análise estrutural de reservatórios enterrados de argamassa armada com telas de aço soldadas.** Cadernos de Engenharia de Estruturas (USP), São Carlos, v. 19, p. 21-49, 2002.

PEREIRA, C. H. A.F. **Contribuição ao estudo da fissuração, da Retração e do mecanismo de descolamento do Revestimento à base de argamassa.** 2007.195. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil). Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2007.

PINTO, K. W.; GUEDES, R. C. S.; TEXEIRA, O. G.; SILVA, F. G. S.; ROCHA, J. A. L.; GONÇALVES, J. P. Método de ensaio de resistência ao cisalhamento em materiais cimentícios. **In: Anais no 58º Congresso Brasileiro do concreto**, Belo Horizonte, Minas Gerais. 2016....**Anais...**São Paulo:IBRACON,2016.

POZZOBON, M. A.; ROVEDDER, A.C.; HENN, R. F.; EICHNER, H.; OLIVEIRA, R.B. Verificação das características de revestimentos argamassados reforçados com telas metálicas frente a esforços de tração. **In: XXVI Congresso Regional de iniciação científica e tecnológica em engenharia – CRICTE**, Alegrete, RS. 2014.

POZZOBON, M. A.; ROVEDDER, A.C.; HENN, R.F.; EICHNER, H.; OLIVEIRA, R. B. Verificação das características de telas metálicas utilizadas para reforçar

revestimentos argamassados frente a esforços de tração. **In: XXVI Congresso Regional de iniciação científica e tecnológica em engenharia – CRICTE**, Alegrete, RS. 2014.

RAGO, F.; CINCOTTO, M. A. **Influência do tipo de cal hidratada na reologia de pastas**. Boletim técnico, n. 233. São Paulo, 1999.

RAMIRES, L. D. **Estudo teórico-experimental de reforço para construções de alvenaria empregando revestimento de argamassa armada**. 2007. 142p.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

RECENA, F. A. P. **Conhecendo Argamassa**. São Paulo. Edipucrs: 2012. 188 pg.

RESENDE, M. M.; BARROS, M. M. S. B.; CAMPOS, J. S. A influência da manutenção na durabilidade dos revestimentos de fachada de edifícios. **In: II Workshop sobre durabilidade das construções**, São José dos Campos (Brasil), pp. 144-154. 2001.

SAHADE, R.F.; MACHADO, L.V.; CAVANI, G.R. Avaliação de sistemas de recuperação de fissuras em argamassa de vedação. **In: X Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas**. Fortaleza, 2013.

SARAIVA, A. G. **Contribuição ao estudo de tensões de natureza térmica em sistemas de revestimento cerâmico de fachada**. 1998. 164p. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade de Brasília, Brasília, DF. 1998.

SILVA, F. G. S.; BAUER, Elton. Avaliação da Fissuração em Argamassas. **In: VIII Simpósio Brasileiro de tecnologia de Argamassas**, Curitiba, 2009.

SILVA, F. G. S. **Proposta de metodologias experimentais auxiliares à especificação e controle das propriedades físico-mecânicas dos revestimentos em argamassa**. 2006. 266p. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil), Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia, Brasília-Distrito Federal, 2006.

SILVA, F. A. N.; OLIVEIRA, R. A.; AZEVEDO, A. A.; SANTOS, L.V. Comportamento de prismas de blocos de vedação de concreto reforçados com argamassa armada. **In: XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído: ENTAC**, Fortaleza, 2008.

SILVA, I. S.; SALES, J. C. Patologias ocasionadas pela umidade: Estudo de caso em edificações da Universidade Estadual Vale do Acaraú-UVA. In: **IX Congresso Internacional sobre Patología y Recuperación de Estructuras (CIMPAR)**. Joao Pessoa-Pb. 2013.

SILVA, N. G. **Avaliação da retração e da fissuração em revestimento de argamassa na fase plástica**. 2011. 329p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

SPECK, J. A. **Análise do desempenho de placas cimentícias através da adição de fibras e telas, visando a redução de deformações térmicas e patologias**. 2014.112p. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios**. São Paulo, IPT/EPUSP/PINI, 2006.

THURLER, C.; FERREIRA, V. A evolução da resistência de aderência de algumas argamassas colantes nacionais. In: **I Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas**, v. 1, p. 177-186, 1995.

TORRES, D. R. ; FUJII, A.L; ROMANO, R.C.O.; PILEGGI, R.G. Impacto da rota de incorporação de ar nas propriedades de materiais formulados com cimento Portland. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 2, p. 141-152, abr./jun. 2014.

UCHÔA, J.C.B. **Procedimento numérico e experimental para avaliação da resistência à fadiga de sistemas de revestimento**. 2007.159p. Dissertação (Mestrado em estruturas e construção civil). Universidade de Brasília, Brasília, DF. 2007.

VEIGA, M. R. **Comportamento de argamassas de revestimentos de paredes: Contribuição para o estudo da sua resistência à fendilhação**. 1998. 458p. Tese (Doutorado). Universidade do Porto, Portugal, 1998.

APÊNDICE 1- CARACTERIZAÇÃO DA ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA

Tabela 1. Índice de consistência.

| 1ª medida (mm) | 2ª medida (mm) | 3ª medida (mm) | Média (mm) | Desvio Padrão | CV (%) |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------|--------------------------|-------------------|
| 258 | 258,5 | 260,2 | 258,9 | 1,15 | 0,45 |

Fonte: A autora.

Tabela 2. Retenção de água.

| mv (g) | ma (g) | ms (g) | mw (g) | m (g) | AF | Ra (%) |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|-----------|-------------------|
| 1168,96 | 2250,03 | 2223,49 | 446,43 | 2800 | 0,14 | 82 |

Fonte: A autora.

Tabela 3. Densidade de massa no estado fresco.

| mv (g) | vr (cm³) | mc (g) | d (Kg/m³) |
|---------------|-----------------|---------------|------------------|
| 133,73 | 481,15 | 866,8 | 1524 |

Fonte: A autora.

Tabela 4. A resistência à tração na flexão.

| Unidades | Carga de ruptura (N) | Rt (Mpa) |
|----------------------|-----------------------------|-----------------|
| CP 1 | 979,00 | 2,29 |
| CP 2 | 979,00 | 2,29 |
| CP 3 | 995,00 | 2,33 |
| Média | 984,3 | 2,31 |
| Desvio Padrão | 7,5 | 0,02 |
| CV (%) | 0,8 | 0,77 |

Fonte: A autora.

Tabela 5. A resistência à compressão.

| Unidades | Carga de ruptura (N) | Rt (Mpa) |
|----------------------|-----------------------------|-----------------|
| CP 1 | 7895 | 4,93 |
| CP 2 | 9031 | 5,64 |
| CP 3 | 9597 | 6,0 |
| CP 4 | 8076 | 5,05 |
| Média | 8649,8 | 5,41 |
| Desvio Padrão | 804,5 | 0,50 |
| CV (%) | 9,3 | 9,30 |

Fonte: A autora.

Tabela 6. Densidade de massa no estado endurecido.

| Corpo de prova | Massa (g) | Volume (cm³) | ρ_{\max} (Kg/m³) |
|-----------------------|------------------|---------------------|---|
| CP 1 | 437,50 | 256 | 1709 |
| CP 2 | 441,8 | 256 | 1726 |
| CP 3 | 435,0 | 256 | 1699 |
| Média | 438 | 256 | 1711 |
| Desvio Padrão | 3,44 | 0 | 13,44 |
| CV (%) | 0,79 | 0 | 0,79 |

Fonte: A autora.

Tabela 7. Absorção de água por capilaridade.

| Unidades | Massa seca (g) | Massa saturada 10 min (g) | Massa saturada 90 min (g) | At (10 min) (g/cm²) | At (90 min) (g/cm²) | C (g/dm².min^{1/2}) |
|----------------------|-----------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------------|
| CP-01 | 421,06 | 425,59 | 432,69 | 0,28 | 0,73 | 7,10 |
| CP-02 | 432,47 | 437,40 | 445,60 | 0,31 | 0,82 | 8,20 |
| CP-03 | 434,38 | 438,75 | 445,99 | 0,27 | 0,73 | 7,24 |
| Média | 429,3 | 433,9 | 441,4 | 0,29 | 0,76 | 7,5 |
| Desvio Padrão | 7,2 | 7,2 | 7,6 | 0,02 | 0,05 | 0,6 |
| CV(%) | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 6,3 | 7,2 | 8,0 |

Fonte: A autora.

Tabela 8. Resistência potencial de aderência à tração.

| Unidades | Carga (N) | Área da pastilha (mm²) | Tensão Ra (MPa) | Tipo de ruptura |
|-----------------|------------------|--|------------------------|------------------------|
| 1 | 550 | 1963,50 | 0,28 | SUPERFÍCIE |
| 2 | 550 | 1963,50 | 0,28 | SUPERFÍCIE |
| 3 | 500 | 1963,50 | 0,26 | INTERFACE- S/A |
| 4 | 650 | 1963,50 | 0,33 | SUPERFÍCIE |
| 5 | 550 | 1963,50 | 0,28 | SUPERFÍCIE |
| 6 | 750 | 1963,50 | 0,38 | SUPERFÍCIE |
| 7 | 550 | 1963,50 | 0,28 | INTERFACE- S/A |
| 8 | 750 | 1963,50 | 0,38 | INTERFACE- S/A |
| 9 | 600 | 1963,50 | 0,31 | SUPERFÍCIE |
| Média | 605,56 | 1963,50 | 0,31 | |
| DesvPAD | 86,42 | 0 | 0,04 | |

S= substrato, A = argamassa.

APÊNDICE 2- CARACTERIZAÇÃO DA ARGAMASSA MISTA

Tabela 9. Índice de consistência.

| 1ª medida (mm) | 2ª medida (mm) | 3ª medida (mm) | Média (mm) | Desvio Padrão | CV (%) |
|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-------------------------|
| 260 | 261 | 259,6 | 260,0 | 0,72 | 0,28 |

Fonte: A autora.

Tabela 10. Retenção de água.

| mv (g) | ma (g) | ms (g) | mw (g) | m (g) | AF | Ra (%) |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-----------|-------------------------|
| 1170,35 | 2406,07 | 2374,28 | 446,43 | 2800 | 0,14 | 81 |

Fonte: A autora.

Tabela 11. Densidade de massa no estado fresco.

| mv (g) | vr (cm³) | mc (g) | d (Kg/m³) |
|---------------|-----------------|---------------|------------------|
| 133,73 | 481,15 | 1118,72 | 2047 |

Fonte: A autora.

Tabela 12. A resistência à tração na flexão.

| Unidades | Carga de ruptura (N) | Rt (Mpa) |
|----------------------|-----------------------------|-----------------|
| CP 1 | 370 | 0,87 |
| CP 2 | 348 | 0,82 |
| CP 3 | 312 | 0,73 |
| Média | 343,33 | 0,80 |
| Desvio Padrão | 29,28 | 0,06 |
| CV (%) | 8,50 | 6,96 |

Fonte: A autora.

Tabela 13. A resistência à compressão.

| Unidades | Carga de ruptura (N) | Rt (Mpa) |
|----------------------|-----------------------------|-----------------|
| CP 1 | 2052 | 1,28 |
| CP 2 | 2023 | 1,26 |
| CP 3 | 2192 | 1,37 |
| CP 4 | 1970 | 1,23 |
| Média | 2059,25 | 1,29 |
| Desvio Padrão | 94,79 | 0,07 |
| CV (%) | 4,60 | 5,63 |

Fonte: A autora.

Tabela 14. Densidade de massa no estado endurecido.

| Corpo de prova | Massa (g) | Volume (cm³) | ρ_{\max} (Kg/m³) |
|-----------------------|------------------|---------------------|---|
| CP 1 | 467,4 | 256 | 1826 |
| CP 2 | 467,0 | 256 | 1824 |
| CP 3 | 460,0 | 256 | 1797 |
| Média | 465,0 | 256 | 1816 |
| Desvio Padrão | 418 | 0 | 16,34 |
| CV (%) | 0,90 | 0 | 0,90 |

Fonte: A autora.

Tabela 15. Absorção de água por capilaridade.

| Unidades | Massa seca (g) | Massa saturada 10 min (g) | Massa saturada 90 min (g) | At (10 min) (g/cm²) | At (90 min) (g/cm²) | C (g/dm².min^{1/2}) |
|----------------------|-----------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------------|
| CP-01 | 467,40 | 479,84 | 507,30 | 0,78 | 2,49 | 27,49 |
| CP-02 | 467,04 | 480,45 | 509,67 | 0,84 | 2,66 | 29,22 |
| CP-03 | 459,98 | 470,36 | 495,19 | 0,65 | 2,20 | 24,83 |
| Média | 464,81 | 476,88 | 504,05 | 0,75 | 2,45 | 27,2 |
| Desvio Padrão | 4,18 | 5,66 | 7,77 | 0,10 | 0,23 | 2,21 |
| CV(%) | 0,90 | 1,19 | 1,54 | 12,81 | 9,56 | 8,13 |

Fonte: A autora.

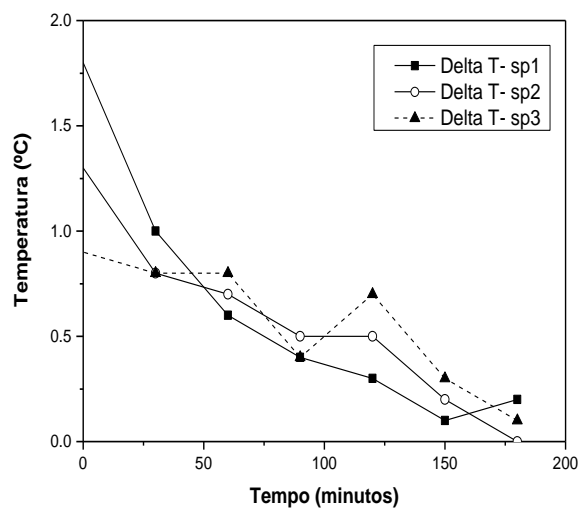
Tabela 16. Resistência potencial de aderência à tração.

| Unidades | Carga (N) | Área da pastilha (mm ²) | Tensão Ra (MPa) | Tipo de ruptura |
|----------------|---------------|-------------------------------------|-----------------|-----------------|
| 1 | 250 | 1963,50 | 0,13 | INTERFACE- S/A |
| 2 | 250 | 1963,50 | 0,13 | ARGAMASSA- A |
| 3 | 300 | 1963,50 | 0,15 | ARGAMASSA- A |
| 4 | 250 | 1963,50 | 0,13 | ARGAMASSA- A |
| 5 | 300 | 1963,50 | 0,15 | ARGAMASSA- A |
| 6 | 350 | 1963,50 | 0,18 | ARGAMASSA- A |
| 7 | 300 | 1963,50 | 0,15 | ARGAMASSA- A |
| 8 | 250 | 1963,50 | 0,13 | INTERFACE- S/A |
| 9 | 250 | 1963,50 | 0,13 | INTERFACE- S/A |
| Média | 277,78 | 1963,50 | 0,14 | |
| DesvPAD | 34,25 | 0 | 0,02 | |

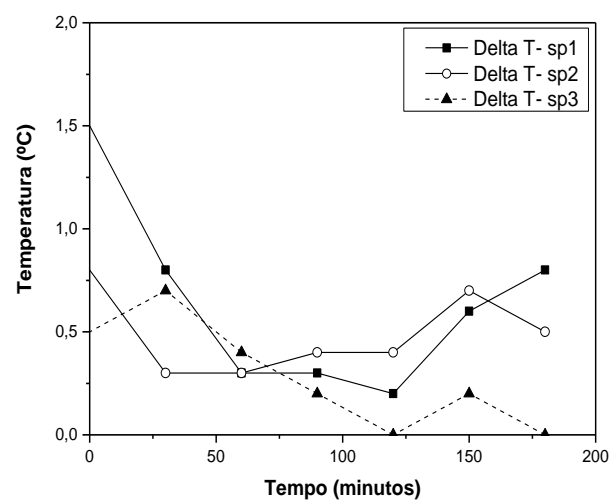
- S= substrato, A = argamassa.

APÊNDICE 3- EVOLUÇÃO DO DELTA- T DOS TERMOGRAMAS.

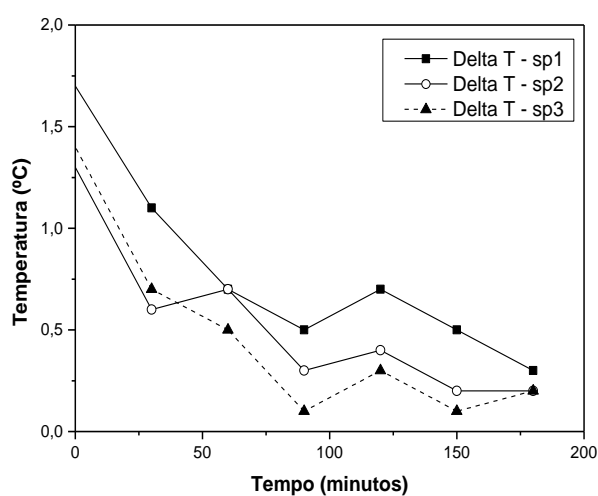
Figura 1. Evolução do Delta- T dos termogramas dos painéis de 38°C.



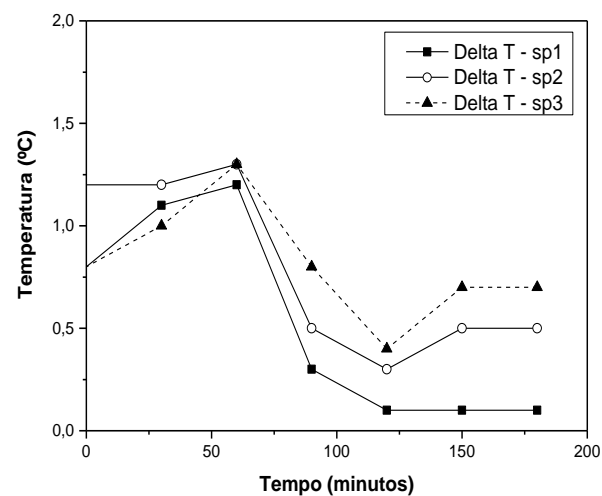
(a) Sem Tela



(b) Reforço - Tela 1

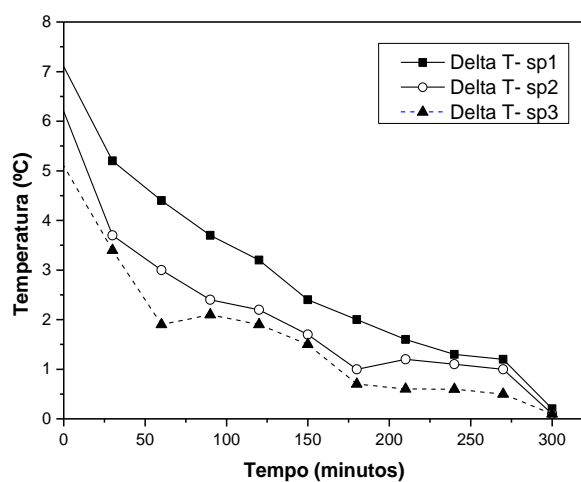


(c) Reforço - Tela 2

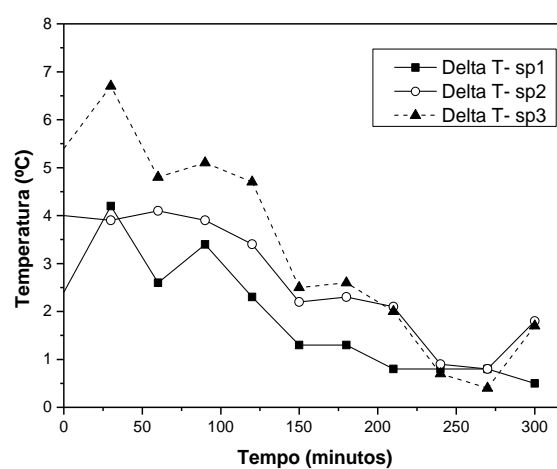


(d) Reforço - Tela 3

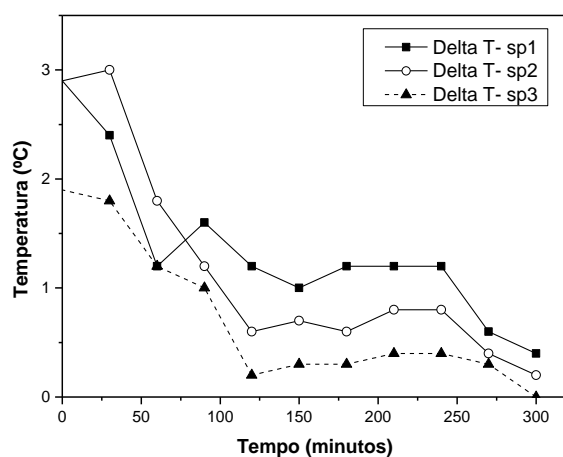
Figura 2. Evolução do Delta- T dos termogramas dos painéis sem reforço e com reforço-Tela 1.



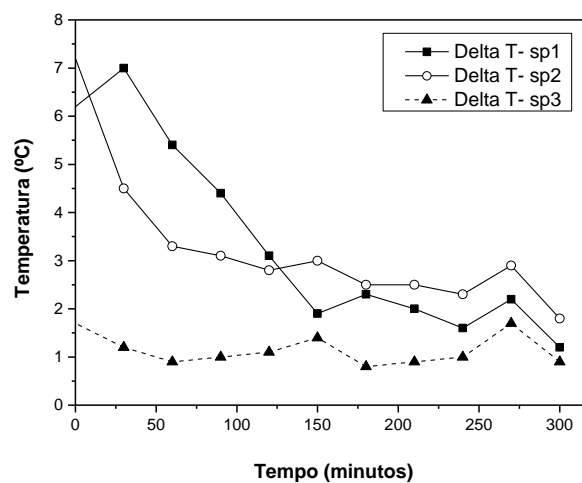
(a) Sem Tela



(b) Reforço -Tela 1



(c) Reforço - Tela 2



(d) Reforço - Tela 3