

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ESTRUTURAS
LABORATÓRIO DE MATERIAIS AVANÇADOS À BASE DE CIMENTO
USP – EESC – SET – LMABC**

PATRÍCIA ROCHA DE OLIVEIRA FRANCELINO

**SUBSÍDIOS PARA PROJETO E EXECUÇÃO DE REVESTIMENTOS EM
GRANILITE**

São Carlos

2012

PATRÍCIA ROCHA DE OLIVEIRA FRANCELINO

SUBSÍDIOS PARA PROJETO E EXECUÇÃO DE REVESTIMENTOS EM
GRANILITE

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de concentração:

Engenharia de Estruturas

Orientador:

Prof. Dr. Jefferson B. L. Liborio

São Carlos

2012

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

Francelino, Patrícia Rocha de Oliveira

F815s Subsídios para projeto e execução de revestimentos em
granilite. / Patrícia Rocha de Oliveira Francelino ;
orientador Jefferson Benedicto Libardi Liborio. São
Carlos, 2012.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil e Área de Concentração em Estruturas)--
Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São
Paulo, 2012.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Engenheira **PATRÍCIA ROCHA DE OLIVEIRA FRANCELINO**.

Título da dissertação: "Subsídios para projeto e execução de revestimentos em granilite".

Data da defesa: 25/04/2012

Comissão Julgadora:

Resultado:

Prof. Dr. **Jefferson Benedicto Libardi Libório (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Aprovado

Prof. Associado **João Adriano Rossignolo**
(Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos/USP)

Aprovado

Prof. Dr. **Almir Sales**
(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)

Aprovado

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (Engenharia de Estruturas):

Profa. Associada **Ana Lucia Homce de Cresce El Debs**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:
Prof. Associado **Paulo Cesar Lima Segantine**

AGRADECIMENTOS

Esta Dissertação é um presente para mim e para todos que contribuíram de forma direta ou indireta para que esta pudesse se realizar. O caminho foi árduo mas imensamente prazeroso, um paradoxo, que me levou a descobrir como se vive a Ciência.

Com muita alegria agradeço de forma especial aos meus parceiros nessa caminhada.

Agradeço a Deus, meu melhor amigo, que sempre esteve a meu lado, me dando força e iluminando-me.

Agradeço a meu orientador, Prof. Dr. Jefferson Benedicto Libardi Liborio, por todo ensinamento, pelo apoio e pela forma segura com que me orientou. Agradeço principalmente por ter me mostrado que faz parte do aprendizado a passagem por crivos e que após estes há o retorno, o conhecimento.

Agradeço a meu esposo, Leandro, por todo amor, compreensão e paciência. Agradeço também pelas conversas sobre os princípios de Engenharia, granilites e tantas outras observações.

Agradeço a meus pais, Ruth Helena e João Carlos, pelo amor e educação que me deram, por tantos sacrifícios pelos quais passaram para que eu pudesse ter a formação que hoje tenho, como pessoa e como profissional. Estas pessoas se doaram para que eu fosse o que hoje sou, me ensinaram o respeito e a honestidade.

Agradeço aos companheiros de Laboratório, Jorge e Wilson, por todos os momentos de descontração e pelo auxílio que me deram.

Agradeço ao CNPQ (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela bolsa de mestrado concedida.

Enfim, agradeço a todos que me auxiliaram nesta caminhada e que se alegram com minhas conquistas.

RESUMO

FRANCELINO, P. R. O. **Subsídios para projeto e execução de revestimentos em granilite.** Dissertação (Mestrado) – Departamento de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos - SP, 2012.

Esta Dissertação apresenta um estudo sobre os revestimentos em granilite levando-se em consideração as características do material, de seus materiais constituintes e os processos de produção e execução desse revestimento. Ressalta patologias recorrentes nesse tipo de revestimento, em especial fissurações e deslocamentos. Para estudar a problemática da fissuração e encontrar uma alternativa para que não ocorra, foram produzidos três modelos em granilite com características distintas, que visaram avaliar o comportamento de granilites com e sem solidarização. Para o estudo do sistema solidarizado foram executados: um quadro de 16 m² e quatro quadros de 2,25 m² moldados sobre argamassa comumente utilizada como regularização de revestimentos. Para a dessolidarização foi utilizada argamassa mista de cimento e cal com baixo módulo de elasticidade e baixa resistência mecânica, servindo como camada de regularização. Os quadros solidarizados apresentaram fissuras de maneira generalizada e demonstraram que os granilites em sistemas solidarizados fissuram com a fissuração do material a ele monolitizado. Para o quadro dessolidarizado, de 16 m², o sistema se mostrou eficaz para a não ocorrência de fissuras, apresentando resultados positivos.

Palavras-chave: Granilite. Revestimento. Solidarização. Dessolidarização. Concreto.

ABSTRACT

FRANCELINO, P. R. O. **Contribution for the design and execution of terrazzo flooring.** Dissertation (Master Degree) – Departamento de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos - SP, 2012.

This dissertation presents the terrazzo flooring considering the characteristics of the material, constituent materials and the process of production and execution of this covering. Emphasize the recurring pathologies of this type of covering, especially cracking and caused by deficient adherence at the interface zone. To study the problem of cracking and find an alternative that does not occur, it was produced three models in terrazzo with distinct characteristics, that aimed to evaluate the behavior of solidarized and dessolidarized terrazzo. For the study of this monolithic system it was executed: a board of 16 m² and four boards of 2,25 m² casted over a mortar commonly used as covering regularization. These boards presented cracks in a generalized way and showed that terrazzo in the monolithic systems open cracks with the material that is monolithically attached to them. For the non-monolithic board, of 16 m², the system was effective for the absence of cracks, showing positive results. For the non-monolithic system it was used a mixed mortar of cement and lime with low elasticity modulus and low mechanical resistance, serving as a layer of regulation.

Keywords: Terrazzo. Flooring. Monolithic. Non-monolithic. Concrete.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Utilização de revestimentos em granilite. (a) granilite em cassino; (b) granilite em hospital; (c) granilite em aeroporto; (d) granilite em restaurante. Fonte: NTMA (2011).	2
Figura 2 - Quadros em granilite fissurados.	4
Figura 3 - Graus de hidratação e de porosidade capilar em pastas de cimento. Fonte: MEHTA & MONTEIRO (2008).	16
Figura 4 - Quatro fases sólidas presentes na pasta de cimento Portland. Fonte: MELO & LIBORIO (2000).	18
Figura 5 - Agregados para granilite. (a) granitinas Branco Nacional; (b) granitinas Cinza Paraná; (c) granitinas Amarelo Dourado. Fonte: MINASIT (2011).	20
Figura 6 - Dopagem de agregados para aumentar a aderência e propiciar seu reforço. Fonte: LIBORIO (2004).	23
Figura 7 - Distribuição contínua de agregados e influência na produção de concretos. Fonte: PEREIRA & LIBORIO (2010).	25
Figura 8 - Minitronco de cone. Fonte: CASTRO & LIBORIO (2007).	29
Figura 9 - Ensaio de miniabatimento de tronco de cone. Fonte: CASTRO & LIBORIO (2007).	29
Figura 10 - Juntas plásticas. Fonte: AURAPLAST (2012).	37
Figura 11 - Posição de alívio de tensões em argamassas. Fonte: BORTOLUZZO & LIBORIO (2000).	37
Figura 12 - Juntas de dilatação atuando como delimitadoras de áreas. Fonte: NTMA (2011).	38
Figura 13 - Granilite fissurado - Terminal Rodoviário. (a) fissuras por retração plástica; (b) fissuras por movimentação térmica.	39
Figura 14 - Fissuras em granilite - Aeroporto. (a) fissura atravessando quadros de 1,5 m x 1,5 m; (b) vários reparos em um quadro.	40
Figura 15 - Detalhe de substrato e granilite fissurados. Fonte: LIBORIO (2009).	41
Figura 16 - Revestimentos em granilite com deslocamentos - IQSC.	41
Figura 17 - Fissuras por retração plástica. Fonte: MEHTA & MONTEIRO (2008).	44
Figura 18 - Fissuras por retração. Fonte: SOUZA & RIPPER (1998).	45

Figura 19 - Fissuração por retração com direção preferencial. Fonte: MONTOYA et al. (2001).....	45
Figura 20 - Retração em concretos curados e não curados. Fonte: CÁNOVAS (1988).	46
Figura 21 - Fissuração por efeito de segregação. Fonte: CÁNOVAS (1988).....	47
Figura 22 - Fissuração por excesso de agregado graúdo. Fonte: CÁNOVAS (1988).	47
Figura 23 - Fissuras por movimentação de formas. Fonte: SOUZA & RIPPER (1998).	48
Figura 24 - Carbonatação atingindo a armadura. Fonte: SOUZA & RIPPER (1998).	49
Figura 25 - Fissuras por reações álcali-agregado.....	50
Figura 26 - Fissura de retração por secagem a longo prazo.	51
Figura 27 - Fissura por movimentação térmica.....	52
Figura 28 - Efeito das variações de temperatura superior e inferior em peça de concreto.	52
Figura 29 - Exemplo de posicionamento inadequado de quadro de granilite sobre base com junta de dilatação.	53
Figura 30 - Sequência do mecanismo de fissuração em revestimento solidarizado.	55
Figura 31 - Reação à tendência de retração em placa de concreto. Fonte: OLIVEIRA & PINHEIRO (2000).....	55
Figura 32 - Revestimento em granilite dessolidarizado.	56
Figura 33 - Ensaio de retenção de água. Fonte: DAS CHAGAS, BEZERRA & BAUER (2009).	58
Figura 34 - Consistências das argamassas. (a) consistência seca; (b) consistência plástica; (c) consistência fluida. Fonte: adaptado de CARASEK (2007).	59
Figura 35 - Empacotamento das granilhas G1 e G2.....	64
Figura 36 - Regularização no Quadro III.....	68
Figura 37 - Regularização do Quadro II com argamassa mista.	68
Figura 38 - Finalização da regularização no Quadro II.	69
Figura 39 - Delimitação das áreas dos revestimentos.	69
Figura 40 - Assentamento das juntas de dilatação. (a) assentamento de juntas; (b) detalhe de encontro de juntas em V; (c) encontro de juntas em T; (d) encontro de juntas em X; (e) Quadro III com as juntas de dilatação delimitando as áreas do revestimento.	70

Figura 41 - Moldagem do Quadro I com granilite.	71
Figura 42 - Aspergimento de água sobre o granilite fresco.	71
Figura 43 - Acabamento do granilite com desempenadeira de aço.	72
Figura 44 - Quadros moldados com granilite (estado fresco).	72
Figura 45 - Polimento do revestimento. (a) politriz com diamantes soldados em placas de encaixe; (b) politriz com pedras de esmeril de grana 60; (c) segundo polimento no Quadro I.	73
Figura 46 - Lavagem do revestimento após os primeiros polimentos com politriz. ...	74
Figura 47 - Polimento de canto com lixadeira – lixa nº 24.	74
Figura 48 - Calafetagem do revestimento. (a) espalhamento com rodo; (b) espalhamento com desempenadeira de aço.	75
Figura 49 - Detalhe de cantos do revestimento em granilite após polimento com lixadeira – lixa nº 60.	76
Figura 50 - Segundo dia de polimentos – polimento com politriz. (a) politriz com pedra de esmeril de grana 120; (b) polimento com pedra de esmeril de grana 120.	77
Figura 51 - Lavagem do Quadro III após o último polimento.	77
Figura 52 - Procedimento de aplicação do selador e da cera no revestimento em granilite.	78
Figura 53 - Revestimento em granilite finalizado. (a) modelos em granilite; (b) detalhe do revestimento em granilite.	78
Figura 54 - Eixos com pontos e quadros de leitura de deformações.	79
Figura 55 - Quadro III (4) instrumentado para leitura de deformações.	80
Figura 56 - Leitura de deformação com Tensotast.	81
Figura 57 - Primeiro registro de fissuras no Quadro I – 8 dias de idade.	82
Figura 58 - Evolução das fissuras no Quadro I decorrido um mês do surgimento da primeira fissura.	82
Figura 59 - Quadro I com as marcações dos pontos de leitura de abertura de fissura.	83
Figura 60 - Detalhe dos pontos 2, 3 e 4 e do fissurômetro.	83
Figura 61 - Quadro I fissurado e com deslocamento em relação à base do conjunto granilite e argamassa de regularização.	84
Figura 62 - Placa do Quadro I sendo erguida. (a) placa sendo erguida com pés de cabra; (b) detalhe do erguimento da placa.	85
Figura 63 - Placa do Quadro I sendo retirada.	85

Figura 64 - Microfissura no Quadro II.	86
Figura 65 - Fissuras observadas no Quadro III (3). (a) após algumas horas à execução da regularização; (b) prolongamento no granilite; (c) posicionamento do quadro.....	87
Figura 66 - Evolução de fissuras no Quadro III (1). (a) granilite com 13 dias de idade; (b) granilite com 14 dias de idade; (c) posicionamento do quadro.....	88
Figura 67 - Fissura no Quadro III (4). (a) visão geral do quadro; (b) detalhe da fissura; (c) posicionamento do quadro.....	89
Figura 68 - Quadro III – granilite aos 29 dias de idade. (a) Quadro III (3); (b) posicionamento do Quadro III (3); (c) Quadro III (2); (d) posicionamento do Quadro III (2).	90
Figura 69 - Quadro III. (a) Quadro III aos 16 dias de idade; (b) Quadro III aos 45 dias de idade.....	91
Figura 70 - Quadro II submetido a carregamento.	92
Figura 71 - Testes – Arranques no Quadro II. (a) 1º teste; (b) 2º teste.....	93
Figura 72 - Marcações para extração de testemunhos. (a) Quadro I; (b) Quadro III.	94
Figura 73 - Pontos de extração de testemunhos no Quadro II.	95
Figura 74 - Extração de testemunhos. (a) perfuratriz com broca de 100 mm de diâmetro; (b) perfuração para extração de testemunho; (c) retirada de testemunho do modelo; (d) testemunho extraído do Quadro III.	96
Figura 75 - Corte em testemunho para retirada da camada asfáltica.	98
Figura 76 - Sequência para transformação de forma de topo de testemunho. (a) marcação de limites de corte; (b) primeiro corte; (c) penúltimo corte; (d) cubo obtido através de cortes no topo do testemunho.....	98
Figura 77 - Testemunhos cúbicos. (a) testemunho cúbico – Quadro I; (b) testemunho cúbico em ensaio de módulo de elasticidade – Quadro II.....	99
Figura 78 – Deformações no Quadro III (4). (a) leituras realizadas às 8 h; (b) leituras realizadas às 14 h.....	103
Figura 79 – Posicionamento dos pontos de análise de abertura de fissuras.	105
Figura 80 – Monitoramento de fissuras (pontos de 1 a 5).....	106
Figura 81 – Monitoramento de fissuras (pontos de 6 a 10).....	106
Figura 82 - Ponto 1. (a) Ponto 1 após extração de testemunho; (b) testemunho 1; (c) faces adjacentes do testemunho 1; (d) posicionamento dos pontos de extração de testemunhos do Quadro I.	107

Figura 83 - Ponto 7. (a) Ponto 7 após extração de testemunho; (b) testemunho 7; (c) faces adjacentes do testemunho 7; (d) posicionamento dos pontos de extração de testemunhos do Quadro I.	108
Figura 84 - Testemunhos íntegros do Quadro II. (a) testemunho 1 e 2 do Quadro II; (b) pontos de extração de testemunhos do Quadro II.	110
Figura 85 - Ponto 6 do Quadro II. (a) ponto 6 fissurado; (b) fissura no testemunho relativo ao ponto 6.	111
Figura 86 - Ponto 7 do Quadro II. (a) Ponto 7 fissurado (à esquerda) e detalhe do testemunho 7 (à direita); (b) testemunho 7 do Quadro II.	112
Figura 87 – Testemunho 8 do Quadro II. (a) detalhe do testemunho 8 do Quadro II com microfissura; (b) testemunho 8 do Quadro II.	113
Figura 88 - Ponto 24. (a) marcação do ponto 24; (b) fissura no ponto 24; (c) fissura no testemunho 24; (d) pontos de extração de testemunhos do Quadro III.	115
Figura 89 - Comparação do Quadro II antes e após o carregamento. (a) Quadro II antes do carregamento; (b) Quadro II depois do carregamento.	116
Figura 90 – Ensaio de arranque no Quadro II. (a) detalhe de duas marcações de ensaios consecutivos; (b) detalhe da marcação feita por um pneu no revestimento.	117

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Compostos principais do cimento Portland. Fonte: NEVILLE (1997).	8
Tabela 2 - Propriedades dos quatro compostos principais do cimento. Fonte: LIBORIO (1999) apud FAGURY & LIBORIO (2002).	10
Tabela 3 - Resistência à compressão de rochas americanas geralmente usadas como agregados de concreto. Fonte: NEVILLE (1997).	22
Tabela 4 - Coeficientes de dilatação térmica linear de algumas rochas e minerais mais usuais. Fonte: COUTINHO (1988).	23
Tabela 5 - Influência da granulometria das areias em propriedades das argamassas. Fonte: GUIMARÃES (2002).	24
Tabela 6 - Exemplo de tabela para ensaio de empacotamento de agregados.	26
Tabela 7 - Deformações no concreto em função do tipo de exposição e condições de carregamento. Fonte: MELO NETO & CINCOTTO (2008).	42
Tabela 8 - Requisitos químicos para as cales. Fonte: ABNT NBR 7175 (2003).	60
Tabela 9 - Argamassa de dessolidarização.	66
Tabela 10 - Resistências à compressão de corpos de prova moldados e testemunhos extraídos dos quadros em granilite.	101
Tabela 11 – Módulos de elasticidade do granilite e da argamassa mista.	102
Tabela 12 – Dados climáticos referentes aos dias de avaliação de aberturas de fissuras no Quadro I.	106
Tabela 13 - Espessuras da argamassa mista nos testemunhos extraídos do Quadro II.	114
Tabela 14 - Características físicas das granilhas.	133
Tabela 15 - Composição granulométrica das granilhas.	133
Tabela 16 - Caracterização dos cimentos utilizados na produção do granilite.	134
Tabela 17 - Características físicas da areia utilizada na produção da argamassa mista.	134
Tabela 18 - Composição granulométrica da areia utilizada na produção da argamassa mista.	134

Tabela 19 - Caracterização do cimento utilizado na produção da argamassa mista.	135
Tabela 20 - Ensaio de resistência à compressão do cimento CP V ARI RS – ABNT NBR 7215:1996.	135
Tabela 21 – Caracterização da cal hidratada utilizada na produção da argamassa mista.	135
Tabela 22 - Traços de argamassas mistas estudados – 1:1 (cimento:cal).	135
Tabela 23 - Traços de argamassas mistas estudados – 1:0,5 (cimento:cal).	136
Tabela 24 - Resistências à compressão, em MPa, dos corpos de prova moldados nos dias das execuções da argamassa mista e do granilite.	136
Tabela 25 - Resistências à compressão de testemunhos extraídos do Quadro I – granilite.	137
Tabela 26 - Resistências à compressão e módulos de elasticidade de testemunhos extraídos do Quadro II – argamassa mista.	137
Tabela 27 - Registros de temperaturas.....	151
Tabela 28 – Registros de umidades relativas do ar.....	153
Tabela 29 - Datas de eventos relativos aos modelos.	154

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

a/c – água/cimento

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABNT NBR – Norma Brasileira aprovada pela ABNT

Al - alumínio

Al_2O_3 – A – óxido de alumínio

BC – baixo calor de hidratação

C_2S – silicato dicálcico (belita)

C_3S – silicato tricálcico (alita)

C_3A – aluminato tricálcico

C_4AF – ferroaluminato tetracálcico

$C_4A\bar{S}_3H_{18}$ – monossulfato hidratado

$C_6A\bar{S}_3H_{32}$ – trissulfato hidratado

$Ca(OH)_2$ – hidróxido de cálcio (portlandita)

$CaCO_3$ - carbonato de cálcio

CaO – C – óxido de cálcio

$CaSO_4$ – anidrita

$CaSO_4 \cdot \frac{1}{2}H_2O$ – hemidrato

$CaSO_4 \cdot 2H_2O$ – gesso

CH I – cal hidratada do tipo I

CH II – cal hidratado do tipo II

CH III – cal hidratada do tipo III

CO₂ – dióxido de carbono

CP I – cimento Portland comum sem adição

CP I S – cimento Portland comum com adição

CP II E – cimento Portland composto com escória

CP II F – cimento Portland composto com fíler

CP II Z – cimento Portland composto com pozolana

CP III – cimento Portland de alto-forno

CP IV – cimento Portland pozolânico

CP V ARI – cimento Portland de alta resistência inicial

CPB – cimento Portland branco

C-S-H – silicato de cálcio hidratado

$f_{c,cil}$ – resistência à compressão do cilindro

$f_{c,cub}$ – resistência à compressão do cubo

Fe - ferro

Fe₂O₃ – F – ferroaluminato tetracálcico

IQSC – Instituto de Química de São Carlos

K - potássio

K₂O – óxido de potássio

Mg - magnésio

MgO – magnésia

Na - sódio

Na₂O – óxido de sódio

RS – resistente a sulfatos

S - enxofre

Si - silício

SiO₂ – S – dióxido de silício

SO₃ – anidrido sulfúrico

TiO₂ – dióxido de titânio

UR – umidade relativa do ar

SUMÁRIO

RESUMO.....	I
ABSTRACT.....	III
LISTA DE FIGURAS.....	V
LISTA DE TABELAS.....	XI
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS.....	XIII
SUMÁRIO.....	XVII
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Justificativa e importância do trabalho.....	3
1.2 Objetivos do trabalho.....	4
1.3 Método da pesquisa.....	5
1.4 Estrutura da Dissertação.....	6
2 REVESTIMENTOS EM GRANILITE.....	7
2.1 Materiais constituintes.....	7
2.1.1 Cimentos Portland.....	8
2.1.1.1 Hidratação do cimento Portland.....	13
2.1.2 Agregados.....	19
2.1.2.1 Empacotamento de agregados.....	24
2.1.3 Aditivos superplastificantes.....	27

2.1.4 Adições	30
2.1.5 Pigmentos	31
2.1.6 Água	32
2.2 Cura	34
2.3 Dimensões dos revestimentos em granilite	36
2.3.1 Juntas de dilatação	36
3 FISSURAS EM REVESTIMENTOS EM GRANILITE	39
3.1 Processos de fissuração.....	43
3.2 Solidarização	54
3.3 Dessolidarização.....	56
3.3.1 Argamassas mistas.....	57
3.3.1.1 Cal hidratada.....	60
4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	61
4.1 Procedimentos preliminares à execução dos quadros.....	63
4.1.1 Dosagem do granilite	63
4.1.2 Dosagem da argamassa mista	65
4.2 Execução dos revestimentos em granilite.....	66
4.3 Instrumentação dos modelos.....	79
4.4 Monitoramento do Quadro I	81
4.5 Monitoramento do Quadro II	85
4.6 Monitoramento do Quadro III	86

4.7 Ensaio de carregamento e arranques.....	91
4.8 Extração de testemunhos.....	93
4.8.1 Seleção e análise dos testemunhos.....	96
4.8.2 Ensaio mecânico.....	97
4.9 Ensaio mecânico em corpos de prova.....	100
5 RESULTADOS E ANÁLISES	101
5.1 Ensaio mecânico.....	101
5.2 Deformações.....	103
5.3 Fissuras.....	105
5.3.1 Quadro I.....	105
5.3.2 Quadro II.....	109
5.3.3 Quadro III.....	114
5.4 Carregamento e arranque.....	116
6 CONCLUSÕES	119
6.1 Sugestões para pesquisas futuras.....	123
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	125
APÊNDICES	133
A.1 Caracterização dos materiais.....	133
A.2 Valores individuais obtidos nos ensaios mecânicos.....	136
A.3 Deformações nos quadros I, II e III.....	137
A.4 Datas relevantes em relação aos modelos.....	154

1 INTRODUÇÃO

O granilite é um revestimento de concreto frequentemente utilizado em locais onde há fluxo intenso de pessoas, como hospitais, escolas e aeroportos. Os tipos mais comuns de utilização são em revestimentos de pisos, escadas e paredes. Tem alta durabilidade se projetado e executado de maneira criteriosa, considerando-se o sistema que compõe com o substrato, e possibilita diversas variações estéticas.

Nos granilites (conhecidos também como marmorites) os agregados mais utilizados são o granito e o mármore. Os agregados, além de contribuírem para a resistência mecânica, devem ser adequados para o projeto estético proposto, no que diz respeito a cores e formas.

O granilite não é normalizado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e, assim, a técnica de sua execução, diretrizes e restrições não são parametrizadas e dependem muito mais do bom senso de quem executa. Não existem padrões que determinem a produção e a execução, sendo amplas as possibilidades de materiais e métodos que podem ser empregados. Podem ser utilizados quaisquer tipos de cimentos (é comum o emprego de cimentos brancos), desde que se considerem os efeitos resultantes da hidratação do cimento, e agregados, além da possibilidade do uso de superplastificantes e corantes.

Há dois tipos de acabamentos para o granilite: polido e não polido (com superfície irregular). O não polido é chamado de rústico ou *fulget*, no qual as granilhas sobressalentes tornam o plano do revestimento irregular. O outro é polido e tem o acabamento liso, o que geralmente é feito com politriz. Alguns tipos de revestimentos em granilite são apresentados na Figura 1.



Figura 1 - Utilização de revestimentos em granilite. (a) granilite em cassino; (b) granilite em hospital; (c) granilite em aeroporto; (d) granilite em restaurante. Fonte: NTMA (2011).

O granilite pode ser moldado *in loco* ou pré-moldado, tem dimensões que variam em média de 1 m² a 4 m², com espessuras de 5 mm a 20 mm. Para delimitar as áreas são utilizadas juntas de dilatação que, geralmente, são plásticas ou metálicas. São geralmente monolíticos, executados em uma única camada, e aderidos diretamente ao substrato, comumente de alto módulo de elasticidade, assim como o próprio revestimento.

A ocorrência de fissuras nesse tipo de revestimento é frequente e além de descaracterizar a continuidade, geralmente formada nos quadros, pode levar à deterioração do revestimento. As fissuras podem ocorrer por diversas razões como, por exemplo, retração plástica e movimentação térmica, as quais podem ser isoladas ou combinadas.

Pode-se evitar o surgimento de patologias em revestimentos em granilite com o emprego de projeto e execução adequados, sendo que para que isso ocorra é necessário que sejam conhecidas todas as variáveis envolvidas nesses processos. Com isso, evita-se também o desconforto para o usuário, despesas extras para uma tentativa de recuperação ou até mesmo a inutilização do revestimento.

Conhecer e especificar corretamente os materiais adequados a cada tipo de obra, assim como o projeto que deve ser implementado para que não ocorram deficiências futuras, é imprescindível para se obter um revestimento com alta durabilidade e com baixa necessidade de manutenção.

1.1 Justificativa e importância do trabalho

A falta de especificações técnicas baseadas em trabalhos científicos que possam nortear a execução de revestimentos em granilite é um problema. Observa-se uma repetição de erros pelo emprego de métodos que se baseiam no empirismo. Tais procedimentos geram dúvidas quanto à eficiência do sistema construído pela possibilidade de surgimento de patologias que prejudicam a durabilidade e, conseqüentemente, a qualidade do revestimento.

Os revestimentos em granilite sofrem variações volumétricas e dimensionais ao longo do tempo, fatores que devem ser considerados no projeto de execução. Deve-se compreender que o granilite não é um material que pode ser analisado isoladamente, pois sempre interage com o substrato a ele monolitizado. A não observância dessa interação é responsável pelo alto índice de patologias (fissuras e deslocamentos) em revestimentos em granilite.

O surgimento de fissuras em granilites é recorrente em vários métodos de execução e os tornam mais susceptíveis à ação de agentes agressivos, prejudicando-os quanto à durabilidade, além de descaracterizar os revestimentos quanto à configuração atribuída pelas juntas de dilatação, como ilustrado na Figura 2.



Figura 2 - Quadros em granilite fissurados.

Reparos, como o preenchimento de fissuras, dificilmente reproduzem tonalidades idênticas às originais e o revestimento, neste aspecto, sofre danos permanentes.

O estudo do sistema granilite/substrato é imprescindível para que sejam encontradas alternativas de execução que viabilizem a produção de revestimentos com desempenho satisfatório ao usuário. Da mesma forma, deve-se empregar os conhecimentos relativos à tecnologia dos concretos para que sejam produzidos granilites economicamente mais viáveis e com características como durabilidade e resistência mecânica melhoradas.

1.2 Objetivos do trabalho

O objetivo geral desta Dissertação foi criar subsídios para o projeto e a execução de revestimentos em granilite. De maneira específica os objetivos foram:

- a) Estudar os principais materiais constituintes dos granilites;
- b) Recomendar materiais e técnicas de composição de agregados;

- c) Apresentar os processos de produção e execução de revestimentos em granilite;
- d) Estudar o comportamento dos painéis em granilite com as seguintes variações:
 - ligação em substrato sem dessolidarização, em painel de 16m² (4 m x 4 m);
 - ligação em substrato sem dessolidarização, mas com junta de dilatação em panos de 1,5 m x 1,5 m (painel de 9 m²);
 - aplicação de painel de 16 m² (4 m x 4 m) em substrato que dessolidarize da base (argamassa mista de cimento e cal em espessura de 30 mm, de baixo módulo de elasticidade).

1.3 Método da pesquisa

Esta Dissertação se desenvolve a partir de uma ampla pesquisa bibliográfica sobre os materiais constituintes dos granilites, considerando-se a ampla possibilidade de variações de dosagens. Como alternativa para melhorar o desempenho dos granilites é empregada a técnica de empacotamento de agregados.

Para a correta avaliação dos tipos de fissuras que ocorrem em revestimentos em granilite são apresentadas, através de referências relativas a concretos, diversas causas de fissuração.

Foi feito o monitoramento dos modelos de revestimentos em granilite desenvolvidos e a partir desse acompanhamento foram mapeadas fissuras e escolhidos pontos para análises de fissuração e características dos materiais.

Recomendações relativas a dimensionamento e técnicas de execução em revestimento em granilite foram feitas a partir de análises de ensaios mecânicos (resistência à compressão e módulo de elasticidade) e de análises visuais (monitoramento dos quadros).

1.4 Estrutura da Dissertação

No Capítulo 1, Introdução, é feita a apresentação do tema e de forma sucinta é exposta a problemática da fissuração em revestimentos em granilite. Neste mesmo capítulo são expostos a justificativa e a importância do trabalho, os objetivos e os métodos da pesquisa.

No Capítulo 2, Revestimentos em granilite, é definido esse tipo de revestimento e são abordados tópicos relevantes à caracterização dos materiais constituintes e a dosagem, assim como a execução. Os tipos de cura e a importância desse procedimento, para que sejam evitadas fissurações nos concretos, também são destacadas neste capítulo.

No Capítulo 3 é explicada a problemática da fissuração em revestimentos em granilite. Alguns tipos de fissuras típicas em concretos são comentados, assim como a relação da formação dessas fissuras com a solidarização do granilite ao substrato. O sistema dessolidarizado é proposto e o material de dessolidarização (argamassa mista) tem suas propriedades analisadas.

No Capítulo 4, Procedimento experimental, são detalhados os procedimentos realizados no desenvolvimento da pesquisa. Ensaio preliminares à execução dos revestimentos, posteriores à execução e o monitoramento das fissuras são apresentados.

No Capítulo 5, Análise dos resultados, são feitas as análises dos ensaios realizados assim como da ocorrência de fissuras nos revestimentos. São descritas as causas das fissuras encontradas e os procedimentos necessários para a execução de revestimentos em granilite.

No Capítulo 6, Conclusão, são apresentadas as conclusões encontradas a partir dos ensaios e análises realizados nesta pesquisa.

Após a série de capítulos são citadas as referências bibliográficas utilizadas na produção do texto, em Referências bibliográficas, e informações relevantes ao entendimento dos procedimentos experimentais, em Apêndices.

2 REVESTIMENTOS EM GRANILITE

O granilite é um microconcreto e, portanto, foi utilizada a literatura referente aos concretos e relevante ao tema deste trabalho. Referências sobre os materiais constituintes como agregados, cimentos, adições, aditivos e água de amassamento, assim como técnicas de dosagem utilizadas em concretos são abordadas.

Também são tratados a utilização das juntas de dilatação e os procedimentos de cura, que são imprescindíveis na produção de granilites duráveis. Os procedimentos de execução do revestimento são descritos no capítulo seguinte, pois são partes experimentais desta Dissertação.

2.1 Materiais constituintes

Os granilites são revestimentos em concreto e, portanto, os materiais básicos que os compõe são cimento, agregados e água. Para melhorar características como, por exemplo, resistência mecânica e durabilidade podem ser utilizados aditivos e adições. A escolha dos materiais deve considerar as condições ambientais e as solicitações às quais o granilite será exposto.

Não existem especificações para a escolha dos materiais, porém devem ser conhecidas suas características e a interação entre eles. Conhecer essas propriedades contribui para a obtenção de granilites economicamente mais viáveis e com melhores desempenhos.

2.1.1 Cimentos Portland

O cimento Portland é um ligante hidráulico composto basicamente por clínquer e pode ter em sua composição adições minerais, como, por exemplo, o sulfato de cálcio. O sulfato de cálcio além de controlar a pega do cimento (retardando a hidratação do C_3A), favorece o ganho de resistência inicial, pois acelera a hidratação do C_3S (MELO; LIBORIO, 2000).

O clínquer é o produto resultante da mistura de matérias-primas como calcários e argilas, que são moídas e depois queimadas em forno rotativo a temperaturas em torno de $1450^{\circ}C$ (NEVILLE, 1997). A matéria-prima para a formação do clínquer, na maioria das vezes, é obtida através de composições entre diferentes tipos de rochas, por não se encontrar facilmente um tipo de rocha com as quantidades necessárias dos principais óxidos do clínquer (KIHARA; CENTURIONE, 2005).

Além do sulfato de cálcio outros materiais podem ser adicionados ao clínquer durante o processo de produção do cimento como, por exemplo, a escória de alto forno, materiais pozolânicos e o filer calcário. O clínquer tem em sua composição cerca de 67% de CaO , 22% de SiO_2 , 5% de Al_2O_3 , 3% de Fe_2O_3 e 3% de outros componentes; possui quatro fases principais que são alita, belita, aluminato e fase ferrita (TAYLOR, 1990).

Os quatro compostos considerados os principais constituintes dos cimentos Portland estão descritos na Tabela 1. A representação é simplificada da seguinte forma: $CaO = C$, $SiO_2 = S$, $Al_2O_3 = A$ e $Fe_2O_3 = F$.

Tabela 1 - Compostos principais do cimento Portland. Fonte: NEVILLE (1997).

Nome do composto	Composição em óxidos	Abreviação
Silicato tricálcico	$3CaO.SiO_2$	C_3S
Silicato dicálcico	$2CaO.SiO_2$	C_2S
Aluminato tricálcico	$3CaO.Al_2O_3$	C_3A
Ferroaluminato tetracálcico	$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$	C_4AF

Há no cimento componentes com menores proporções que são chamados de componentes secundários, são eles: K_2O (óxido de potássio), Na_2O (óxido de sódio), MgO (magnésia), SO_3 (anidrido sulfúrico) e TiO_2 (dióxido de titânio). Deve-se dar a devida importância a esses compostos, pois apesar de se apresentarem em pequenas quantidades, podem interferir significativamente nas propriedades dos concretos. Um exemplo é a reação álcali-agregado que pode ser desencadeada pela reação dos álcalis K_2O e o Na_2O em contato com agregados reativos, na presença de umidade.

Os compostos do clínquer contêm impurezas oriundas do processo de fabricação do cimento Portland. Nas formas impuras o C_3S e o C_2S são denominados de alita e belita, respectivamente, e podem conter íons como o Mg, Al, Fe, K, Na e S; o C_3A e C_4AF contêm impurezas como Mg, Na, K e Si (MELO; LIBORIO, 2000).

A alita pode compor cerca de 50% a 70% do cimento Portland e é o constituinte mais importante para o ganho de resistência até a idade de 28 dias (TAYLOR, 1990). O C_3S tem alto calor de hidratação e deve ser limitado em 35% quando o cimento for utilizado para concretos massa, sendo preferível, nestes casos, a utilização de cimentos com maiores teores de C_2S (MONTROYA et al., 2001).

A belita pode representar de 15% a 30% da composição do clínquer do cimento Portland e sua contribuição para a resistência mecânica é mais significativa em idades mais avançadas (TAYLOR, 1990). O C_2S tem menor calor de hidratação que os outros compostos principais do cimento (C_3S , C_3A e C_4AF) e cimentos com maiores teores desse composto têm maior resistência a sulfatos, sendo que tem estabilidade química superior ao C_3S (MONTROYA et al., 2001).

O aluminato tricálcico (C_3A) pode representar de 5% a 10% do clínquer do cimento Portland, reage rapidamente com a água e, portanto, é importante que seja inserido um agente controlador de pega ao cimento (TAYLOR, 1990). Para evitar a pega instantânea é adicionado sulfato de cálcio, que pode ser nas formas de gesso ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), hemidrato ($CaSO_4 \cdot \frac{1}{2}H_2O$) ou anidrita ($CaSO_4$).

Se a quantidade de gesso transformada em hemidrato ($CaSO_4 \cdot \frac{1}{2}H_2O$), durante a moagem final do cimento Portland e em temperaturas superiores a $110^\circ C$, for elevada ocorre a falsa pega (AÏTCIN, 2000).

O ferroaluminato tetracálcico (C_4AF) pode compor de 5% a 15% do clínquer do cimento Portland, tem pequeno calor de hidratação, pega rápida e alta resistência a meios agressivos (MONTROYA et al., 2001). Na produção de cimentos brancos é necessário limitar o seu uso para que se garanta alto grau de brancura (MONTROYA et al., 2001).

Na Tabela 2 é feita a relação, de forma simplificada, entre os principais componentes do cimento Portland e algumas de suas propriedades.

Tabela 2 - Propriedades dos quatro compostos principais do cimento. Fonte: LIBORIO (1999) apud FAGURY & LIBORIO (2002).

Propriedades	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
Resistência em pequenas idades	Boa	Fraca	Boa	Fraca
Resistência em idades posteriores	Boa	Boa	Fraca	Fraca
Velocidade de reação com a água (hidratação)	Média	Lenta	Rápida	Rápida
Quantidade de calor gerado na hidratação	Média	Pequena	Grande	Média
Resistência a águas agressivas	Média	Boa	Fraca	Fraca

O clínquer pode conter elementos que em determinadas proporções são prejudiciais à maior estabilidade dos compostos do cimento Portland. Podem ser formados por falhas no processo produtivo ou provenientes de impurezas de rochas utilizadas como matérias-primas.

A escolha do cimento deve considerar a importância da compatibilidade com o aditivo. Os teores de C_3A , C_4AF , $CaSO_4$ e a presença de materiais carbonáticos podem interferir na defloculação do cimento e na ação dos aditivos (SILVA; LIBORIO, 2000).

São vários os tipos de cimentos existentes no mercado brasileiro e é importante que sejam conhecidas suas características e possíveis aplicações. São diferenciados por propriedades como finura, composição e adições que podem restringir sua utilização em determinados meios.

O cimento Portland branco (CPB), regulamentado pela ABNT NBR 12989:1993, é classificado em estrutural, encontrado com classes de resistência de 25 MPa, 32 MPa ou 40 MPa, e não estrutural. Deve-se ter pelo menos 78% de brancura para o estrutural e 82% para o não-estrutural. Para que sejam garantidos esses teores de brancura devem ser limitados os teores dos óxidos de ferro e manganês. Para o óxido de ferro os teores, em massa, devem ser inferiores a 0,4 % (BENSTED, 2004).

Para a produção de cimentos Portland brancos o controle tecnológico deve ter maior rigor para que não ocorram contaminações com óxidos de ferro, manganês e titânio, que podem alterar a cor do cimento (SALVADOR FILHO; LIBORIO, 2007). Esse tipo de cimento não deve conter C_4AF e para que sejam atingidos altos teores de brancura devem ser controlados também os teores de TiO_2 , SiO_2 e Al_2O_3 (SALVADOR FILHO; LIBORIO, 2007).

O cimento Portland comum (CP I e CP I-S), ABNT NBR 5732:1991, pode ser sem adição (CP I) ou com adição (CP I – S). Ambos são enquadrados nas classes de resistência de 25 MPa, 32 MPa ou 40 MPa. São utilizados em obras em geral, que não requeiram resistência a sulfatos ou a águas subterrâneas.

São normalizados pela ABNT NBR 11578:1991 três tipos de cimentos Portland compostos (CP II - E, CP II - Z e CP II – F). Diferem entre si principalmente pela presença de escória granulada de alto-forno (CP II – E), material pozolânico (CP II – Z), e pela obrigatoriedade da presença de material carbonático (CP II – F). Possuem menor calor de hidratação do que o cimento comum, o que proporciona a aplicação em obras de maiores dimensões. Têm resistência ao ataque por sulfatos: CP II – E e CP II – Z.

O cimento Portland de alto-forno (CP III), ABNT NBR 5735:1991, contém escória granulada de alto-forno em proporção que pode variar de 35% a 70% em relação à massa de aglomerante. Tem bom desempenho em relação a ação de sulfatos, maior resistência à compressão em idades avançadas e calor de hidratação moderado.

No cimento Portland pozolânico (CP IV), ABNT NBR 5736:1991, o material pozolânico representa de 15% a 50% da massa do cimento. É resistente a meios agressivos, com baixa liberação de calor e resulta em uma pasta pouco permeável.

O cimento Portland de alta resistência inicial (CP V – ARI), ABNT NBR 5733:1991, deve ter resistência à compressão igual ou superior a 34 MPa aos 7 dias de idade. Muito utilizado em peças pré-moldadas e em obras em que seja necessário alcançar altas resistências nas primeiras idades. Tem maior calor de hidratação por ter maior finura e maior quantidade de alita.

Apesar de, em norma, a ABNT fazer distinções entre os seguintes cimentos, o cimento Portland de Alta Resistência Inicial é uma variação do cimento Portland Comum (SALVADOR FILHO; LIBORIO, 2007). O primeiro tem maior quantidade de C_3S , obtida por diferentes quantidades de calcário e argila utilizadas na produção do clínquer, e por processo de moagem se torna mais fino, características que conferem diferenças entre esses dois tipos de cimento (SALVADOR FILHO; LIBORIO, 2007).

Os cimentos Portland resistentes a sulfatos (RS), conforme a ABNT NBR 5737:1992, devem se enquadrar em alguns dos requisitos: qualquer tipo de cimento que comprovadamente seja resistente a sulfatos; não superem em 8% o teor de C_3A do clínquer e 5% de adições carbonáticas, em massa; se CP III, o teor de escória de alto-forno granulada deve estar compreendido entre 60% e 70%, em massa; se CP V, o teor de material pozolânico deve ser de 25% a 40% em massa. Nesse tipo de cimento o ganho de resistência é mais lento e para melhorar essa característica alguns fabricantes aumentam, no processo de moagem, a finura do cimento (BENSTED, 2004).

De acordo com a ABNT NBR 13116:1994 os cimentos Portland de baixo calor de hidratação (BC) podem ser do tipo CP I, CP II, CP III, CP IV e CP V, desde que o calor desenvolvido na hidratação do cimento não supere aos 3 e 7 dias, respectivamente, 260 J.g^{-1} e 300 J.g^{-1} . Esse tipo de cimento é indicado para estruturas em concretos massa, como barragens, nas quais é importante que o calor de hidratação seja moderado, evitando-se, desse modo, a ocorrência de fissuras.

2.1.1.1 Hidratação do cimento Portland

As reações de hidratação dos compostos do cimento Portland começam a ocorrer quando o cimento entra em contato com a água. Essas reações são exotérmicas e é possível avaliar a velocidade da hidratação através da velocidade de desprendimento de calor (NEVILLE, 1997).

O mecanismo da hidratação pode ser subdividido em dissolução-precipitação e topoquímico ou hidratação no estado sólido. O mecanismo de dissolução-precipitação ocorre nas fases iniciais e corresponde a cerca 30% da hidratação, com duração de 3 horas a 24 horas (MELO; LIBORIO, 2000). Com o endurecimento do concreto as reações de hidratação ocorrem por mecanismo topoquímico, e o cimento anidro é hidratado por difusão iônica (MELO; LIBORIO, 2000).

O desenvolvimento da hidratação varia com o tipo de cimento e as reações dos compostos não ocorrem isoladamente. Na hidratação do cimento Portland, apesar de ocorrerem reações simultâneas, as velocidades de hidratação não são as mesmas devido à constituição dos compostos anidros ser diversificada (KIHARA; CENTURIONE, 2005).

COUTINHO (1988) descreve as reações de hidratação dos principais compostos do cimento:

- C_3S – reage com a água e libera hidróxido de cálcio, ficando uma parte em solução, outra parte cristaliza e a perda de cálcio pelo silicato origina o C-S-H;
- C_2S – ao reagir com a água também libera hidróxido de cálcio, em menor quantidade que o C_3S , transformando-se em outro silicato de cálcio hidratado mais estável;
- C_3A – quando em soluções muito concentradas de hidróxido de cálcio fixa esse composto e se transforma em aluminato tetracálcico hidratado;
- C_4AF – a reação com a água libera aluminato tricálcico e ferrato monocálcico, que posteriormente reage com o hidróxido de cálcio e se transforma em ferrato tricálcico.

O composto do cimento que geralmente tem a maior reatividade é o C_3A , seguido pelos compostos C_3S , C_4AF e C_2S , em ordem decrescente de reatividade

(MELO; LIBORIO, 2000). Ao modificar as características desses compostos é possível alterar as propriedades do cimento como, por exemplo, a resistência mecânica, que para as primeiras idades é maior em cimentos com quantidades elevadas de C_3S e C_3A e menor em cimentos com altas proporções de C_2S (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

As reações que ocorrem nos compostos do cimento são dependentes da composição química e de propriedades tanto do material, como finura e a quantidade de água adicionada à mistura, como de fatores externos, como temperatura ambiente e tipo de cura (KIHARA; CENTURIONE, 2005).

Para SILVA & LIBORIO (2000) a alta concentração de aluminatos de cálcio, sulfatos e álcalis na fase líquida é acelerada pelo fato de alguns compostos terem alta solubilidade. Os mesmos autores ressaltam que determinadas propriedades como finura e composição do cimento, assim como a temperatura, exercem influência sobre a hidratação do cimento Portland. Mas, apesar de a finura do cimento Portland estar relacionada à velocidade de hidratação, este fator não influencia na resistência final do cimento completamente hidratado (KIHARA; CENTURIONE, 2005).

Na hidratação do cimento os espaços ocupados pela água e pelo cimento são gradativamente ocupados pelos produtos de hidratação, o que torna a hidratação cada vez mais lenta devido à formação de produtos sólidos que dificultam o transporte de água no sistema. Como os produtos da hidratação não preenchem todos os espaços existentes na pasta de cimento são formados vazios capilares. Essa porosidade pode variar com o grau de hidratação e com a relação a/c empregada, ocorrendo com diferentes dimensões e volume de poros.

Na Figura 3 o Caso A ilustra a evolução, em uma pasta com relação a/c igual a 0,63, do grau de hidratação dos compostos anidros em relação às porcentagens de poros capilares, produtos anidros hidratados e cimento não hidratado. No tempo zero o grau de hidratação também é zero e 66% da pasta é ocupada por vazios capilares. Em 7 dias diminui a quantidade de poros capilares, equivalendo a 50% do volume total da pasta. Aos 28 dias a quantidade de cimento não hidratado já é bem menor em relação aos tempos zero e 7 dias. Em 28 dias o grau de hidratação atinge 75% e cresce a quantidade de produtos de hidratação em detrimento da diminuição dos poros capilares e dos produtos não hidratados. Após 1 ano a pasta está completamente hidratada mas apesar disso o volume que os poros capilares

ocupam ainda é alto, 33%. Portanto, fica evidente que apesar da água de amassamento adicionada hidratar completamente a pasta no final da análise a alta relação a/c gerou um concreto bastante poroso.

O Caso B da Figura 3 compara quatro pastas completamente hidratadas, que têm decrescentes relações a/c, com a porcentagem de poros capilares que cada uma ocupou no volume total da pasta. Fica evidente que apesar de todas as pastas terem os compostos anidros totalmente hidratados elas se diferenciam pelo volume que os poros capilares ocupam em cada uma delas. A pasta na qual a relação a/c é 0,7 tem o maior volume de poros capilares, 37%. As pastas com relações a/c de 0,6 e 0,5 têm 30% e 22% de poros capilares, respectivamente. A pasta com menor volume de poros capilares é a com relação a/c igual a 0,4, 11%. Fazendo uma relação entre esses teores de água, a água necessária à hidratação do cimento anidro e o volume de poros ao final da hidratação é possível concluir que a pasta poderia ser completamente hidratada com uma relação a/c inferior a 0,4 e isso ocorrendo praticamente não haveria poros capilares na composição final.

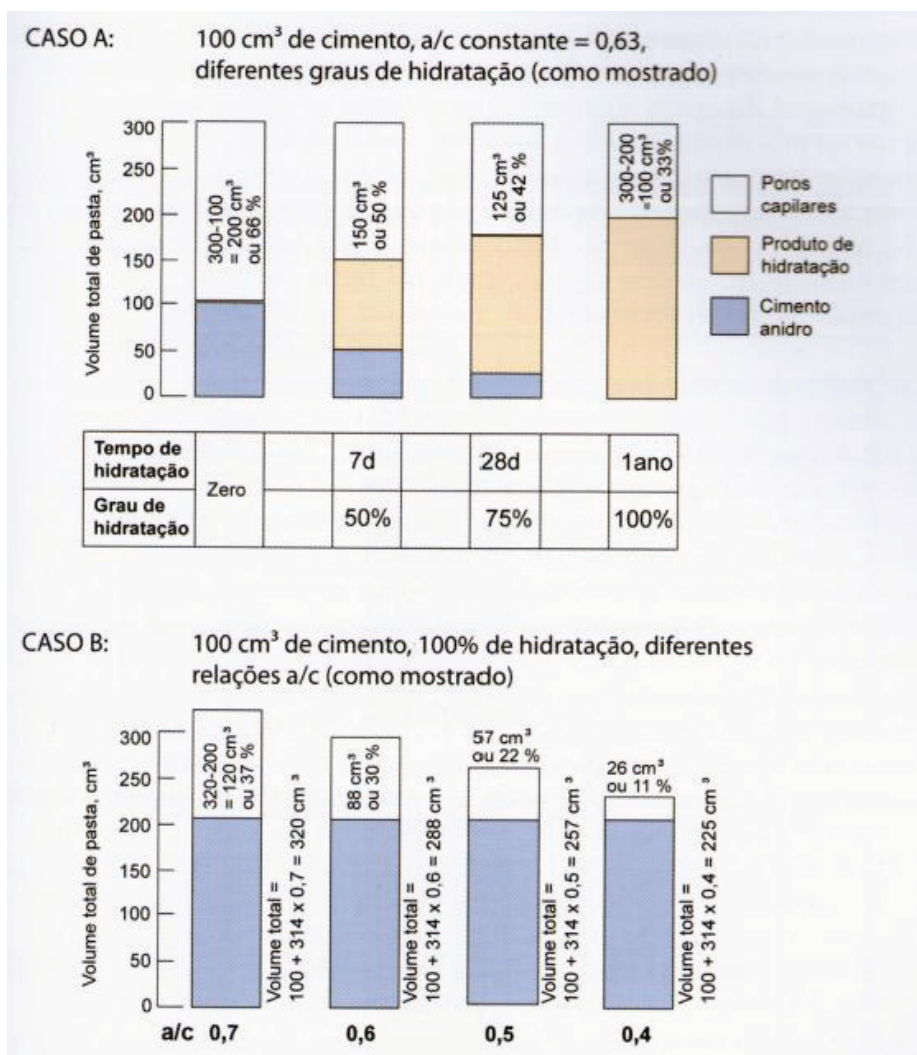


Figura 3 - Graus de hidratação e de porosidade capilar em pastas de cimento. Fonte: MEHTA & MONTEIRO (2008).

A distribuição de tamanhos dos poros é mais significativa do que a porosidade total capilar, e tais poros podem ter tamanhos que variam de 10 nm a 50 nm para pastas de cimento bem hidratadas e com baixa relação água/cimento e de 3 µm a 5 µm para pastas com uma alta relação a/c (MEHTA; MONTEIRO, 2008). Os produtos de hidratação estão diretamente ligados à resistência, e tal fator é dependente da forma e ligação entre eles e segundo AITCĪN (2000) essa propriedade é diretamente proporcional à densidade e diminui com o aumento da cristalinidade nos produtos de hidratação.

As fases de hidratação do cimento Portland podem ser divididas em Estágio 1 – Reação inicial (pré-indução), Estágio 2 – Período de indução, Estágio 3 - Período

de aceleração, Estágio 4 – Período de desaceleração e Estágio 5 – Período de reação lenta e contínua (difusão).

A pré-indução é uma reação exotérmica que ocorre nos primeiros 5 minutos de hidratação do cimento, na qual são formados os primeiros silicatos de cálcio hidratados (COUTINHO, 1988). É gerado pequeno calor de hidratação durante este período.

No período de indução, que também é chamado de período de dormência há menos liberação de calor e as reações são mais lentas, ocorrendo no período de 40 minutos a 3 horas. Nesse período há formação de C-S-H, podem também ser formados etringita e aluminato de cálcio hidratado (AÏTICIN, 2000).

No período de aceleração, que dura de 4 horas a 8 horas, a velocidade de hidratação é rápida e os produtos da hidratação do cimento são formados em grande quantidade, gerando alto calor de hidratação (MELO; LIBORIO, 2000).

Há diminuição na velocidade de reação no período de desaceleração, que pode ter duração de até 24 horas e nesse período o mecanismo de hidratação que era de dissolução-precipitação passa a ser o de difusão iônica, o que gera menos liberação de calor, porém, continuam a ser formados os produtos da hidratação e organizada a microestrutura (SILVA; LIBORIO, 2000; MELO; LIBORIO, 2000).

O último período de hidratação pode durar anos e é denominado de período de reação lenta e contínua (difusão). Ocorre com baixa liberação de calor e a formação dos produtos de hidratação é progressivamente diminuída.

A hidratação dos compostos do cimento pode cessar por motivos como: indisponibilidade de água para reagir, não existirem mais compostos anidros a serem hidratados ou quando há barreiras que impeçam a água de se deslocar até os elementos não hidratados (AÏTICIN, 2000).

O silicato de cálcio hidratado (C-S-H) é um dos produtos da hidratação do cimento Portland, sendo fundamental para a resistência mecânica dos concretos e argamassas. Pode-se obter concretos com quantidades elevadas de C-S-H com a utilização de baixas relações a/c, que sejam suficientes para hidratar o cimento e não prejudiquem a reologia do concreto fresco (AÏTICIN, 2000). O silicato de cálcio

hidratado é o composto que compõe em maior proporção a pasta de cimento hidratado, chegando a cerca de 60%, como visto na Figura 4.

O hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), portlandita, tem menor contribuição para o ganho de resistência mecânica e quando em grandes quantidades, é prejudicial à resistência química a soluções ácidas (MELO; LIBORIO, 2000).

De 15% a 20% do volume de sólidos na pasta de cimento é preenchido com os sulfoaluminatos de cálcio. Ocorrem nas formas de trissulfato hidratado ($\text{C}_6\text{A}\bar{\text{S}}_3\text{H}_{32}$), também denominado de etringita, e monossulfato hidratado ($\text{C}_4\text{A}\bar{\text{S}}_3\text{H}_{18}$), que é um composto formado pela eventual transformação da etringita e que torna o concreto menos resistente a sulfatos (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Na pasta de cimento junto com os produtos de hidratação podem ser encontrados grãos de clínquer não hidratado. A quantidade desses grãos vai depender da granulometria do cimento e do grau de hidratação (MELO; LIBORIO, 2000).

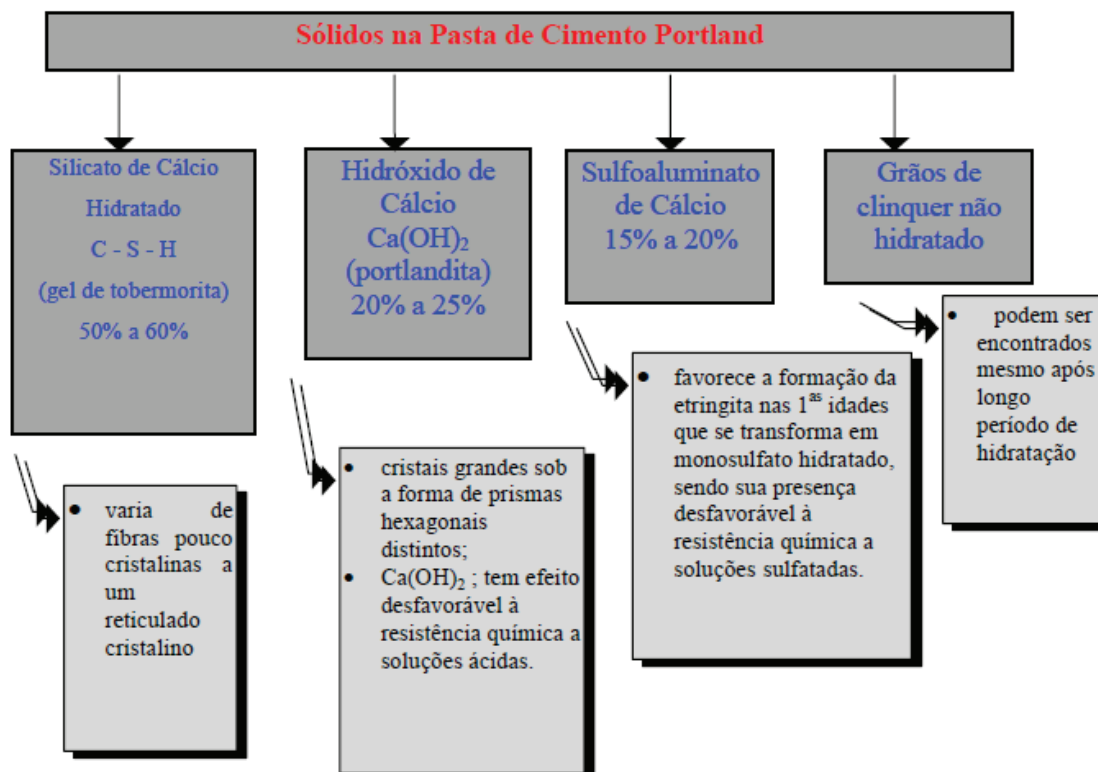


Figura 4 - Quatro fases sólidas presentes na pasta de cimento Portland. Fonte: MELO & LIBORIO (2000).

A finura e a distribuição granulométrica são características que estão diretamente relacionadas à velocidade de hidratação dos cimentos. Cimentos mais

finos, como os de alta resistência inicial, têm maiores resistências nas primeiras idades. Quanto mais ampla for a distribuição granulométrica dos grãos de cimento menos água será necessária para conferir trabalhabilidade à pasta de cimento (KIHARA; CENTURIONE, 2005).

2.1.2 Agregados

Denomina-se granilha ou granitina os agregados para granilite que são, geralmente, mármore ou granitos. Utiliza-se, também, basalto, calcário e quartzo, sendo que GUIMARÃES et al. (2007) afirmam que agregados de qualquer natureza mineralógica podem ser utilizados desde que tenham os requisitos necessários de um agregado para concreto.

Por ser um material de revestimento no qual os agregados além de contribuírem para a resistência têm função decorativa, deve-se ter uma seleção por granulometria criteriosa, para que haja a maior uniformidade possível. Falhas como misturas com agregados de tonalidades diferentes à pré-determinada provavelmente ficarão aparentes, prejudicando a proposta visual do granilite.

Alguns tipos de granilhas com diferentes granulometrias são mostrados na Figura 5.



Figura 5 - Agregados para granilite. (a) granitinas Branco Nacional; (b) granitinas Cinza Paraná; (c) granitinas Amarelo Dourado. Fonte: MINASIT (2011).

A ABNT NBR 7211:2009 estabelece os requisitos para os agregados graúdos e miúdos para concretos de cimento Portland, devendo ser segundo esta norma:

[...] compostos por grãos minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos, e não devem conter substâncias de natureza e em quantidade que possam afetar a hidratação e o endurecimento do cimento, a proteção da armadura contra corrosão, a durabilidade ou, quando for requerido, o aspecto visual externo do concreto.

De modo generalizado, pode-se dizer que as rochas ígneas e metamórficas podem ser utilizadas para a produção de agregados para concreto, e que as rochas que têm menor desempenho como agregados são as sedimentares (SBRIGHI NETO, 2005). Agregados como granitos e basaltos (provenientes de rochas ígneas), gnaisse e quartzo (provenientes de rochas metamórficas) e arenitos e argilitos (provenientes de rochas sedimentares) são exemplos de agregados para concreto (SBRIGHI NETO, 2005).

Do ponto de vista estrutural é importante conhecer a natureza e a forma dos agregados, que interfere no comportamento do concreto principalmente no estado fresco. A utilização de agregados com formas diferentes pode significar a necessidade de alteração de um traço, assim, se verifica como essa característica influencia na reologia dos concretos. Também há outras características dos agregados que interferem nas propriedades dos concretos como: sanidade, resistência mecânica, massa específica e compacidade entre os grãos.

Agregados que possuem superfícies mais lisas e arredondas proporcionam melhor trabalhabilidade do que aqueles que têm formas angulosas, alongadas e com superfície áspera (MEHTA; MONTEIRO, 2008). Apesar de a esfericidade contribuir para a trabalhabilidade a aderência entre os agregados e a pasta de cimento é fundamental para o ganho de resistência nos concreto e uma alta regularidade de superfície, principalmente em agregados graúdos, pode ser prejudicial (SBRIGHI NETO, 2005).

Além da aspereza necessária para que haja satisfatória aderência entre o agregado e a pasta é necessário que o agregado tenha uma boa resistência mecânica para que essas características aliadas resultem na produção de concretos com melhores resistências (NEVILLE, 1997). Portanto, a textura do agregado por si só não pode caracterizar acréscimos ou perdas de resistência nos concretos.

Agregados de maiores dimensões, com formas chatas e alongadas favorecem o surgimento da exsudação interna, que pode enfraquecer a interface pasta/agregado pela formação de um filme de água sob a superfície inferior do agregado (MELO; LIBORIO, 2000). Esse enfraquecimento da zona de transição pode favorecer o surgimento de microfissuras nessa região.

A resistência mecânica é uma característica importante para a escolha de um agregado e assim como é vasta a variedade de agregados, a faixa de valores de resistência também é ampla. NEVILLE (1997) indica valores de resistência mecânica para agregados em torno de 200 MPa, porém, cita que muitos agregados com resistências próximas a 80 MPa também são adequados para a produção de concretos. Para COUTINHO (1988) os valores mínimos de resistência que um agregado para concreto pode apresentar devem ser de 60 MPa a 70 MPa.

NEVILLE (1997) apresenta uma tabela, transcrita a seguir de forma parcial, com os valores médios de resistência à compressão de alguns minerais e rochas, tendo entre eles agregados bastante utilizados como agregados para granilite como o granito, o calcário, o mármore e o quartzito.

Tabela 3 - Resistência à compressão de rochas americanas geralmente usadas como agregados de concreto. Fonte: NEVILLE (1997).

Mineral	Resistência à
	compressão
	Média (MPa)
Granito	181
Calcário	159
Arenito	131
Mármore	117
Quartzito	252
Gnaise	147
Xisto	170

Quando os agregados disponíveis não têm resistências suficientes ou quando têm superfícies muito lisas pode ser feita a dopagem dos agregados para melhorar essas características. Nesta técnica os agregados são revestidos (em lavagem) por soluções que podem ter baixas relações a/c ou que contenham sílica ativa, por exemplo (LIBORIO, 2004). A Figura 6 ilustra o emprego da técnica de dopagem, em um dos casos melhorando a aderência e no outro reforçando o agregado, além de também garantir a aderência (LIBORIO, 2004).

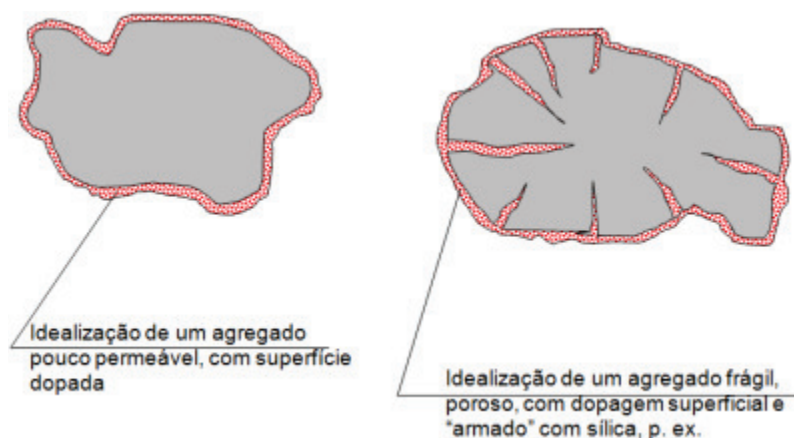


Figura 6 - Dopagem de agregados para aumentar a aderência e propiciar seu reforço. Fonte: LIBORIO (2004).

As propriedades dos agregados e as características dos concretos frescos e endurecidos estão diretamente ligadas, visto que a granulometria interfere na relação a/c , que por sua vez é um fator que está diretamente ligado à resistência à compressão (BAUER, 1995). Isso ocorre em virtude do aumento da porosidade do concreto que, além de interferir nas resistências à tração e à compressão, pode tornar o sistema mais susceptível ao ataque químico.

Podem ocorrer rupturas nos concretos por diferenças entre os coeficientes de dilatação térmica da pasta de cimento e do agregado, sobretudo quando o agregado tem maiores dimensões, quando a temperatura está fora do intervalo de 4°C a 60°C e os coeficientes têm uma diferença maior que $5 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ (COUTINHO, 1988). Na Tabela 4 há valores de coeficientes de dilatação térmica para alguns agregados mais usuais.

Tabela 4 - Coeficientes de dilatação térmica linear de algumas rochas e minerais mais usuais. Fonte: COUTINHO (1988).

Rochas	Coeficiente de dilatação térmica, $10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
Granitos	1,8 a 11,9
Basaltos	3,6 a 9,7
Quartzitos	7,4 a 13,1
Mármore	1,1 a 16

A Tabela 5, extraída de GUIMARÃES (2002), faz um resumo de algumas propriedades que podem ser alteradas nas argamassas em decorrência de determinadas características da areia.

Tabela 5 - Influência da granulometria das areias em propriedades das argamassas. Fonte: GUIMARÃES (2002).

Propriedades	Características da areia		
	Quanto menor o módulo de finura	Quanto mais descontínua for a granulometria	Quanto maior o teor de grãos angulosos
Trabalhabilidade	Melhor	Pior	Pior
Retenção de água	Melhor	Variável	Melhor
Elasticidade	Pior	Pior	Pior
Retração na secagem	Aumenta	Aumenta	Variável
Porosidade	Variável	Aumenta	Variável
Aderência	Pior	Pior	Melhor
Resist. Mecânicas	Variável	Pior	Variável
Impermeabilidade	Pior	Pior	Variável

2.1.2.1 Empacotamento de agregados

Utilizar agregados com granulometrias contínuas favorece a trabalhabilidade e possibilita menor consumo de cimento. Esse tipo de configuração é possível com o empacotamento de agregados, técnica que consiste em combinar agregados de diferentes granulometrias de forma que se encontre a porcentagem ideal de cada um deles na mistura, para que o conjunto tenha a maior compacidade possível.

McGeary (1961) apud PANDOLFELLI et al. (2000, p. 119) faz a seguinte definição para o estudo do empacotamento de partículas:

O problema da correta seleção da proporção e do tamanho adequado dos materiais particulados, de forma que os vazios maiores sejam preenchidos com partículas menores, cujos vazios serão novamente preenchidos com partículas ainda menores e assim sucessivamente.

Essa prática possibilita a redução do consumo de cimento no concreto pelo preenchimento de espaços, antes ocupados pela pasta de cimento, por agregados complementares.

Para um concreto com relação a/c de 0,5 que após o empacotamento reduziu de 30% para 25% o volume de pasta, o consumo de cimento cai cerca de 60 kg/m³ (PEREIRA; LIBORIO, 2010). Essa redução traz benefícios econômicos, diminui o calor de hidratação do concreto, reduzindo a ocorrência de retração e consequentemente, o surgimento de fissuras, além de contribuir com a diminuição da emissão de CO₂ para o meio ambiente, durante a produção do cimento.

Compor os concretos com a maior quantidade possível de agregados utilizando a técnica de empacotamento, geralmente, atribui benefícios como maiores estabilidades química e térmica, além de maior desempenho mecânico (PEREIRA; LIBORIO, 2010). Há exceções, como a utilização de agregados altamente porosos ou que possam desencadear patologias (PEREIRA; LIBORIO, 2010).

Na Figura 7 são mostradas duas regiões, uma ocupada por agregados e a outra por materiais finos.

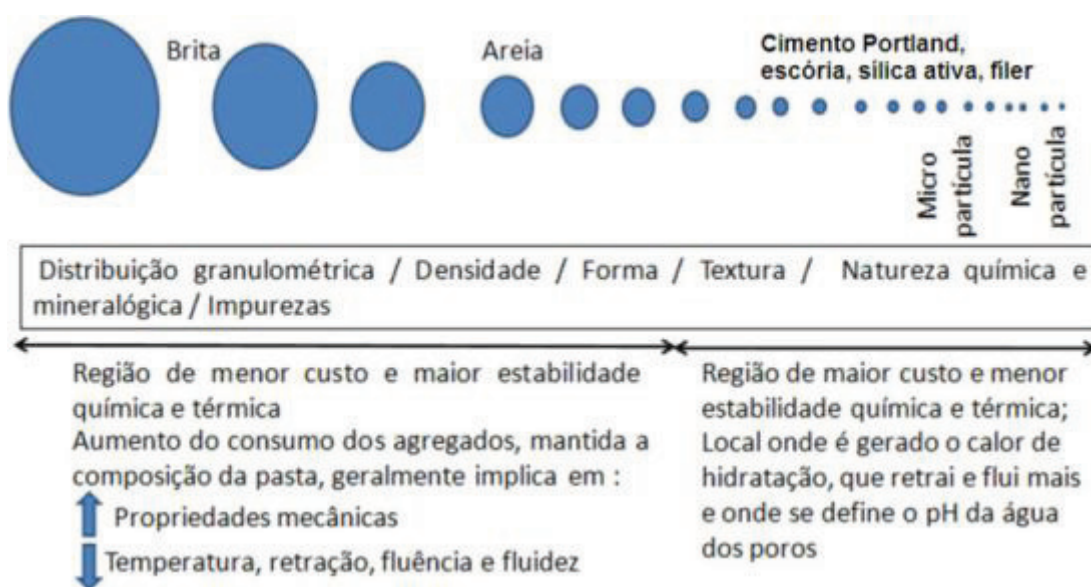


Figura 7 - Distribuição contínua de agregados e influência na produção de concretos. Fonte: PEREIRA & LIBORIO (2010).

A densidade do empacotamento é influenciada pela forma dos agregados, que quanto mais se afastam da esfericidade, pelo contato de superfícies irregulares, e quanto menores forem, por terem maior área superficial específica, menor é a densidade do empacotamento. Quando se tem um sistema de partículas monodispersas e esféricas a adição de partículas também esféricas de menores tamanhos em quantidades adequadas pode gerar um preenchimento de praticamente todo o vazio do sistema inicial (REBMANN; LIBORIO, 2011).

Pode-se obter a maior compacidade entre agregados de maneira prática como mostrado na Tabela 6, na qual foi utilizada uma quantidade de agregado que fosse superior ao preenchimento de um balde de 3 litros, utilizado para comportar os agregados durante o ensaio de massa unitária compactada.

Tabela 6 - Exemplo de tabela para ensaio de empacotamento de agregados.

A1/A2 (%)	A1 (Kg)	A2 (Kg)	A2+ (Kg)	L1	L2	L3	M.L.	M.U.C	I.V	M.E
100/0	5	0	0							
90/10	5	0,556	0,556							
80/20	5	1,25	0,694							
70/30	5	2,143	0,893							
60/40	5	3,333	1,190							
50/50	5	5	1,667							
40/60	5	7,5	2,500							
30/70	5	11,667	4,167							
20/80	5	20	8,333							
10/90	5	45	25,000							
0/100	0	5	0							

Sendo:

- A1/A2 (%): porcentagem do agregado A1/porcentagem do agregado A2;
- A1 (Kg): quantidade do agregado A1 em Kg;

- A2 (Kg): quantidade do agregado A2 em Kg;
- A2+(Kg): acréscimo do agregado A2 em Kg;
- L1, L2 e L3: leituras das massas que preenchem o recipiente de ensaio, após compactação feita em três camadas e com 25 golpes em cada camada;
- M.L.: média das leituras L1, L2 e L3;
- M.U.C: massa unitária compactada, que é $M. U. C = M. L. / \text{volume do recipiente de ensaio}$;
- I.V.: índice de vazios, que é $I. V. = (1 - M. U. C / M. E) * 100$;
- M.E.: massa específica da composição.

2.1.3 Aditivos superplastificantes

Os aditivos superplastificantes são bastante utilizados na produção de concretos, principalmente quando estes são de alta resistência ou de alto desempenho. Esse tipo de adição contribui para a redução na relação a/c e melhora a resistência mecânica, pois sem a presença de água excedente à necessária hidratação a porosidade do sistema é reduzida, além de serem favorecidas as propriedades reológicas sem que haja prejuízo à hidratação do cimento. Sua proporção na mistura pode ser otimizada através de ensaios rápidos e de simples execução, o que garante que não haja desperdício em relação à dosagem.

Os aditivos superplastificantes têm vantagens em relação aos aditivos plastificantes pois, enquanto o primeiro tipo de redutor de água reduz a relação a/c em torno de 30% o segundo costuma resultar no máximo em uma redução de 15% da relação a/c (MONTROYA et al, 2001). Os superplastificantes, quando comparados com aditivos redutores de água convencionais, reduzem a água de amassamento em até quatro vezes, e essa redução normalmente é acompanhada do aumento das resistências à compressão e à flexão (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

A adição de superplastificantes melhora a dispersão das partículas de cimento, aumenta a velocidade de hidratação do concreto, resultando em maiores resistências nos primeiros dias, mesmo quando comparadas com concretos com as mesmas relações água/cimento (MEHTA; MONTEIRO, 2008). O uso desse tipo de aditivo permite diminuir a quantidade de cimento no concreto o que proporciona uma diminuição no calor de hidratação e na ocorrência de retração no concreto (MONTROYA et al., 2001).

Por terem composições variadas é necessário que seja verificada a compatibilidade e a eficiência do superplastificante em relação ao cimento que será utilizado. A dosagem desse tipo de aditivo pode variar significativamente quando utilizado em diferentes tipos de cimento, sendo que a quantidade geralmente necessária varia entre 0,5% e 1,5%, em relação à massa de cimento. A finura do cimento influencia na quantidade necessária de superplastificante e se observa que cimentos mais finos requerem teores maiores de superplastificante para se obter uma determinada trabalhabilidade (AITCĪN, 2000).

O teor ideal do aditivo (ponto de saturação) pode ser encontrado pelo ensaio de miniabatimento, proposto por KANTRO (1980) apud BUCHER (1988) apud CASTRO & LIBORIO (2007), que é um procedimento simples que requer pouca quantidade de material. Através deste procedimento pode ser traçada uma curva de espalhamento da pasta de cimento fazendo-se repetições do ensaio de miniabatimento para sucessivas adições de superplastificante, dessa forma é possível obter o teor de aditivo que proporcione o maior espalhamento à pasta. Este ensaio pode ser reproduzido para diferentes tempos de mistura para que seja avaliada a eficiência do aditivo com o tempo.

O minitronco de cone utilizado no ensaio tem as dimensões ilustradas na Figura 8 e a sequência do método, Figura 9, é a descrita a seguir:

- 1) escolher uma superfície lisa e plana para executar o ensaio;
- 2) lubrificar a superfície e o minitronco de cone;
- 3) fazer uma pasta de cimento com um teor inicial de superplastificante;
- 4) colocar o minitronco de cone sobre a superfície plana, moldá-lo com a pasta até o limite do molde;

- 5) retirar o molde lentamente e na vertical;
- 6) medir o diâmetro do espalhamento em três dimensões;
- 7) repetir o procedimento para pastas com teores crescentes de superplastificantes até que possa ser encontrado o ponto de saturação, ponto a partir do qual o acréscimo de superplastificante não tem efeito significativo no espalhamento da pasta.

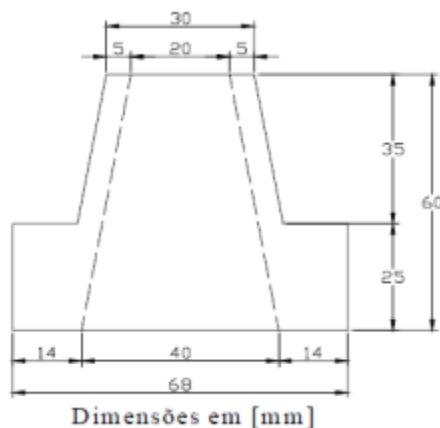


Figura 8 - Minitronco de cone. Fonte: CASTRO & LIBORIO (2007).

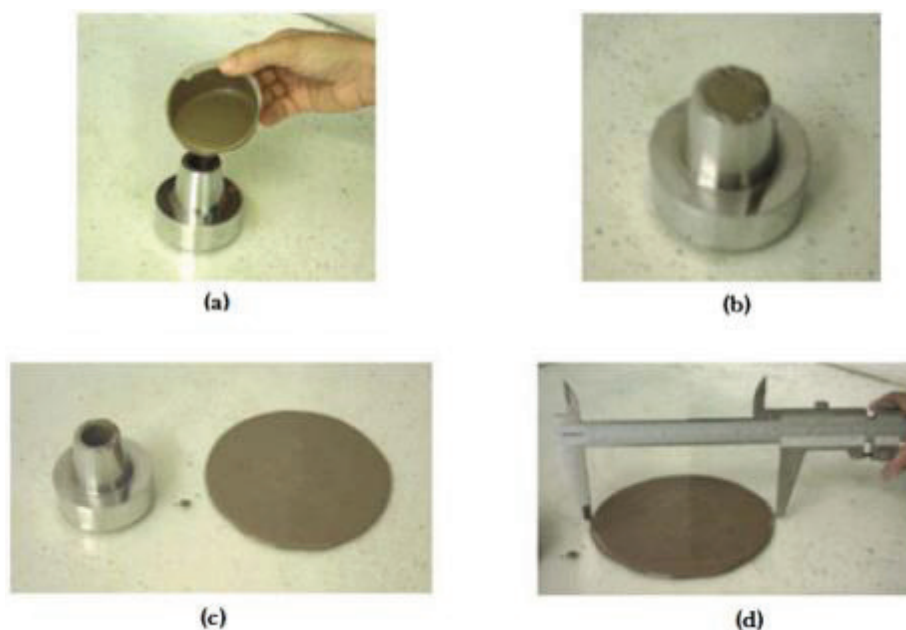


Figura 9 - Ensaio de miniabatimento de tronco de cone. Fonte: CASTRO & LIBORIO (2007).

Para se obter eficiência máxima do superplastificante é fundamental que sejam conhecidas as variantes que podem alterar a interação entre o cimento e o

aditivo. Deve-se entender que a ação dos superplastificantes se modifica quando se muda o tipo de cimento, o procedimento de mistura, o transporte e os fatores climáticos (CASTRO; LIBORIO, 2007). Deve-se considerar que há interação entre todos os materiais que compõe o concreto e segregação ou pega retardada, por exemplo, devem ser considerados nos ajustes de dosagem do superplastificante (REBMAN; LIBORIO, 2010).

2.1.4 Adições

As adições minerais podem melhorar a resistência e a durabilidade dos concretos e a escolha da inclusão desses materiais deve levar em consideração a finalidade ao qual se destina. Podem ter efeitos químicos, como a formação de silicato de cálcio hidratado (C-S-H), e físicos, como o refinamento dos poros e a melhoria da zona de transição.

Segundo DAL MOLIN (2005) as adições minerais podem ser classificadas em material pozolânico, material cimentante e fíler. São materiais que podem ser utilizados como adição ou substituição à parte do cimento. Cada tipo de adição tem características específicas, podendo-se fazer uso de mais de um tipo de adição em uma mesma dosagem. Para compensar as diferentes reatividades dos materiais cimentícios podem ser feitas combinações entre materiais de alta reatividade com materiais de menor reatividade, como no caso de se utilizar sílica ativa com escória de alto-forno (AITCĪN, 2000).

A obtenção de concretos mais duráveis é um dos motivos da crescente utilização de adições minerais, assim como os fatores econômicos e ambientais (CASTRO; LIBORIO, 2007).

Os materiais pozolânicos podem ser de origem natural ou artificial, sendo que os materiais pozolânicos artificiais são subdivididos pela ABNT NBR 12653:1992 em argilas calcinadas, cinzas volantes e outros materiais. A mesma norma define os materiais pozolânicos como:

Materiais silicosos ou silicoaluminosos que, por si sós, possuem pouca ou nenhuma atividade aglomerante, mas que, quando finamente divididos e na presença da água, reagem com o hidróxido de cálcio à temperatura ambiente para formar compostos com propriedades aglomerantes.

A sílica ativa é considerada uma superpozolana e quando adicionada ao concreto resulta em alterações físicas e químicas (FAGURY; LIBORIO, 2002). Tem efeito filer, contribuindo para uma maior coesão e compacidade, e reage com o hidróxido de cálcio formando silicato de cálcio hidratado, o que contribui para a resistência mecânica do concreto (FAGURY; LIBORIO, 2002). As dimensões das partículas de sílica ativa variam de cerca de 0,1 μm a 2 μm , o que representa dimensões médias 100 vezes menores que as dos grãos de cimento, e favorecem a redução das exsudações interna e externa (AİTCIN, 2000).

A adição de metacaulim também proporciona benefícios aos concretos e argamassas, pois melhora as características mecânicas e a durabilidade através do refinamento dos poros. Essa adição tem efeito filer ou microfíler devido ao tamanho de suas partículas, que são bem menores que as do cimento, e assim como a sílica ativa, aumenta a demanda de água na mistura.

As dimensões das partículas do filer são próximas as do cimento Portland. Esse tipo de adição tem efeitos físicos que melhoram a trabalhabilidade, evitam a exsudação e a fissuração, além de efeitos químicos que podem ativar a hidratação do cimento, como nucleador (NEVILLE, 1997).

2.1.5 Pigmentos

A escolha da utilização de revestimentos em granilite é fortemente influenciada pelas inúmeras possibilidades estéticas que o material pode apresentar. Além das escolhas de agregados com diferentes cores e granulometrias para atribuir configurações visuais variadas, a pasta de cimento pode ser pigmentada para diferir das cores comumente atribuídas pelos cimentos (cinza ou branco).

As mais diversas tonalidades podem ser atribuídas a concretos se forem empregados pigmentos na dosagem. Com relação aos pigmentos, para que possam ser utilizados sem que prejudiquem as propriedades químicas e físicas dos concretos, devem ser estáveis em relação aos demais compostos.

Podem ser utilizados pigmentos à base de óxido de ferro, tanto naturais como sintéticos, na produção de corantes. Os naturais têm geralmente baixo poder de pigmentação, pois possuem baixos teores de óxido de ferro, e os sintéticos vem em substituição a esses por possuírem características como maiores possibilidades de tons e intensidades (SALVADOR FILHO; LIBORIO, 2007). Segundo SALVADOR FILHO & LIBORIO (2007) dentre os corantes estão os:

- Óxidos de ferro naturais:
 - hematitas (vermelho);
 - limonitas (amarelos);
 - magnetitas (pretos).
- Óxidos de ferro sintéticos:
 - amarelos (do "creme" ao amarelo);
 - pretos (do cinza claro a tons de carvão);
 - vermelhos (do amarelado até tons azulados).

A utilização de quantidades elevadas de corante pode resultar na necessidade de maior relação a/c para ser mantida a trabalhabilidade do concreto, o que contribui para o aumento da porosidade e para a consequente diminuição da resistência mecânica (SALVADOR FILHO; LIBORIO, 2007).

2.1.6 Água

A água adicionada na produção do concreto, água de amassamento, tem a função de promover a hidratação dos compostos do cimento Portland e favorece as características reológicas necessárias a um concreto com suficiente trabalhabilidade. Está presente sob diversas formas durante toda vida do concreto,

tanto na forma livre quanto combinada com outros compostos, sendo que o entendimento dos fenômenos que ocorrem nas argamassas e concretos, nos estados fresco e endurecido, passa pelo entendimento da interação da água nesses sistemas.

A subdivisão da água no cimento hidratado de acordo com MEHTA & MONTEIRO (2008) pode ser feita da seguinte forma:

- água capilar – é a água presente nos vazios, podendo sua perda ser prejudicial, causando retração, quando em vazios da ordem de 5 nm a 50 nm;
- água adsorvida – sofre a ação de forças superficiais, sendo perdida pelo aumento de temperatura, o que causa retração no concreto;
- água interlamelar – perdida apenas em baixas umidades, inferiores a 11%, retraindo a estrutura do C-S-H quando ocorre sua perda;
- água quimicamente combinada – está combinada com outros compostos do concreto, só é liberada pela decomposição dos produtos hidratados.

Relações a/c insuficientes impossibilitam a completa hidratação dos compostos do cimento e água adicionada em excesso pode resultar em demasiada formação de poros. Nos dois casos citados há perda de desempenho do concreto, portanto, é imprescindível que seja feito um estudo para que se determine a quantidade ideal de água de amassamento, sendo que a água em excesso adicionada à mistura gera elevada porosidade e interfere negativamente nas propriedades do concreto, principalmente, no estado endurecido.

A redução na relação a/c na pasta de cimento proporciona maior proximidade entre as partículas de cimento, resultando em menor porosidade e dificultando a ação de produtos externos (AITCIN, 2000). Tal redução, sem prejuízo à quantidade de água necessária à hidratação do cimento, favorece o rápido ganho de resistência.

Quando são dosados concretos com baixas relações a/c , geralmente a trabalhabilidade é comprometida e é necessário o uso de aditivos químicos que vão agir reduzindo a alta tensão superficial da água e dispersando as partículas dos aglomerantes (REBMANN; LIBORIO, 2011).

De acordo com FAGURY & LIBORIO (2002) para serem evitadas fissurações, expansões e lascamentos é importante que seja limitada a presença de sulfatos na água de amassamento, pois estes reagem com o aluminato tricálcico, C_3A , do cimento e geram etringita expansiva, e não havendo espaço para a etringita se desenvolver serão desencadeadas tais patologias no concreto. Deve-se observar que perda de resistência, alterações nos tempos de pega e eflorescências podem ser causadas pela presença de impurezas em excesso na água de amassamento (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

A relação água/cimento requerida para uma boa trabalhabilidade e para que ocorram as reações de hidratação do cimento pode ter seu valor alterado em decorrência não só das propriedades químicas dos materiais como também de suas características físicas, como finura das partículas, da inserção de adições e da utilização de aditivos, incluindo a forma das partículas ou de parte delas.

DAL MOLIN (2005) cita alguns tipos de adições e conclui que a cinza volante tem maior capacidade redutora de água do que a escória de alto-forno e do que o metacaulim, sendo que quanto maiores forem as áreas específicas destes dois últimos tipos de adições menos trabalháveis serão os concretos. Esse fato é decorrente da forma esférica das cinzas volantes.

2.2 Cura

A cura é o processo pelo qual se evita a perda de água do concreto por evaporação nas primeiras idades, quando as reações ocorrem em maiores velocidades, garantindo que a hidratação dos compostos do cimento não seja prejudicada. Benefícios como ganho de resistência, maior durabilidade, menor permeabilidade e menos ocorrência de retrações são conseguidos com essa prática.

É necessária a análise da obra que será executada para ser feita a escolha do melhor tipo de cura a ser utilizada, ressaltando-se que são vários métodos de cura com execuções e custos diferenciados como imersão, molhagem de superfície e cura térmica.

Com uma cura adequada é possível evitar retrações no concreto, que geralmente ocorrem com a perda de água para o meio externo, e possibilitar a continuidade das reações de hidratação, evitando-se deficiências como, por exemplo, baixo ganho de resistência mecânica (AÏTCIN, 2000).

As áreas superficiais dos concretos perdem água mais facilmente do que o interior, e quando não é feita uma cura adequada pode ocorrer retração na superfície e a restrição dessa retração pela parte interna do concreto, o que resulta em tensões de tração que podem desencadear fissuras (AFONSO; LIBORIO, 1995).

Fatores como temperatura, umidade relativa do ar, ação dos ventos, exposição solar e relação água/cimento determinam a duração e a intensidade da cura, que deve, em geral, ocorrer até que o concreto obtenha 70% da resistência de projeto (AFONSO; LIBORIO, 1995). Recomenda-se curar os concretos durante 7 dias, tempo que geralmente garante a hidratação de grande parte dos compostos do cimento, sendo que após esse período o concreto obtém um nível de compacidade que dificulta a movimentação da água de cura (MELO; LIBORIO, 2000).

Deve ser feito o controle da temperatura nos concretos visto que altas temperaturas são prejudiciais, pois aceleram a velocidade de evaporação da água. Podem ser empregadas medidas para reduzir a temperatura em concretos usinados ou dosados na obra como, por exemplo, o emprego de água fria com escamas de gelo, o aspergimento de água no caminhão betoneira, a proteção e refrigeração do agregado.

Os concretos frescos sofrem danos em temperaturas inferiores a 0°C pelo aumento do volume da água, o que rompe ligações de partículas sólidas (BAUER, 1995). Temperaturas muito baixas também podem prejudicar o ganho de resistência do concreto, portanto, a temperatura do concreto deve ser controlada para que não haja congelamento da água (AFONSO; LIBORIO, 1995).

O ideal seria que o concreto fresco estivesse exposto a uma temperatura em média de 25°C, mas se isso não for possível é indicado que a água de amassamento seja aquecida ou resfriada de acordo com a necessidade. Tais medidas garantem que as reações de hidratação ocorram sem prejuízos.

A cura com água é muito utilizada, de baixo custo, fácil operação e deve ser iniciada quando começar o início de pega, para que se evite o carreamento de

material por um endurecimento insuficiente para tal procedimento (AFONSO; LIBORIO, 1995). Neste tipo de cura a superfície do concreto deve, preferencialmente, ser coberta após a molhagem, evitando-se a rápida evaporação da água, com possíveis elevadas incidências de ventos e por baixas umidades aliadas a altas temperaturas.

A necessidade da desforma rápida na produção de peças pré-moldadas contribui para a escolha da cura térmica, que possibilita ganho rápido de resistência mecânica (MELO; LIBORIO, 2000). Elevar a temperatura durante o processo inicial de hidratação (no estágio de aceleração) favorece o rápido ganho de resistência mecânica e no caso da cura térmica a vapor sob pressão atmosférica ambiente essa resistência mecânica inicial é atingida em cerca de três horas de ciclo térmico (MELO; LIBORIO, 2000).

2.3 Dimensões dos revestimentos em granilite

Os revestimentos em granilite podem ser executados nas mais diversas dimensões, inclusive em forma de mosaicos. Quando utilizados em pisos geralmente seguem padrões retangulares com áreas que variam de 1 m² a 4 m² (delimitadas por juntas de dilatação) e espessuras em torno de 5 mm a 20 mm.

2.3.1 Juntas de dilatação

Para delimitar as áreas dos revestimentos em granilite são utilizadas juntas de dilatação, que geralmente são plásticas ou metálicas. As juntas têm alturas que acompanham a espessura do revestimento e têm espessuras de 7 mm, em média. São encontradas em diversas cores como mostrado na Figura 10.

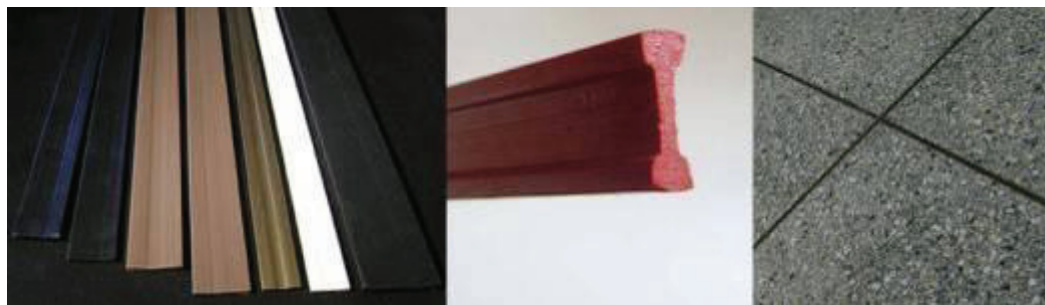


Figura 10 - Juntas plásticas. Fonte: AURAPLAST (2012).

Não há restrições sobre o tipo de material das juntas de dilatação, porém, deve-se prever o comportamento desse material quando em contato com o granilite e quando exposto a diferentes condições climáticas. Se, por exemplo, a junta de dilatação se expandir de maneira significativa em um dia quente, podem ocorrer fissurações na interface junta/granilite.

As juntas de dilatação também têm função de aliviar as tensões que ocorrem no concreto, contudo para argamassas de revestimento estudadas por BORTOLUZZO & LIBORIO (2000), verificou-se que as tensões de tração máximas têm valores independentes da distância entre juntas de dilatação (em distâncias convencionais); dependendo do módulo de elasticidade e da deformação restringida. Neste caso citado ocorre restrição total a deformação quando o pano de revestimento é superior a dez vezes a espessura da argamassa (Figura 11), o que ocasiona tensões que podem gerar fissuras (BORTOLUZZO; LIBORIO, 2000).

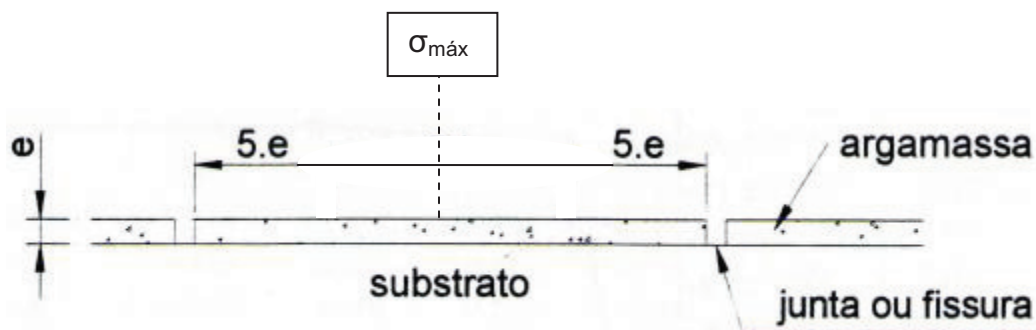


Figura 11 - Posição de alívio de tensões em argamassas. Fonte: BORTOLUZZO & LIBORIO (2000).

Da mesma forma que para as argamassas estudadas acima o granilite solidarizado ao substrato sofre restrições à deformação e para não fissurar a distância entre as juntas teria que ser muito pequena, portanto, somente limitar o tamanho das juntas de dilatação não é suficiente para evitar fissuras nos granilites convencionais.

Na Figura 12 há painéis em granilite que foram moldados com diferentes cores e formas, delimitados por juntas de dilatação, demonstrando as possibilidades decorativas do ambiente onde é construído.

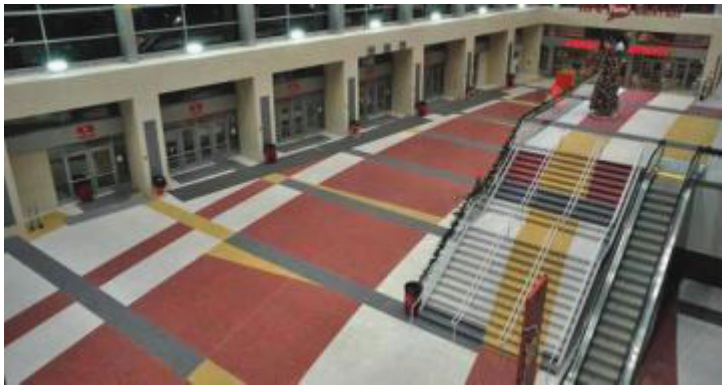


Figura 12 - Juntas de dilatação atuando como delimitadoras de áreas. Fonte: NTMA (2011).

3 FISSURAS EM REVESTIMENTOS EM GRANILITE

É frequente a ocorrência de fissuras em granilites e são encontradas nos mais diversos tipos de obras, tanto de pequeno como de grande porte. Esse tipo de patologia descaracteriza a forma dada ao revestimento, que deveria ser apenas a delimitada pelas juntas de dilatação, e torna o granilite mais susceptível à deterioração. Essa descaracterização é exemplificada na Figura 13 (a) e na Figura 13 (b), onde o revestimento em granilite de um Terminal Rodoviário¹ apresenta grande número de fissuras. Esses revestimentos da Figura 13 têm dimensões de 2,25 m² (1,5 m x 1,5m).

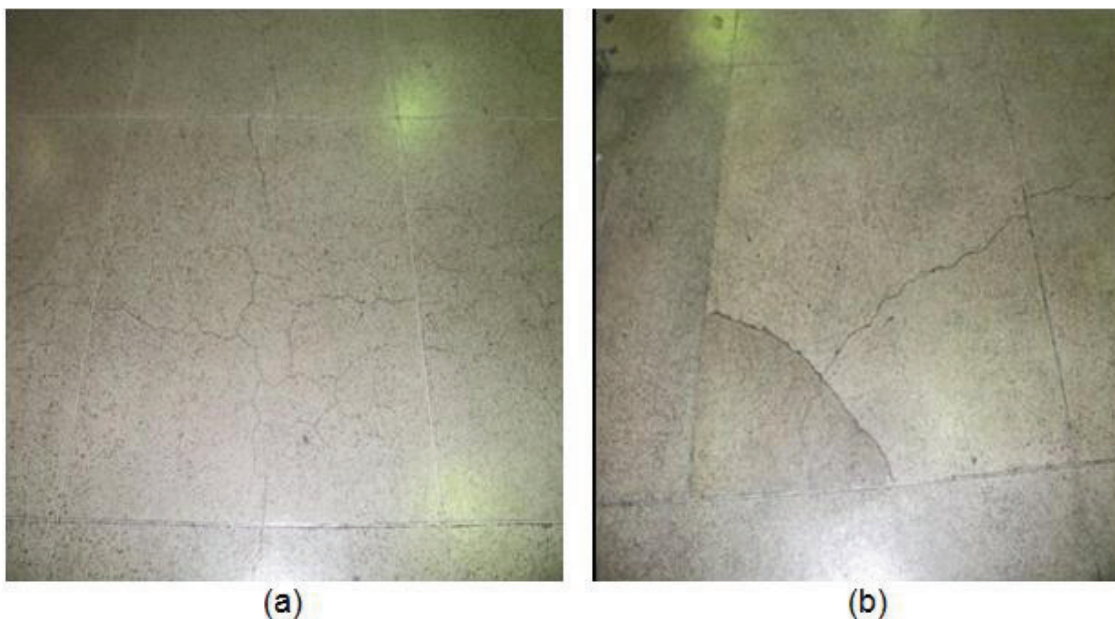


Figura 13 - Granilite fissurado - Terminal Rodoviário. (a) fissuras por retração plástica; (b) fissuras por movimentação térmica.

Somente delimitar os quadros dos revestimentos em granilite com juntas de dilatação não é eficaz para a não ocorrência de fissuras. Isso pode ser visto na Figura 14 (a), onde uma fissura atravessa quadros de 2,25 m² (1,5 m x 1,5 m), que é uma dimensão usual. Observa-se também que além das fissuras os granilites podem sofrer deslocamentos por falta de aderência com o substrato e os reparos,

¹ Local não divulgado por motivos éticos.

² Local não divulgado por motivos éticos.

exemplo mostrado na Figura 14 (b), dificilmente reproduzem o aspecto original do revestimento.



Figura 14 - Fissuras em granilite - Aeroporto². (a) fissura atravessando quadros de 1,5 m x 1,5 m; (b) vários reparos em um quadro.

As fissurações observadas nos revestimentos em granilite podem ter diversas causas, portanto é necessário o estudo do comportamento do revestimento de maneira ampla, levando-se em consideração a dosagem, a ligação com o substrato, a cura, dentre outros fatores.

Observa-se que o procedimento de limitar as dimensões dos quadros em granilite com o objetivo de evitar fissurações é usual, porém, muitas vezes ineficaz. A não observância de outros fatores primordiais como cura e execução do revestimento sobre substrato adequado, ou o desconhecimento do comportamento mecânico do material, geralmente, resultam em revestimentos com patologias.

Mesmo com a produção criteriosa de um granilite, com todas as características de seleção dos materiais e dosagem apropriados, se o revestimento estiver solidarizado não há garantias de que terá uma alta durabilidade, pois provavelmente surgirão fissuras, o que pode ser visto na Figura 15. Neste exemplo é possível observar no detalhe que a fissuração no granilite é uma continuação da fissura do substrato, a fissura com origem na regularização foi transmitida ao revestimento.

² Local não divulgado por motivos éticos.



Figura 15 - Detalhe de substrato e granilite fissurados. Fonte: LIBORIO (2009).

Revestimentos solidarizados e com falhas de aderência, que podem ser ocasionadas por falta de limpeza do substrato antes da moldagem do granilite, são também muito frequentes e resultam em deslocamentos.

Na Figura 16, registro fotográfico feito no Instituto de Química de São Carlos, da USP (IQSC), são mostradas sequências de deslocamentos próximos a juntas de dilatação, que podem ter origens diversas, tais como: limpeza inadequada do substrato, contaminação por outros materiais, materiais incompatíveis (argamassa de fixação das juntas) com a solidarização do granilite, falta de conhecimento sobre a tecnologia envolvida na especificação do material, erros ou falta de projeto.



Figura 16 - Revestimentos em granilite com deslocamentos – IQSC (quadros de 1,5 m x 1,5 m).

Todos os exemplos mostrados de patologias em revestimentos em granilite evidenciam a necessidade do estudo dos tipos de fissuras que ocorrem em

concretos, da solidarização e, conseqüentemente, da dessolidarização do sistema granilite/substrato. O entendimento desses tópicos é indispensável para que possam ser reconhecidas as causas do surgimento de fissuras em granilites, assim como os procedimentos necessários para que não ocorram.

Os concretos sofrem deformações que podem ocorrer nas idades iniciais ou em idades avançadas, ocasionadas ou não por carregamentos e podem ser reversíveis ou irreversíveis. As deformações não ocorrem necessariamente de maneira isolada, pode haver simultaneidade entre elas e alguns somatórios desses efeitos são mostrados na Tabela 7, onde são feitas combinações entre tipos de deformações com e sem carregamento e expostos ou não ao ambiente.

Tabela 7 - Deformações no concreto em função do tipo de exposição e condições de carregamento. Fonte: MELO NETO & CINCOTTO (2008).

Nomenclatura	Deformações
ε_{Total}	Deformação total
ε_{RA}	Retração autógena
ε_{DT}	Variação de temperatura
ε_{RS}	Retração por secagem
ε_{EL}	Deformação elástica resultante do carregamento
ε_{FB}	Fluência básica
ε_{FS}	Fluência por secagem
Condições	Equação
Selado e sem carregamento	$\varepsilon_{Total} = \varepsilon_{RA} + \varepsilon_{DT}$
Exposto e sem carregamento	$\varepsilon_{Total} = \varepsilon_{RS} + \varepsilon_{RA} + \varepsilon_{DT}$
Selado e com carregamento	$\varepsilon_{Total} = \varepsilon_{EL} + \varepsilon_{FB} + \varepsilon_{RA} + \varepsilon_{DT}$
Exposto e com carregamento	$\varepsilon_{Total} = \varepsilon_{FS} + \varepsilon_{EL} + \varepsilon_{FB} + \varepsilon_{RA} + \varepsilon_{RS} + \varepsilon_{DT}$

As deformações sofridas pelos concretos resultam no surgimento de fissuras se as tensões impostas ao concreto forem superiores às suas tensões resistentes. Dentre as causas de deformações em concretos estão: retração por secagem, retração autógena, retração por carbonatação, retração plástica, variação de temperatura, fluência e expansão.

3.1 Processos de fissuração

O concreto sofrerá fissuras se for induzido a um nível de tensão superior à sua resistência à tração. Pode haver relação entre acréscimos de tensão e restrições causadas por atrito na base, engastamento nas extremidades e por deformações diferenciais entre o interior e a superfície do concreto (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

As fissuras nos concretos facilitam a deterioração, reduzem o desempenho do material e, geralmente, são originadas por um somatório de efeitos adversos. Quando os concretos estão submetidos a deformações, causadas por carregamentos ou por perda de água, e sofrem restrições surgem tensões que costumam gerar fissuras (MEHTA; MONTEIRO, 2008). Mesmo quando não são visíveis podem ser responsáveis pelo surgimento de tensões que diminuirão a resistência (SILVA; LIBORIO, 2007).

Determinar com precisão a causa de uma fissuração em um concreto requer que sejam conhecidos alguns aspectos como espessura, profundidade, orientação e idade do concreto quando do surgimento da fissura.

Quanto às aberturas das fissuras quando estas são menores do que 0,05 mm são denominadas microfissuras (CÁNOVAS, 1988). As fissuras podem ainda ser classificadas quanto à estabilidade da abertura, sendo chamadas de fissuras vivas quando ainda sofrem variações e fissuras mortas quando há estabilidade de dimensões.

Para que as microfissuras sejam visualizadas com mais facilidade pode-se fazer a molhagem da superfície que se deseja analisar. No processo de secagem da superfície as partes fissuradas se destacarão, pois nestes pontos o tempo de secagem é maior que em outras áreas. Dependendo das dimensões dessas microfissuras e após seu tratamento, como por exemplo, com o enceramento, elas não serão observadas a olho nu, o que salvaguarda o aspecto estético.

Dentre os fenômenos que resultam em fissurações nos concretos estão as retrações que ocorrem tanto no estado plástico quanto no estado endurecido e estão relacionadas à diminuição de volume sem que ocorram carregamentos e se desenvolvem, principalmente, pela perda de água (PEREIRA; BAUER, 2007).

As retrações plásticas ocorrem no concreto no estado fresco (antes do início de pega) em decorrência da perda de água superficial. Quando o concreto está exposto às ações ambientais desfavoráveis (como vento, radiação solar e temperaturas elevadas) torna-se mais susceptível a sofrer retração plástica (TAVARES; GOMES; CARVALHO JÚNIOR, 2008). Portanto, para evitar esse tipo de retração deve-se proteger o concreto no estado fresco dessas ações.

Na fissuração por retração plástica, ilustrada na Figura 17, há perda em excesso da água de amassamento logo após o lançamento do concreto e essa perda resulta em fissuração (SOUZA; RIPPER, 1998). Em grandes superfícies é maior a ocorrência desse tipo de retração, que geralmente forma fissuras com paralelismo e com ângulos próximos a 45° (SOUZA; RIPPER, 1998).



Figura 17 - Fissuras por retração plástica. Fonte: MEHTA & MONTEIRO (2008).

Em planos com espessura constante as fissuras tendem a se distribuir de maneira uniforme e dispersa, sem orientação preferencial, como mostrado na Figura 18, (SOUZA; RIPPER, 1998). Quando as fissuras se cortam formando ângulos muito agudos é possível dizer que pelo menos uma delas ocorreu por retração plástica (MONTTOYA et al., 2001).



Figura 18 - Fissuras por retração. Fonte: SOUZA & RIPPER (1998).

Em planos com espessuras variáveis, como mostrado na Figura 19, as fissuras, surgem preferencialmente na direção da menor espessura (MONTTOYA et al, 2001).



Figura 19 - Fissuração por retração com direção preferencial. Fonte: MONTTOYA et al. (2001).

A ocorrência da retração plástica é favorecida pela exsudação, pela rápida evaporação da água, por dosagens ricas em cimento e altas relações água/cimento (MONTTOYA et al., 2001) e, as fissuras, surgem preferencialmente na direção da menor espessura (MONTTOYA et al, 2001). O surgimento de fissuras por retração plástica também é favorecido por velocidades de evaporação da água superiores a

1,0 kg/m², que podem resultar em fissuras variando de 0,1 mm a 3 mm com extensões que pode chegar a 1 m (NEVILLE, 1997).

Para evitar o surgimento de retração plástica é imprescindível fazer a cura adequada dos concretos. Tal fato é mostrado nos gráficos da Figura 20, que faz uma comparação entre a retração plástica em concretos curados e não curados para diferentes incidências de vento. Na figura observa-se que o concreto curado tem retração plástica próxima a 15% da retração que ocorreu no concreto não curado.

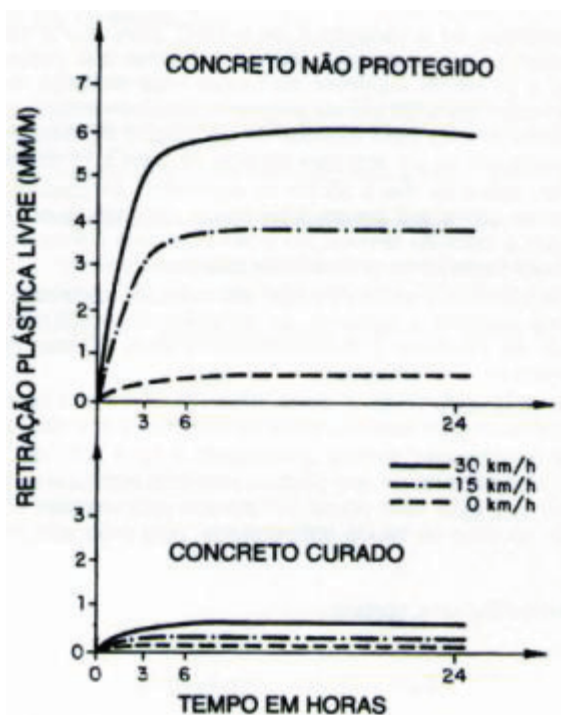


Figura 20 - Retração em concretos curados e não curados. Fonte: CÁNOVAS (1988).

Costuma-se dar acabamento às superfícies com desempenadeira de aço e/ou sarrafo e tal procedimento quando em excesso resulta em exsudação elevada, o que influencia no surgimento de fissuras (PEREIRA; BAUER, 2007). Esse tipo de fissura é chamado de gretamento e ocorre com mais frequência em placas de concreto, em concretos com altos consumos de cimento e em concretos que não tiveram a cura adequada (NEVILLE, 1997). As fissuras geralmente ocorrem em até 7 dias após a execução (NEVILLE, 1997). Essas fissuras são superficiais, atingindo no máximo a espessura da camada que promove uma zona de transição entre a desempenadeira e a parte não afetada.

Quando o concreto é vibrado excessivamente, ou quando há falta de coesão da mistura, ocorre segregação dos agregados com relação à pasta de cimento, há perda de homogeneidade entre os materiais e forma-se uma superfície rica em cimento que aumenta a possibilidade de fissuração (CÁNOVAS, 1988). Esse fenômeno é ilustrado na Figura 21.

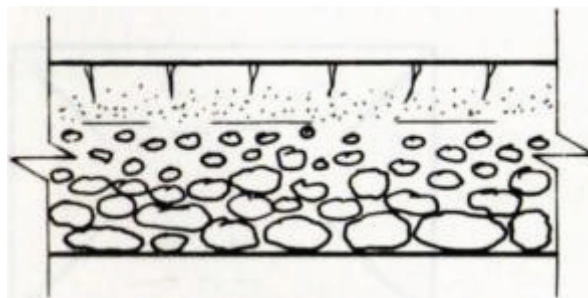


Figura 21 - Fissuração por efeito de segregação. Fonte: CÁNOVAS (1988).

A proporção e a granulometria dos agregados interferem na durabilidade das estruturas de concretos. No caso do emprego de agregados graúdos em excesso essa prática pode resultar na formação de microfissuras na interface entre a pasta de cimento e o agregado, como mostrado na Figura 22, que desencadeiam a perda de resistência mecânica ao longo do tempo (aos 28 dias menor do que aos 7 dias) (CÁNOVAS, 1988).

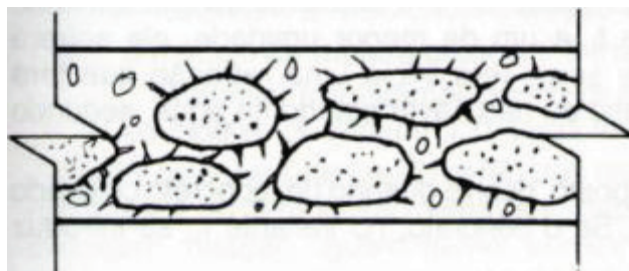


Figura 22 - Fissuração por excesso de agregado graúdo. Fonte: CÁNOVAS (1988).

A movimentação de formas quando o concreto ainda está no estado plástico interfere na estabilidade dimensional do elemento concretado. Descolamentos de formas em quaisquer sentidos podem levar o concreto à fissuração, como mostrado

na Figura 23, em que no caso (a) ocorre um deslocamento vertical e no caso (b) ocorre um deslocamento lateral no sentido horizontal.

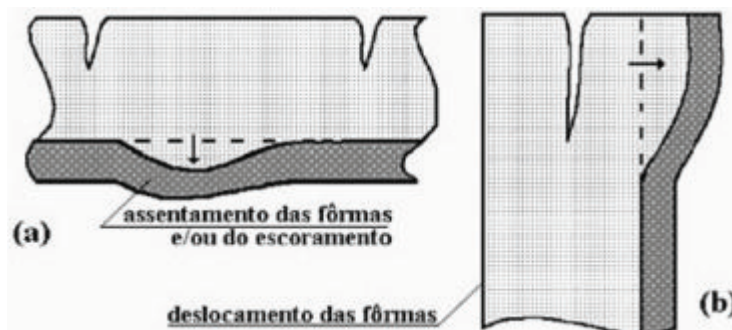


Figura 23 - Fissuras por movimentação de formas. Fonte: SOUZA & RIPPER (1998).

Os materiais utilizados nas formas e escoramentos devem ser definidos de forma a suportarem as solicitações tanto verticais como horizontais do concreto quando moldado. Tal procedimento evita que ocorram deslocamentos de escoramentos e formas por capacidade resistente de formas e/ou escoramentos inferior ao peso próprio do concreto.

A retração autógena é um tipo de retração que ocorre em todos os concretos, em especial nos que têm altos consumos de cimento aliados a baixas relações a/c. Esse tipo de retração também é conhecido como auto-secagem, ocorre sem troca de umidade com o meio externo, e se desenvolve após a pega (NEVILLE, 1997). Ocorre quando a água presente nos poros capilares da pasta de cimento é removida pela hidratação das partículas de cimento ainda não hidratadas (NEVILLE, 1997).

Pode-se tratar a retração autógena como retração causada por secagem quando forem avaliadas retrações em concretos que não possuam baixas relações a/c e que não sejam em estruturas de concretos massa (NEVILLE, 1997).

A ação da carbonatação em estruturas de concreto armado pode desencadear a formação de fissuras. A carbonatação do concreto ocorre quando o CO_2 presente no ambiente, mesmo em pequenas concentrações, reage com os componentes da pasta de cimento hidratada formando CaCO_3 e outros compostos como sílica, alumina e óxido de ferro hidratados (NEVILLE, 1997). Quando há carbonatação o valor do pH da água dos poros do concreto, que varia entre 12,6 e

13,5, diminui para cerca de 9 (NEVILLE, 1997). Essa redução do pH será tanto maior quanto mais alta for a concentração de CO_2 (SOUZA, RIPPER, 1998).

Valores de pH altos são adequados para manterem a camada de passivação entre o aço e a pasta de cimento, porém, quando a carbonatação, que reduz o pH, atinge armadura do concreto a camada de passivação é destruída e pode ocorrer a corrosão do aço (NEVILLE, 1997). A deterioração da camada passivante pela ação da carbonatação do concreto, que é ilustrada na Figura 24, pode levar o concreto à fissuração.

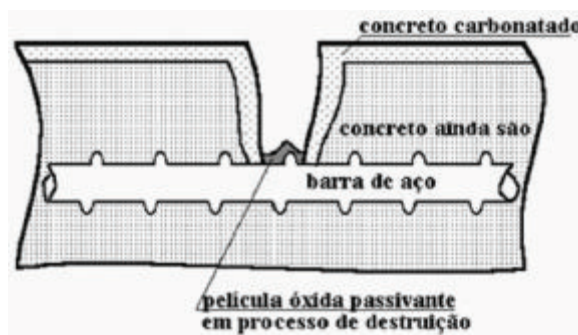


Figura 24 - Carbonatação atingindo a armadura. Fonte: SOUZA & RIPPER (1998).

A carbonatação é dificultada em umidades extremas, pois com o concreto saturado é impossibilitada a reação do dióxido de carbono com a pasta de cimento hidratada e em baixas umidades essa reação será muito lenta (DAL MOLIN; HELENE, 1988). Portanto, umidades entre 40% e 80% são as que mais favorecem a ocorrência da carbonatação (DAL MOLIN; HELENE, 1988).

A fluência é o fenômeno parcialmente reversível no qual o concreto se deforma ao longo do tempo em decorrência de um carregamento constante. Pode ocorrer sem mudança de umidade relativa do ambiente, fluência básica, ou com diminuição da umidade relativa do ambiente, fluência de secagem (HELENE; ANDRADE, 2007).

NEVILLE (1997) descreve alguns fatores que devem ser considerados para a análise da fluência, como: módulo de elasticidade dos agregados, porosidade dos agregados, resistência do concreto, propriedades do cimento, umidade relativa do ar e temperaturas extremas. O autor destaca ainda que quanto maior for a resistência do concreto menor será a fluência.

A reação entre álcalis e íons hidroxila da pasta de cimento com minerais silicosos dos agregados, reação álcali-agregado, ocorre principalmente em locais com alta umidade e pode ocasionar exsudação, expansão e fissuração de concretos (MEHTA; MONTEIRO, 2008). A perda de aderência na interface entre os agregados e a pasta de cimento ocorre quando o gel de álcali-silicato formado pela reação se desenvolve na superfície do agregado e altera esta camada superficial (NEVILLE, 1997).

Uma das características da reação álcali-agregado é o aumento de volume da pasta, que leva a uma expansão prejudicial. Por tal motivo os agregados, principalmente quando oriundos de novas fontes de extração devem ser analisados quanto à presença de sílica ativa finamente dividida (BAUER, 1995). Dentre os agregados considerados reativos estão certas formas de quartzo, vidros silicosos sintéticos, calcários silicosos e dolomitos silicosos (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

As fissuras por expansão ocasionadas por reações álcali-agregado podem ocorrer em idades avançadas (superiores a cinco anos), comumente em configurações de mapas e podem ter grandes extensões (SILVA; LIBORIO, 2007). Esse tipo de configuração em fissuras por reações álcali-agregado é mostrado na Figura 25.



Figura 25 - Fissuras por reações álcali-agregado³.

A retração por secagem, também conhecida como retração hidráulica, ocorre no estado endurecido e é consequência da perda de água do concreto para o meio

³ Documento fotográfico sem registro da origem

externo. Desenvolve-se após a exsudação e resulta no surgimento de meniscos em capilares de maiores dimensões, sendo perdidas nesse processo água livre e água adsorvida (LIMA; LIBORIO, 2008). No caso da água livre esta pode ser perdida em umidades relativas do ar em torno de 30% (SILVA; LIBORIO, 2002).

A retração por secagem ocorre mais facilmente em concretos convencionais, que têm redes de capilares mais interligadas e com espessuras maiores, do que em concretos de alto desempenho, que geralmente têm suas redes capilares pouco interligadas e menos espessas (TAVARES; GOMES; CARVALHO JÚNIOR, 2008). Esse tipo de retração é influenciado pela relação a/c e pelo grau de hidratação dos compostos do cimento, pois são fatores que estão diretamente ligados à formação dos poros e à quantidade de água neles presente (SILVA; GLEIZE, 2011). As fissuras causadas por esse tipo de retração são exemplificadas na Figura 26.



Figura 26 - Fissura de retração por secagem a longo prazo⁴.

Quando as diferenças térmicas entre a superfície e o interior do concreto são elevadas, geralmente superiores a 20°C, aumenta-se a possibilidade de fissuração (CÁNOVAS, 1988). Essas fissurações podem ser causadas por expansões ou retrações térmicas e têm formas características como as mostradas na Figura 27, sendo que para peças solidarizadas aos substratos, com pequenas espessuras e grandes extensões, essas variações de temperatura podem levar a formação de fissuras mais rapidamente.

⁴ Fonte: Degussa Construction Chemicals - MBT.



Figura 27 - Fissura por movimentação térmica⁵.

Na Figura 28 é mostrado o comportamento de uma placa em concreto sofrendo o efeito da diferença de temperatura nas superfícies superior e inferior. Essas diferenças térmicas podem provocar o empenamento da peça, que tem intensidade dependente de características como espessura e módulo de elasticidade. Esse empenamento pode desencadear o processo de fissuração.

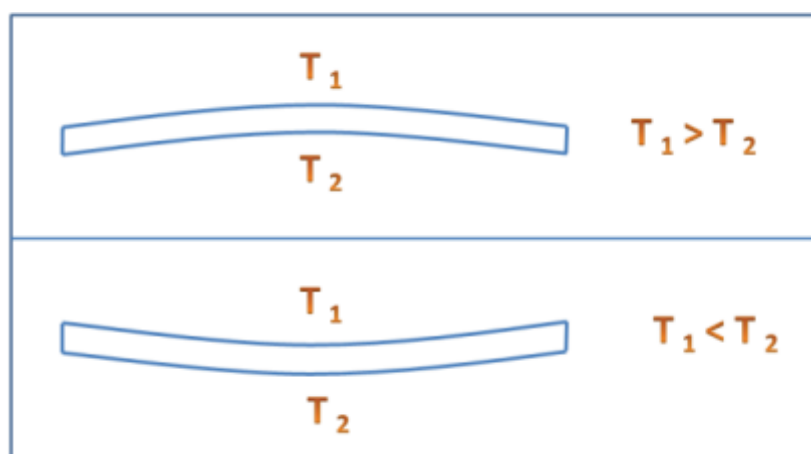


Figura 28 - Efeito das variações de temperatura superior e inferior em peça de concreto.

Peças que tenham menores espessuras e maiores módulos de elasticidades tendem a propagar as fissuras, estendendo-as por toda a espessura.

Quando concretos são submetidos a temperaturas muito baixas e nesses concretos há a presença de água em fissuras ou condutos, ocorrendo o

⁵ Fonte: Degussa Construction Chemicals - MBT.

congelamento dessa água, o concreto estará susceptível à fissuração (CÁNOVAS, 1988).

Quando ocorrem incompatibilidades dimensionais entre os projetos da base que receberá o revestimento e o granilite, podem ser criadas situações, como a ilustrada na Figura 29, que criam caminhos preferenciais de fissuração. Neste exemplo o projeto do dimensionamento dos quadros em granilite não considerou a localização das juntas de dilatação já existentes na base. No caso, quadros de granilite estão centralizados sobre a junta de dilatação da base, fato que potencializou o surgimento de fissuras. Contudo, mesmo que o projeto de dimensionamento esteja adequado, ocorrerão fissuras no granilite se o revestimento estiver solidarizado à base.

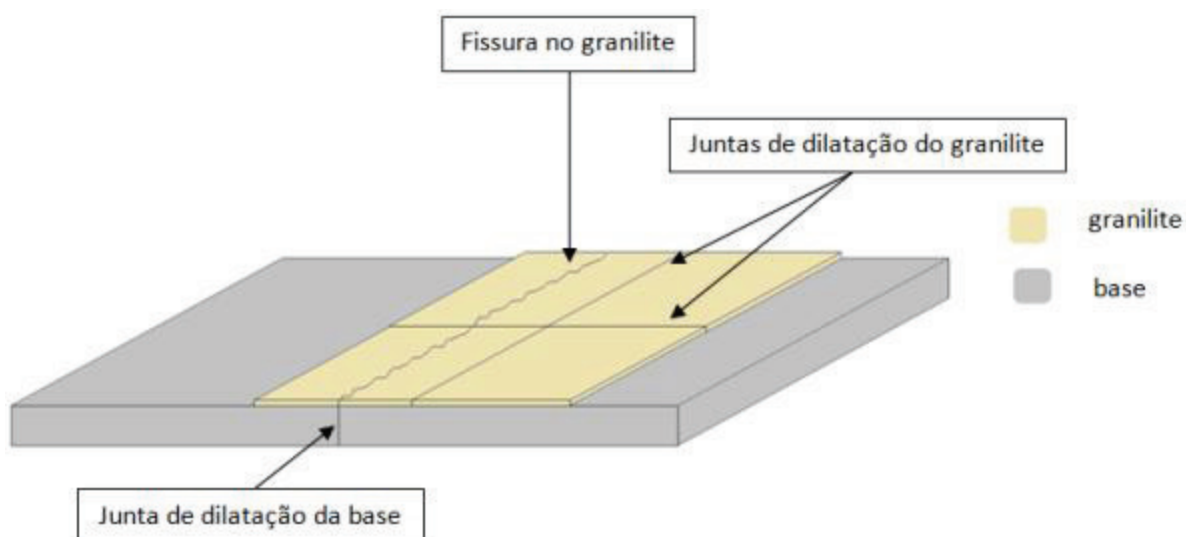


Figura 29 - Exemplo de posicionamento inadequado de quadro de granilite sobre base com junta de dilatação.

Assim como as juntas de dilatação utilizadas nos revestimentos as juntas empregadas nas bases podem ser dos mais diversos tipos de materiais (plásticas, metálicas, de madeira etc.). Dependendo da junta utilizada na base pode ocorrer variação dimensional da junta, como no caso de juntas de madeira que podem retrair, o que levará o granilite a fissurar por inadequado posicionamento de juntas de dilatação.

3.2 Solidarização

Quando os revestimentos em granilite estão aderidos ao substrato ocorre a solidarização. Nesse sistema tanto perturbações ocasionadas pelo substrato como pelo próprio granilite, como retrações, podem gerar tensões na interface que levarão à formação de fissuras que podem se prolongar tanto do granilite para o substrato quanto do substrato para o granilite.

De acordo com BORTOLUZZO & LIBORIO (2000) quando dois materiais têm solidarização perfeita e um deles fissura essa fissura inicial se propagará no material monolitizado. Esse fato se dá, pois quando dois materiais estão solidarizados e um deles sofre fissuração é imposto ao outro uma deformação, porém o comprimento deformado é nulo, conseqüentemente, o valor de deformação é infinito, o que impõe a necessidade de um módulo de deformação nulo (que não existe) para a camada monolitizada à fissurada não fissurar.

Na Figura 30 um sistema base/revestimento é esquematizado de forma a ilustrar como ocorrem as fissurações por solidarização.

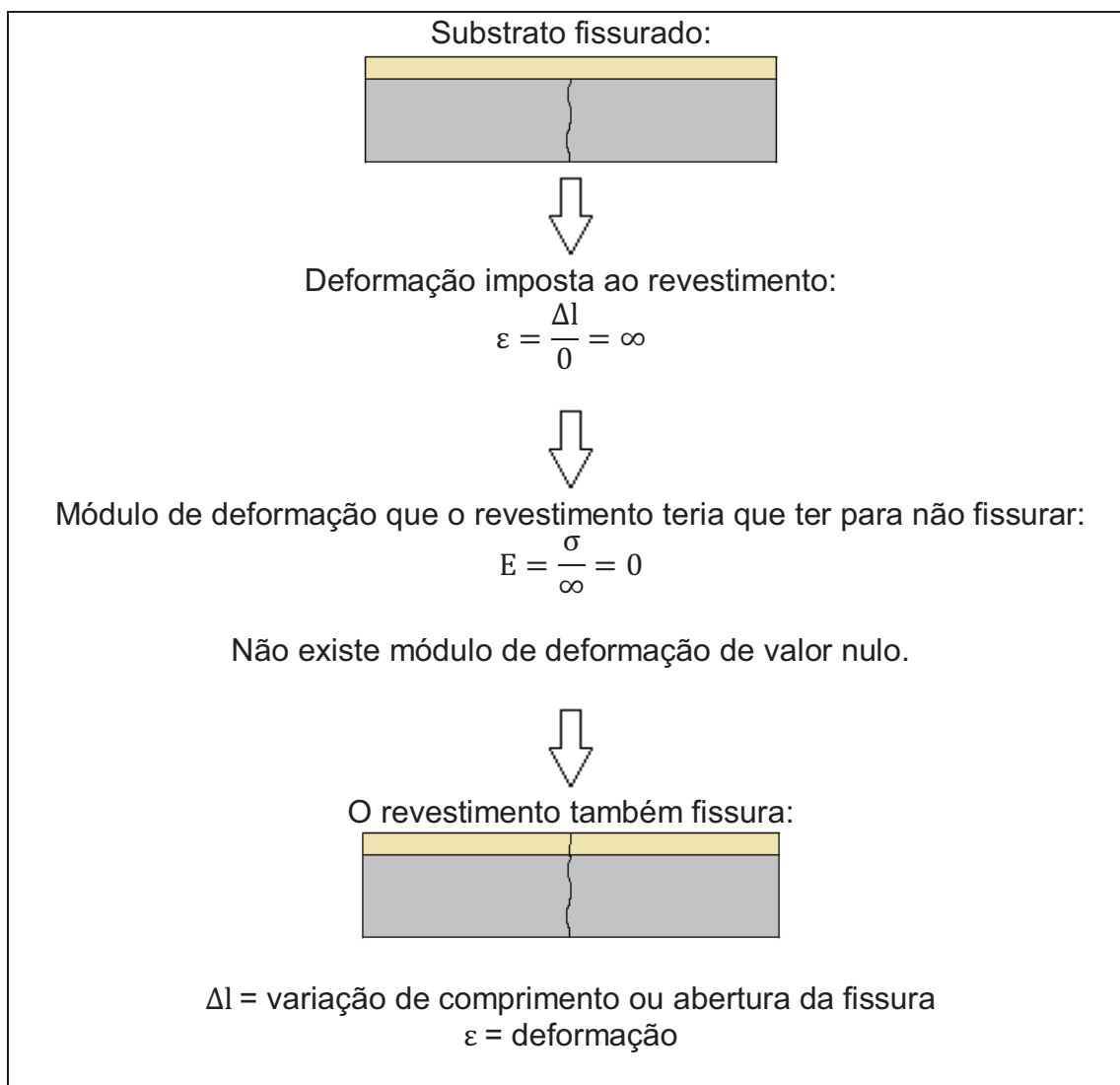


Figura 30 - Sequência do mecanismo de fissuração em revestimento solidarizado.

OLIVEIRA & PINHEIRO (2000) demonstram o comportamento de placas de concreto submetidas à deformação restringida pela ação de esforços de reação, como mostrado na Figura 31. Esse comportamento pode ser atribuído também aos revestimentos solidarizados que, por qualquer motivo, sofram variações volumétricas.

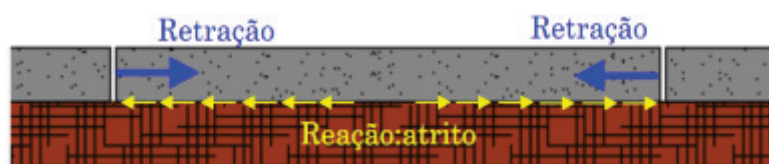


Figura 31 - Reação à tendência de retração em placa de concreto. Fonte: OLIVEIRA & PINHEIRO (2000).

3.3 Dessolidarização

Os painéis em granilite podem ter uma maior dimensão útil se for ampliada a possibilidade de movimentação da estrutura, que geralmente tem as deformações restringidas pela base. Essa capacidade de deformação não restringida é conseguida com o emprego de um sistema revestimento/base dessolidarizado, sendo obtida a dessolidarização através da utilização de uma camada intermediária, entre o revestimento e a base, composta por um material que não restrinja nem imponha deformações ao revestimento. Para tanto é necessário que os módulos de deformação dos materiais justapostos tenham uma diferença significativa.

A ilustração de uma dessolidarização é mostrada na Figura 32, onde o granilite não foi moldado diretamente sobre o substrato. Neste caso um terceiro material é colocado entre eles de maneira que não sejam transmitidas ao granilite possíveis fissuras do substrato e nem sejam restringidas as variações volumétricas do granilite.

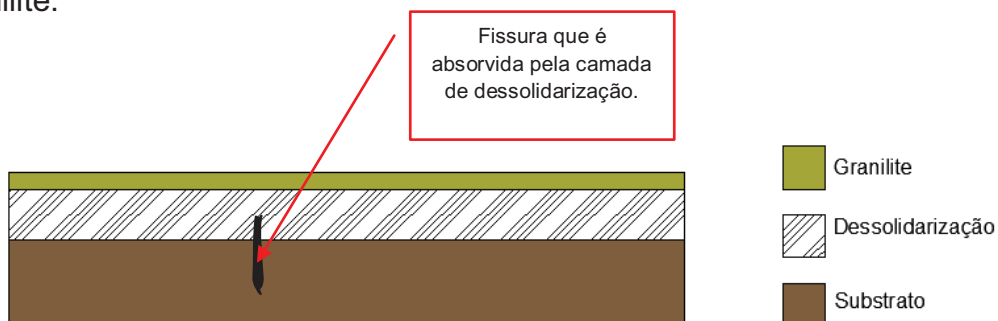


Figura 32 - Revestimento em granilite dessolidarizado.

Como camada de dessolidarização para revestimentos em granilite pode ser utilizada uma argamassa mista de baixo módulo de elasticidade com espessura mínima de 30 mm, para que não ocorra continuidade de fissuras ou que absorva possíveis fissuras do substrato, sendo que essa espessura advém de práticas de execução de contrapisos.

3.3.1 Argamassas mistas

São denominadas argamassas mistas as argamassas que possuem em sua composição mais de um tipo de aglomerante. No caso das argamassas mistas de cimento Portland e cal hidratada, de maneira geral, podem-se atribuir ao cimento Portland e a cal hidratada as seguintes funções principais:

- cimento Portland: ganho de resistência mecânica;
- cal hidratada: maior capacidade de retenção de água, maior trabalhabilidade, aumento na deformabilidade e menor módulo de elasticidade.

A reação do hidróxido de cálcio proveniente da cal com o anidrido carbônico do ar gera carbonato de cálcio hidratado, atribuindo resistência mecânica à argamassa – processo de carbonatação. Porém, para argamassas com baixos teores de cal o cimento é o principal responsável pelo ganho de resistência mecânica e a cal atua, principalmente, como retentora de água para a hidratação do cimento (BORTOLUZZO; LIBORIO, 2000). Segundo QUARCIONI & CINCOTTO (2008), a cal hidratada quando adicionada à pasta de cimento reduz a resistência mecânica proporcionalmente ao aumento dessa adição, visto que o cimento na mistura está diretamente relacionado à formação de C-S-H.

De acordo com GUIMARÃES (2002) a adição de cal às argamassas contribui para:

- tornar o ambiente mais asséptico;
- melhorar a isolamento térmica pela maior refletibilidade;
- melhorar a resistência à penetração da água;
- uma maior retenção de água;
- uma maior plasticidade;
- a reconstituição autógena das fissuras;
- pequena variação volumétrica.

A retenção de água é a capacidade que a argamassa tem de reter a água de amassamento, impedindo que fatores externos ocasionem perda dessa água. Deve permitir que a argamassa mantenha sua trabalhabilidade durante a aplicação e que a hidratação dos compostos ocorra completamente (BORTOLUZZO; LIBORIO, 2000).

A retenção de água para argamassas de assentamento e revestimento de paredes e tetos é normalizada pela ABNT NBR 13277:2005. Nesse ensaio, mostrado na Figura 33, a argamassa é submetida a uma sucção de 51 mm de mercúrio durante 15 minutos e é medida a quantidade de água retida.



Figura 33 - Ensaio de retenção de água. Fonte: DAS CHAGAS, BEZERRA & BAUER (2009).

A elasticidade nas argamassas de assentamento é uma propriedade muito importante para que possam ser suportadas as tensões impostas na interface com a base (BORTOLUZZO; LIBORIO, 2000).

Segundo BORTOLUZZO & LIBORIO (2000) as argamassas no estado fresco podem ser classificadas, de acordo com a consistência, em:

- consistência seca: os grãos ficam em contato e a pasta somente preenche os vazios entre eles, o que pode ocorrer de forma parcial, apresenta baixa trabalhabilidade e baixa coesão;

- consistência plástica: a quantidade de pasta é suficiente para envolver os grãos, que ficam bem aderidos e lubrificados, tem boa trabalhabilidade, baixo coeficiente de atrito entre os grãos;
- consistência fluida: tem quantidade excessiva de pasta, não é coesa, tem tendência à exsudação.

Na Figura 34 são ilustrados os comportamentos de argamassas quando apresentam as consistências seca, plástica e fluida.

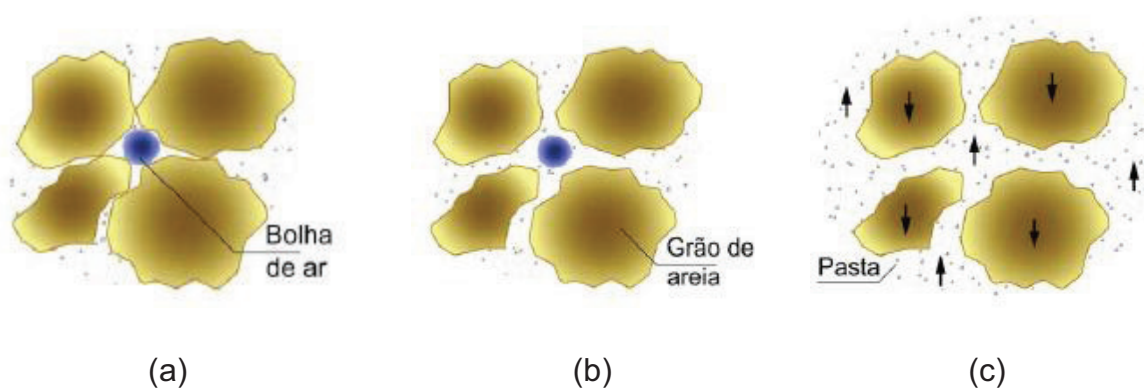


Figura 34 - Consistências das argamassas. (a) consistência seca; (b) consistência plástica; (c) consistência fluida. Fonte: adaptado de CARASEK (2007).

Quando são produzidas argamassas com cal a cura deve ser diferente da empregada para argamassas que têm como aglomerante somente o cimento Portland. Essa diferença ocorre porque a cal é um aglomerante aéreo e seu endurecimento depende da carbonatação, devendo a cura em argamassas mistas se prolongar por apenas 1 dia.

3.3.1.1 Cal hidratada

A cal é um produto de grande consumo mundial e está inserida em diversos ramos dentre eles na construção civil. É proveniente da calcinação de rochas calcárias e dolomíticas e tem suas propriedades alteradas pelas características das rochas utilizadas como matérias-primas e pelo processo de fabricação.

A cal hidratada é um aglomerante aéreo, diferentemente do cimento Portland que é um aglomerante hidráulico. No Brasil este produto é subdividido em três tipos de cales: CH – I, CH – II e CH – III, sendo que segundo a ABNT NBR 7175:2003 para esta classificação devem ser respeitadas as características químicas, Tabela 8, e físicas, como a retenção de água, que deve ser igual ou superior a 75% para as cales CH – I e CH – II e maior ou igual a 70% para a cal CH – III, além de exigências em relação à finura, incorporação de areia, estabilidade e plasticidade.

Tabela 8 - Requisitos químicos para as cales. Fonte: ABNT NBR 7175 (2003).

Compostos		Limites		
		CH - I	CH – II	CH – III
Anidrido carbônico (CO ₂)	Na fábrica	≤ 5 %	≤ 5%	≤ 13 %
	No depósito	≤ 7 %	≤ 7%	≤ 15%
Óxidos de cálcio e magnésio não hidratado calculado (CaO+MgO)		≤ 10 %	≤ 15 %	≤ 15 %
Óxidos totais na base de não-voláteis (CaO _t + MgO _t)		≥ 90 %	≥ 88 %	≥ 88 %

Como pode ser visto na tabela mostrada acima as cales hidratadas têm graus de pureza decrescentes na seguinte ordem: CH I, CH II e CH III. Portanto, a escolha da cal do tipo CH I é favorável ao melhor aproveitamento das propriedades da cal em argamassas mistas.

4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Com o objetivo de estudar os processos de fissuração nos revestimentos em granilite e desenvolver um método de execução no qual esse tipo de patologia não ocorresse foram elaborados três quadros em granilite com diferentes características, que se dão no dimensionamento dos quadros e na modificação dos sistemas de ligação do revestimento com o substrato. Os quadros foram denominados de Quadro I, Quadro II e Quadro III.

Segue abaixo a descrição dos três modelos de revestimentos em granilite produzidos nesta pesquisa:

- Quadro I:

Tipo de revestimento:	revestimento em granilite
Espessura do revestimento:	9 mm
Substrato:	Solidarizado
Espessura do substrato:	30 mm (regularização)
Dimensão:	16 m ² (4 m x 4 m)

- Quadro II:

Tipo de revestimento:	revestimento em granilite
Espessura do revestimento:	9 mm
Substrato:	Dessolidarizado
Espessura do substrato:	130 mm (regularização e base)
Dimensão:	16 m ² (4 m x 4 m)

- Quadro III:

Tipo de revestimento:	revestimento em granilite
Espessura do revestimento:	9 mm
Substrato:	Solidarizado
Espessura do substrato:	130 mm (regularização e base)
Dimensão:	2,25 m ² (1,5 m x 1,5 m)

Obs.: O Quadro III é composto por quatro quadros delimitados por juntas de dilatação, portanto, tem dimensão total de 9 m².

Os quadros com dimensões de 16m² reproduziram dimensões usuais de ambientes construídos (como salas e quartos), executando-se os revestimentos sem juntas de dilatação. A diferença significativa que apresentam em relação às dimensões comumente utilizadas em revestimentos em granilite contribui para avaliar o comportamento do granilite sob dimensões extremas.

O Quadro I e o Quadro III são modelos de revestimentos em granilite solidarizados à base. Diferem entre si pelas extensões dos quadros, sendo que o primeiro tem 16 m² e o segundo reproduz dimensões próximas às médias comumente utilizadas no dimensionamento dos quadros em granilite, que são de 2,25 m². As espessuras dos sistemas revestimento/substrato também variam e são de 39 mm para o Quadro I e 139 mm para o Quadro III, valores médios.

A produção dos dois quadros solidarizados apresentados acima visou à análise do comportamento mecânico dos revestimentos em granilite frente aos dimensionamentos estipulados. O Quadro I tem dimensão superior as usuais e o Quadro III reproduz os procedimentos que geralmente são empregados para a produção de revestimentos em granilite, delimitados por juntas de dilatação de lados em torno de 1,5 m.

O Quadro II é composto por um pano de revestimento de 16 m² (superior a sete vezes o tamanho dos quadros usuais) dessolidarizado pela utilização de argamassa mista como camada de regularização, moldada entre o revestimento e a base de concreto. Neste quadro o sistema revestimento/substrato é composto por granilite, argamassa mista e base de concreto.

Adotou-se como premissa a moldagem dos quadros em uma situação de exposição extrema, isto é, em ambiente desprotegido, sob ação de vento, chuva e variações térmicas de acordo com o ambiente.

4.1 Procedimentos preliminares à execução dos quadros

Antes da execução dos modelos foram caracterizados os materiais utilizados na produção do granilite e da argamassa mista de dessolidarização. Para o granilite além de caracterizados os agregados e os cimentos Portland, foi empregada a técnica de empacotamento de agregados. Nesta etapa foi realizada a escolha da dosagem adequada para a argamassa de dessolidarização.

4.1.1 Dosagem do granilite

Para avaliar o comportamento de granilites comercialmente encontrados foi utilizado nesta pesquisa um granilite com as especificações de dosagem comumente empregadas por empresas que executam esse tipo de revestimento. Procedeu-se desta forma para que fosse mantida a composição usual do produto, assim não gerando dúvidas quanto ao comportamento dos sistemas solidarizado e dessolidarizado em granilites convencionais.

Foi reproduzido um granilite com o traço 1:1,971:0,461 (cimento:agregados:água), sendo utilizados dois tipos de agregados (G1 e G2), granitos com granulometrias diferentes.

Como não havia proporções fixas entre as duas granilhas, variando na prática de 30% a 50% (valores estipulados empiricamente), foi empregada a técnica de empacotamento de agregados para que fosse utilizada uma proporção que resultasse no menor índice de vazios. Adotando a melhor proporção entre os agregados, após o empacotamento, o traço final obtido foi 1:0,985:0,985:0,461 (cimento:G1:G2:água).

A técnica de empacotamento de agregados foi desenvolvida da seguinte maneira:

- Partiu-se de 100% do agregado G1, de maior dimensão máxima característica ($\phi_{\text{máx}} = 4,75 \text{ mm}$);
- Foi medida a massa unitária compactada desse agregado;
- Sucessivos acréscimos do agregado G2, de menor dimensão máxima característica ($\phi_{\text{máx}} = 2,36 \text{ mm}$), foram realizados de forma a tornar as proporções 10% mais distantes a cada adição;
- A massa unitária compactada para cada proporção foi medida;
- Gerou-se o gráfico da Figura 35, a partir desses resultados (massa unitária compactada x proporção de G2 em relação a G1);
- Encontrou-se a proporção ideal entre os agregados, a que resultou no menor índice de vazios, ou seja, que teve a maior massa unitária compactada, que no caso foi de 50% do agregado G1 e 50% do agregado G2.

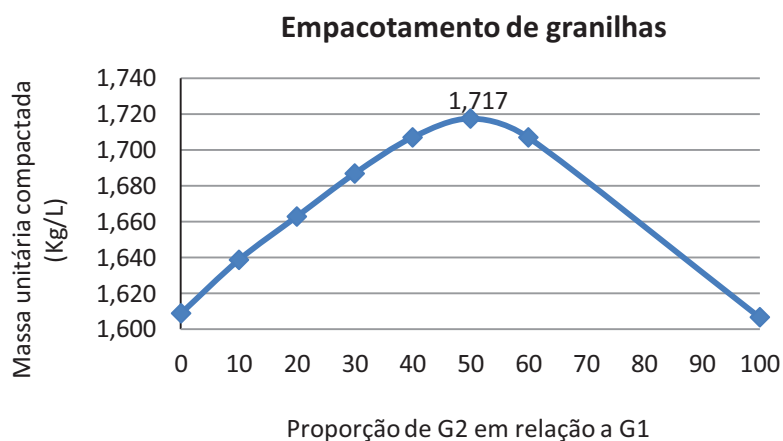


Figura 35 - Empacotamento das granilhas G1 e G2.

As massas específicas dos agregados G1 e G2 foram calculadas de acordo com a ABNT NBR NM 52:2009 e resultaram em $2,825 \text{ g/cm}^3$ e $2,822 \text{ g/cm}^3$, respectivamente.

Realizou-se uma composição entre os cimentos CP V ARI FÁCIL e CP III 40 RS, com 50% de cada cimento, esses dois cimentos da marca Holcim, com o objetivo de ser obtida uma mistura com rápido ganho de resistência mecânica e que gerasse menor calor de hidratação.

4.1.2 Dosagem da argamassa mista

A argamassa mista foi desenvolvida de modo que pudesse ser utilizada como camada de dessolidarização em revestimentos em granilite, tendo baixo módulo de elasticidade e ganho rápido de resistência mecânica, em vista do tempo de execução dos granilites. Para isso foram utilizados nesta pesquisa dois tipos de aglomerante: cimento Portland CP V ARI RS da marca Holcim e cal hidratada CH I produzida pela empresa Cobrascal. Utilizou-se uma areia de dimensão máxima característica de 0,6 mm, ensaiada de acordo com a ABNT NBR 7211:2009.

No cimento CP V ARI RS o ganho de resistência mecânica é rápido e esse fator contribui para uma maior velocidade no processo produtivo, o que é muito almejado principalmente na execução de estruturas pré-moldadas. Além disso, esse tipo de cimento é resistente a sulfatos, portanto são ampliadas suas possibilidades de utilização já que pode ser empregado em meios agressivos.

Para a escolha da cal hidratada foram analisadas as propriedades físicas e químicas relacionadas às cales CH I, CH II e CH III. Optando-se pela cal do tipo CH I por ter alta capacidade de retenção de água e menores quantidades de óxidos de cálcio e magnésio não hidratado, em comparação com os outros dois tipos. Esses dados foram verificados através da ABNT NBR 7175:2003, que determina requisitos para as cales hidratadas.

Para a escolha da dosagem adequada foram consideradas as propriedades das argamassas tanto nos estados fresco como endurecido. Foram ensaiados seis traços de argamassas com diferentes proporções entre os materiais, sendo que todos tinham índice de consistência de 250 mm, objetivando-se uma argamassa trabalhável e coesa.

No ensaio de índice de consistência, realizado de acordo com a ABNT NBR 7215:1996, foi medido o espalhamento da argamassa moldada em cone de base inferior de $125 \pm 0,5$ mm e base superior de $80 \pm 0,5$ mm, após terem sido dados

golpes nas camadas de moldagem de modo decrescente (15 golpes para a 1ª camada, 10 golpes para a 2ª camada e 5 golpes para a 3ª camada), retirado o molde e realizadas 30 quedas na mesa de consistência (girando a manivela) em aproximadamente 30 segundos.

A primeira série de traços foi composta por três traços com as proporções entre os aglomerantes de 1:1 (cimento:cal hidratada), em massa, e a segunda série foi composta por traços com proporções entre os aglomerantes de 1:0,5 (cimento:cal hidratada), em massa.

O traço escolhido para ser utilizado no Quadro II foi o traço 1:0,5:6,0:1,13 (cimento:cal hidratada:agregado:água), em massa. Esse traço apresentou retenção de água de 89,09%, ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR 13277:2005, e resistência à compressão aos 28 dias de 10,5 MPa, como mostrado na Tabela 9.

Tabela 9 - Argamassa de dessolidarização.

Argamassa de dessolidarização	
a/c: 1,13	
Índice de consistência: 250 mm	
Idade (dias)	Resistência à compressão (MPa)
3	5,5
7	8,0
28	10,5

4.2 Execução dos revestimentos em granilite

O tempo necessário para a execução dos revestimentos em granilite foi de seis dias e os procedimentos realizados são os que seguem:

- 1º dia: execução das argamassas de regularização;
- 2º dia: moldagem do granilite nos quadros e cura;

- 3º e 4º dias: cura do granilite;
- 5º dia: procedimentos de polimento e calafetagem;
- 6º dia: procedimentos de polimento e acabamento.

Tanto os modelos solidarizados como o dessolidarizado de revestimentos em granilite foram executados sobre uma base de concreto de 100 mm de espessura, executada cinco meses antes da execução dos revestimentos. Nos Quadros II e III esta base estava com a superfície áspera, com reentrâncias, enquanto no Quadro I tinha a superfície lisa.

O primeiro passo na execução dos revestimentos foi a regularização (nivelamento) das bases com o emprego de argamassas. Nos quadros I e III foi utilizado um tipo de argamassa usual nas práticas de execução de regularizações e no Quadro II foi utilizada a argamassa mista de dessolidarização desenvolvida nesta pesquisa.

Nos quadros I e III foi utilizada uma argamassa de regularização de traço 1:2:0,427 (cimento:areia:água) com o mesmo cimento utilizado na argamassa mista (CP V ARI RS) e dois tipos de areia, uma com $\phi_{\text{máx}} = 2,36$ mm e outra com $\phi_{\text{máx}} = 0,3$ mm em proporções de 70% e 30%, respectivamente, e cujo objetivo foi manter a continuidade do substrato. No Quadro I, antes da execução da regularização aplicou-se uma cola resina sintética, copolímero compatível com o cimento, dita de alto desempenho pelo fabricante, que também proporcionaria excelente aderência das argamassas aos mais diversos substratos, conforme chamada comercial e, que tem sido utilizada pelos usuários na fabricação de pisos em granilite.

Primeiramente todos os quadros foram limpos e foi aspergida água sobre eles, para evitar sucção excessiva de água das argamassas pelo substrato. Realizou-se as regularizações dos quadros I e III com espessuras médias de 30 mm.

A Figura 36 mostra a regularização executada no Quadro III.



Figura 36 - Regularização no Quadro III.

Na sequência foi realizada a regularização no Quadro II com argamassa mista de dessolidarização com espessura média de 30 mm, Figura 37. Nesse quadro constatou-se que, após a aplicação do taliscamento para execução do nivelamento da argamassa, haviam regiões que se encontravam com espessuras menores que 30 mm, porém as espessuras não seriam menores que 15 mm.

Em função da disponibilidade de tempo para a execução dos ensaios, manteve-se essa região com espessura menor pois poderia dar uma ideia do comportamento dessas argamassas quando utilizadas em espessuras menores.



Figura 37 - Regularização do Quadro II com argamassa mista.

Após as regularizações, com as argamassas ainda no estado fresco, os três quadros foram frisados de maneira que a aspereza das superfícies contribuisse para a aderência entre as argamassas de regularização e o granilite. Esse procedimento

de finalização da regularização foi realizado com passadas de vassoura e sua execução no Quadro II é mostrada na Figura 38.



Figura 38 - Finalização da regularização no Quadro II.

No segundo dia de execução do revestimento novamente as superfícies foram limpas e umedecidas. As áreas dos revestimentos foram demarcadas (Figura 39), de modo que estas marcações fossem sobrepostas por juntas de dilatação.



Figura 39 - Delimitação das áreas dos revestimentos.

Após a marcação dos limites dos quadros foram fixadas as juntas de dilatação, neste caso juntas plásticas com altura de 9 mm. Realizou-se esse procedimento com o auxílio de régua metálica, para apoio das juntas, e com o emprego de microconcreto (mesma dosagem do granilite), sendo que nos encontros entre juntas não foi utilizado granilite para fixação, visando melhorar a aderência do granilite de revestimento. Esse procedimento é mostrado na Figura 40.

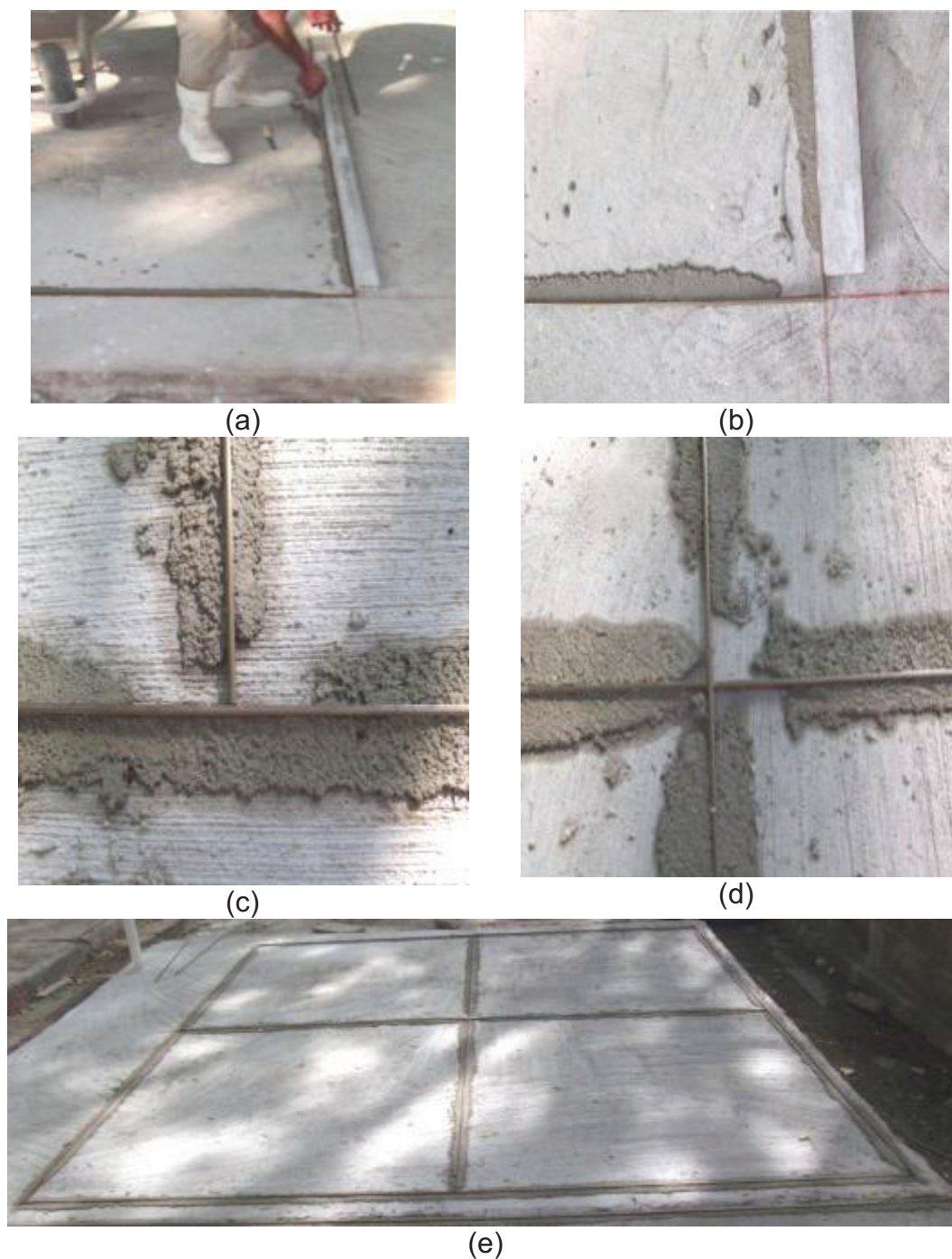


Figura 40 - Assentamento das juntas de dilatação. (a) assentamento de juntas; (b) detalhe de encontro de juntas em V; (c) encontro de juntas em T; (d) encontro de juntas em X; (e) Quadro III com as juntas de dilatação delimitando as áreas do revestimento.

Após a fixação das juntas de dilatação foi realizada a limpeza da base para que fossem retirados resíduos da superfície, que podem acarretar deslocamentos no granilite. O procedimento seguinte foi a aspersão de água sobre a superfície para que quando no estado plástico o granilite não perdesse água para o substrato.

Preparada a superfície partiu-se para a moldagem do granilite nos limites das juntas de dilatação. Para a moldagem foi utilizada régua metálica, que auxilia no espalhamento do granilite (Figura 41).



Figura 41 - Moldagem do Quadro I com granilite.

Após moldado e regularizado com régua metálica foi respeitado um tempo de espera de aproximadamente cinco minutos. Após esse tempo foi aspergida água sobre o granilite e foi realizado o acabamento com a desempenadeira de aço. Esses procedimentos são mostrados na Figura 42 e na Figura 43, respectivamente.



Figura 42 - Aspergimento de água sobre o granilite fresco.



Figura 43 - Acabamento do granilite com desempenadeira de aço.

O aspecto final do granilite com o acabamento no estado fresco é mostrado na Figura 44. Esta figura apresenta os três quadros produzidos nesta pesquisa, solidarizados e dessolidarizado.



Figura 44 - Quadros moldados com granilite (estado fresco).

O granilite foi curado com cura úmida fazendo-se a molhagem com água duas vezes por dia durante três dias a contar o dia da execução do revestimento. No

primeiro dia de cura o granilite foi molhado assim que se observou o fim de pega, para que não ocorresse carreamento de material. Após a molhagem o granilite era coberto com lona plástica para que fosse evitada a rápida evaporação da água, com a incidência de ventos e elevadas temperaturas.

Com o granilite com idade de três dias foi iniciado o processo de polimento (com duração de dois dias). Para os polimentos foram utilizadas máquina politriz (polimento com molhagem) e lixadeira (polimento a seco).

Para o polimento inicial foi utilizada uma politriz diamantada, Figura 45 (a), sendo que as superfícies foram durante todo esse polimento molhadas. Após esse procedimento os revestimentos foram lavados com água.

Para o segundo polimento foram trocadas as bases da politriz por pedras de esmeril de grana 60, como mostrado na Figura 45 (b). Durante esse polimento os revestimentos eram molhados com água e se lançava pequena quantidade de areia nas superfícies. A Figura 45 (c) mostra o segundo polimento executado no Quadro I.



(a)



(b)



(c)

Figura 45 - Polimento do revestimento. (a) politriz com diamantes soldados em placas de encaixe; (b) politriz com pedras de esmeril de grana 60; (c) segundo polimento no Quadro I.

Depois da execução dos dois polimentos iniciais todo o revestimento foi novamente lavado, Figura 46, e seco.



Figura 46 - Lavagem do revestimento após os primeiros polimentos com politriz.

Com a politriz não é possível polir os cantos dos revestimentos, isso devido às dimensões da máquina. Esse acabamento de cantos, portanto, foi realizado com lixadeira e o primeiro acabamento com lixadeira, etapa posterior a secagem citada acima, foi feito com lixa nº 24 (Figura 47). O polimento com lixadeira é feito a seco, diferentemente do que ocorre no polimento com politriz.



Figura 47 - Polimento de canto com lixadeira – lixa nº 24.

Após o primeiro polimento com lixadeira o revestimento foi lavado com água e seco, para posterior calafetagem da superfície. Para a calafetagem foi preparada

uma pasta de cimento com 70% de cimento comum (cinza) e 30% de cimento branco.

Para a execução da calafetagem a pasta foi espalhada com rodo e posteriormente com desempenadeira de aço, como mostrado na Figura 48 (a) e na Figura 48 (b). O processo seguinte foi polvilhar cimento sobre a pasta e aspergir água.



(a)



(b)

Figura 48 - Calafetagem do revestimento. (a) espalhamento com rodo; (b) espalhamento com desempenadeira de aço.

No quarto dia de idade do granilite foram realizados os polimentos finais e o acabamento da superfície. Neste segundo dia de polimentos o polimento inicial foi feito a seco com lixadeira, dando acabamento aos cantos dos revestimentos, com lixa nº 60. O aspecto de parte do granilite após acabados os cantos é mostrado na Figura 49.



Figura 49 - Detalhe de cantos do revestimento em granilite após polimento com lixadeira – lixa nº 60.

Após o polimento dos cantos o granilite foi polido com politriz com pedras de esmeril de grana 120, Figura 50 (a), e após esse polimento, Figura 50 (b), o revestimento foi lavado com água e seco.

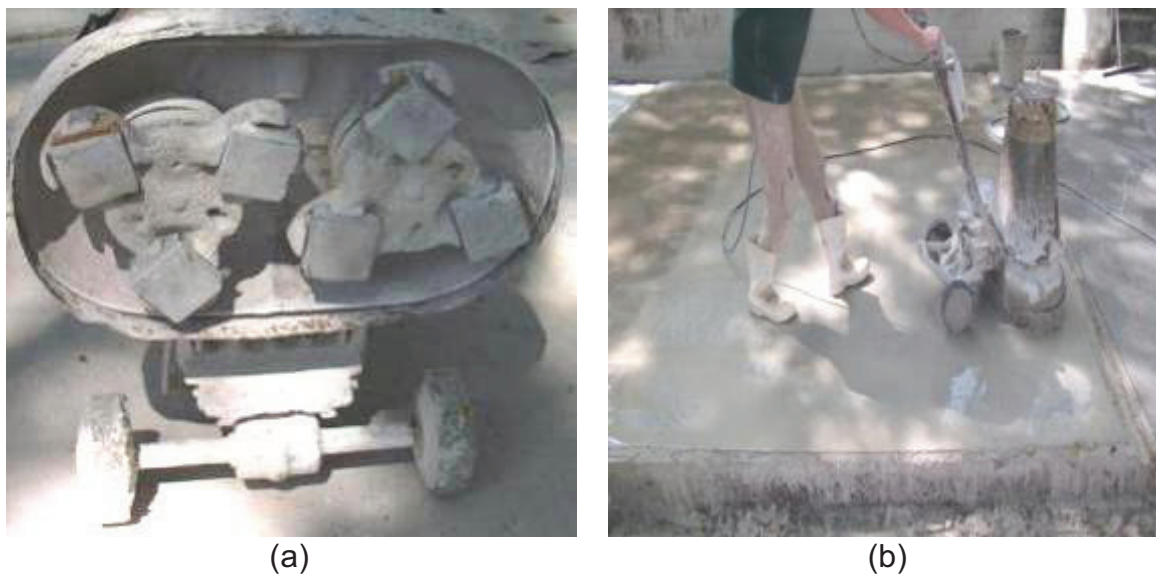


Figura 50 - Segundo dia de polimentos – polimento com politriz. (a) politriz com pedra de esmeril de grana 120; (b) polimento com pedra de esmeril de grana 120.

O aspecto do revestimento em granilite durante a lavagem com água e depois de finalizados os polimentos é ilustrado na Figura 51.



Figura 51 - Lavagem do Quadro III após o último polimento.

Após a secagem o revestimento foi finalizado com a aplicação de selador e cera, Figura 52, sendo que primeiramente foi aplicado o selador sobre toda a superfície, repetindo-se a aplicação. Após a secagem do selador, aproximadamente 50 minutos, foi aplicada a cera, também com duas aplicações consecutivas.

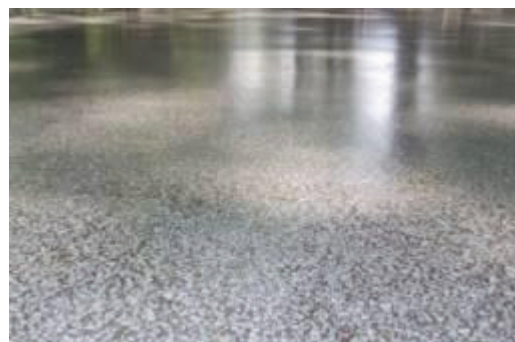


Figura 52 - Procedimento de aplicação do selador e da cera no revestimento em granilite.

O aspecto do revestimento depois de finalizado o processo de execução é o apresentado na Figura 53. Observando-se que em (a) são mostrados os três quadros instrumentados e em (b) há um detalhe do granilite.



(a)



(b)

Figura 53 - Revestimento em granilite finalizado. (a) modelos em granilite; (b) detalhe do revestimento em granilite.

4.3 Instrumentação dos modelos

Com idade de quatro dias os três modelos em granilite foram instrumentados de forma a serem acompanhadas as deformações ao longo do tempo em pontos pré-determinados dos quadros. Tomou-se para as leituras o eixo y como sendo o longitudinal aos modelos (de maior extensão) e o eixo x como sendo o transversal (de menor dimensão), como mostrado na Figura 54.

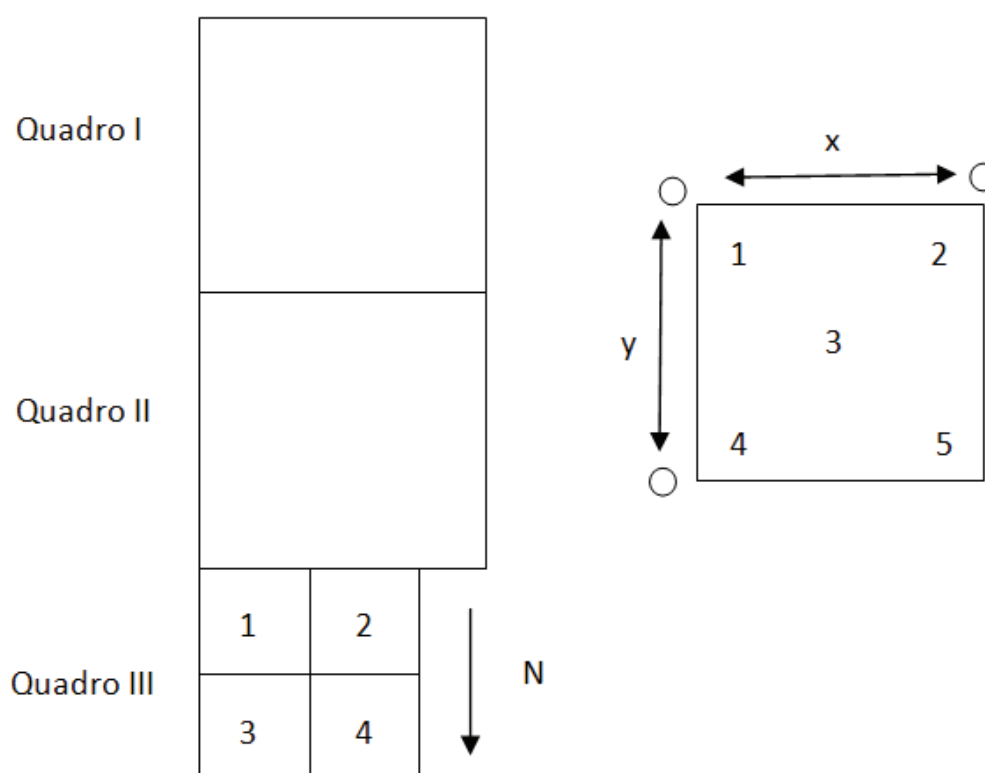


Figura 54 - Eixos com pontos e quadros de leitura de deformações.

Foram iniciadas as leituras de deformações aos cinco dias de idade após a confecção dos painéis em granilite e, realizadas as medidas até a idade de 44 dias para os quadros I e III e 68 dias para o Quadro II, que eram executadas duas vezes ao dia, às 8 h e 14 h, com os registros de umidades relativas do ar e temperatura. A escolha de dois horários diários para leitura se deu pelas variações significativas que as condições climáticas têm nesses dois horários, em geral no matutino com

temperaturas mais baixas e maior umidade relativa do ar e no vespertino com alta incidência de calor e queda na umidade relativa do ar.

A instrumentação foi feita com a colagem de bases metálicas para leitura de deformações com o extensômetro mecânico tipo Tensotast de fabricação da Huggenbergh e base de 100 mm (com precisão de milésimo de milímetro). Tanto nas extremidades dos quadros como nos centros foram colados conjuntos de bases (com 3 bases cada), de modo a possibilitar as leituras nos eixos x e y em cada ponto. A instrumentação foi organizada da seguinte forma:

- Quadro I – fixação de 15 bases metálicas para a leitura de 5 deformações no eixo x e 5 deformações no eixo y, dispostas de maneira simétrica;
- Quadro II - fixação de 15 bases metálicas para a leitura de 5 deformações no eixo x e 5 deformações no eixo y, dispostas de maneira simétrica;
- Quadro III (como o Quadro III é composto por quatro quadros de 2,25 m² foram escolhidos dois quadros para a instrumentação, chamados de Quadro III (1) e Quadro III (4)) – fixação de 30 bases metálicas para a leitura de 10 deformações no eixo x e 10 deformações no eixo y, dispostas de maneira simétrica.

As distâncias das bases dos cantos em relação às juntas de dilatação são de 400 mm para os quadros de 16 m² e de 150 mm para os quadros de 2,25 m². Para ilustrar, a configuração do Quadro III (4) instrumentado é mostrada na Figura 55.



Figura 55 - Quadro III (4) instrumentado para leitura de deformações.

As medições feitas com o Tensotast são relativas e dependem do referencial, portanto, antes de cada ensaio era medida a deformação de referência em barra de invar. Todas as medições foram feitas por um mesmo operador e eram realizadas como mostrado na Figura 56, apoiando-se os contatos do medidor às bases metálicas de maneira vertical.



Figura 56 - Leitura de deformação com Tensotast.

4.4 Monitoramento do Quadro I

As primeiras fissuras no Quadro I surgiram oito dias após a moldagem do granilite. Essas fissuras, com grandes extensões e aberturas que chegavam a 0,5 mm, são mostradas na Figura 57.



Figura 57 - Primeiro registro de fissuras no Quadro I – 8 dias de idade.

Observou-se que entre as idades de sete e oito dias o granilite esteve submetido a diferenças térmicas que chegaram a 19°C.

O registro mostrado na Figura 58 mostra o Quadro I após um mês do surgimento das primeiras fissuras. Pode-se observar que houve continuidade e o surgimento de novas fissuras.



Figura 58 - Evolução das fissuras no Quadro I decorrido um mês do surgimento da primeira fissura.

Após o surgimento das fissuras foram marcados dez pontos em fissuras no Quadro I e nesses pontos foram feitas leituras das aberturas das fissuras. Essas leituras foram realizadas com régua própria para esse fim, fissurômetro, com medidas em milímetros. Foram registradas as temperaturas e umidades relativas do ar referentes a cada leitura, utilizou-se um termo-higrômetro mecânico posicionado sobre o revestimento em granilite.

Na Figura 59 é mostrada a localização dos pontos avaliados e na Figura 60 há um detalhe de pontos (2, 3 e 4) e da régua de medição utilizada nesses ensaios de medição de abertura das fissuras.



Figura 59 - Quadro I com as marcações dos pontos de leitura de abertura de fissura.



Figura 60 - Detalhe dos pontos 2, 3 e 4 e do fissurômetro.

Foram realizadas oito leituras no intervalo de oito dias até trinta e oito dias de idade do granilite. Antes das leituras eram medidas a temperatura ambiente e a umidade relativa do ar.

Na Figura 61 é mostrada uma lateral do quadro em granilite na qual é possível observar que houve deslocamento na interface entre a regularização e a base de concreto. Tal fenômeno ocorreu porque sobre a base de concreto havia

uma argamassa que tamponou as reentrâncias originais da base e tornou a superfície muito lisa. Portanto, quando foi moldada a regularização não ocorreu aderência com a base e um novo sistema composto pelo granilite e pela regularização passou a vigorar. Com isso todos os fenômenos de variação volumétrica se desenvolveram em uma espessura média de 39 mm, o que tornou esse quadro mais susceptível à fissuração do que o Quadro III, que tem espessura média do sistema revestimento/substrato de 139 mm.



Figura 61 - Quadro I fissurado e com deslocamento em relação à base do conjunto granilite e argamassa de regularização.

Após a extração de testemunhos do Quadro I foi realizado o levantamento de parte da placa destacada, para verificação da uniformidade do sistema granilite/regularização. Observa-se pela Figura 62 (a) que o levantamento segmentou a placa em local com fissura pré-existente. Na Figura 62 (b) é mostrado um detalhe, vista lateral, desse procedimento.



(a)



(b)

Figura 62 - Placa do Quadro I sendo erguida. (a) placa sendo erguida com pés de cabra; (b) detalhe do erguimento da placa.

Sem rugosidade mínima dois sistemas foram formados no Quadro I, como mostrado na Figura 63.



Figura 63 - Placa do Quadro I sendo retirada.

Essa situação demonstra que há necessidade de haver uma melhoria da zona de interface entre a regularização e a base, diferindo desta postura aqui adotada (simulação dos procedimentos seguidos por pessoal dito “experiente” na confecção de granilites, com ampla quantidade de obras realizadas). A cola de base sintética adotada, de “alto desempenho”, propiciou uma fraca ligação entre a argamassa de regularização e o substrato, que foi rompida por movimentação do sistema pela ação de variação da temperatura.

4.5 Monitoramento do Quadro II

Aos trinta e nove dias de idade o Quadro II apresentou uma microfissura de 0,04 mm de abertura e 110 cm de extensão, visível somente após molhagem do revestimento. O início e o fim da microfissura são mostrados na Figura 64.



Figura 64 - Microfissura no Quadro II.

Essa microfissura no Quadro II não apresentou variação de abertura. O monitoramento nesse quadro ocorreu até os 70 dias de idade do granilite.

Na análise de resultados se verá que essa fissuração seguiu aquela já pré-existente na argamassa de dessolidarização e, em local com espessura diferenciada para verificação da eficiência da espessura da camada de dessolidarização.

4.6 Monitoramento do Quadro III

Com relação à argamassa de regularização observou-se, como mostrado no registro fotográfico da Figura 65, que o Quadro III apresentou fissuras de retração no dia seguinte a sua execução.

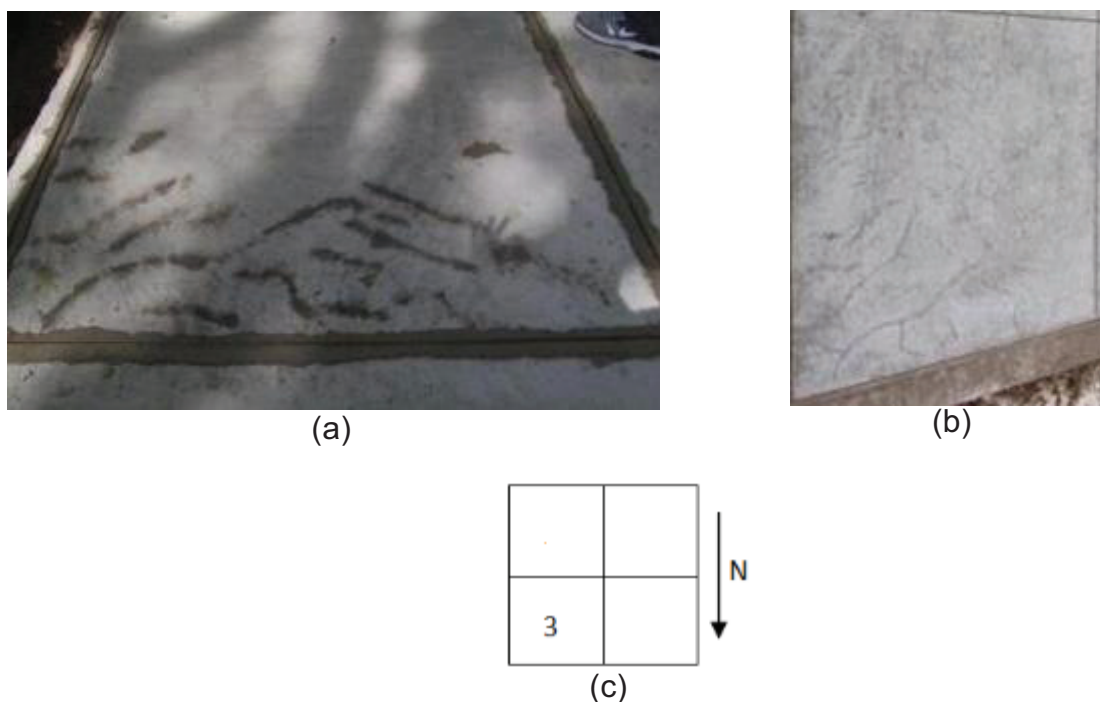
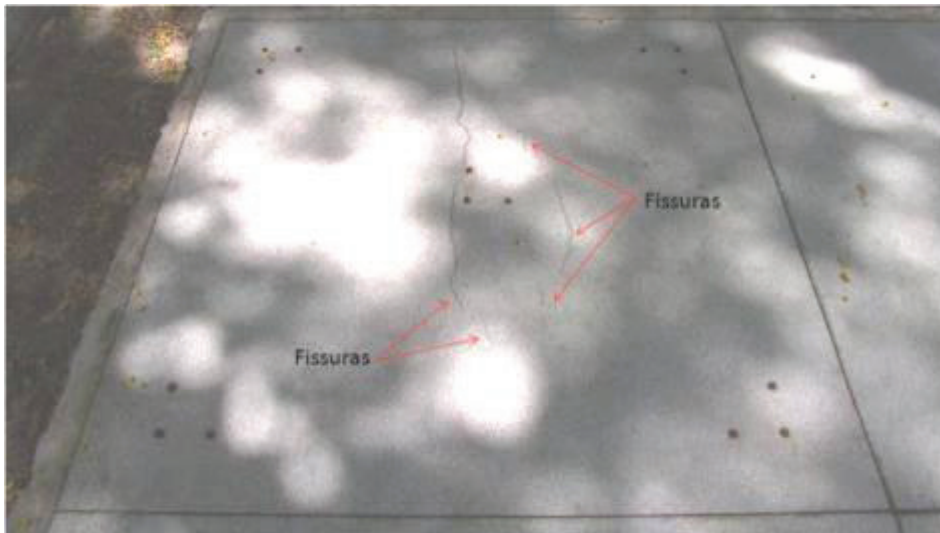


Figura 65 - Fissuras observadas no Quadro III (3). (a) após algumas horas à execução da regularização; (b) prolongamento no granilite; (c) posicionamento do quadro.

Aos treze dias de idade do granilite surgiram microfissuras (fissuras menores que 0,05 mm) no revestimento do Quadro III e a partir dessa data houve aumento nas extensões dessas microfissuras assim como o surgimento de novas fissuras.

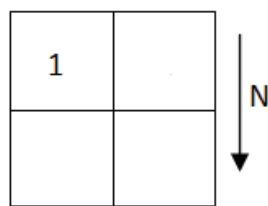
Na Figura 66 são mostradas duas imagens tiradas do Quadro III (1) em dias consecutivos. Nelas é possível observar diferenças significativas no número de fissuras e extensões fazendo-se comparações entre a Figura 66 (a) e a Figura 66 (b), sendo que na segunda figura há uma fissura que atravessa a junta de dilatação com continuidade no quadro adjacente.



(a)



(b)



(c)

Figura 66 - Evolução de fissuras no Quadro III (1). (a) granilite com 13 dias de idade; (b) granilite com 14 dias de idade; (c) posicionamento do quadro.

Na Figura 67 é mostrada uma fissura no Quadro III (4) aos 13 dias de idade. Neste mesmo ponto tinha sido observada uma fissura na argamassa de regularização.

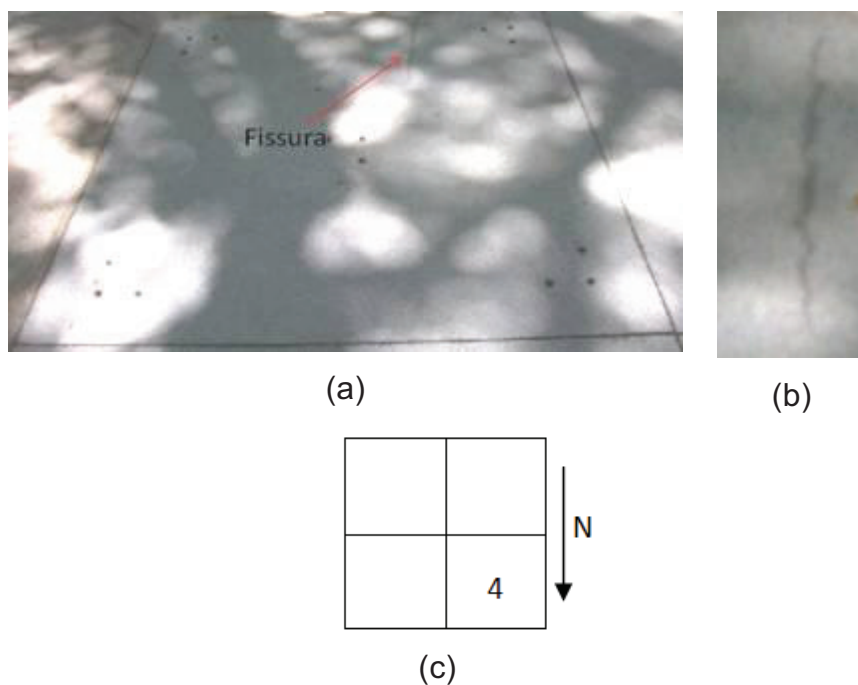
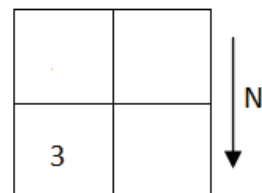


Figura 67 - Fissura no Quadro III (4). (a) visão geral do quadro; (b) detalhe da fissura; (c) posicionamento do quadro.

As fissuras no Quadro III foram evoluindo como é ilustrado na Figura 68, em que o granilite estava com 29 dias de idade. Observando-se que na Figura 68 (a) é detalhado o Quadro III (3) e na Figura 68 (b) o Quadro III (2).



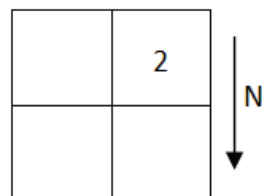
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 68 - Quadro III – granilite aos 29 dias de idade. (a) Quadro III (3); (b) posicionamento do Quadro III (3); (c) Quadro III (2); (d) posicionamento do Quadro III (2).

A Figura 69 mostra visões gerais do Quadro III em diferentes idades e evidencia o crescimento e o surgimento de novas fissuras no revestimento. Na Figura 69 (a) é mostrado o Quadro III aos 16 dias de idade e na Figura 69 (b) aos 45 dias de idade.



(a)



(b)

Figura 69 - Quadro III. (a) Quadro III aos 16 dias de idade; (b) Quadro III aos 45 dias de idade.

4.7 Ensaios de carregamento e arranques

Com o objetivo de verificar o potencial dos revestimentos em granilite dessolidarizados em relação à utilização em locais como garagens e pátios foram realizados dois testes no Quadro II. O primeiro teste foi um carregamento e o

segundo foi uma sequência de arranques, realizados quando o granilite tinha a idade de 70 dias.

Para o ensaio de carregamento do Quadro II foi colocado sobre o modelo um carro de aproximadamente 950 kg, Figura 70. Este permaneceu durante 8 horas na mesma posição, de forma centralizada para que se pudesse verificar se o carregamento geraria alguma alteração no quadro, como a formação de fissuras.



Figura 70 - Quadro II submetido a carregamento.

Após o ensaio de carregamento o Quadro II foi submetido a arranques bruscos, com veículo de potência de 105 cv. A Figura 71 (a) mostra as marcas deixadas no Quadro II após o 1º teste de arranque e a Figura 71 (b) mostra o Quadro II após o 2º teste de arranque.



(a)



(b)

Figura 71 - Testes – Arranques no Quadro II. (a) 1º teste; (b) 2º teste.

4.8 Extração de testemunhos

Nos três modelos foram realizadas extrações de testemunhos com o intuito de avaliar corretamente as causas das ocorrências de fissuras nos revestimentos moldados. Para essas extrações foram realizadas marcações prévias nos quadros

em pontos que possuíam fissuras e em pontos íntegros⁶, para posteriores cortes e ensaios mecânicos.

As primeiras extrações ocorreram aos quarenta e sete dias de idade nos quadros I e III. Os pontos marcados para extração são mostrados na Figura 72 (a) e na Figura 72 (b). Foram extraídos 12 testemunhos do Quadro I e 18 testemunhos do Quadro III, totalizando 30 testemunhos de quadros solidarizados. Desse número 14 testemunhos estavam fissurados e 16 eram íntegros.



(a)



(b)

Figura 72 - Marcações para extração de testemunhos. (a) Quadro I; (b) Quadro III.

⁶ Entende-se por íntegro o ponto ou testemunho não fissurado.

No Quadro II os testemunhos foram extraídos aos setenta e sete dias de idade do granilite, pois neste quadro as leituras de deformações ocorreram em tempo superior em relação aos quadros I e III.

Os pontos nos quais foram extraídos testemunhos no Quadro II são mostrados na Figura 73.

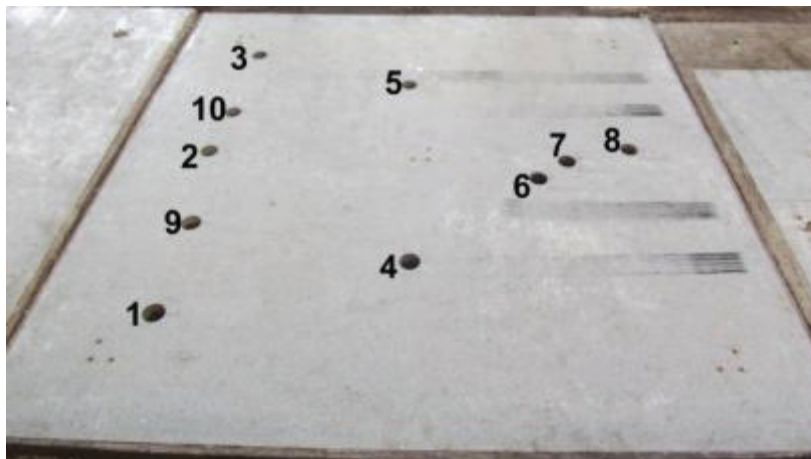


Figura 73 - Pontos de extração de testemunhos no Quadro II.

Primeiramente para a extração de testemunhos do Quadro II foram retiradas cinco amostras de partes não fissuradas, posteriormente foram extraídos três testemunhos que compreendessem a fissura encontrada no quadro. Após a análise das espessuras da argamassa mista nas partes fissurada e não fissurada foram realizadas mais duas extrações em pontos não fissurados (pontos 9 e 10).

Para a extração dos testemunhos foi utilizada perfuratriz com broca de 100 mm de diâmetro. O processo de extração é apresentado na Figura 74 na seguinte sequência: posicionamento da perfuratriz no ponto de extração, apoio do aparelho e perfuração do modelo até que o testemunho se soltasse do solo e retirada do testemunho.

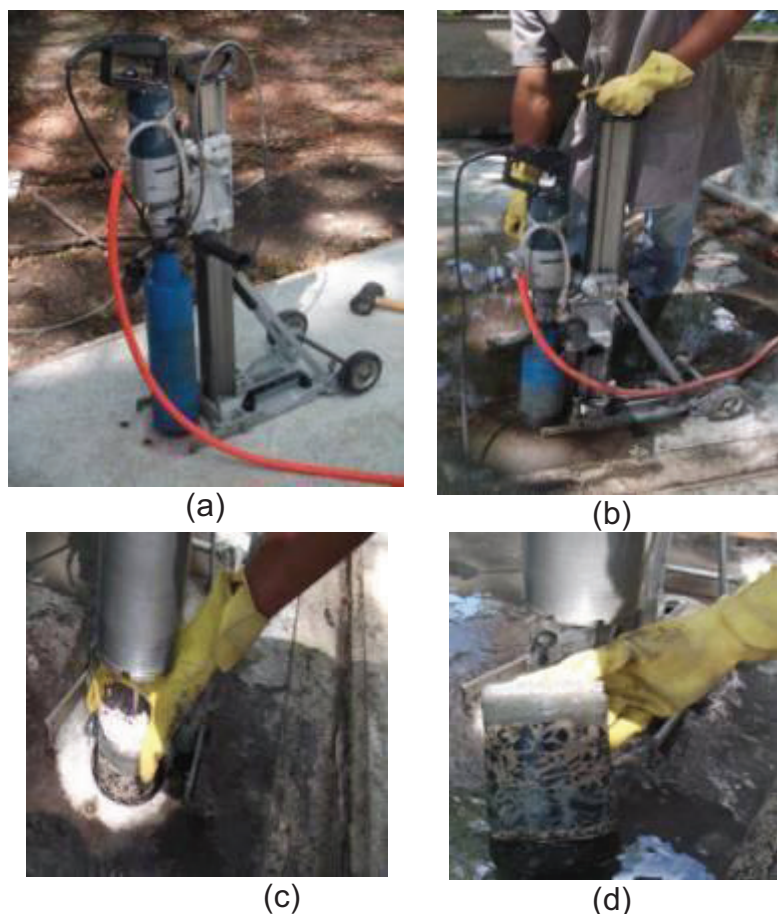


Figura 74 - Extração de testemunhos. (a) perfuratriz com broca de 100 mm de diâmetro; (b) perfuração para extração de testemunho; (c) retirada de testemunho do modelo; (d) testemunho extraído do Quadro III.

4.8.1 Seleção e análise dos testemunhos

Os testemunhos extraídos foram numerados de acordo com a numeração do ponto de extração dos quadros, sendo que todos os testemunhos foram separados para análises visuais e testemunhos íntegros foram destinados à realização de ensaios mecânicos.

As análises visuais dos testemunhos levaram em consideração as espessuras de camadas, os tipos de materiais utilizados nos quadros e a presença ou não de fissuras. Acrescendo-se a essas características, quando em testemunhos fissurados, as aberturas e as configurações das fissuras.

4.8.2 Ensaio mecânicos

Antes dos ensaios mecânicos realizados nos testemunhos foram realizados procedimentos de preparo destes testemunhos como cortes e capeamento. O posicionamento dos cortes foi determinado levando-se em consideração as dimensões de cada material nos testemunhos extraídos e o capeamento foi realizado com pasta de cimento de alto desempenho.

Para cada material a ser analisado foram realizados procedimentos preliminares nos testemunhos que possibilitassem a realização dos ensaios mecânico. Os procedimentos foram os seguintes:

- Cortes em testemunhos íntegros dos quadros solidarizados de forma que fossem obtidos cubos de máxima dimensão possível que compreendessem o revestimento em granilite e a argamassa de regularização – para realização de ensaio de resistência à compressão.
- Cortes em testemunhos íntegros do quadro dessolidarizado de forma que fossem obtidos cubos de máxima dimensão possível que compreendessem o revestimento em granilite e a argamassa de dessolidarização – para realização de ensaios de resistência à compressão e módulo de elasticidade.
- Cortes em testemunhos íntegros para a obtenção de cilindros que compreendessem apenas a base em concreto – para ensaio de resistência à compressão axial.

Para transformar as formas dos testemunhos escolhidos para os ensaios foram realizadas marcações nos testemunhos e posteriores cortes nos mesmos. Os cortes foram executados com serra circular, como mostrado na Figura 75. Nesta mesma figura o testemunho 1 do Quadro I foi posicionado de modo a ser retirada a camada asfáltica para que restasse apenas a base de concreto (o granilite juntamente com a regularização já haviam sido retirados do testemunho).



Figura 75 - Corte em testemunho para retirada da camada asfáltica.

A sequência de corte em um testemunho é mostrada na Figura 76. Em (a) o testemunho 1 do Quadro I está com as marcações para corte em seu topo, em (b) o topo deste testemunho sofreu o primeiro corte, em (c) o topo do testemunho sofreu o penúltimo corte e em (d) o topo do testemunho já possui forma cúbica.

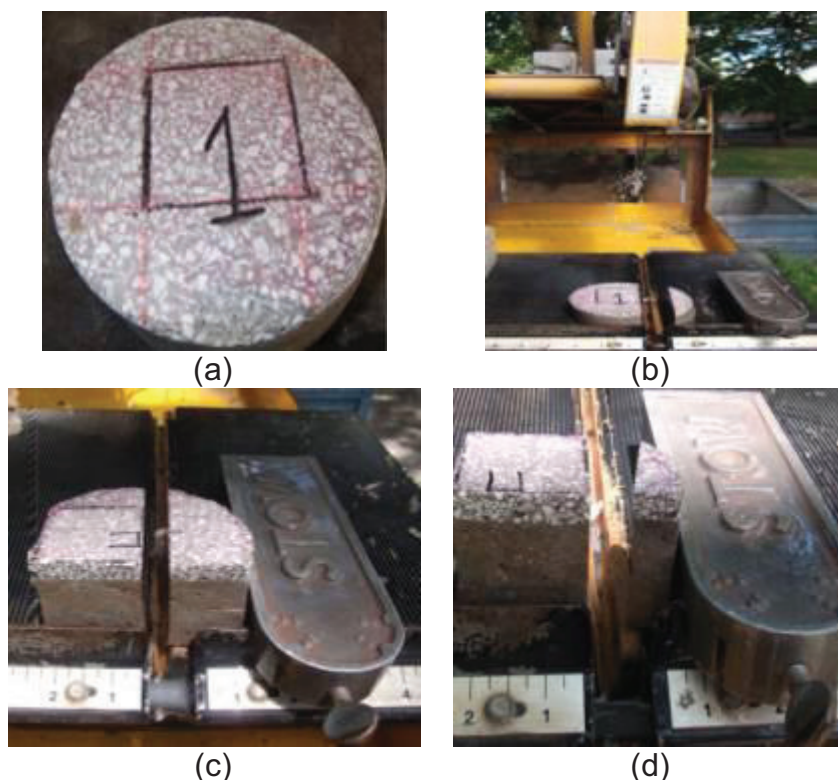


Figura 76 - Sequência para transformação de forma de topo de testemunho. (a) marcação de limites de corte; (b) primeiro corte; (c) penúltimo corte; (d) cubo obtido através de cortes no topo do testemunho.

Foram ensaiados à compressão quatro testemunhos cúbicos do Quadro I compostos por granilite e regularização, com lados dos cubos variando de 33 mm a 53 mm. Com relação ao Quadro II foram realizados ensaios de resistência à compressão e módulo de elasticidade em quatro testemunhos cúbicos de lados variando de 48 mm a 57 mm.

Na Figura 77 (a) é mostrado um cubo serrado oriundo do Quadro I e na Figura 77 (b) um cubo proveniente do Quadro II em ensaio de módulo de elasticidade realizado com extensômetros elétricos.

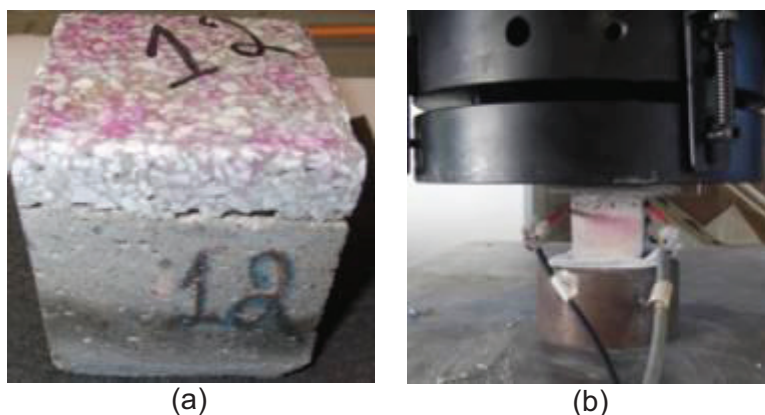


Figura 77 - Testemunhos cúbicos. (a) testemunho cúbico – Quadro I; (b) testemunho cúbico em ensaio de módulo de elasticidade – Quadro II.

Para os ensaios de resistência à compressão em cubos foi aplicada a relação de equivalência cilindro/cubo de $f_{c,cil}/f_{c,cub} = 0,8$, como apresentado por NEVILLE (1997). O mesmo autor cita este valor para resistências de até 50 MPa.

Com relação aos cubos compostos por mais de um material são citados FAGURY & LIBORIO (2002), que estudaram ligações entre concretos novo e velho e demonstraram que para ensaios em corpos de prova com diferentes concretos ligados prevalece o valor de resistência do concreto com menor resistência à compressão. Portanto, ao se ensaiar um testemunho cúbico composto por granilite e argamassa mista, por exemplo, o valor da resistência em ensaio de resistência à compressão será relativo à resistência da argamassa mista, que tem menor valor. Com relação aos cubos compostos por granilite e argamassa de regularização dos

quadros I e III há compatibilidade entre esses materiais, equivalendo-se os resultados de ensaios mecânicos.

4.9 Ensaio mecânicos em corpos de prova

Além dos ensaios mecânicos realizados nos testemunhos extraídos dos modelos foram realizados ensaios de resistência à compressão e módulo de elasticidade em corpos de prova moldados nos dias de execução das argamassas e do granilite, com dimensões de 5 cm x 10 cm. Os ensaios de resistência à compressão foram realizados de acordo com a ABNT NBR 5739:2007 para as idades de 3, 7, 28, 63 e 91 dias e os ensaios de módulo de elasticidade, realizados de acordo com a ABNT NBR 8522:2008, aos 28 dias.

5 RESULTADOS E ANÁLISES

5.1 Ensaio mecânicos

Os ensaios mecânicos (resistência à compressão e módulo de elasticidade) foram realizados em corpos de prova moldados nos dias da execução das argamassas de regularização e do granilite e em testemunhos extraídos dos modelos.

Na Tabela 10 são apresentadas resistências à compressão obtidas em corpos de prova e testemunhos. Nesta tabela é possível observar que a distância mínima entre os valores relativos ao granilite e à argamassa mista é cerca de 18 MPa e a máxima é de 34 MPa.

Tabela 10 - Resistências à compressão de corpos de prova moldados e testemunhos extraídos dos quadros em granilite.

Material		Resistências à compressão (MPa)
Granilite	Corpos de prova (28d)	35,2
		34,79
		37,23
	Testemunhos (63 d)	40,3
		33,4
		38,1
Argamassa mista	Corpos de prova (28d)	40,9
		11,3
		7,2
	Testemunhos (88d)	13,2
		15,9
		9,0
		11,3
		12,2

Na Tabela 11 são apresentados valores de módulos de elasticidade obtidos para o granilite e para a argamassa mista.

Tabela 11 – Módulos de elasticidade do granilite e da argamassa mista.

Material		Módulos de elasticidade (GPa)
Granilite	Corpos de prova (28d)	25,0
		29,0
		33,0
Argamassa mista	Corpos de prova (28d)	12,8
		13,0
		14,3
	Testemunhos (88d)	15,1
		12,7
		15,2
		12,8

Para a argamassa de regularização dos quadros I e III a resistência à compressão média, em corpos de prova moldados, foi de 53 MPa e o módulo de elasticidade de 29 GPa aos 28 dias.

Observa-se que os módulos de elasticidade do granilite e da argamassa de regularização dos quadros I e III têm valores próximos, sendo que para a regularização o valor é intermediário à faixa apresentada para o módulo de elasticidade do granilite. Portanto, há compatibilidade entre os módulos de elasticidade desses dois materiais.

Para a argamassa mista tanto os corpos de prova moldados quanto os testemunhos resultaram em módulos de elasticidade com valores distintos dos obtidos para o granilite e para a argamassa de regularização dos quadros I e III. Esses módulos de elasticidade têm variação mínima em torno de 10 GPa e variação máxima em torno de 20 GPa.

5.2 Deformações

Em relação às deformações obtidas para as mesmas datas em horários diferentes (8 h e 14 h) verificou-se que para esses dois horários ocorreram diferenças significativas nas deformações, que são medidas relativas, tomadas como base o primeiro dia de leituras no respectivo horário de leitura. Para ilustrar esse fato é apresentada a Figura 78, na qual são mostrados os gráficos das leituras de deformações para o ponto 1 do Quadro III (4) nos horários das 8 h e das 14 h.

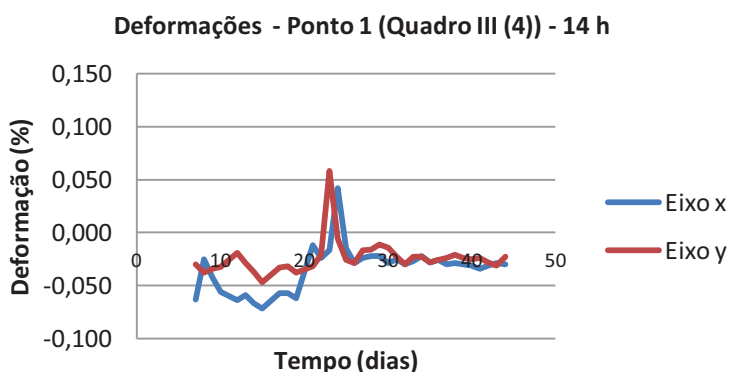
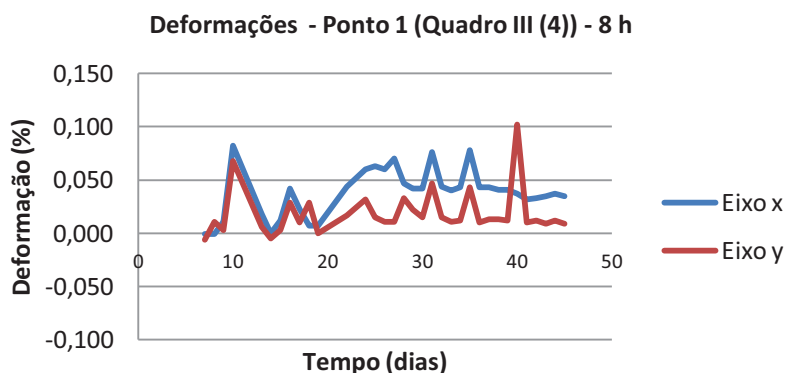


Figura 78 – Deformações no Quadro III (4). (a) leituras realizadas às 8 h; (b) leituras realizadas às 14 h.

Com o granilite na idade de 14 dias ocorreu para o horário das 14 h a mais baixa umidade relativa do ar (31%) e a maior temperatura registradas (37°C). Registrando-se para a idade posterior, 15 dias, picos em grande parte dos pontos de leitura de deformações dos quadros. Esses picos foram seguidos, em sua maioria, de mudanças na ordem de deformação, de retrações para expansões ou alívio de tensões por retrações de menores proporções. Este fato se afirma, para os quadros I e III, nas observações da evolução das fissuras que quando do seu surgimento causam alívio de tensões nos pontos fissurados.

A tendência à estabilização de deformações em idades mais avançadas se dá pela diminuição de movimentações nos concretos, principalmente por já terem ocorrido grande parte das reações com grandes perdas de água para o meio externo.

Para o Quadro I, de maneira geral, houve variações abruptas de deformação até a idade de 25 dias, sendo que a partir desta data observou-se regularização nas deformações, com pequenas variações com tendência a deformações por retração.

Para o Quadro II as variações de deformações nos pontos tanto para os eixos x e y tiveram regularidade na maioria dos pontos. A partir da idade de 28 dias observou-se que para o ponto 5 do quadro, tanto no horário das 8 h como das 14 h, houve acréscimo de retração no ponto (de cerca de -0,04% para cerca de -0,140%). Esse valor de deformação diferenciado foi mantido até o término das leituras (aos 68 dias de idade do granilite).

A constância de valores de deformação após os 28 dias no Quadro II mostra que as tensões no ponto 5, onde se observou esse fenômeno, foram absorvidas e não atingiram um nível de fissuração.

Os gráficos das deformações nos pontos para os eixos x e y tiveram maiores variações em relação a esses eixos para os quadros III (1) e III (4). Nestes quadros foram observadas fissuras com mapeamentos de grandes amplitudes e sem regularidade.

5.3 Fissuras

5.3.1 Quadro I

Com relação ao Quadro I as maiores magnitudes e velocidades de ocorrência das fissuras, quando comparadas com o Quadro III (que tem o mesmo tipo de regularização), são decorrentes da menor espessura do sistema regularização/substrato (39 mm em média – Quadro I e 139 mm em média – Quadro III) que resulta em menor rigidez da estrutura. Essa menor rigidez no Quadro I se deve ao deslocamento ocorrido pela ação da temperatura.

O posicionamento dos pontos de análise de abertura de fissuras é mostrado na Figura 79.



Figura 79 – Posicionamento dos pontos de análise de abertura de fissuras.

De maneira geral para o Quadro I as aberturas das fissuras nos pontos avaliados variaram de 0,05 mm a 0,6 mm, sendo que para os pontos 6 e 8 não houve variação, mantendo-se constantes em 0,05 mm. A Figura 80 e a Figura 81 mostram os gráficos de aberturas das fissuras em função do tempo (idade do granilite).

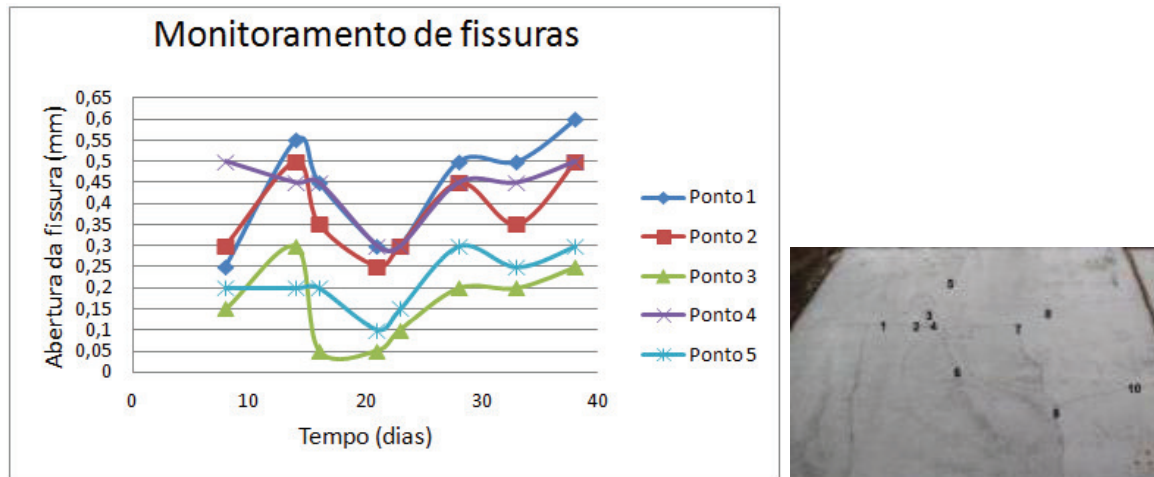


Figura 80 – Monitoramento de fissuras (pontos de 1 a 5).

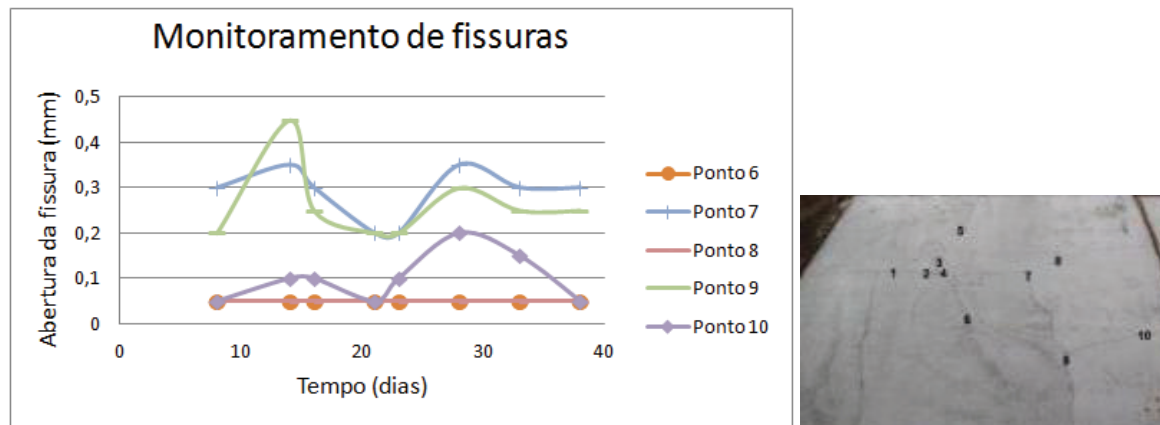


Figura 81 – Monitoramento de fissuras (pontos de 6 a 10).

Com relação aos registros realizados para os pontos apresentados nos gráficos acima se apresenta a Tabela 12, na qual são mostrados dados climáticos de umidade relativa do ar e temperatura para as respectivas idades de leitura.

Tabela 12 – Dados climáticos referentes aos dias de avaliação de aberturas de fissuras no Quadro I.

Idade (dias)	8	14	16	21	23	28	33	38
Temperatura (°C) – 14 h	27	37	28	25	23	25	23	22
UR (%)	45	31	62	76	70	48	80	64

Avaliando-se os gráficos e os dados da Tabela 12 observa-se que para a idade de 14 dias, que teve a maior temperatura e a menor umidade relativa do ar em

relação às outras datas de leitura, seis dos dez pontos de leitura de abertura de fissura apresentaram aumento de abertura de fissura resultante de movimentação térmica das placas. Continuando a análise em termos de valores extremos, para a idade de 21 dias oito dos dez pontos apresentaram diminuição na abertura da fissura.

Todos os testemunhos retirados do Quadro I estavam segmentados (sistema revestimento/regularização separado da base de concreto). A interface entre revestimento e base pode ser vista na Figura 82 (c). O ponto de marcação e o testemunho do ponto 1 são mostrados na Figura 82 (a) e na Figura 82 (b), respectivamente.

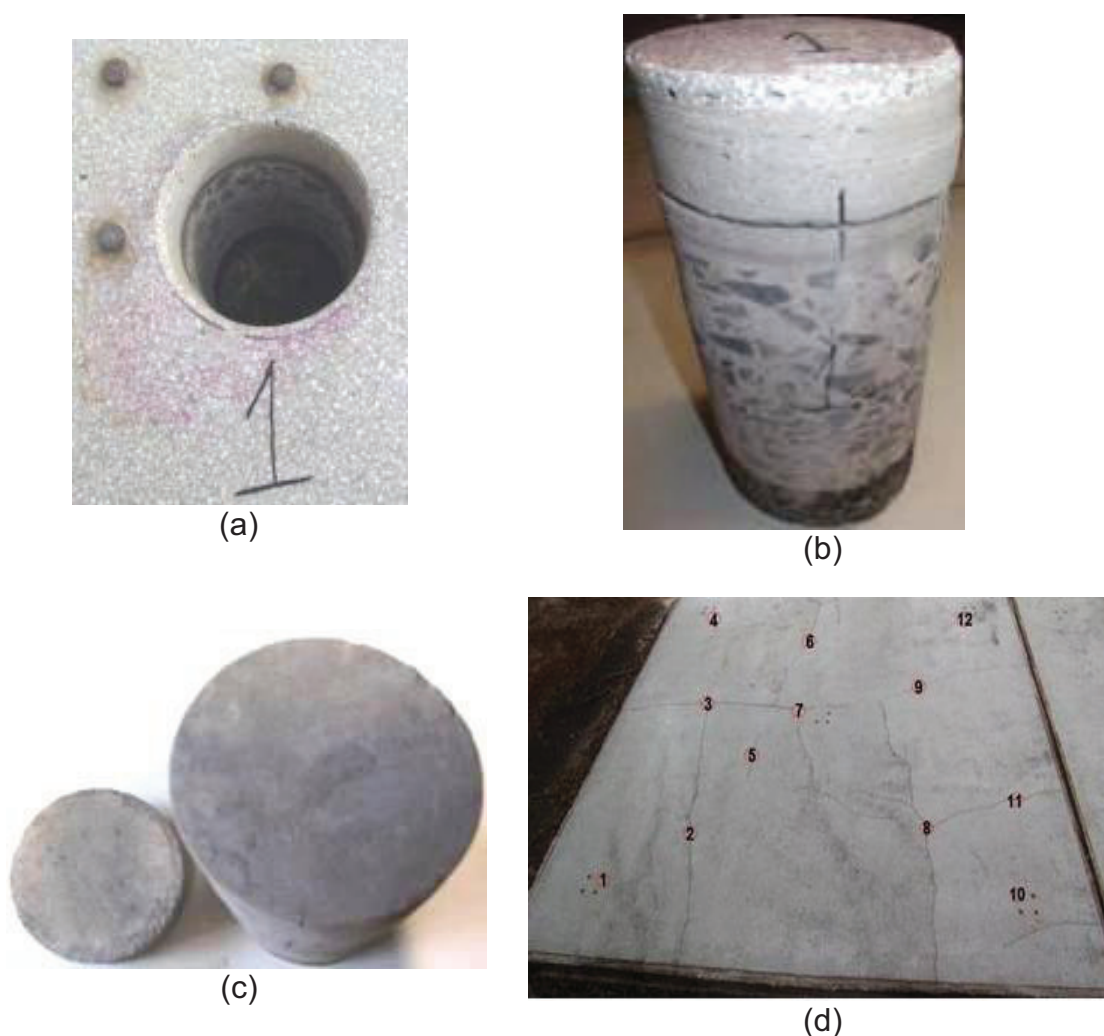


Figura 82 - Ponto 1. (a) Ponto 1 após extração de testemunho; (b) testemunho 1; (c) faces adjacentes do testemunho 1; (d) posicionamento dos pontos de extração de testemunhos do Quadro I.

Para os pontos fissurados do Quadro I as segmentações além de ocorrerem nas interfaces com a base ocorreram nos posicionamentos das fissuras.

Na Figura 83 (a) vê-se o ponto 7 após extração do testemunho e o posicionamento das fissuras internas. Uma das fissuras no testemunho 7 e as faces adjacentes segmentadas são mostradas na Figura 83 (b) e na Figura 83 (c), respectivamente.

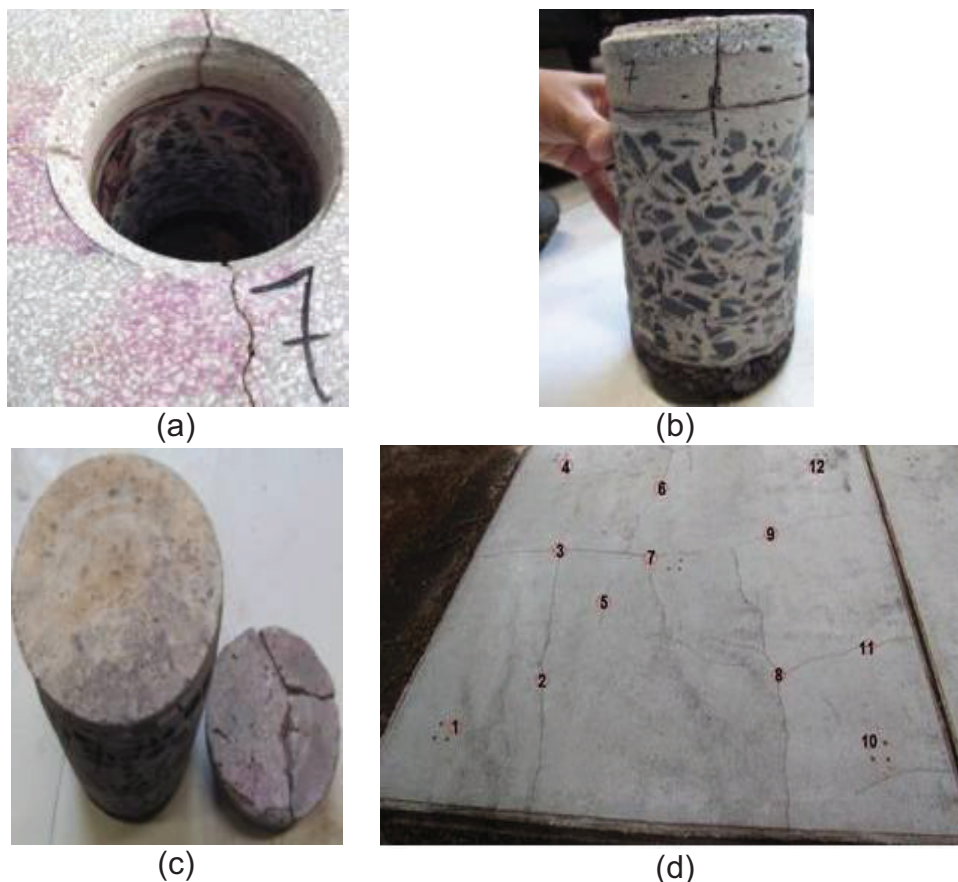


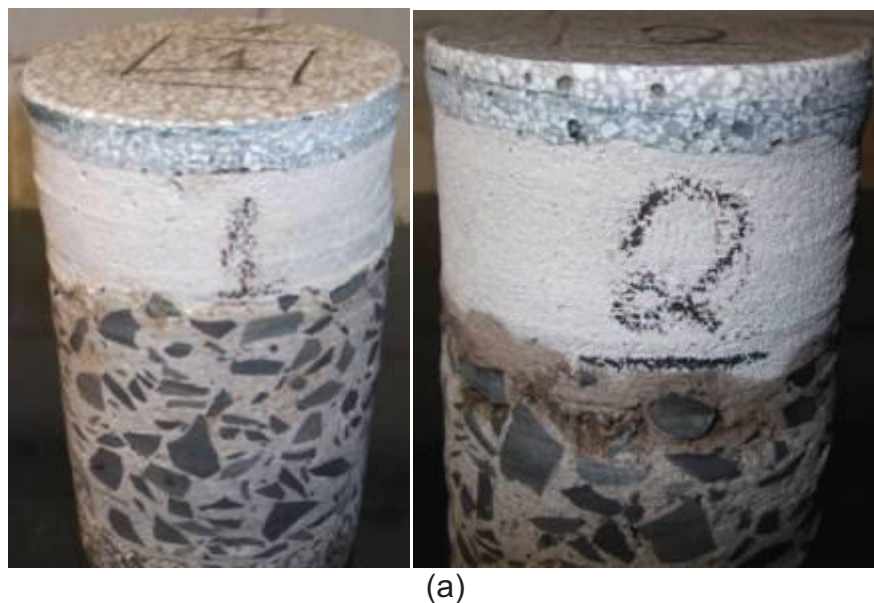
Figura 83 - Ponto 7. (a) Ponto 7 após extração de testemunho; (b) testemunho 7; (c) faces adjacentes do testemunho 7; (d) posicionamento dos pontos de extração de testemunhos do Quadro I.

O Quadro I apresentou fissuras de maneira generalizada decorrentes de movimentação térmica, que apresentavam tanto pequenas extensões (em torno de 5 cm) como grandes extensões (atingindo 2 m). As fissuras de maiores extensões e causadas por empenamento, desencadeadas por movimentação térmica do sistema como um todo, tendiam a formar ângulos retos entre si. A partir do surgimento dessas fissuras por empenamento surgiram fissuras de origem térmica de menores

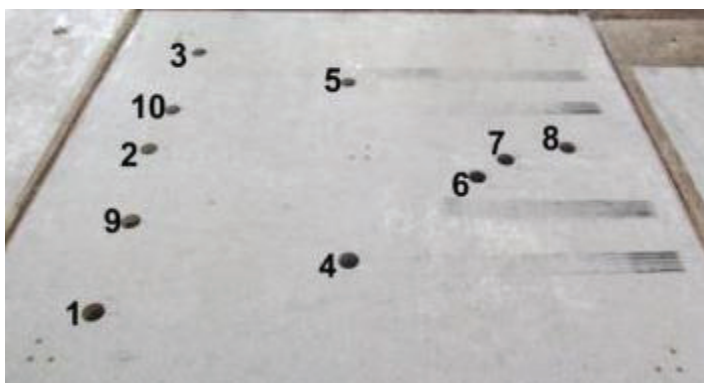
magnitudes, pois o quadro que inicialmente tinha área de 16 m² subdividiu-se em outros quadros formados por encontros entre fissuras.

5.3.2 Quadro II

Sete testemunhos extraídos do Quadro II eram íntegros, possuíam uniformidade na argamassa mista e no revestimento em granilite. Para exemplificar esses testemunhos na Figura 84 são mostrados os testemunhos 1 e 2 desse quadro, que não apresentaram nenhuma fissura.



(a)



(b)

Figura 84 - Testemunhos íntegros do Quadro II. (a) testemunho 1 e 2 do Quadro II; (b) pontos de extração de testemunhos do Quadro II.

No Quadro II apenas os pontos de extração de testemunhos 6, 7 e 8 compreendiam uma microfissura, de 0,04 mm de abertura. Portanto, foi realizada uma análise mais detalhada das camadas de revestimento e regularização para que fosse verificada a causa da microfissura nestes pontos. Após análise evidenciou-se que a espessura média do granilite era a mesma para todos os testemunhos do quadro e que a camada de argamassa mista tinha espessura inferior na extensão da microfissura.

Para o ponto 6 mostra-se na Figura 85 (a) à esquerda uma microfissura no ponto, umedecida para melhor visualização, e à direita a mesma microfissura em detalhe, onde é possível observar que o início da fissuração se deu a partir da

argamassa mista com pequena espessura (16 mm). O testemunho extraído desse ponto é mostrado na Figura 85 (b).

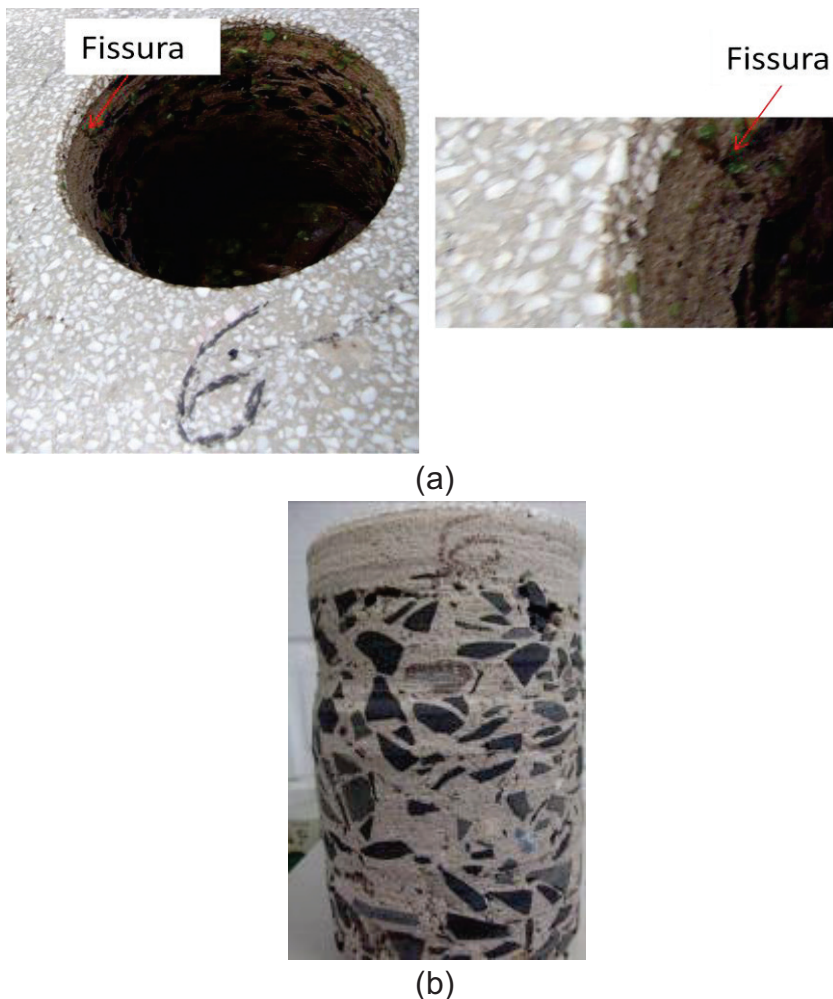
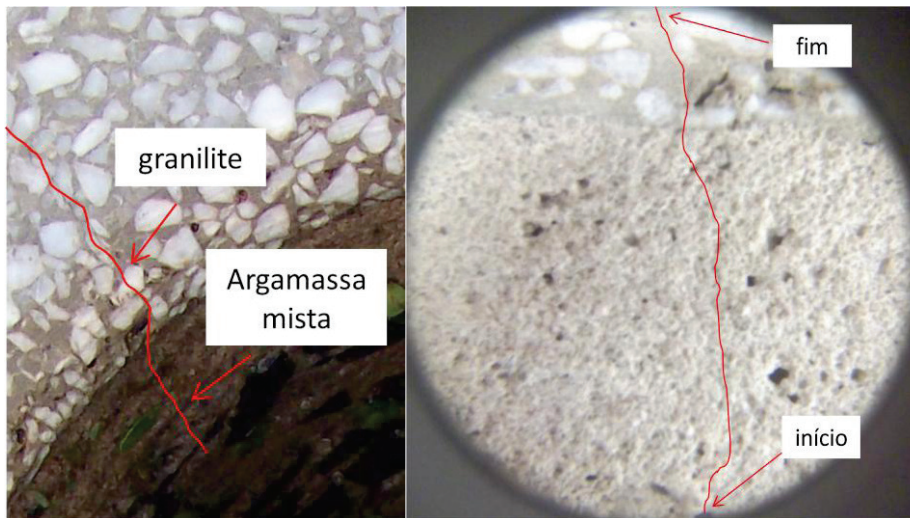


Figura 85 - Ponto 6 do Quadro II. (a) ponto 6 fissurado; (b) fissura no testemunho relativo ao ponto 6.

Os testemunhos e pontos de extração 7 e 8 do Quadro II apresentaram as mesmas características do testemunho e ponto de extração 6, deste mesmo quadro.

A Figura 86 mostra em detalhe à esquerda a fissura no ponto 7 compreendendo a argamassa mista e o granilite. Na mesma figura à direita é destacado o início e o fim dessa fissura em testemunho.



(a)



(b)

Figura 86 - Ponto 7 do Quadro II. (a) Ponto 7 fissurado (à esquerda) e detalhe do testemunho 7 (à direita); (b) testemunho 7 do Quadro II.

Parte do testemunho 8 do Quadro II é mostrada na Figura 87. Nesta figura à esquerda apesar de o testemunho ter sido umedecido a microfissura é de difícil visualização, portanto à direita foi realizada a marcação da fissura com início na argamassa mista, término na superfície do granilite e extensão mostrada na marcação.



(a)



(b)

Figura 87 – Testemunho 8 do Quadro II. (a) detalhe do testemunho 8 do Quadro II com microfissura; (b) testemunho 8 do Quadro II.

Com relação às espessuras da argamassa mista nos testemunhos extraídos do Quadro II é apresentada a Tabela 13. Nesta tabela é possível observar que há diferenças de espessuras nos pontos 6, 7 e 8 em relação à espessura mínima determinada para a execução da argamassa mista que era de 30 mm. Para os outros testemunhos extraídos no Quadro II a argamassa mista possuía espessura superior a 30 mm.

Tabela 13 - Espessuras da argamassa mista nos testemunhos extraídos do Quadro II.

Testemunho	Espessura da argamassa mista (mm)
1	32
2	39
3	37
4	37
5	35
6	16
7	19
8	24
9	38
10	37

A causa da microfissura local encontrada no Quadro II é atribuída a dois fatores aliados que são a movimentação térmica da estrutura e a existência de uma faixa de argamassa mista com espessura insuficiente para conter o avanço de fissuras para o granilite.

5.3.3 Quadro III

No Quadro III todos os testemunhos extraídos possuíam continuidade com a base (testemunhos compostos por revestimento, regularização e base).

Após a extração dos testemunhos do Quadro III foi possível verificar que as fissuras tinham início na argamassa de regularização, sendo que em todos os testemunhos extraídos e que possuíam fissuras foi observado o mesmo fenômeno.

Para exemplificar a configuração das fissuras em testemunhos do Quadro III é apresentada a Figura 88. Nesta figura em (a) há a marcação do ponto 24 para extração de testemunho compreendendo o encontro entre duas fissuras, em (b) destaca-se uma das fissuras na lateral do ponto de extração e em (c) há dois registros fotográficos de uma fissura sendo que a localizada à esquerda tem em relação à localizada à direita uma rotação de 180°.

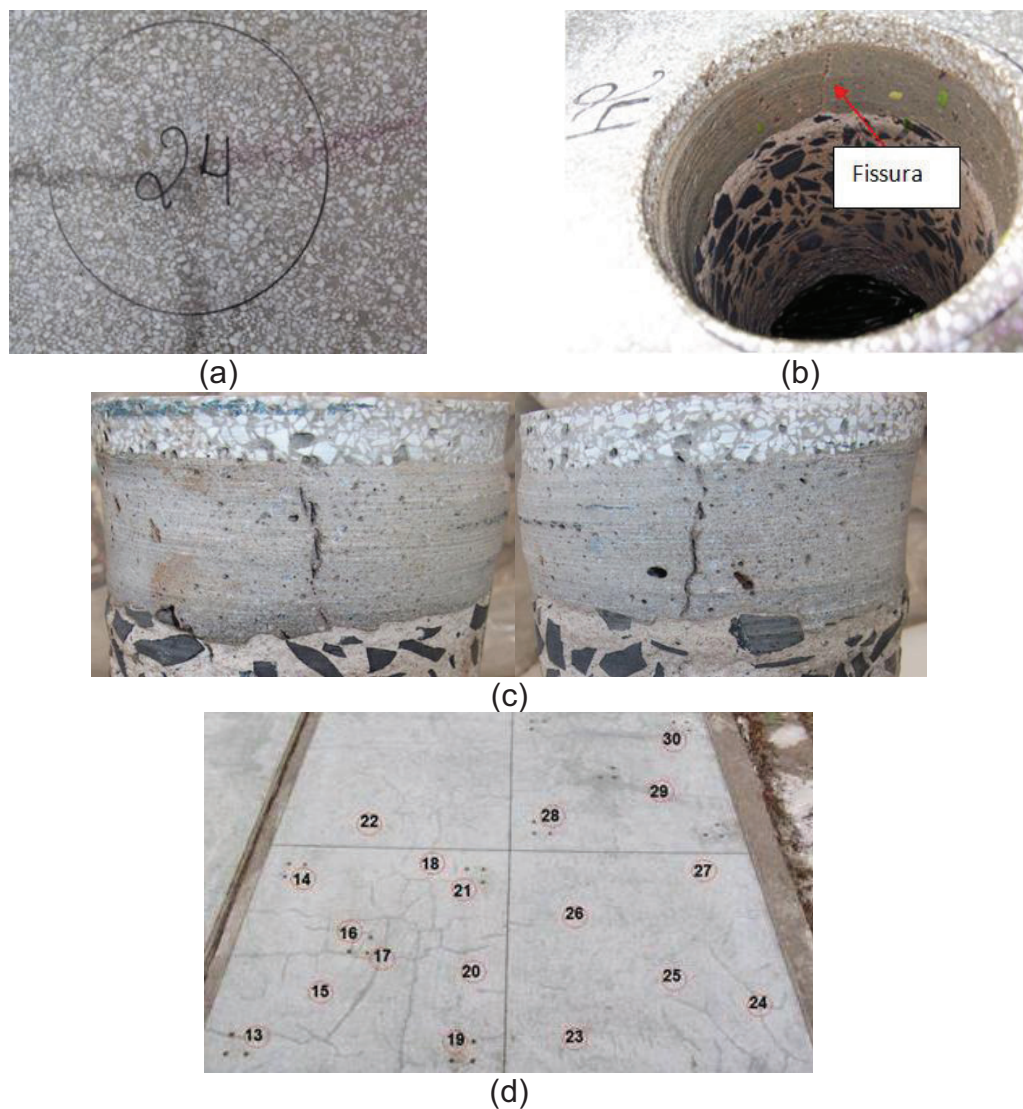


Figura 88 - Ponto 24. (a) marcação do ponto 24; (b) fissura no ponto 24; (c) fissura no testemunho 24; (d) pontos de extração de testemunhos do Quadro III.

No Quadro III todas as fissuras no granilite tinham aberturas menores ou iguais a 0,05 mm, causadas por movimentações térmicas da estrutura e com duas configurações principais de fissuras. Essas características são atribuídas a fissuras típicas de movimentação térmica e fissuras por movimentação térmica com características semelhantes às causadas por retração plástica.

As fissuras em mapa e dispersas no quadro são atribuídas às fissuras típicas de movimentação térmica. Essas fissuras podem ter início tanto no revestimento em granilite como na argamassa de regularização.

As fissuras com características de fissuras por retração plástica tiveram essa configuração atribuída a pré-existência de fissuras por retração plástica na argamassa de regularização (dado observado em alguns pontos no dia posterior a moldagem da argamassa de regularização). Observou-se que os posicionamentos das fissuras na regularização se tornaram caminhos preferenciais para a fissuração do granilite e que essas fissuras começaram a ocorrer cerca de duas semanas após a moldagem.

5.4 Carregamento e arranque

Após o ensaio de carregamento no Quadro II não foi verificada nenhuma alteração no revestimento após a retirada do veículo, como pode ser visto na Figura 89 (a) e na Figura 89 (b). Estas figuras fazem uma comparação do revestimento antes e depois do ensaio.



(a)



(b)

Figura 89 - Comparação do Quadro II antes e após o carregamento. (a) Quadro II antes do carregamento; (b) Quadro II depois do carregamento.

Marcas deixadas pelos pneus do carro no ensaio de arranque são mostradas em detalhe na Figura 90, sendo que em (a) são mostradas duas marcações

paralelas feitas no revestimento e em (b) há um detalhe da marcação feita por um pneu no revestimento.



(a)



(b)

Figura 90 – Ensaio de arranque no Quadro II. (a) detalhe de duas marcações de ensaios consecutivos; (b) detalhe da marcação feita por um pneu no revestimento.

Mesmo o Quadro II sendo submetido aos ensaios de carregamento e arranque este quadro não sofreu nenhuma alteração, descartando-se, portanto, qualquer prejuízo ao desempenho do revestimento. Com essa observação pode ser atribuído ao revestimento dessolidarizado potencial à utilização em locais como pátios e garagens, restando determinar o trem-tipo permissível para utilização.

6 CONCLUSÕES

A utilização em larga escala dos revestimentos em granilite é uma realidade, entretanto é recorrente o surgimento de patologias como fissuras neste tipo de revestimento. Evidencia-se, portanto, a necessidade de normalizações para a produção e execução de revestimentos em granilite para que ocorram com critério científico.

Com base nas observações feitas na referência bibliográfica, das características de produção e execução de revestimentos em granilite e no desenvolvimento experimental desta Dissertação são listadas as conclusões a seguir.

Em relação aos materiais constituintes dos granilites:

- Recomenda-se a caracterização de todos os materiais selecionados para a produção dos granilites para que, dessa forma, sejam comprovadas suas propriedades e a adequação ao fim que se destina, descartando-se assim a utilização de materiais fora dos padrões especificados pelo fornecedor. Devem também ser realizados ensaios mecânicos prévios no granilite para que haja garantias de suas propriedades mecânicas. Esses procedimentos citados fazem parte do controle tecnológico, que deve se tornar prática indispensável para a produção de granilites;
- Recomenda-se a utilização da técnica de empacotamento de agregados para o projeto e execução do revestimento em granilite, o que contribui para a possibilidade da utilização de traços com menores consumos de cimento, menor calor de hidratação e altos desempenhos;
- A execução de um bom empacotamento de granilhas pode promover o fechamento dos poros, dispensando-se inicialmente o seu enceramento;
- A utilização de aditivos superplastificantes possibilita a redução das relações a/c, o que contribui para uma menor porosidade do concreto e menor incidência de retrações, que podem desencadear fissurações;

- O uso de adições minerais é uma alternativa que pode atribuir características como melhor desempenho mecânico e maior durabilidade ao granilite, sendo que quando da escolha do emprego de adições deve-se ater às diferentes características que apresentam;

- Ao optar-se pela produção de granilites coloridos a origem do pigmento, natural ou artificial, deve ser considerada assim como a dosagem necessária para a obtenção das tonalidades desejadas, lembrando-se que os pigmentos interagem com os outros compostos do cimento e devem ser dosados de modo que sejam mantidas as propriedades do granilite;

- Deve-se considerar na constituição de todos os subsistemas os tipos de cimentos Portland com baixo calor de hidratação;

- Em ambientes úmidos é possível haver uma reconstituição autógena do granilite em pequenas microfissuras;

- Nos locais com fissuras entre 0,1 mm e 0,2 mm é possível aplicar uma mistura de cal e cimento Portland a fim de propiciar essa reconstituição autógena.

Em relação ao projeto de execução de revestimentos em granilite:

- O subsistema granilite deve ser projetado, tal qual outros subsistemas de uma edificação, com todas as suas hipóteses de funcionamento e ações que possam incidir sobre essa parte da construção;

- Com os resultados dos ensaios mecânicos realizados para a argamassa mista pode-se verificar que foram obtidas faixas de resistência mecânica adequadas a proposta da dessolidarização;

- As deformações nos quadros estudados apresentaram maiores variações nas primeiras idades do granilite. Variações abruptas foram verificadas nos quadros solidarizados em datas com maiores diferenças térmicas e de umidade relativa do ar. Ocorreu tendência à estabilidade dos revestimentos a longo prazo;

- O revestimento em granilite dessolidarizado, Quadro II, tem potencial para ser utilizado em pátios e garagens, devendo-se realizar ensaios específicos para essa finalidade para que seja constatada esta sugestão;

- Somente o emprego de juntas de dilatação com padrões de espaçamento usuais não se mostra uma alternativa eficaz para que sejam evitadas fissurações em revestimentos em granilite solidarizados;

- A restrição à deformação em revestimentos em granilite contribui para o surgimento de fissuras nesse tipo de revestimento. Essas fissuras podem ter uma ou diversas causas combinadas, podem ter magnitudes diferenciadas de acordo as características do material e com as condições ambientais as quais será exposto;
- Sistemas solidarizados com revestimento e regularização com altos módulos de elasticidade são mais susceptíveis à fissuração;
- Em ambientes internos e externos permite-se que sejam feitos painéis em granilite dessolidarizados de até 10 m². Os painéis acima de 10 m² devem ser dessolidarizados com camadas de argamassas mistas com espessuras maiores que as especificadas no item anterior;
- Pode-se executar granilites solidarizados se forem obedecidas todas as especificações a seguir: substratos armados (tais como pisos industriais) com juntas, granilite totalmente solidarizado ao substrato e moldagem do granilite realizada logo após a execução do substrato;
- Quando na construção houver juntas de dilatação no substrato, elas devem ser levadas em conta no projeto do subsistema granilite;
- Em ambientes internos é possível executar painéis de 15 m² ou de maiores dimensões;
- Não se recomenda camadas de regularização de grandes espessuras, devendo o substrato ser gabaritado onde houver pisos em granilite, e em caso contrário essa camada de regularização deverá ser compatibilizada com o substrato e não com a camada de dessolidarização;
- A camada de regularização não deve ser confundida com camada de dessolidarização.

Em relação à execução de revestimentos em granilite:

- A microfissura, de 110 cm de extensão e de abertura de 0,04 mm, ocorrente em região onde a argamassa tinha espessura inferior a 30 mm, encontrada no Quadro II se torna insignificante frente à dimensão do quadro (16 m²), servindo para enfatizar a necessidade da execução da dessolidarização com espessura nominal maior que 30 mm;
- O emprego de camada de dessolidarização se mostrou uma excelente alternativa para a não ocorrência de fissuras em revestimento em granilite. De forma

contrária a solidarização do revestimento resultou em fissurações generalizadas nos quadros solidarizados;

- As argamassas de dessolidarização devem ter espessuras médias em torno de 35 mm e espessura nominal maior que 30 mm, com baixo módulo de elasticidade;
- A camada de dessolidarização deve ser feita imediatamente após a execução da camada de retificação;
- Sempre que houver camada de dessolidarização essa camada deve ser feita em superfície que promova ancoragem mecânica e/ou sua ligação;
- Revestimentos solidarizados, sem tratamento da zona de interface ou ancoragem mecânica necessários, resultarão em deslocamentos. Pode-se exemplificar tal fato pelo Quadro I no qual houve deficiente aderência na zona de interface entre a argamassa de regularização e a base de concreto. Para evitar a ocorrência de patologias como deslocamentos é essencial a limpeza das superfícies antes de todas as etapas de execução;
- O substrato, após sua execução deverá ser salpicado com material britado com dimensão máxima característica menor que 9,5 mm, com bom índice de forma;
- O uso de adesivos comerciais somente é permitido se forem realizadas análises de arrancamento da argamassa de dessolidarização;
- Recomenda-se o uso de misturas ricas em cimento Portland, por exemplo, uma calda de cimento Portland com relação a/c menor que 0,35 e com aditivo superplastificante, para que haja uma melhoria da zona de interface entre as camadas;
- No subsistema substrato, que venha a receber um revestimento em granilite, é sempre interessante que seja aplicada uma armadura de reforço composta por fibras e/ou fios e/ou barras em aço (armar), em vista de limitar a abertura de fissuras por quaisquer tipos de ações;
- Após a conclusão dos revestimentos em granilite é possível melhorá-los esteticamente com ceras, selantes e resinas em geral, com ou sem pigmentos;
- Deve-se respeitar um período mínimo de cura de forma que seja permitida a completa hidratação dos compostos do cimento Portland nas primeiras

idades, evitando-se dessa forma o surgimento de fissuras. Recomenda-se realizar cura úmida nos granilites por um período mínimo de 7 dias.

6.1 Sugestões para pesquisas futuras

Para que sejam aprimorados os estudos relativos aos procedimentos de produção e execução dos revestimentos em granilite são sugeridas as seguintes pesquisas futuras:

- Aprimoramento das dosagens de granilites visando diminuir os consumos de cimento e a minimização de patologias;
- Avaliação da eficiência de sistemas granilite/substrato dessolidarizados para diferentes espessuras de dessolidarização;
- Produção de materiais alternativos para serem utilizados como camadas de dessolidarização em revestimentos em granilite;
- Levantamento de dados estatísticos relativos à produção de granilites e avaliações em campo da ocorrência de patologias nesses revestimentos, inclusive considerando-se a quantidade de ocorrência de fissuras *versus* quadros delimitados por juntas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFONSO, L. LIBORIO, J. B. L. **Contribuição ao estudo das propriedades de concretos estruturais com cimentos Portland submetidos à cura térmica (vapor) sob pressão atmosférica.** 1995. 225 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia do Ambiente Construído) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.

AÏTCIN, Pierre-Claude. **Concreto de Alto Desempenho.** Trad. Geraldo G. Serra. São Paulo: Pini, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 23: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica.** Rio de Janeiro, 2000.

_____. **NBR NM 43: Cimento Portland - Determinação da pasta de consistência normal.** Rio de Janeiro, 2002.

_____. **NBR NM 45: Agregados – determinação da massa unitária e do volume de vazios.** Rio de Janeiro, 2006.

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

_____. **NBR NM 65: Cimento Portland - Determinação do tempo de pega.** Rio de Janeiro, 2002.

_____. **NBR NM 67: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR 5733: Cimento Portland de alta resistência inicial.** Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 5732: Cimento Portland comum.** Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 5735: Cimento Portland de alto-forno.** Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 5736: Cimento Portland pozolânico.** Rio de Janeiro, 1991.

_____. NBR 5737: **Cimento Portland resistente a sulfatos**. Rio de Janeiro, 1992.

_____. NBR 5739: **Concretos – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2007.

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

_____. NBR 7211: **Agregados para concreto - especificações**. Rio de Janeiro, 2009.

_____. NBR 7215: **Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro, 1997.

_____. NBR 8522: **Concreto – Determinação do módulo de elasticidade à compressão**. Rio de Janeiro, 2008.

_____. NBR 11578: **Cimento Portland composto - Especificação**. Rio de Janeiro, 1991.

_____. NBR 12989: **Cimento Portland branco - Especificação**. Rio de Janeiro, 1993.

_____. NBR 13116: **Cimento Portland de baixo calor de hidratação - Especificação**. Rio de Janeiro, 1994.

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

_____. NBR 12653: **Materiais pozolânicos**. Rio de Janeiro, 1992.

AURAPLAST. **Juntas plásticas de retração e dilatação**. Disponível em: <<http://www.auraplast.com.br/inicio.htm>>. Acesso em: 05 jan 2012.

BAUER, L. A F. **Materiais de Construção 1**. Rio de Janeiro: Editora LTC, 1995. 1 v.

BENSTED, J. **Lea's chemistry of cement and concrete** / edited by Peter C. Hewlett – Amsterdam: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2004.

BORTOLUZZO, C. W. LIBORIO, J. B. L. **Contribuição ao estudo do comportamento mecânico dos revestimentos de argamassa**. 2000. 95 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia do Ambiente Construído) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

BUCHER, H. R. E. **Desempenho de aditivos redutores de água de alta eficiência em pastas, argamassas ou concretos**. In: REIBRAC, 30. Rio de Janeiro, 1988. p. 609-625.

CASTRO, A. L. LIBORIO, J. B. L. **Aplicação de conceitos reológicos na tecnologia dos concretos de alto desempenho**. 2007. 302 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

CÁNOVAS, M. F. **Patologia e terapia do concreto armado**. Coordenação técnica L. A. Falcão Bauer; 'tradução de M. Celeste Marcondes, Carlos Wagner Fernandes dos Santos, Beatriz Cannabrava'. – São Paulo: Pini, 1988.

CARASEK, H. **Argamassas**. MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. IBRACON. 2007. V 2.

COUTINHO, A. S. **Fabrico e propriedades do betão**. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1988. 1 v.

DAL MOLIN, D. C. C. **Adições minerais para concreto estrutural**. Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. v1. Ed. G. C. Isaia. – São Paulo: IBRACON, 2005. cap. 12. p. 345 - 379.

DAL MOLIN, D. C. C. HELENE, P. R. L. **Fissuras em estruturas de concreto armado: análise das manifestações típicas e levantamento de casos ocorridos no Estado do Rio Grande do Sul**. 1988. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1988.

DAS CHAGAS, S. V. M. BEZERRA, L. M. BAUER, E. **Estudo e proposta de um modelo de resistência à fadiga de argamassas de revestimento em estado plano e tridimensional de tensões**. 2009. Dissertação. 172 p. Faculdade de Tecnologia – Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

FAGURY, S. C. LIBORIO, J. B. L. **Concretos e pastas de elevado desempenho: contribuição aos estudos de reparos estruturais e ligações entre concretos novo e velho, com tratamento da zona de interface.** 2002. 168 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

GUIMARÃES, A. T. C. RECENA, F. A. P. PEREIRA, F. M.. **Produtos de Cimento Portland.** In: Isaia, G. C. *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciências de Materiais.* São Paulo: IBRACON, 2007. 2 v.

GUIMARÃES, J. E. P. **A Cal: Fundamentos e Aplicações na Engenharia Civil.** 2ª. ed. São Paulo: Editora Pini Ltda., 2002.

HELENE, P. ANDRADE, T. **Concreto de Cimento Portland.** In: Isaia, G. C. *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciências de Materiais.* São Paulo: IBRACON, 2007. 2 v.

KANTRO, D.L. **Influence of water-reducing admixtures on properties of cement paste – A miniature slump test.** *Cement, Concrete and Aggregates*, v. 2, n. 2, p. 95-102. 1980.

KIHARA, Y. CENTURIONE, S. L. **O Cimento Portland.** *Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações.* Ed. G. C. Isaia. – São Paulo: IBRACON, 2005. cap. 10. p. 295 – 322.

LIBORIO, J. B. L. **Concreto de alto desempenho: uma tecnologia simples para produção de estruturas duráveis** Notas de aula. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

LIBORIO, J. B. L. **Parecer Técnico.** LMABC. SET. EESC. USP. Relatório não divulgado. 2009.

LIBORIO, J. B. L. **Tecnologia dos concretos estruturais.** Notas de aula. 2010.

LIMA, S. M. LIBORIO, J. B. L. **Concreto de alto desempenho aplicado a sistemas de processamento e armazenagem de alimentos em baixas temperaturas.** 2008. 155 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

McGEARY, R. K. **Mechanical packing of spherical particles**. Journal of the American Ceramic Society, v. 44, p. 513-522, 1961.

MEHTA, P. K. MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: IBRACON, 2008. 674 p.

MELO, A. B. LIBORIO, J. B. L. **Influência da cura térmica (vapor) sob pressão atmosférica no desenvolvimento da microestrutura dos concretos de cimento Portland**. 2000. 271 p. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Interunidades – Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2000.

MELO NETO, A. A. CINCOTTO, M. A. **Estudo da influência de aditivos redutores e compensadores de retração em argamassas e pastas com cimento de escória**. 2008. 253 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Edição revisada.

MINASIT. **Produtos**. Disponível em: <http://www.minasit.com.br/?page_id=7>. Acesso em: 29 de jun. de 2011.

MONTOYA, P. J. MESEGUER, A. G. CABRÉ, F. M. **Hormigón armado**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2001.

NEVILLE, A. **Propriedades do concreto**. Tradução Eng. Salvador E. Giammusso. São Paulo: Pini, 1997

NTMA. **Terrazzo Design Ideas**. The National Terrazzo and Mosaic Association, Inc. Disponível em: <<http://www.ntma.com/design-ideas.php>>. Acesso em: 05 de jun de 2011.

OLIVEIRA, P. L. PINHEIRO, L. M. **Projeto estrutural de pavimentos rodoviários e de pisos industriais de concreto**. 2000. 216 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

PANDOLFELLI, V. C. OLIVEIRA, I. R. STUDART, A. R. PILEGGI, R. G. **Dispersão e empacotamento de partículas: princípios e aplicações em processamento cerâmico**. São Paulo: Editora Fazendo Arte, 2000. 195 p.

PEREIRA, T. A. C. LIBORIO, J. B. L. **Concreto auto-adensável, de alta resistência, com baixo consumo de cimento Portland e com adições de fibras de lã de rocha ou poliamida.** 2010. 281 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estrutura) - Departamento de Estruturas, Escola de Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

PEREIRA, C. H. A. F. BAUER, E. **Contribuição ao Estudo da Fissuração, da Retração e do Mecanismo de Descolamento do Revestimento à Base de Argamassa.** 2007. 195p. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2007.

QUARCIONI, V. A. CINCOTTO, M. A. **Influência da cal hidratada nas idades iniciais da hidratação do cimento Portland – estudo em pasta.** 2008. 172 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

REBMANN, M. S. LIBORIO, J. B. L. **Durabilidade de concretos estruturais com baixo consumo de cimento Portland e alta resistência.** 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

SALVADOR FILHO, J. A. A. LIBORIO, J. B. L. **Blocos de concreto para alvenaria em construções industrializadas.** 2007. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

SBRIGHI NETO, C. **Agregados para concreto.** Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. Ed. G. C. Isaia. – São Paulo: IBRACON, 2005. v1.

SILVA, I. J. LIBORIO, J. B. L. **Contribuição ao estudo dos concretos de elevado desempenho: propriedades mecânicas, durabilidade e microestrutura.** 2000. 279p. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

SILVA, N. G. GLEIZE, P. J. P. **Avaliação da retração e da fissuração em revestimento de argamassa na fase plástica.** 2011. 329 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

SILVA, V. M. LIBORIO, J. B. L. **Ação da carbonatação em vigas de concreto armado em serviço, construídas em escala natural e reduzida.** 2007. 281 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

SILVA, V. M. LIBORIO, J. B. L. **Contribuição ao estudo da carbonatação em concretos e argamassas executados com e sem adição de sílica ativa**. 2002. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Interunidades – Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2002.

SOUZA, V. C. M. RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1998.

TAVARES, L. R. C. GOMES, A. M. CARVALHO JÚNIOR, A. N. **Avaliação da retração autógena em concretos de alto desempenho com diferentes adições**. 2008. 107 p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

TAYLOR, H. F. W. **Cement Chemistry**. London: Academic Press. 1990.

TIBONI, R. LIBORIO, J. B. L. **A utilização da cinza da casca de arroz de termoelétrica como componente do aglomerante de compósitos à base de cimento Portland**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

Universidade de São Paulo. Sistema Integrado de Bibliotecas da USP. **Diretrizes para apresentação de dissertações e teses da USP** : documento eletrônico e impresso Parte I (ABNT) / Sistema Integrado de Bibliotecas da USP ; Vânia Martins Bueno de Oliveira Funaro, coordenadora ... [et al.] . - - 2. ed. rev. ampl. - - São Paulo : Sistema Integrado de Bibliotecas da USP, 2009.
102 p. - - (Cadernos de Estudos ; 9)

APÊNDICES

A.1 Caracterização dos materiais

Tabela 14 - Características físicas das granilhas.

Ensaio	Granilha	
	G1	G2
Massa unitária no estado compactado (g/cm ³) – ABNT NBR NM 45:2006	1,609	1,607
Massa específica (g/cm ³) – ABNT NBR NM 52:2009	2,825	2,822
Dimensão máxima característica (mm) – ABNT NBR 7211:2009	4,75	2,36

Tabela 15 - Composição granulométrica das granilhas.

Granilha	Peneiras (mm)	% retida (%)
G1	6,3	0
	4,75	1,33
	2,36	91,15
	1,18	7,43
	0,6	0,01
	0,3	0,02
	0,15	0,01
	0,075	0,01
	< 0,075	0,03
G2	6,3	0
	4,75	0,66
	2,36	47,14
	1,18	49,08
	0,6	2,65
	0,3	0,20
	0,15	0,05
	0,075	0,03
	< 0,075	0,18

Os cimentos utilizados na produção do granilite são o cimento CPV ARI e CP III 40 RS da marca Holcim. As características desses cimentos são mostradas na Tabela 16.

Tabela 16 - Caracterização dos cimentos utilizados na produção do granilite.

Ensaio	Cimento	
	CP V ARI	CP III 40 RS
Massa específica (g/cm ³) – ABNT NBR NM 23:2001	3,08	3,01
Tempos de pega (minutos) – ABNT NBR NM 65:2003	Início	231
	Fim	381
Água de consistência normal – ABNT NBR NM 43:2003	0,32	0,33
Resistência à compressão (MPa) – ABNT NBR 7215:1996	43 (aos 7 dias)	41 (aos 28 dias)

O granilite teve índice de consistência de 280 mm (ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR 7215:1996), abatimento de 170 mm (ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 67:1998) e um consumo real de cimento de 690 kg/m³.

Tabela 17 - Características físicas da areia utilizada na produção da argamassa mista.

Ensaio	Areia
Massa específica (g/cm ³) – ABNT NBR NM 52:2009	2,63
Dimensão máxima característica (mm) – ABNT NBR 7211:2009	0,6

Tabela 18 - Composição granulométrica da areia utilizada na produção da argamassa mista.

Peneiras (mm)	% retida (%)
4,75	0
2,36	0,01
1,18	0,01
0,6	0,44
0,3	51,58
0,15	39,87
0,075	6,54
< 0,075	1,54

Na argamassa de dessolidarização os aglomerantes utilizados foram o cimento CPV ARI RS da empresa Holcim (Tabela 19) e a cal hidratada CH I fabricada pela empresa Cobrascal (Tabela 21).

Tabela 19 - Caracterização do cimento utilizado na produção da argamassa mista.

Ensaio	Cimento (CPV ARI RS)
Massa específica (g/cm ³) – ABNT NBR NM 23:2001	2,99
Água de consistência normal – ABNT NBR NM 43:2003	0,32

Tabela 20 - Ensaio de resistência à compressão do cimento CP V ARI RS – ABNT NBR 7215:1996.

Idade (dias)	Resistência à compressão
	(MPa)
1	16.7
3	25.9
7	38.4

Tabela 21 – Caracterização da cal hidratada utilizada na produção da argamassa mista.

Ensaio	Cimento (CPV ARI RS)
Massa específica (g/cm ³) – ABNT NBR NM 23:2001	2,36
Massa unitária no estado solto (g/cm ³)	0,47

Na Tabela 22 e na Tabela 23 são apresentados os traços estudados para a definição da dosagem da argamassa mista de dessolidarização. Todos os traços obtiveram índice de consistência de 250 mm, ensaios realizados de acordo com a ABNT NBR 7215:1996. Os ensaios de resistência à compressão foram realizados de acordo com a ABNT NBR 7215:1996 e os ensaios de retenção de água de acordo com a ABNT NBR 13277:2005.

Tabela 22 - Traços de argamassas mistas estudados – 1:1 (cimento:cal).

Traço (massa)	Relação a/c	Resistência à compressão aos 28 dias (MPa)
1 : 1 : 3,0	1,20	11,40
1 : 1 : 4,5	1,26	9,40
1 : 1 : 6,0	1,40	5,97

Tabela 23 - Traços de argamassas mistas estudados – 1:0,5 (cimento:cal).

Traço (massa)	Relação a/c	Resistência à compressão aos 28 dias (MPa)	Retenção de água (%)
1 : 0,5 : 3,0	0,80	23,40	92,05
1 : 0,5 : 4,5	0,95	15,75	91,56
1 : 0,5 : 6,0	1,13	10,5	89,09

A.2 Valores individuais obtidos nos ensaios mecânicos

Tabela 24 - Resistências à compressão, em MPa, dos corpos de prova moldados nos dias das execuções da argamassa mista e do granilite.

Idade (dias)	CP	Granilite	Argamassa mista
3	1	39,8	6,0
	2	39,3	6,2
	3	38,3	7,5
	4	-	5,7
7	1	39,1	7,2
	2	41,0	12,7
	3	39,9	14,0
	4	38,7	6,7
28	1	35,2	11,3
	2	34,79	7,2
	3	37,23	13,2
	4	-	-
63	1	56,5	13,8
	2	56,1	16,2
	3	59,1	12,4
	4	-	-
91	1	43,2	8,8
	2	38,8	17,7
	3	31,0	10,1
	4	32,31	10,9

Tabela 25 - Resistências à compressão de testemunhos extraídos do Quadro I – granilite.

Idade (dias)	Testemunho	Resistência à compressão (MPa)
63	1	40,3
	4	33,4
	10	38,1
	12	40,9

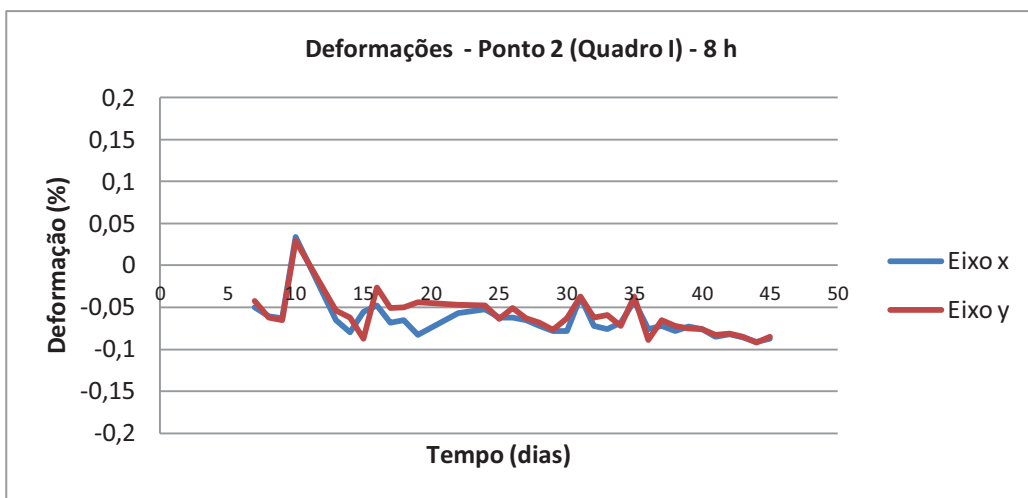
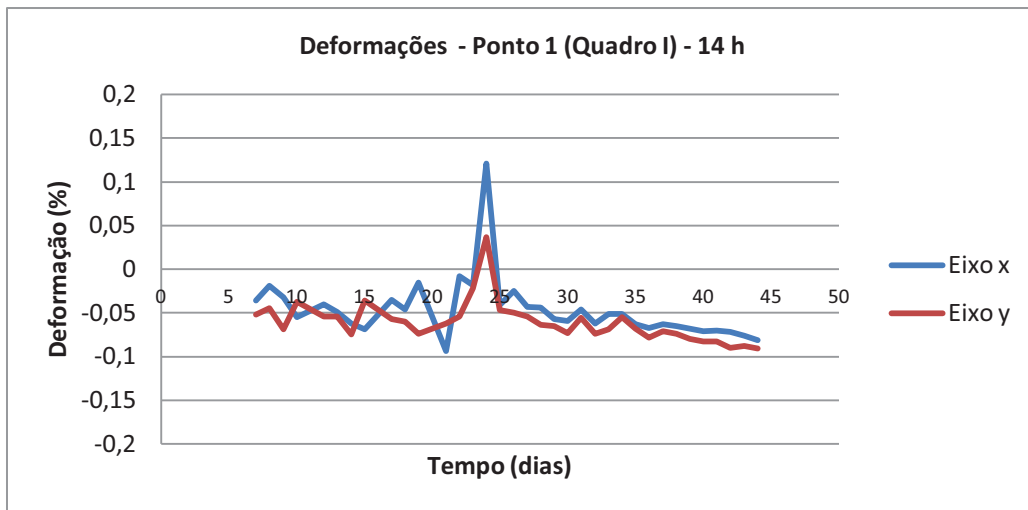
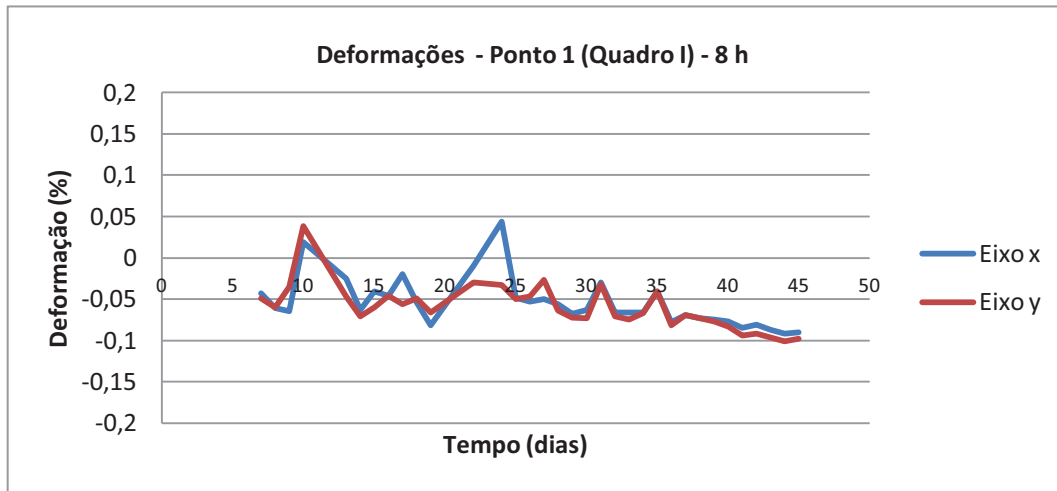
Tabela 26 - Resistências à compressão e módulos de elasticidade de testemunhos extraídos do Quadro II – argamassa mista.

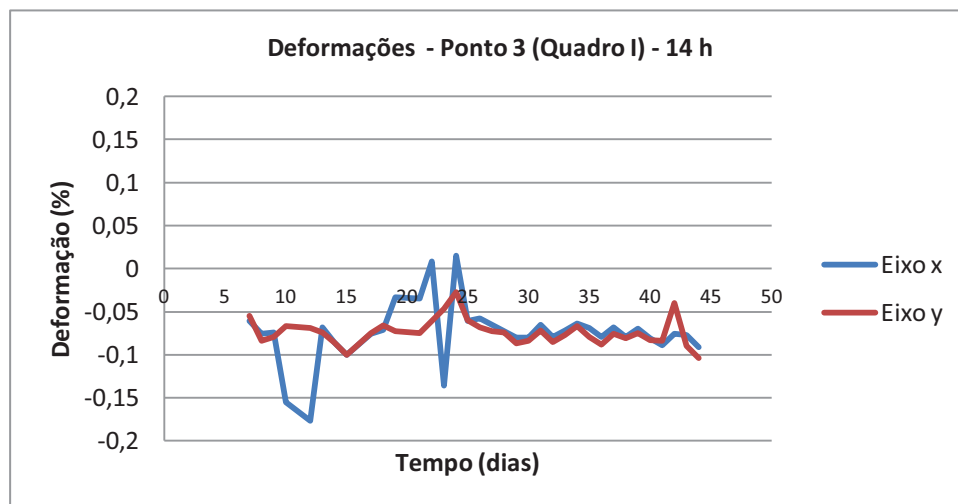
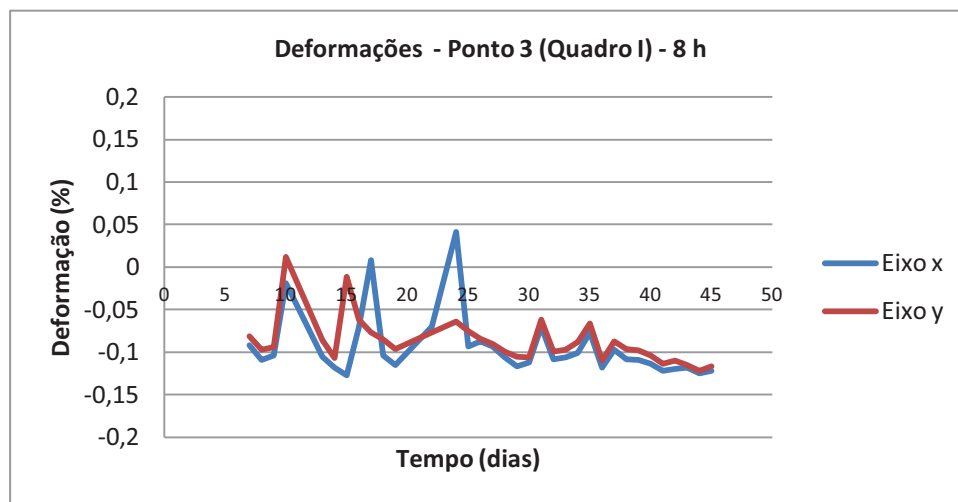
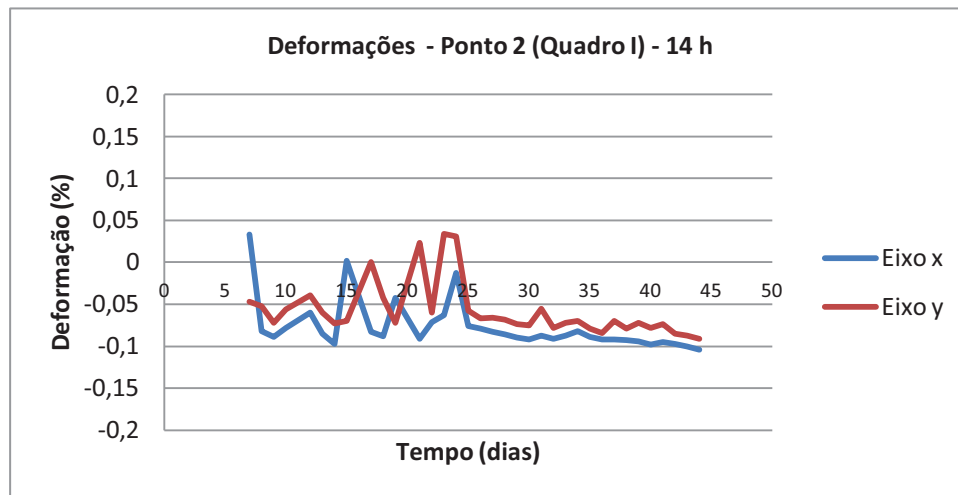
Idade (dias)	Testemunho	Resistência à compressão (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)
88	1	15,9	15,1
	2	9,0	12,7
	9	11,3	15,2
	10	12,2	12,8

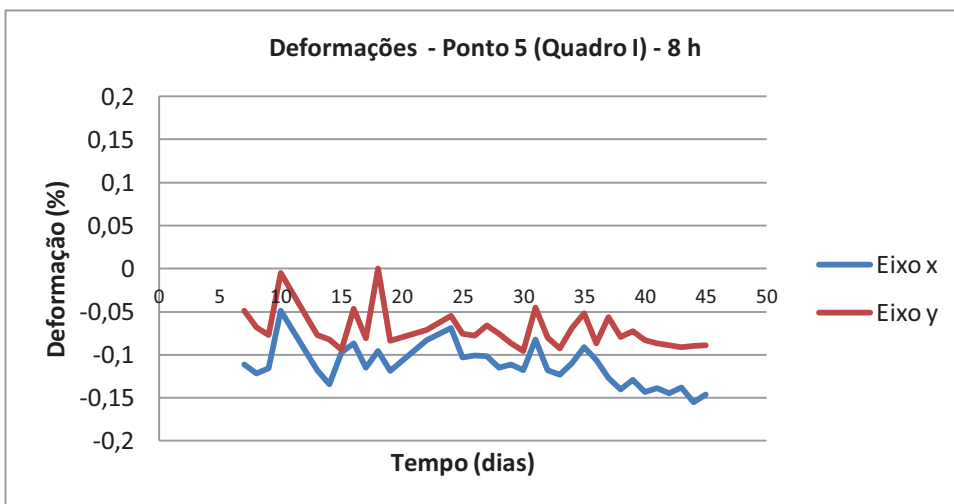
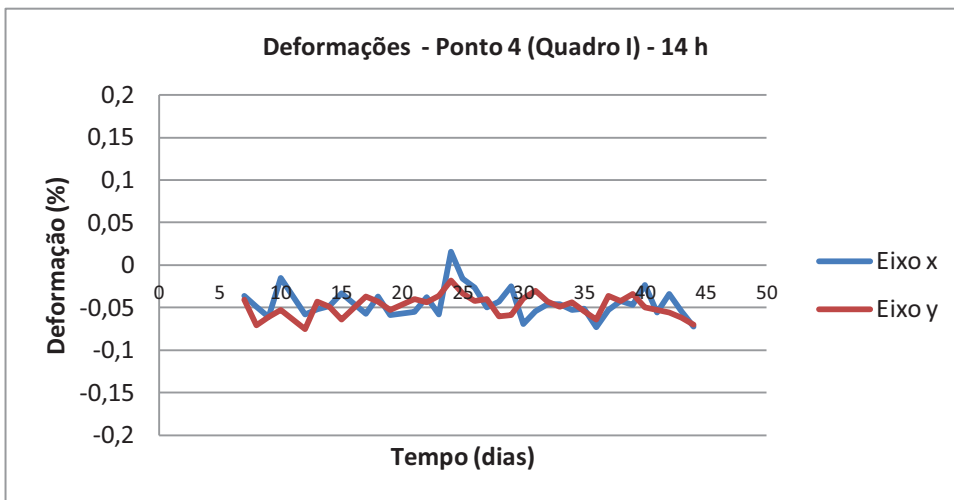
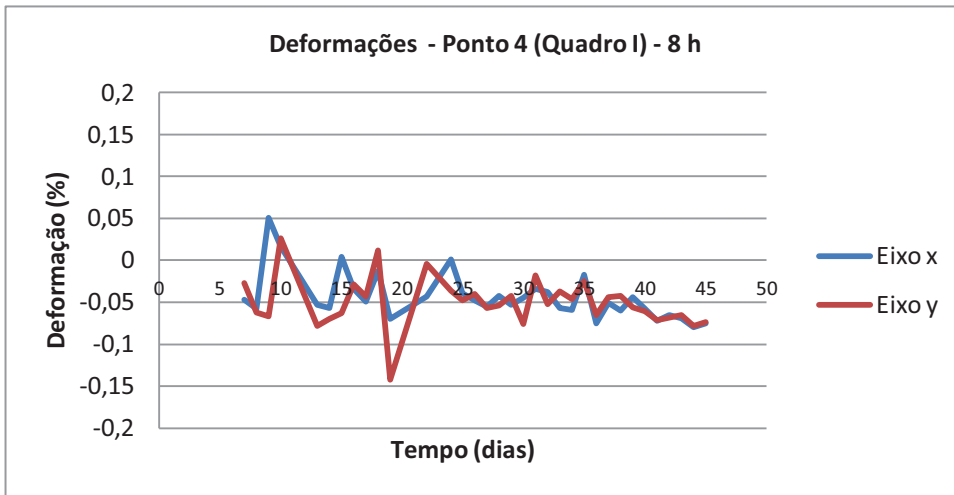
Os valores da resistência à compressão média e do módulo de elasticidade da argamassa de regularização dos quadros I e III são de 53 MPa e 29 GPa, respectivamente. A base de concreto tem resistência à compressão média e módulo de elasticidade de 30 MPa e 26 GPa (ensaios em testemunhos), respectivamente.

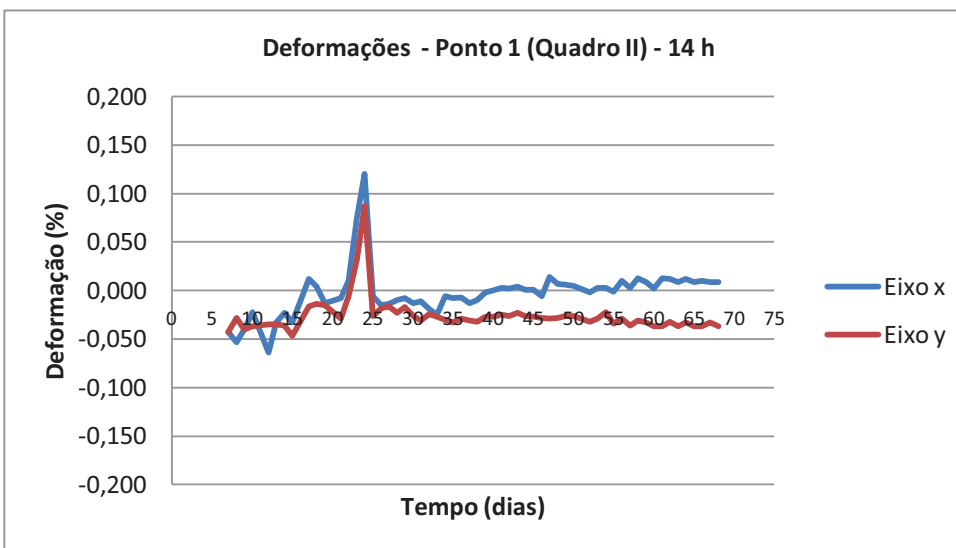
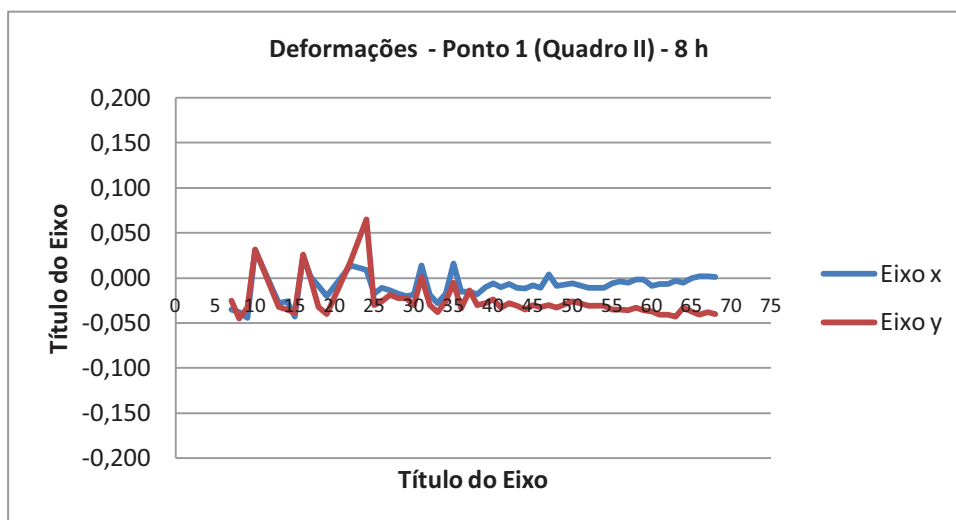
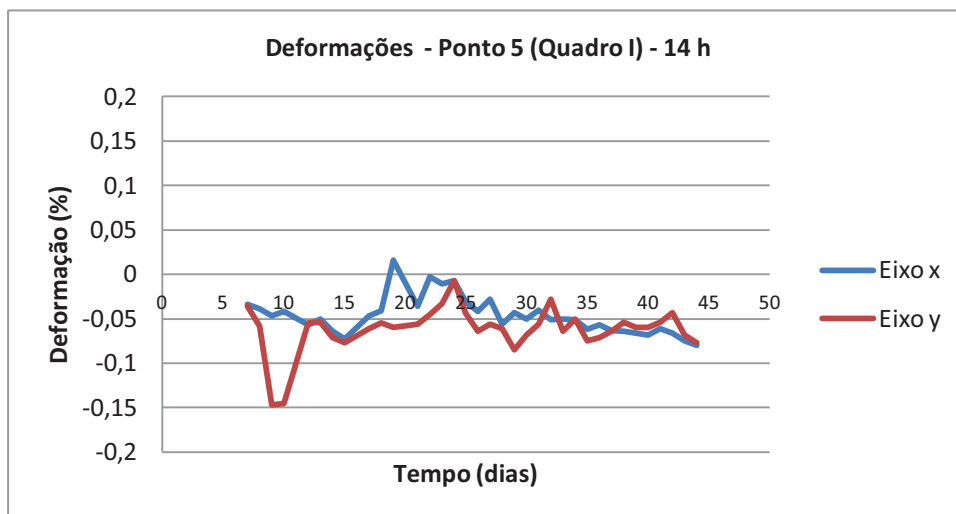
A.3 Deformações nos quadros I, II e III

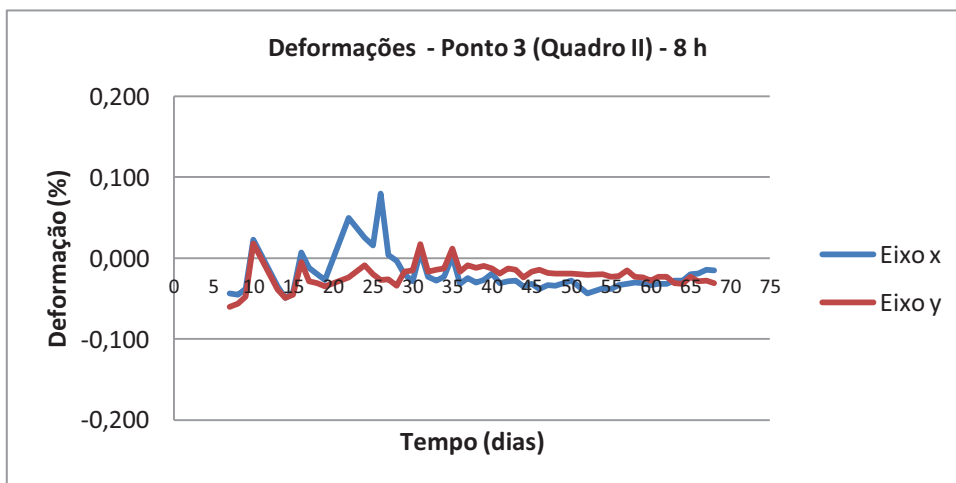
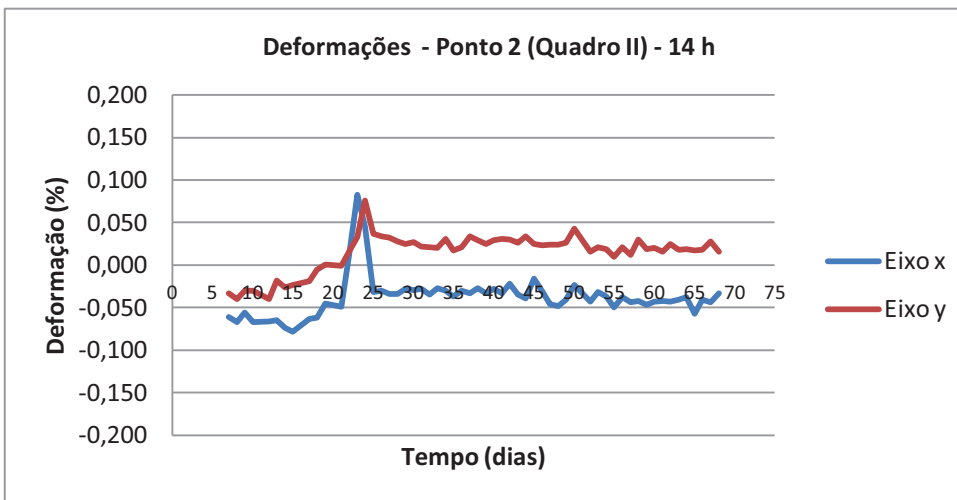
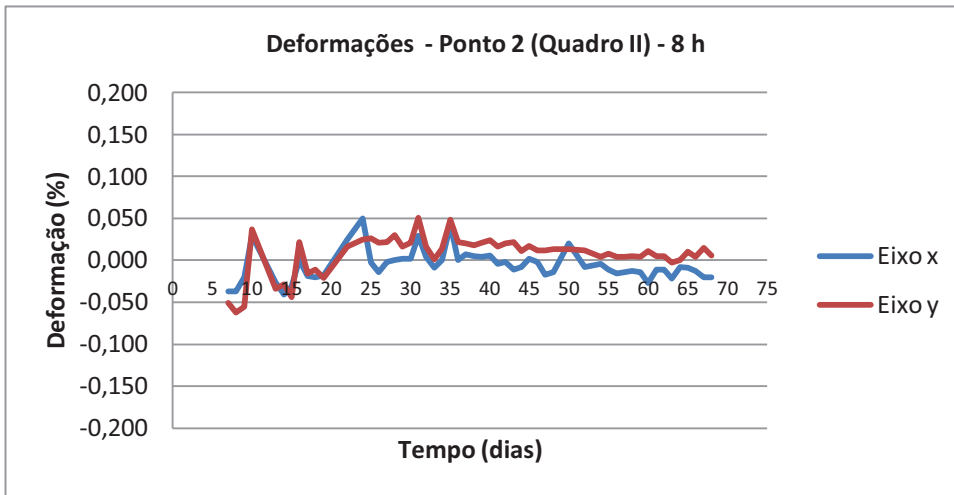
Os gráficos de deformações para os quadros I, II e III são subdivididos em pontos e horários de leitura.

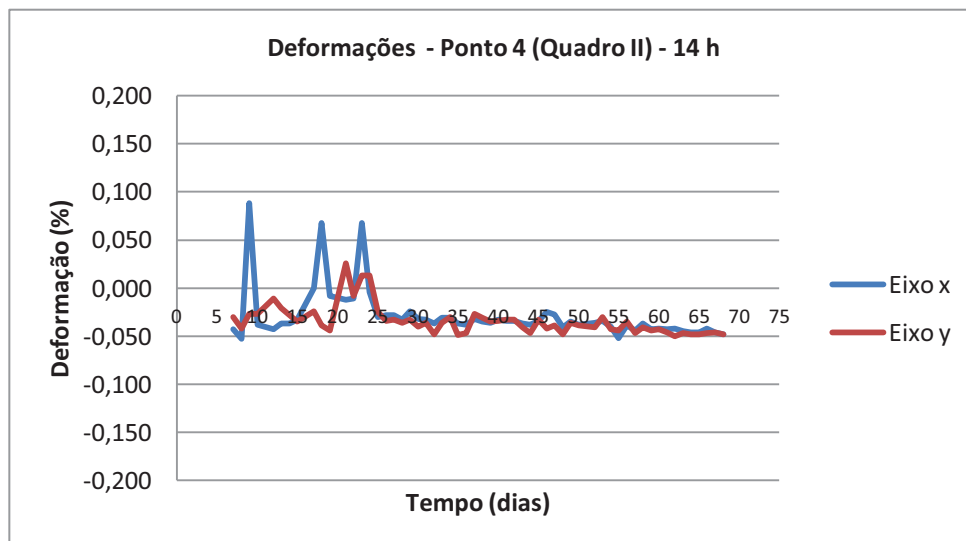
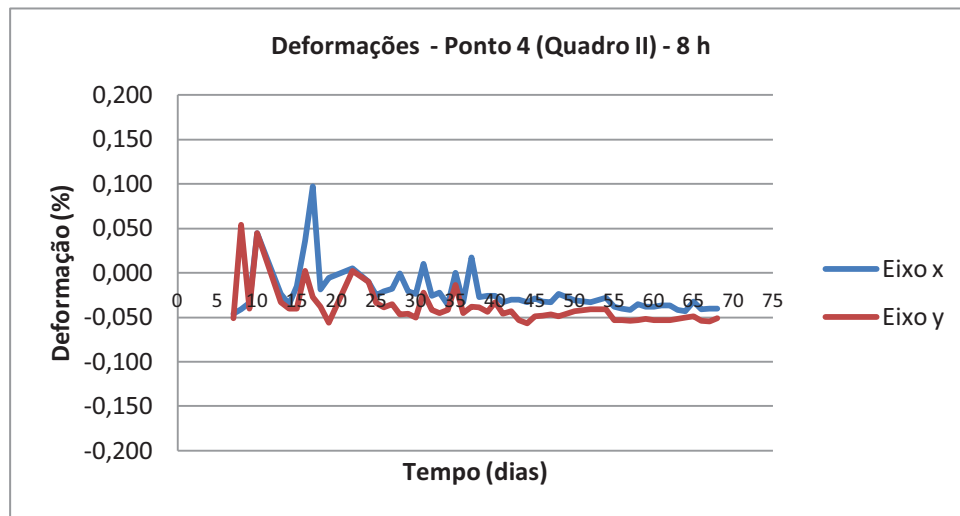
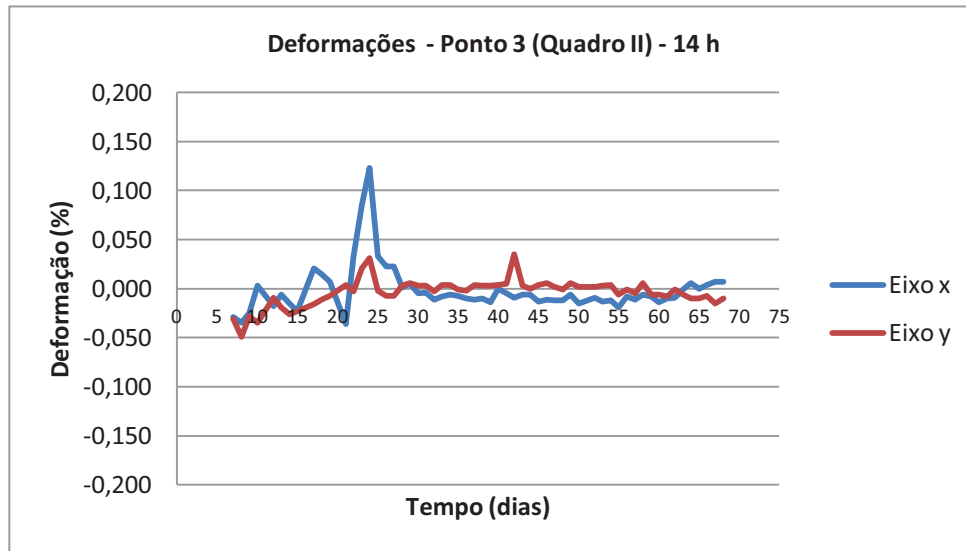


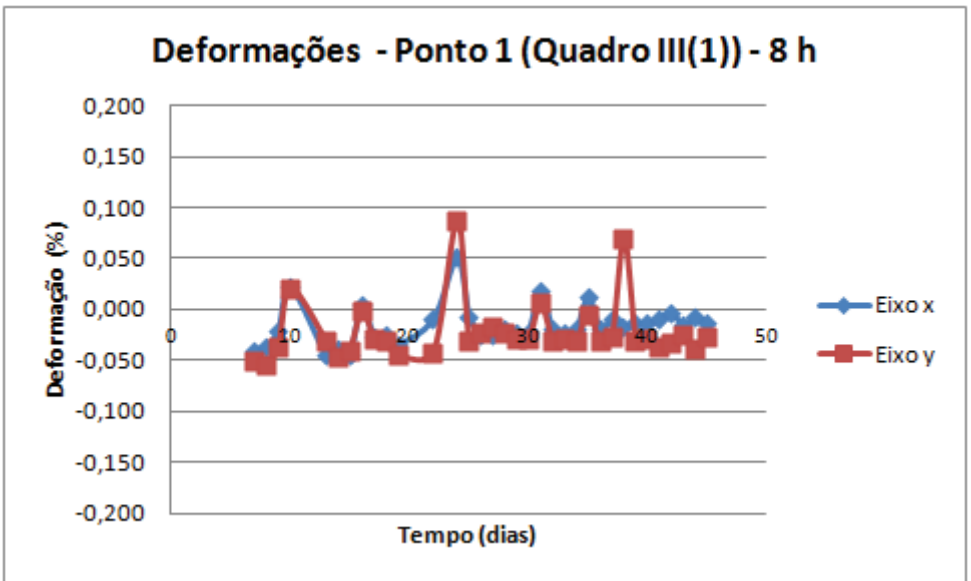
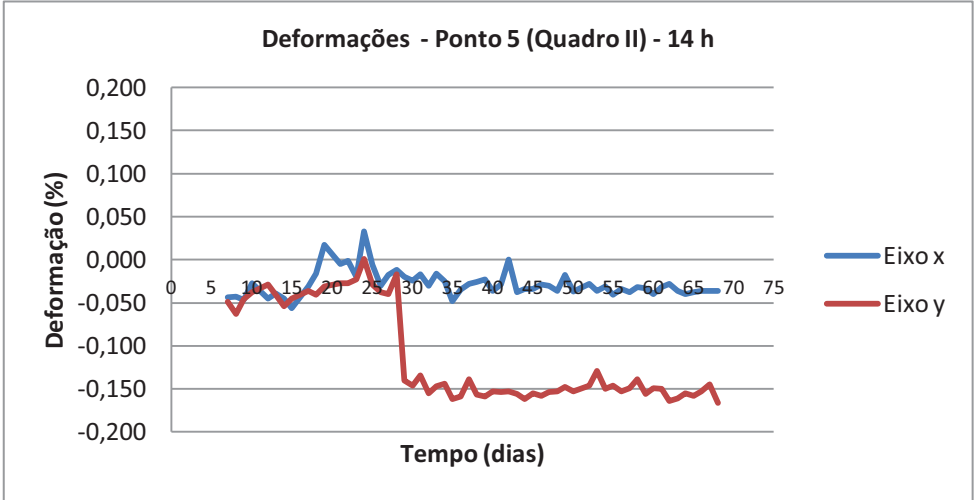
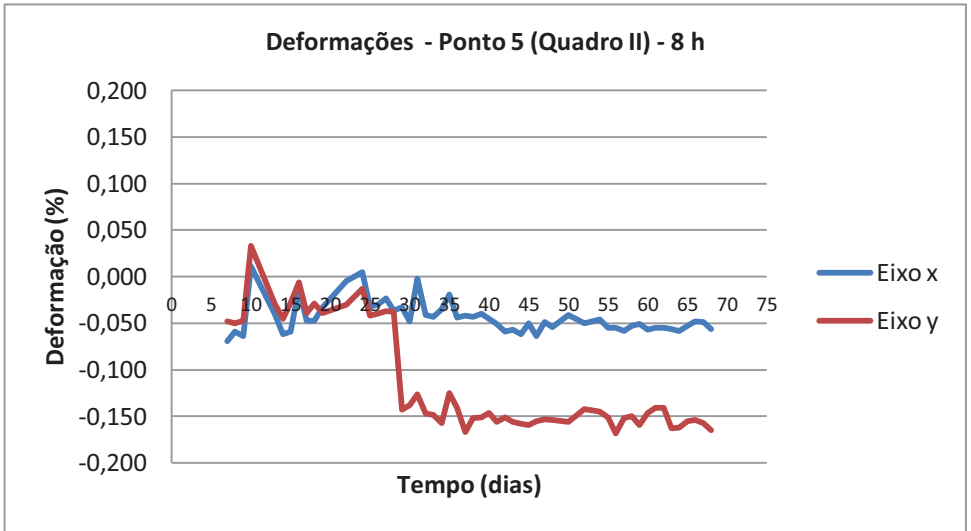


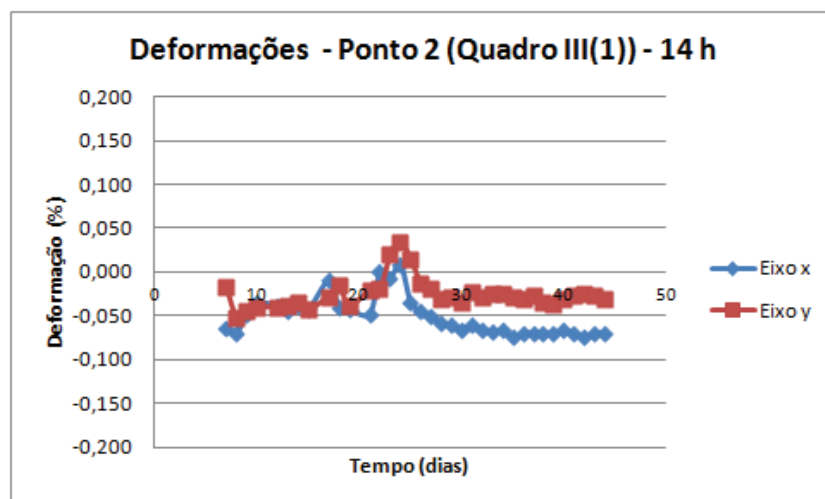
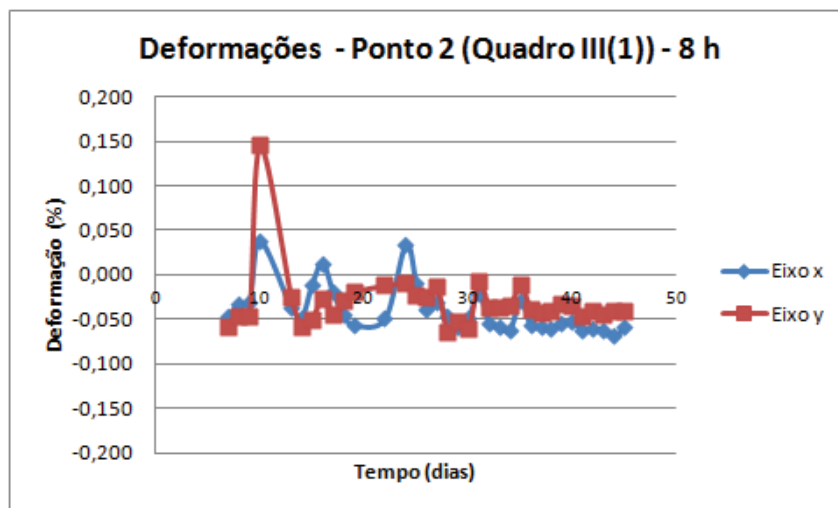
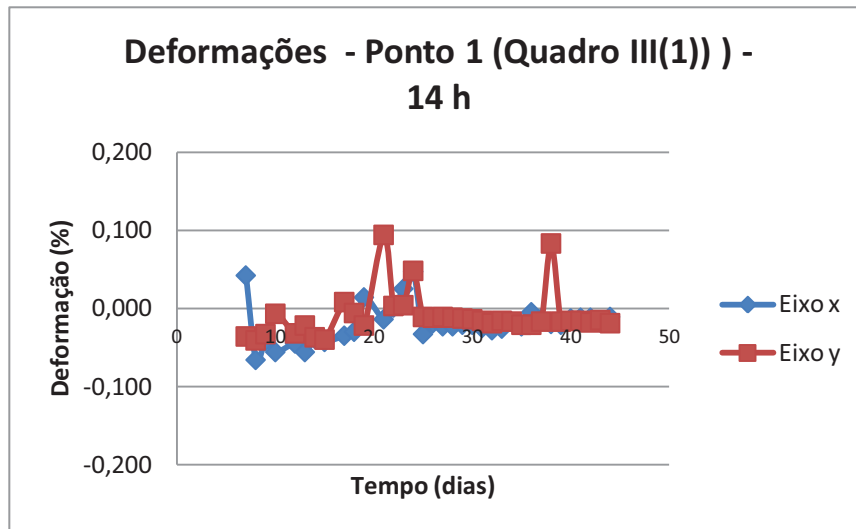


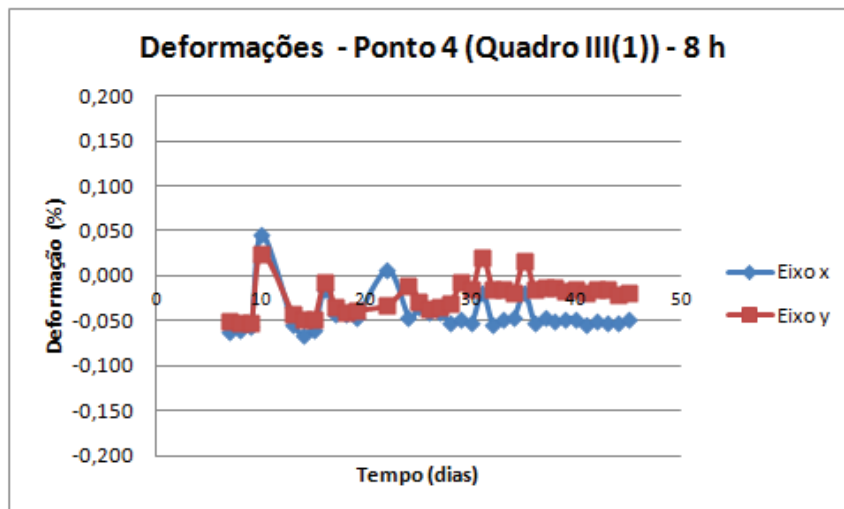
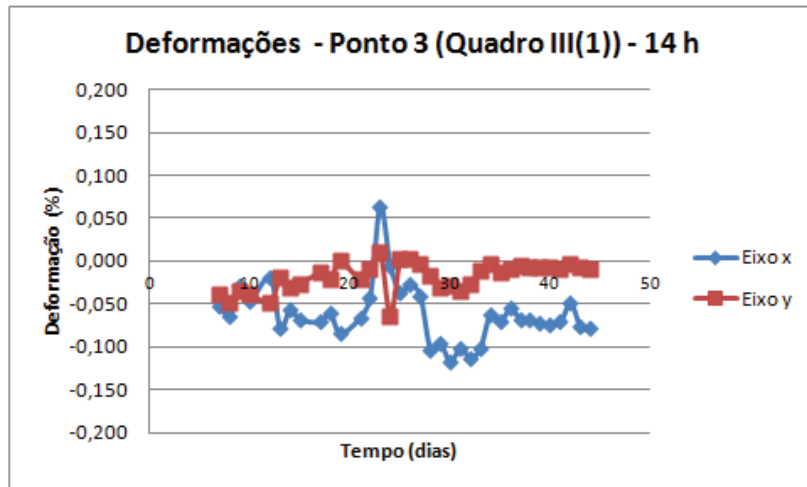
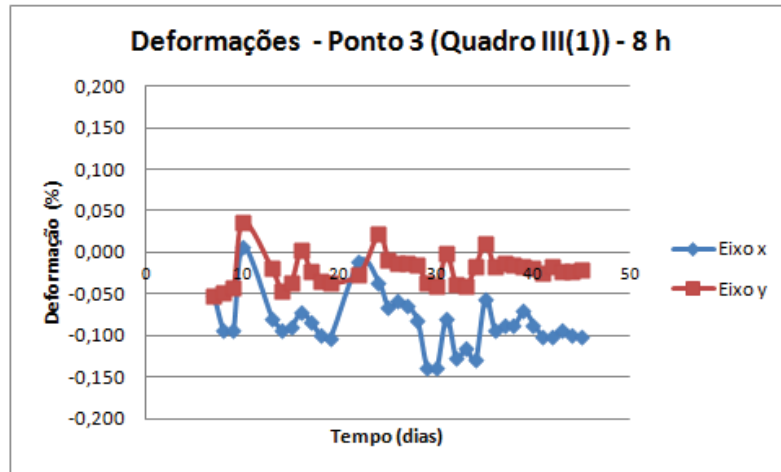


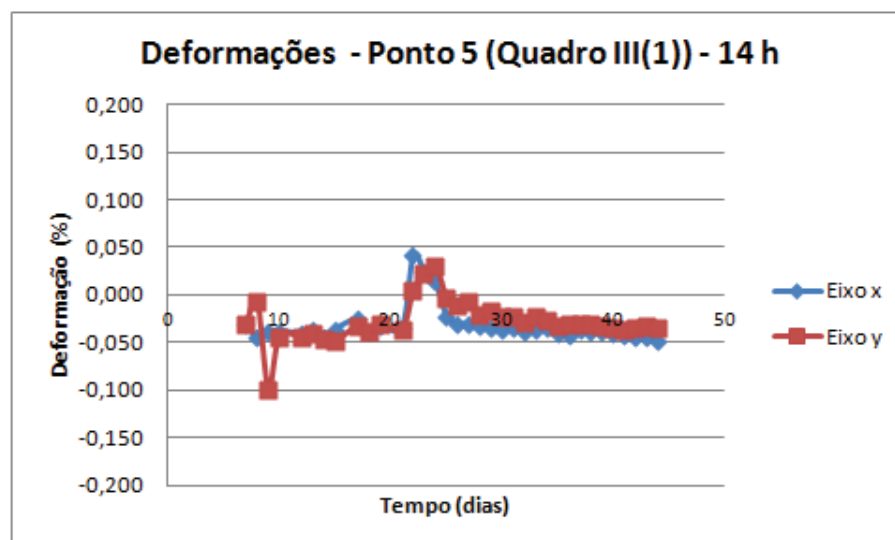
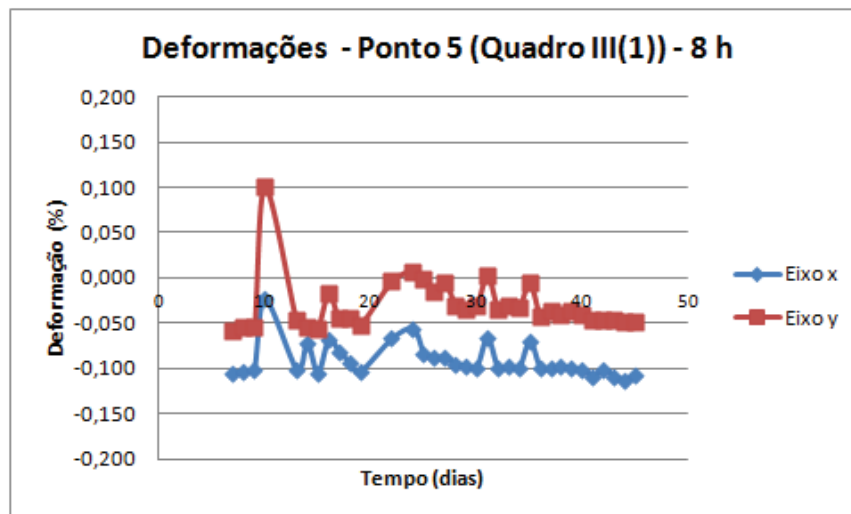
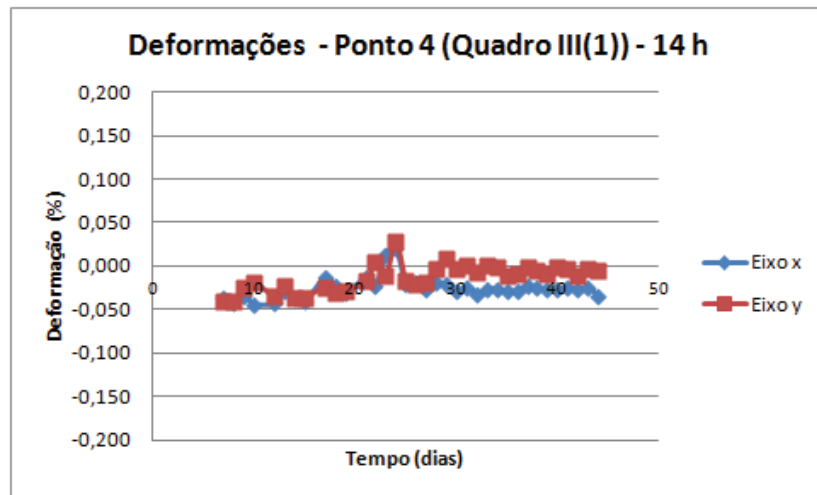


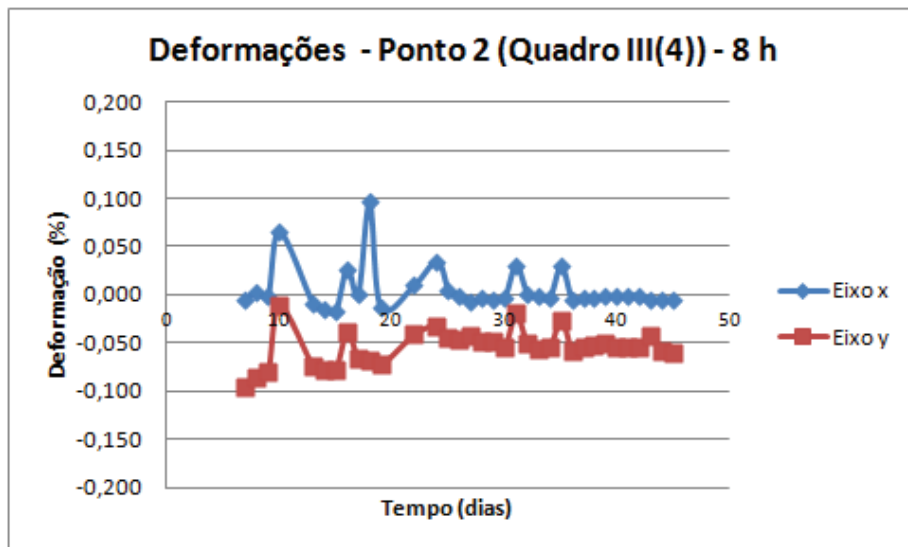
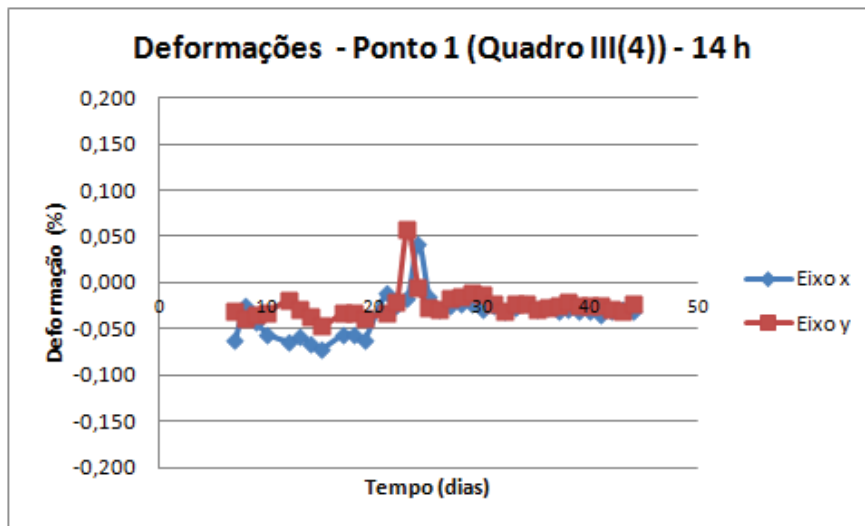
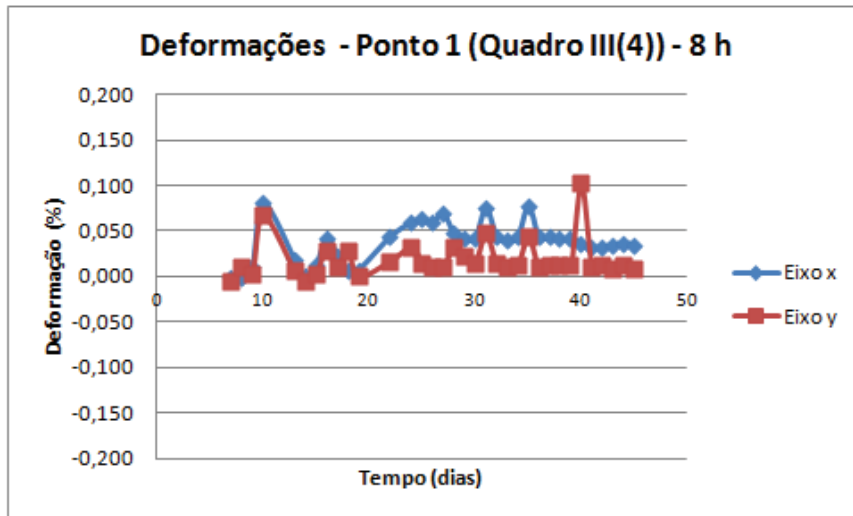


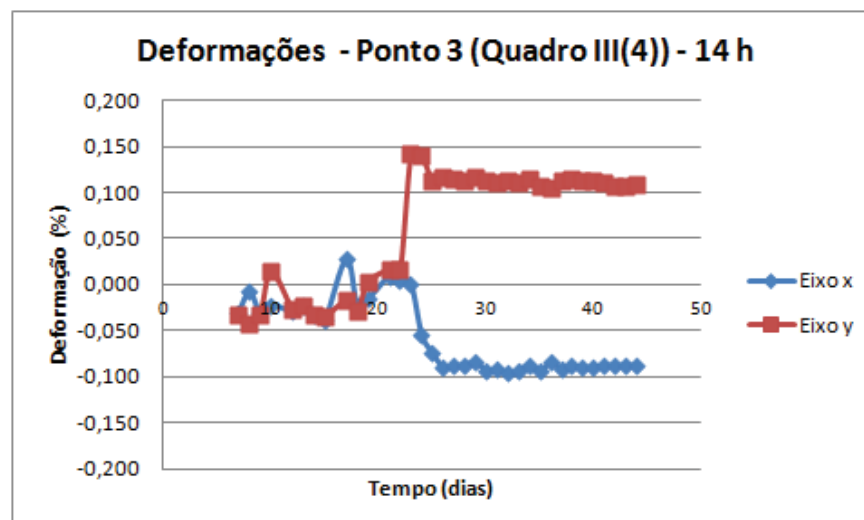
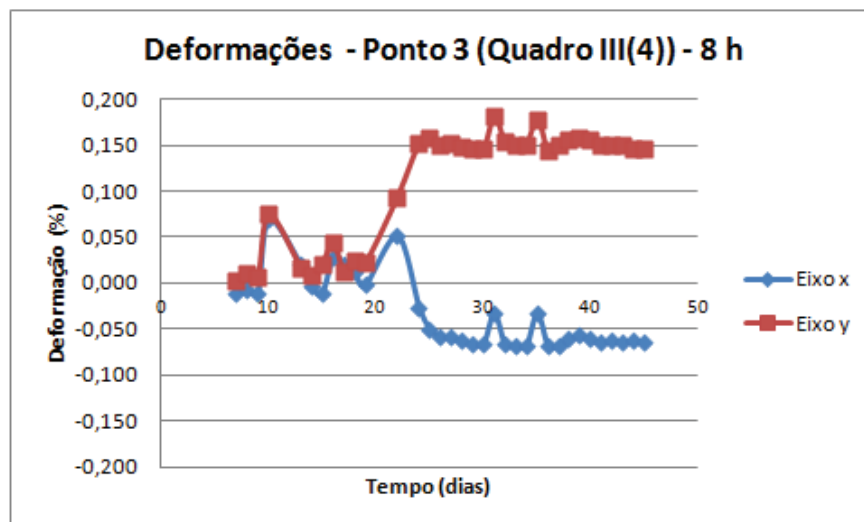
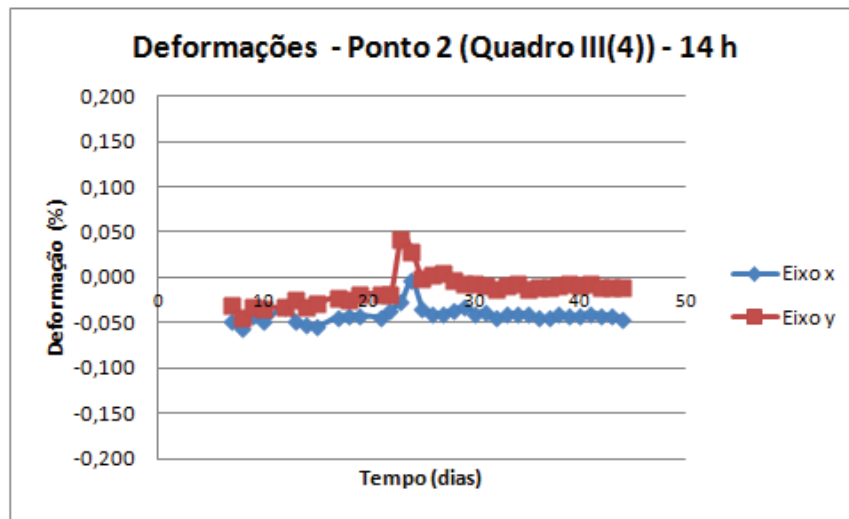


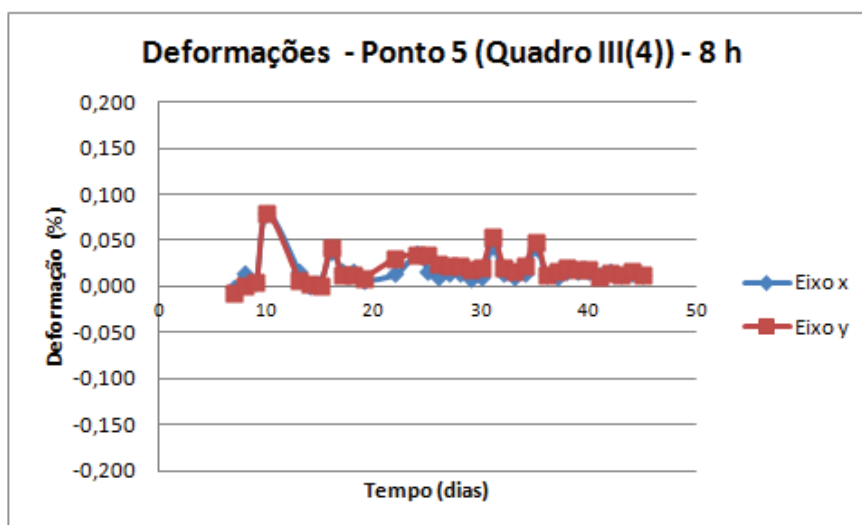
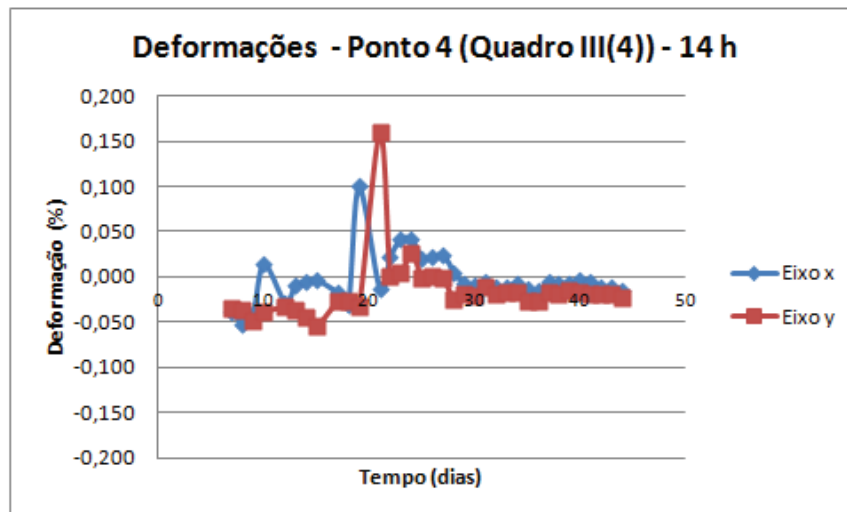
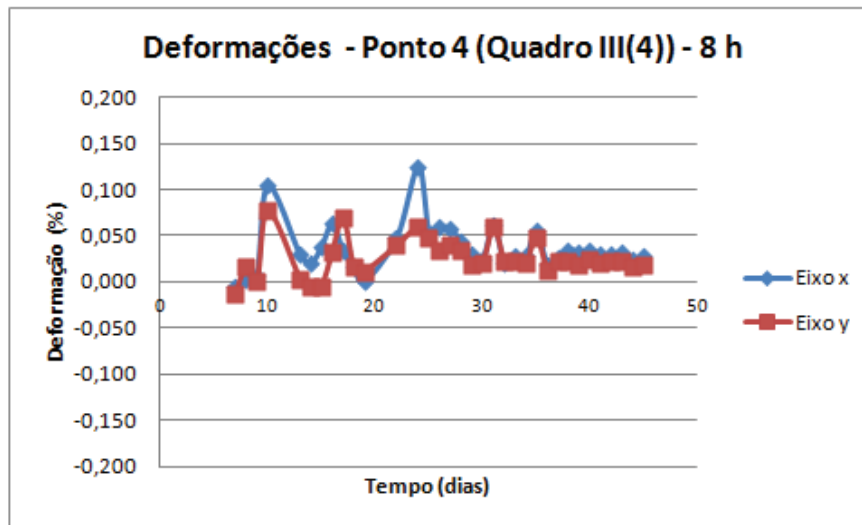


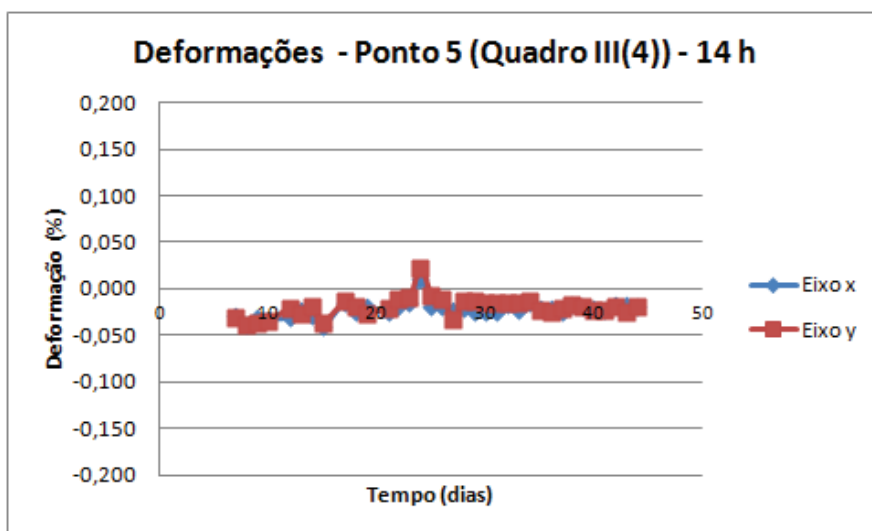












Para cada leitura foram registradas a temperatura e a umidade relativa do ar, como mostrado na Tabela 27.

Tabela 27 - Registros de temperaturas.

Idade (dias)	Temperatura (°C)		Variação das 8 h às 14 h	Variação em relação ao dia anterior	
	8 h	14 h		8 h	14 h
7	16	28	12	-	-
8	25	35	10	9	7
9	27	26	1	2	9
10	18	28	10	9	2
11	-	-	-	-	-
12	-	29	-	-	-
13	22	28	6	-	1
14	24	37	13	2	9
15	24	26	2	0	11
16	24	-	-	0	-
17	21	28	7	3	-
18	24	31	7	3	3
19	24	31	7	0	0
20	-	-	-	-	-
21	-	24	-	-	-!
22	21	25	4	-	1
23	-	26	-	-	1
24	18	23	5	-	3
25	17	23	6	1	0

26	17	26	9	0	3
27	18	25	7	1	1
28	18	25	7	0	0
29	18	25	7	0	0
30	20	25	5	2	0
31	19	28	9	1	3
32	21	30	9	2	2
33	20	23	3	1	7
34	21	30	9	1	7
35	24	33	9	3	3
36	25	34	9	1	1
37	20	25	5	5	9
38	16	22	6	4	3
39	15	24	9	1	2
40	16	22	6	1	2
41	17	29	12	1	7
42	19	29	10	2	0
43	22	30	8	3	1
44	22	31	9	0	1
45	21	25	4	1	6
46	21	26	5	0	1
47	23	28	5	2	2
48	24	32	8	1	4
49	-	27	-	-	5
50	23	28	5	-	1
51	-	-	-	-	-
52	22	24	2	-	-
53	-	22	-	-	2
54	20	22	2	-	0
55	19	26	7	1	4
56	20	25	5	1	1
57	20	23	3	0	2
58	21	27	6	1	4
59	22	28	6	1	1
60	24	26	2	2	2
61	22	31	9	2	5
62	23	28	5	1	3
63	25	29	4	2	1
64	26	31	5	1	2
65	24	27	3	2	4
66	23	28	5	1	1

67	22	29	7	1	1
68	23	29	6	1	0

Tabela 28 – Registros de umidades relativas do ar.

Idade (dias)	UR (%)		Variação das 8 h às 14 h	Variação em relação ao dia anterior	
	8 h	14 h		8 h	14 h
7	42	51	9	-	-
8	40	51	11	2	0
9	51	58	7	11	7
10	52	58	6	1	0
11	-	-	-	-	-
12	-	52	-	-	-
13	71,5	49	22,5	-	3
14	62	31	31	9,5	18
15	61	60	1	1	29
16	72	-	-	11	-
17	81	62	19	9	-
18	80	56	24	1	6
19	70	51	19	10	5
20	-	-	-	-	-
21	-	84	-	-	-
22	92	76	16	-	8
23	-	74	-	-	2
24	84	70	14	-	4
25	74	54	20	10	16
26	70	50	20	4	4
27	68	54	14	2	4
28	68	48	20	0	6
29	60	50	10	8	2
30	70	58	12	10	8
31	80	54	26	10	4
32	74	52	22	6	2
33	82	80	2	8	28
34	84	54	30	2	26
35	68	48	20	16	6
36	62	46	16	6	2
37	80	74	6	18	28
38	76	64	12	4	10

39	66	48	18	10	16
40	66	52	14	0	4
41	66	48	18	0	4
42	68	44	24	2	4
43	64	50	14	4	6
44	60	50	10	4	0
45	68	62	6	8	12
46	72	74	2	4	12
47	66	48	18	6	26
48	62	48	14	4	0
49	-	50	-	-	2
50	78	62	16	-	12
51	-	-	-	-	-
52	72	80	8	-	-
53	-	80	-	-	0
54	70	66	4	-	14
55	64	56	8	6	10
56	60	50	10	4	6
57	64	64	0	4	14
58	68	62	6	4	2
59	70	64	6	2	2
60	76	74	2	6	10
61	72	46	26	4	28
62	64	48	16	8	2
63	52	46	6	12	2
64	64	52	12	12	6
65	68	62	6	4	10
66	72	62	10	4	0
67	72	68	4	0	6
68	76	64	12	4	4

A.4 Datas relevantes em relação aos modelos

Tabela 29 - Datas de eventos relativos aos modelos.

Evento	Data
Concretagem da base (10 cm)	20 abril de 2011
Moldagem das argamassas	22 setembro de 2011
Moldagem do granilite	23 setembro de 2011