

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – UFSC
CENTRO TECNOLÓGICO - CTC
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL– ECV

LEONARDO BESEN MÜLLER

**MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PISOS DE
CONCRETO: AVALIAÇÃO EM GARAGENS DE EDIFÍCIOS
RESIDENCIAIS DA GRANDE FLORIANÓPOLIS**

Florianópolis
2014.

Leonardo Besen Müller

**MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PISOS DE
CONCRETO: AVALIAÇÃO EM GARAGENS DE EDIFÍCIOS
RESIDENCIAIS DA GRANDE FLORIANÓPOLIS**

Trabalho de conclusão apresentado ao curso de Engenharia Civil do Departamento de Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para obtenção do diploma de Grau de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Wellington Longuini Repette, Dr.

Florianópolis
2014.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Müller, Leonardo

Manifestações patológicas em pisos de concreto : Avaliação
em garagens de edifícios residenciais da Grande
Florianópolis / Leonardo Müller ; orientador, Wellington
Longuini Repette - Florianópolis, SC, 2014.
109 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico.
Graduação em Engenharia Civil.

Inclui referências

1. Engenharia Civil. 2. Patologias das construções.. 3.
Pisos industriais.. 4. Patologias de pisos de concreto..
I. Longuini Repette, Wellington. II. Universidade Federal
de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Civil. III.
Título.

Leonardo Bcsen Müller

**MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PISOS DE
CONCRETO: AVALIAÇÃO EM GARAGENS DE EDIFÍCIOS
RESIDENCIAIS DA GRANDE FLORIANÓPOLIS**

Trabalho de conclusão apresentado ao curso de Engenharia Civil do Departamento de Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para obtenção do diploma de Grau de bacharel em Engenharia Civil.

**APROVADO EM COMISSÃO EXAMINADORA
FLORIANÓPOLIS, 03 DE DEZEMBRO DE 2014.**



Prof. Wellington Longuini Repette, Dr. (Orientador)

AGRADECIMENTOS

Todos os momentos da vida, principalmente os mais difíceis, são oportunidades de aprendizado e melhora pessoal. É preciso ser forte e persistente para vencer os momentos de dificuldade e colher destes bons frutos.

Ao longo do desenvolvimento deste Trabalho de Conclusão de Curso passei por momentos bastante difíceis, mas com fé e o apoio de pessoas muito especiais consegui chegar ao fim desta jornada e aprender importantes lições.

Pai e mãe, vocês sempre me apoiaram e me deram forças para persistir e batalhar pelos meus sonhos. Desde o início de minha vida vocês me ensinaram muito e me incentivaram a chegar aos meus objetivos por meio dos estudos, trabalho e honestidade. Nos últimos tempos a vida nos deu a oportunidade de aprendermos um pouco juntos. Graças a Deus estamos conseguindo superar os problemas e através destes evoluirmos. Amo vocês!

Henrique e Cristina, sempre fomos muito do mais que irmãos. Compartilhamos durante a vida alguns momentos de angústia, mas principalmente muitos momentos de companheirismo e alegria. Tenho certeza que a distância que tivemos no último ano, seja ela física ou por diferenças de pensamento e atitudes, logo irão se acabar e voltaremos a ser melhores amigos, como sempre fomos. Amo muito vocês!

Paula, meu amor, conheci você no início do meu curso de Engenharia Civil, quando meus maiores problemas eram as provas de Cálculo A e a distância entre Palhoça e Barreiros que nos separava. Você sempre me deu forças para continuar estudando e batalhar pelos meus sonhos. Nos momentos de dificuldades você sempre esteve ao meu lado me dando apoio e ensinando muitas coisas. Hoje chego ao fim desta jornada como uma nova pessoa e te amando mais a cada dia. Obrigado por fazer minha vida mais feliz. Amo-te muito!

Agradeço ainda a Aurelia, que se tornou uma segunda mãe para mim, todos os meus amigos (inclusive os de quatro patas) e familiares que sempre me deram muita alegria e apoio.

A todo o Departamento de Engenharia Civil da UFSC, em especial meu professor orientador Wellington Longuini Repette, que sempre foram muito atenciosos e me proporcionaram muitos

conhecimentos ao longo destes anos de graduação. Obrigado pelo carinho e dedicação!

Agradeço ainda a todos os funcionários da RDO Empreendimentos, especialmente aos engenheiros Carlos Everton Kurtz e Vilberto Steinbach Júnior, onde tive o prazer de estagiar e aprender muito nos últimos dois anos. Vocês foram sempre muito atenciosos e sempre me incentivaram a colocar a faculdade em primeiro lugar. Muito obrigado!

Enfim, a todos que me ajudaram de forma direta ou indireta a realizar este Trabalho de Conclusão de Curso. Muito obrigado!

RESUMO

Devido as suas características de execução, propriedades mecânicas, boa resistência a ataques químicos, facilidade de limpeza, aparência estética e características de planicidade e nivelamento, os pisos de concreto, denominados também de pisos industriais, têm sido amplamente utilizados em diversos setores no Brasil. Fatores como a baixa qualidade nas etapas de projeto e execução e a ausência ou insuficiência de manutenção periódica propiciam a ocorrência de diversas manifestações patológicas. São identificados neste trabalho as principais manifestações patológicas de pisos de concreto, suas prováveis causas, como mitigar e as possíveis soluções. São avaliados dois casos de pisos de concreto em garagens de edifícios residenciais na Grande Florianópolis. É feita análise da execução e da qualidade final dos pisos de concreto das obras estudadas identificando as manifestações patológicas mais recorrentes e avaliando a qualidade dos reparos quando feitos. Conclui-se que a qualidade e controle empregados nas etapas de projeto e execução têm reflexos significativos no desempenho da estrutura ao longo de sua vida útil.

Palavras-chave: Pisos de concreto. Pisos industriais. Manifestações patológicas. Desempenho.

ABSTRACT

Due to its characteristics of execution, mechanical properties, good resistance to chemical attack, easy cleanability, esthetic appearance and flatness and levelness characteristics, concrete floors, also called industrial floors, have been widely used in several sectors in Brazil. Factors such as low quality in design and execution stages and the absence or insufficiency of periodic maintenance favor the occurrence of several pathological manifestations. Are identified in this work the main pathological manifestations of concrete floors, their probable causes, how to mitigate and the possible solutions. Are evaluated two cases of concrete floors in garages of residential buildings in Florianópolis region. Is made analysis of the implementation and the final quality of the concrete floors studied identifying pathological manifestations more recurrent and evaluating the quality of repairs when done. It is concluded that the quality and control employees in project and implementation stages have significant impacts on the performance of the structure over its lifetime.

Keywords: Concrete floors. Industrial floors. Pathological manifestations. Performance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema genérico de piso	23
Figura 2 - Pavimento de concreto típico	24
Figura 3 – Piso de concreto simples	24
Figura 4 – Piso com armadura distribuída.....	25
Figura 5 – Piso estruturalmente armado.....	25
Figura 6 – Piso reforçado com fibras	26
Figura 7 – Piso protendido	26
Figura 8 – Cordoalha engraxada encapada.....	34
Figura 9 – Fibras de aço com ancoragens nas extremidades	35
Figura 10 – Junta de construção	38
Figura 11 – Junta serrada	39
Figura 12 - Junta de encontro	39
Figura 13 – Juntas de encontro.....	40
Figura 14 – Esborcinamento	40
Figura 15 – Deslocamento entre faces	41
Figura 16 - Influência ambiental sobre a evaporação da água do concreto	45
Figura 17 – Planos de concretagem.....	47
Figura 18– Fluxograma da etapa de acabamento do concreto.....	49
Figura 19 - Diferenças de elevação	52
Figura 20 – Diferença de nível	52
Figura 21 – Valores globais típicos de planicidade e nivelamento	53
Figura 22 – Desempenho em função do tempo	56
Figura 23 – Lei de evolução de custo.....	57
Figura 24 – Fissuras por retração plástica	59
Figura 25 – Fissuras craqueladas.....	60
Figura 26 – Fissuras por retração hidráulica	62
Figura 27 – Pulverulência superficial.....	65
Figura 28 – Delaminação superficial.....	66
Figura 29 – Bolhas na superfície	66
Figura 30 – Descamação superficial	68
Figura 31 - Lascamento de superfície	69
Figura 32 - Lascamento ao longo de junta	69

Figura 33 – Descolamento de fragmentos.....	70
Figura 34 – Fachada da Obra 1	76
Figura 35 - Localização da obra 1	77
Figura 36 – Mecanismo de transferência de carga.....	78
Figura 37 - Fibras sintéticas estruturais e microfibras de polipropileno.	79
Figura 38 - Amostra de concreto com fibras utilizado.....	80
Figura 39 - Lançamento do concreto.	80
Figura 40 - Junta de encontro.....	81
Figura 41 - Nivelamento do concreto.....	82
Figura 42 - Nível laser giratório.....	82
Figura 43 - Desempeno do concreto.	83
Figura 44 - Desempenadeira mecânica de lâminas.	83
Figura 45 - Corte de junta.	84
Figura 46 - Aspecto final do piso.....	85
Figura 47 - Diferença de tonalidade em concretos de idades distintas.	85
Figura 48 - Fachada da Obra 2.....	87
Figura 49 - Localização da obra 2.....	88
Figura 50 - Garagem do subsolo.	89
Figura 51 - Garagem do térreo.....	89
Figura 52 - Garagem do segundo pavimento.	90
Figura 53 - Garagem do terceiro pavimento.	90
Figura 54 - Fissuras craqueladas (crazing).....	91
Figura 55 - Junta de construção.	91
Figura 56 - Fissura por restrição.	92
Figura 57 - Fissuras por restrição.....	92
Figura 58 - Ineficiência de junta.	93
Figura 59 - Fissura por restrição.	94
Figura 60 - Fissura de origem estrutural.	94
Figura 61 - Exposição de armadura.	96
Figura 62 – Lascamento do concreto.	96
Figura 63 – Lascamento do concreto.	97
Figura 64 - Baixo cobrimento.	97
Figura 65 - Reparo de armadura exposta.	98
Figura 66 - Delaminação da superfície.	99
Figura 67 - Concreto da superfície degradado.	100
Figura 68 - Concreto da superfície degradado.	100
Figura 69 - Recuperação parcial da superfície.....	101

Figura 70 - Recuperação parcial da superfície.	101
Figura 71 - Mau acabamento nos encontros com elementos construtivos.	102
Figura 72 - Má qualidade de acabamento da superfície.	103

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACI - American Concrete Institute

ANAPRE - Associação Nacional de Pisos e Revestimentos de Alto Desempenho

ASTM - American Society for Testing and Materials

EPS - Poliestireno Expandido

IBTS - Instituto Brasileiro de Telas Soldadas

NBR - Norma Brasileira

PCA - Portland Cement Association

PVC - Policloreto de Vinila

RAD - Revestimento de Alto Desempenho

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	21
1.1	OBJETIVO GERAL.....	21
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
1.3	JUSTIFICATIVA	22
2	PISOS DE CONCRETO	23
2.1	CONCEITO	23
2.2	CLASSIFICAÇÃO	24
2.3	USOS	26
2.4	PROJETO E DIMENSIONAMENTO	27
2.5	REQUISITOS DE DESEMPENHO DA SUPERFÍCIE ..	27
2.6	MATERIAIS BÁSICOS	28
2.6.1	O concreto para pisos	28
2.6.2	Armaduras e fibras.....	33
2.6.3	Barras de transferência	36
2.6.4	Selantes e materiais de preenchimento de juntas.....	36
2.6.5	Materiais de revestimento de alto desempenho.....	37
2.7	JUNTAS	37
2.7.1	Mecanismos de transferência de carga	40
2.8	EXECUÇÃO.....	41
2.8.1	Camadas de suporte do pavimento	41
2.8.2	Preparação para concretagem	44
2.8.3	Lançamento e adensamento	46
2.8.4	Acabamento da superfície	48
2.8.5	Cura	50
2.8.6	Execução de juntas.....	51
2.8.7	Planicidade e nivelamento	51
3	PATOLOGIA DE PISOS DE CONCRETO	55
3.1	CONCEITOS SOBRE PATOLOGIA	55
3.2	VIDA ÚTIL, DESEMPENHO, DURABILIDADE	56
3.2.1	Manutenção de estruturas.....	57
3.3	MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DE PISOS DE CONCRETO	58
3.3.1	Fissuração	58
3.3.2	Baixa resistência ao desgaste superficial.....	63
3.3.3	Pulverulência (<i>dusting</i>)	64
3.3.4	Bolhas e delaminação.....	65
3.3.5	Descamação da superfície (<i>scaling</i>)	67

3.3.6	Lascamento (<i>spalling</i>).....	68
3.3.7	Descolamento de fragmentos (<i>popouts</i>).....	70
3.3.8	Descoloração da superfície.....	71
3.3.9	Empenamento das placas (<i>curling</i>)	71
3.3.10	Problemas de drenagem.....	72
4	ESTUDOS DE CASO.....	75
4.1	MÉTODO DE TRABALHO	75
4.2	CASO 1	76
4.2.1	Descrição da obra	76
4.2.2	Execução do piso de concreto	77
4.2.3	Avaliação da qualidade final do piso	84
4.2.4	Considerações sobre o caso.....	86
4.3	CASO 2	87
4.3.1	Descrição da obra	87
4.3.2	Identificação e análise das manifestações patológicas	88
4.3.3	Avaliação da qualidade final do piso	102
4.3.4	Considerações sobre o caso.....	103
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	105
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	107

1 INTRODUÇÃO

Impulsionados pelo desenvolvimento de novas tecnologias e pelo crescimento de alguns setores industriais, os pisos de concreto se popularizaram no Brasil na década de 1980 devido às suas características, dentre elas: boas propriedades mecânicas, elevada resistência a ataques químicos, facilidades na limpeza e estética adequada (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PISOS E REVESTIMENTOS DE ALTO DESEMPENHO – ANAPRE, 2014).

Devido as suas características, os pisos de concreto tornam-se ideais para diversos setores, tais como: depósitos, centros de distribuição, quadras esportivas, estacionamentos, postos de combustível, áreas industriais e outros (ANAPRE, 2014).

Fatores como a falta de controle na execução, baixa qualidade de materiais e mão de obra, condições de exposição, uso inadequado e ausência de manutenção periódica são determinantes para a ocorrência de diversas manifestações patológicas (ANAPRE, 2014).

Neste horizonte destaca-se a importância de identificar as principais causas, tipos e possíveis soluções para as manifestações patológicas de pisos de concreto. Desta forma, foram selecionados pisos de concreto em garagens de dois empreendimentos residenciais da Grande Florianópolis para análise da qualidade de execução e resultado final dos mesmos.

Nesta ótica questiona-se: quais são, por que ocorrem, como evitar e como reparar as manifestações patológicas de pisos de concreto em garagens de dois edifícios residenciais da região da Grande Florianópolis?

1.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo geral identificar as principais manifestações patológicas de pisos de concreto, suas origens, causas e possíveis soluções em garagens de dois edifícios residenciais da região da Grande Florianópolis.

1.2 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo principal foram formulados objetivos específicos como norteadores deste estudo:

- a) Caracterizar os principais tipos de manifestações patológicas de pavimentos de concreto;
- b) Identificar e analisar os problemas encontrados em cada obra;
- c) Avaliar a qualidade final dos pisos de concreto das duas obras; e
- d) Apresentar possíveis soluções para os problemas identificados.

1.3 Justificativa

A maior parte das publicações na área de patologia de construção foca em manifestações patológicas de elementos estruturais, alvenarias, revestimento cerâmico e de pintura, apesar do amplo uso de pisos de concreto.

A insuficiência de dados bibliográficos nacionais referentes a patologia de pisos de concreto e a intenção de se analisar a ocorrência de manifestações patológicas em pisos de garagens de empreendimentos residenciais da Grande Florianópolis justificam a escolha do tema para o Trabalho de Conclusão de Curso.

2 PISOS DE CONCRETO

Neste capítulo serão apresentados os principais conceitos, características, materiais componentes e etapas executivas referentes a pisos de concreto.

2.1 Conceito

O *The Concrete Society* (2003) define piso como uma plataforma indispensável para todas as formas de atividade em edifícios.

Pisos são superfícies horizontais ou inclinadas formadas por camadas, conforme exemplo genérico apresentado na Figura 1, e têm a função de vedação, estrutura e atendimento de tráfego (NBR 15575-3:2013 - Edificações habitacionais: Desempenho Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos).

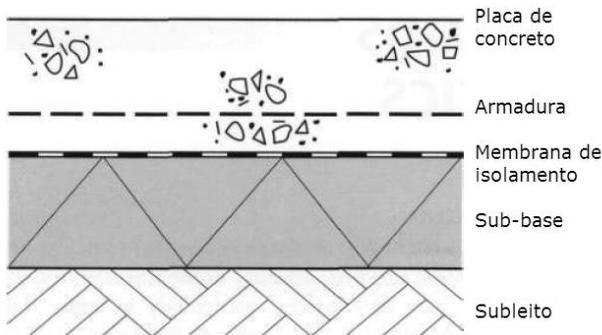
Figura 1 - Sistema genérico de piso



Fonte: ABNT, 2013b, p. 07.

Basicamente o que define um piso de concreto é que a camada de acabamento, camada superior do piso que recebe o tráfego (*THE CONCRETE SOCIETY*, 2003), seja de concreto. A Figura 2 representa as camadas de um típico piso de concreto apoiado sobre solo.

Figura 2 - Pavimento de concreto típico



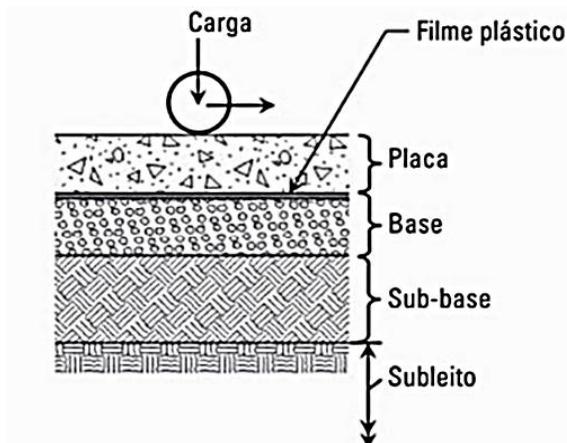
Fonte: Adaptado de The Concrete Society, 2003, p. 10.

2.2 Classificação

De acordo com Rodrigues, Botacini e Gasparetto (2006), segundo o tipo de armadura ou fibra utilizado, os pisos de concreto podem ser classificados nas seguintes categorias:

- **Pisos de concreto simples:** são executados sem a utilização de armaduras (Figura 3); por esse motivo apresentam grandes espessuras, alta rigidez, baixo controle de fissuração e altos índices de juntas.

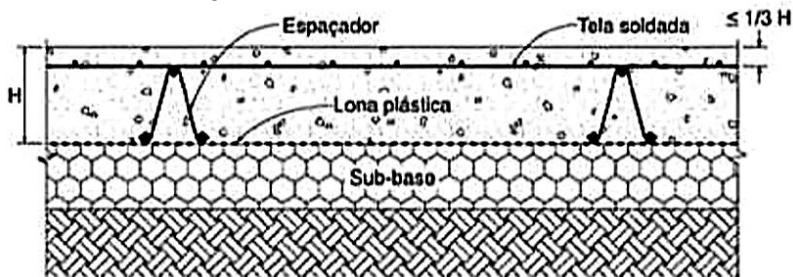
Figura 3 – Piso de concreto simples



Fonte: Rodrigues, 2010, p. 12.

- **Pisos com armadura distribuída:** caracterizam-se pela menor espessura e menor número de juntas em relação aos pisos de concreto simples. As armaduras geralmente são compostas por telas soldadas posicionadas a $1/3$ da parte superior da placa de concreto (Figura 4).

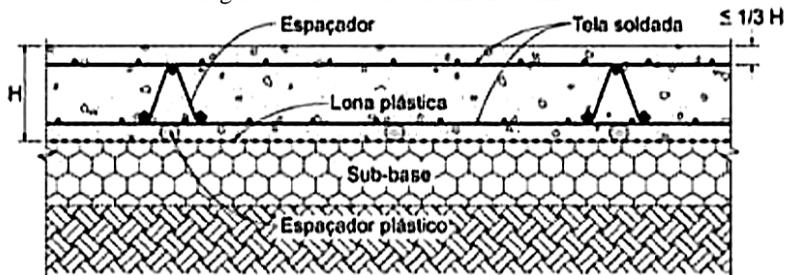
Figura 4 – Piso com armadura distribuída



Fonte: Rodrigues, Botacini e Gasparetto, 2006, p. 12.

- **Pavimento estruturalmente armado:** distingue-se dos pisos com armadura distribuída por apresentar armadura positiva para absorção de esforços gerados por carregamentos (Figura 5).

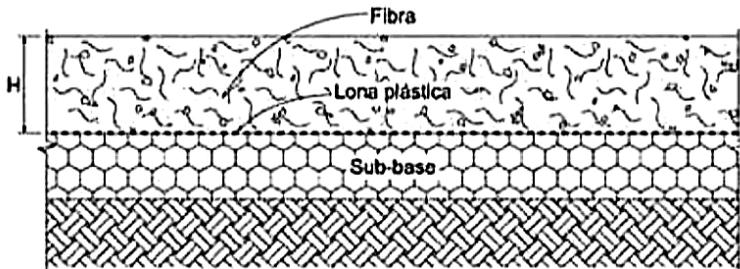
Figura 5 – Piso estruturalmente armado



Fonte: Rodrigues, Botacini e Gasparetto, 2006, p. 12.

- **Pisos reforçados com fibras:** caracterizam-se pela adição de fibras estruturais ao concreto (Figura 6), de modo que o mesmo aumente consideravelmente sua capacidade de resistir às solicitações.

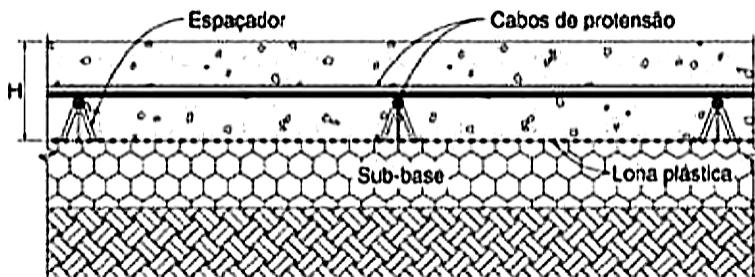
Figura 6 – Piso reforçado com fibras



Fonte: Rodrigues, Botacini e Gasparetto, 2006, p. 13.

- **Pisos protendidos:** são caracterizados pela utilização de armadura protendida (Figura 7), geralmente cordoalha engraxada, e têm como principal vantagem a possibilidade de execução de grandes áreas praticamente sem juntas.

Figura 7 – Piso protendido



Fonte: Rodrigues, Botacini e Gasparetto, 2006, p. 13.

2.3 Usos

Pisos de concreto, devido às suas características, são amplamente utilizados em grandes áreas, como indústrias, centros de distribuição e armazenamento, mas podem também ser aplicados em áreas menores, como garagens, estacionamentos, oficinas, instalações comerciais, esportivas e recreativas (*THE CONCRETE SOCIETY*, 2003).

2.4 Projeto e dimensionamento

Projeto e dimensionamento de pavimentos de concreto devem ser feitos levando em consideração as condições e características do solo ou superfície base, o tipo de armadura ou fibra empregado, os esforços atuantes, as condições de usos e de agressividade, além das exigências específicas de abrasão, drenagem, aparência, manutenção, vida útil e outros.

Devido ao grande número de parâmetros de projeto envolvidos, a etapa de dimensionamento torna-se bastante trabalhosa, e não sendo objetivo principal deste trabalho, não será aqui abordada.

2.5 Requisitos de desempenho da superfície

Por ser a superfície dos pisos de concreto a parte que recebe de forma direta os carregamentos e solicitações ao qual o mesmo foi projetado, é comum que a qualidade final do piso seja avaliada pela sua qualidade superficial.

Os principais requisitos de desempenho que pisos de concreto devem apresentar ao longo de sua vida útil para que sua qualidade superficial seja considerada satisfatória, segundo o *The Concrete Society* (2003), são:

- **Resistência à abrasão:** o desgaste da superfície pode ser definido como o desprendimento e destacamento de fragmentos e partículas da mesma. Deste modo, a resistência à abrasão pode ser entendida como a capacidade do piso de resistir ao desgaste devido ao uso e agentes agressivos ao longo de sua vida útil;
- **Resistência química:** quando pavimentos de concreto entram em contato com agentes químicos agressivos, como ácidos, óleos e outros, por algum tempo, pode ocorrer deterioração do concreto superficial. Os fatores que mais influenciam o grau e velocidade dos danos são: a permeabilidade do concreto, o tempo de contato com o agente agressivo, a composição, o pH, e a concentração do agente. Resistência química é a capacidade dos pisos de concreto em resistir a ataques químicos;
- **Coloração e aparência:** pisos de concreto devem apresentar coloração e aparência adequadas ao uso ao qual foram designados. Fatores como a coloração do concreto, marcas

devido à má execução do acabamento e exposição de agregados e fibras têm influência direta no aspecto final do piso. Dificilmente pisos em concreto aparente apresentam aspecto tão uniforme quanto ao acabamento pintado, por este motivo pode ser necessário algum acabamento especial quando as exigências de coloração e aparência são rígidas;

- **Resistência à fissuração:** conforme é abordado no item 3.3.1 neste trabalho, fissuras podem ser formadas por diversos mecanismos e nem sempre apresentam risco ou prejudicam a qualidade do piso. Fissuras em pisos podem ser toleradas até certo ponto, porém suas origens devem ser avaliadas. Fissuras de grandes aberturas e dimensões e em grande número, podem prejudicar o aspecto visual do piso, as características de tráfego e ainda indicar risco estrutural;
- **Planicidade e nivelamento:** conforme será abordado no item 2.8.7 deste trabalho, pisos de concreto devem apresentar características de planicidade e nivelamento adequadas ao seu uso. Estas propriedades são particularmente importantes em setores industriais e depósitos devido ao tráfego de equipamentos e empilhamento de materiais. Problemas nestes requisitos podem ainda prejudicar os aspectos de drenagem do pavimento.
- **Integridade:** vários são os problemas que pisos de concreto podem apresentar relativos ao deslocamento, quebra e destacamento de partes do concreto superficial, conforme será abordado no item 3.3 deste trabalho. Pisos de concreto devem ser capazes de se manterem íntegros ao receber suas solicitações de projeto ao longo de sua vida útil.

2.6 Materiais básicos

É de suma importância para a melhora no desempenho, facilidade na execução e aumento na vida útil a escolha correta dos materiais básicos utilizados para confecção de pisos de concreto.

2.6.1 O concreto para pisos

Deve-se buscar, de maneira economicamente viável, uma mistura de concreto para pisos que possa atender os principais requisitos de

desempenho: resistência, trabalhabilidade, durabilidade, características de fissuração, resistência à abrasão e facilidade de acabamento (*AMERICAN CONCRETE INSTITUTE- ACI, 1997*).

Quando falamos em concreto para pisos, procuramos caracterizá-lo como um concreto diferente do concreto empregado em estruturas, o que realmente ele é, pois apresenta distintas formas de aplicação e sempre tem uma grande área em relação ao seu volume em contato com o ar, permitindo que ocorra uma perda de água muito mais severa, querem velocidade como um resultado global, do que o concreto convencional. (RODRIGUES e MONTARDO, 2002, p. 08).

Segundo Rodrigues, Botacini e Gasparetto (2006), o fato de que em muitos casos o concreto utilizado para pavimentos industriais ser tratado de maneira similar ao estrutural faz com que se desenvolvam sérias manifestações patológicas, na maior parte dos casos ligadas à retração hidráulica do concreto.

Os parâmetros mínimos de dosagem do concreto se correlacionam com as propriedades do mesmo da seguinte forma (RODRIGUES e MONTARDO, 2002):

O **consumo mínimo de cimento**, 320 kg/m³ segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR 7583:1986 - Execução de pavimentos de concreto simples por meio mecânico) tem influência direta na resistência superficial do piso, apesar de não ser o único fator influente. A relação água-cimento é o fator de maior influência na exsudação do concreto e, portanto na resistência à abrasão do mesmo.

O parâmetro mais influente na trabalhabilidade do concreto, importante fator para operação dos equipamentos de acabamento do pavimento, é o **teor de argamassa**, que deve estar entre 49% e 52%.

O **abatimento (*slump*)**, de forma análoga ao teor de argamassa, tem influência direta nas características de lançamento e acabamento da superfície. É recomendado abatimento entre 80mm e 100mm, de forma a possibilitar fácil lançamento e acabamento sem que ocorra segregação do concreto.

O **teor de ar incorporado** deve ser inferior a 3%, de forma a evitar que ocorra delaminação da superfície, manifestação patológica ligada a este parâmetro.

Os materiais componentes do concreto, basicamente: cimento, agregado miúdo e graúdo, água e aditivos e atuam diretamente nas propriedades do concreto conforme suas proporções e características.

a) Cimento

Podem ser utilizados os tipos comuns de cimento desde que estes promovam as características adequadas do concreto.

Os cimentos com adições têm como ponto negativo os elevados tempos de pega, sendo desfavoráveis quanto ao acabamento e ao longo intervalo em que a exsudação pode ocorrer, aumentando a probabilidade da ocorrência de fissuras plásticas, que acontecem na fase inicial do endurecimento do concreto, quando este ainda se encontra no estado plástico. (RODRIGUES, BOTACINI e GASPARETTO, 2006, p. 43).

Uma alternativa para este problema é a utilização de cimentos de alta resistência inicial (RODRIGUES e MONTARDO, 2002).

Cimentos expansivos e aditivos podem ser utilizados em pisos de concreto como compensadores de retração, diminuindo bastante o número de juntas (ACI, 1997).

b) Agregados

Segundo Rodrigues, Botacini e Gasparetto (2006) podem, na maior parte dos casos, ser utilizados para execução de pavimentos industriais os mesmos agregados empregados em concretos convencionais.

Por razões econômicas, pelo fato de serem responsáveis por aproximadamente 70% do volume do concreto, devem ser empregados agregados locais quando possível por conta do menor custo de transporte. Estes devem ser livres de impurezas e preferencialmente naturais em relação aos artificiais (*THE CONCRETE SOCIETY*, 2003). Pelo fato de que a legislação ambiental é cada vez mais rigorosa, tem-se procurado utilizar agregados artificiais, ou seja, provenientes de

processos de britagem (INSTITUTO BRASILEIRO DE TELAS SOLDADAS – IBTS, 2006).

O IBTS (2006) destaca que além de reduzir o custo do concreto, por serem os agregados muito mais baratos do que o cimento *Portland*, os mesmos ainda desempenham papel fundamental no controle de variações volumétricas em pisos de concreto, principalmente a retração hidráulica, e aumento do módulo de elasticidade e capacidade estrutural.

Os agregados devem estar de acordo com as diretrizes apresentadas na Norma Brasileira - NBR 7211:2009 – Agregados para concreto – Especificação.

Não é estabelecida uma granulometria fixa, de maneira geral, deve-se buscar uma curva granulométrica contínua de modo a diminuir a demanda de água da mistura e reduzir a quantidade de pasta de cimento necessária para envolver os agregados (ACI, 1997).

O agregado miúdo apresenta forte influência sobre a trabalhabilidade do concreto: no caso do emprego de material muito fino, isso irá facilitar as operações de acabamento e a exsudação do concreto estará mais bem controlada, mas haverá incremento na demanda de água do concreto, o que implica dizer em aumento da retração hidráulica. (RODRIGUES, BOTACINI e GASPARETTO, 2006, p. 46).

A maior influência do agregado graúdo é nas características do concreto endurecido. De acordo com o IBTS (2006) o módulo de elasticidade, a retração hidráulica e a resistência mecânica são influenciados diretamente pelos mesmos.

A ABNT (NBR 7583:1986 - Execução de pavimentos de concreto simples por meio mecânico) estabelece que a dimensão máxima característica do agregado graúdo deve ser inferior a 50mm ou $\frac{1}{4}$ da espessura da placa de concreto, obedecendo ao menor valor entre estes.

c) Água

Deve-se buscar a utilização de águas com baixos teores de substâncias prejudiciais como: sulfatos, cloretos, matéria orgânica, sólidos e açúcares. Águas potáveis com pH entre 5,0 e 8,0 são

consideradas próprias para execução de concreto para pisos (NBR 7583:1986 - Execução de pavimentos de concreto simples por meio mecânico).

Em casos duvidosos podem ser executados testes comparativos em argamassa executada com a água analisada e água de qualidade comprovada, analisando a resistência à compressão e a pega. Caso estes parâmetros não sejam similares, a água avaliada é considerada imprópria para execução de concreto (NBR 7583:1986 - Execução de pavimentos de concreto simples por meio mecânico).

d) Aditivos

Quando se deseja manipular as características do concreto, seja no estado fresco quanto no endurecido, aditivos podem ser empregados (ACI, 1997).

Como principais benefícios da utilização de aditivos em concretos para pavimentos industriais, o *The Concrete Society* (2003) cita:

- Redução do consumo de água sem prejuízo da trabalhabilidade;
- Melhoria nas características de lançamento e adensamento;
- Controle no tempo de pega, de modo a adiantar a etapa de acabamento;
- Facilitação no acabamento da superfície;
- Redução de fissuração na secagem.

Aditivos devem ser utilizados com cautela, levando em consideração as especificações do fabricante. O mau emprego de aditivos pode comprometer a qualidade final do piso (*THE CONCRETE SOCIETY*, 2003).

Deve-se lembrar que, embora usados corretamente, sejam benéficos para o concreto, os aditivos não são um remédio para a falta de qualidade dos ingredientes do concreto, para proporções não adequadas da mistura, ou para despreparo da mão de obra para transporte, lançamento e adensamento. (NEVILLE, 1997, p. 251).

2.6.2 Armaduras e fibras

O motivo para utilização de armaduras e fibras em pisos de concreto é a absorção das tensões existentes no mesmo que podem ser geradas por sobrecargas, retração, variações térmicas e outros. Em relação aos pavimentos de concreto simples, os pavimentos com reforço apresentam como principais vantagens o controle de fissuração, o menor número de juntas e a redução da espessura da placa de concreto (RODRIGUES, 2010).

a) Barras de aço

Não é comum a utilização deste tipo de reforço em pisos de concreto apoiados sobre o solo, de modo geral só o é feito quando existe a necessidade de absorção de alguma carga localizada (*THE CONCRETE SOCIETY*, 2003).

Pisos de concreto podem também ser executados através de acabamento da superfície de lajes, nestes casos torna-se indispensável a utilização de armaduras, que devem ser executadas conforme as especificações da NBR 6118:2014 - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento.

b) Telas soldadas

Consistem em malhas retangulares de fios de aço soldados, pré-fabricadas para armar o concreto. Devem ser executadas de acordo com a NBR 7481 (1990) – Tela de aço soldada – Armadura para concreto.

Amplamente utilizadas em pisos apoiados sobre o solo, normalmente estas armaduras não são utilizadas para fins estruturais. Por serem posicionadas na porção superior da placa de concreto, sua principal finalidade é evitar a abertura de fissuras na superfície do pavimento (*THE CONCRETE SOCIETY*, 2003).

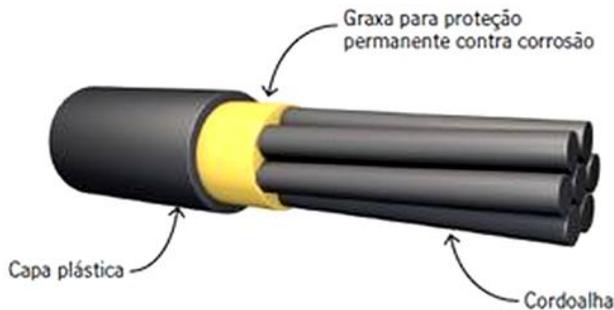
c) Cordoalha engraxada encapada

Segundo a NBR 6118:2014 (Projeto de estruturas de concreto – Procedimento) elementos de concreto protendido se caracterizam pelo

pré ou pós tracionamento da armadura com a finalidade de reduzir ou eliminar a fissuração e deslocamentos do concreto e melhor utilizar a armadura.

Em pavimentos de concreto utilizam-se basicamente cordoalhas engraxadas encapadas (Figura 08), sistema conhecido com não aderido, em que a protensão é transmitida para a placa de concreto apenas pelas regiões de ancoragem.

Figura 8 – Cordoalha engraxada encapada



Fonte: Feitosa e Lima, 2012.

d) Fibras de aço

O mecanismo básico de funcionamento das fibras metálicas é garantir a continuidade estrutural do concreto mesmo após o rompimento da matriz frágil. Isto é, após a fissuração do concreto, geralmente pela flexão da placa, as fibras de aço absorvem as tensões de modo a impedir ou limitar a abertura das fissuras (RODRIGUES, 2010).

Para promover maior aderência e ancoragem ao concreto, geralmente as fibras de aço têm formato corrugado ou com ancoragens nas extremidades conforme a Figura 9 (RODRIGUES, 2010).

Figura 9 – Fibras de aço com ancoragens nas extremidades



Fonte: Belgo Bekaert Arames, 2010.

Os principais benefícios de sua utilização, segundo o ACI (1997), são: aumento na resistência ao cisalhamento, redução de fissurações visíveis, aumento na resistência à fadiga, flexão e impacto. Dependendo da quantidade e tipo de fibra utilizada se pode conseguir reduzir a espessura da placa de concreto e aumentar o espaçamento das juntas. Os teores usuais utilizados variam entre 0,06% a 1% do volume de concreto.

e) Fibras sintéticas

Os materiais mais empregados na fabricação de fibras sintéticas são o náilon e o polipropileno. Existem grandes diferenças entre as microfibras e as fibras maiores utilizadas para fins estruturais. Enquanto as microfibras têm a função de minimizar os efeitos de fissuração por retração plástica nas primeiras horas do concreto, as fibras maiores funcionam de maneira similar às fibras metálicas, isto é, atuam como material de reforço para o concreto endurecido (*THE CONCRETE SOCIETY*, 2003).

Segundo o Rodrigues, Botacini e Gasparetto (2006) o mecanismo de funcionamento das microfibras de polipropileno pode ser resumido da seguinte forma:

- Quando se dá o início do endurecimento do concreto o mesmo vai perdendo sua capacidade de deformação;

- Ao passo que a água exsudada evapora ocorre retração da superfície do concreto e no momento em que o concreto não consegue mais absorver estas deformações ocorre fissuração;
- Com a utilização das microfibras, as mesmas transferem sua capacidade de deformação para o concreto, de modo que o mesmo possa absorver as deformações sem que ocorra fissuração.

Microfibras sintéticas são empregadas em dosagens de até 0,2% do volume de concreto (ACI, 1997). Desempenham sua função em concretos com menos de 24h de idade, sua contribuição estrutural é desprezível após o endurecimento do concreto (RODRIGUES, 2010).

2.6.3 Barras de transferência

São utilizadas para transferência de cargas verticais entre placas de concreto separadas por juntas (ver item 2.7). Devem ser executadas de modo a restringir o mínimo possível os movimentos horizontais das placas, geralmente ocasionados pela retração por secagem do concreto e variações de temperatura (*THE CONCRETE SOCIETY*, 2003).

A ABNT (NBR 7583:1986 - Execução de pavimentos de concreto simples por meio mecânico) estabelece que as barras de transferência devam ser obrigatoriamente posicionadas na horizontal e executadas em barras de aço liso e reto. Enquanto metade da barra é aderida ao concreto da placa, a outra metade deve deslizar horizontalmente na outra placa. Para tanto a metade deslizante da barra geralmente é engraxada (IBTS, 2006).

2.6.4 Selantes e materiais de preenchimento de juntas

De acordo com o *The Concrete Society* (2003) o principal motivo para a utilização de preenchimento de juntas (ver item 2.7) é impedir a entrada de partículas que possam impedir a livre movimentação da mesma.

Para definição do material mais adequado para preenchimento de juntas se deve antes saber qual tipo de carregamento e condições ambientais em que a mesma estará exposta.

Devem-se utilizar materiais semirrígidos específicos quando o pavimento estiver sujeito ao trânsito de empilhadeiras de rodas rígidas de pequeno diâmetro, amplamente utilizadas na atualidade,

principalmente em depósitos e centros de distribuição. Nestes casos as bordas das juntas podem ser danificadas devido à grande carga aplicada pelas rodas caso se utilize um selador flexível comum (RODRIGUES, BOTACINI e GASPARETTO, 2006).

De acordo com o ACI (1997), os materiais adequados para preenchimento de juntas nestas aplicações são os epóxios semirrígidos e as poliuréias. Estes materiais devem ser aplicados até o fundo da junta para que exista o apoio necessário para suportar as cargas transmitidas pelas rodas (RODRIGUES, 2010).

Quando o piso de concreto não estiver sujeito ao trânsito de empilhadeiras de rodas rígidas de pequeno diâmetro, selantes elastômeros comuns podem ser utilizados. Estes são facilmente aplicados, não requerem processos de cura e promovem boa vedação da junta permitindo o livre movimento entre as placas (ACI, 1997). Estes selantes são geralmente produzidos a base de poliuretano, polisulfeto, silicone ou outros polímeros (IBTS, 2006).

2.6.5 Materiais de revestimento de alto desempenho

Revestimentos de alto desempenho (RAD) são compostos basicamente por endurecedores de superfície, resinas epoxidicas e agregados minerais. São empregados quando se deseja melhorar o desempenho químico e físico de pisos, sendo estes novos ou velhos, aumentando a resistência ao impacto, abrasão, compressão, tração, flexão, ataques químicos e aderência aos substratos (NBR 14050:1998 - Sistemas de Revestimento de alto desempenho, à base de resinas epoxidicas e agregados minerais: Projeto, execução e avaliação do desempenho - Procedimento).

Por se tratar de revestimentos aplicados a casos específicos e apresentando estes comportamento bastante diferenciado dos pisos de concreto com acabamento tradicional, não será neste trabalho desenvolvido estudo mais aprofundado em relação aos RAD.

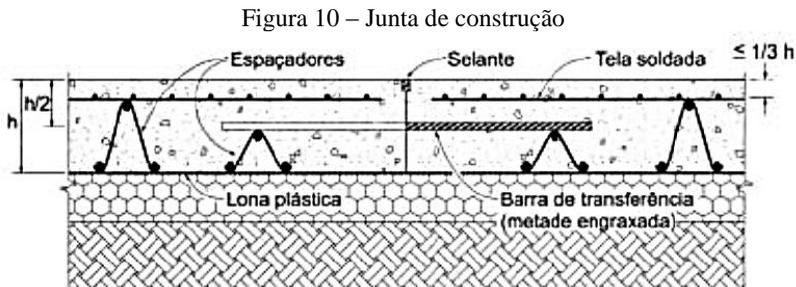
2.7 Juntas

A principal função da utilização de juntas em pisos é criar uma região fragilizada no concreto favorável à fissuração, aliviando as

tensões geradas por variações volumétricas da placa e assim diminuindo a ocorrência e limitando a abertura de fissuras espalhadas aleatoriamente pela placa de concreto (ACI, 1997).

A classificação das juntas pode ser feita de acordo com seu método executivo e função que desempenha, em:

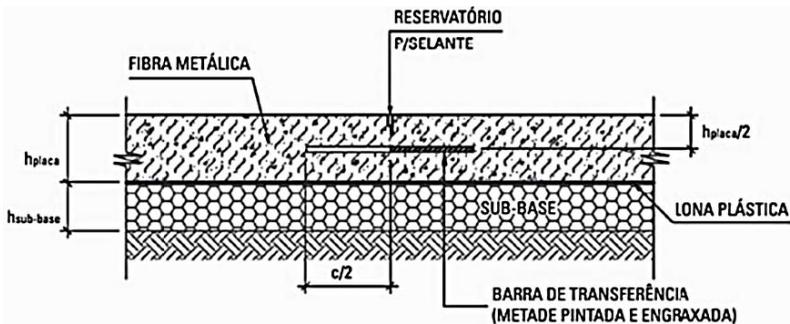
- **Juntas de construção (JC):** estas juntas precisam ser empregadas devido às limitações na execução das placas de concreto. Juntas de construção (Figura 10) são executadas nas regiões de interface entre concretagens feitas em momentos diferentes, que devido à descontinuidade do concreto são regiões frágeis. Devem ser empregados mecanismos de transferência de carga neste tipo de junta (IBTS, 2006).



Fonte: IBTS, 2006, p. 71.

- **Juntas serradas (JS):** são executadas em regiões específicas e têm função de permitir o alívio de tensões geradas pela retração do concreto. O corte tardio destas juntas pode permitir fissuração do concreto devido à acentuada retração do concreto nas primeiras horas. Na execução de juntas serradas (Figura 11) devem ser empregados mecanismos de transferência de carga (RODRIGUES, BOTACINI e GASPARETTO, 2006).

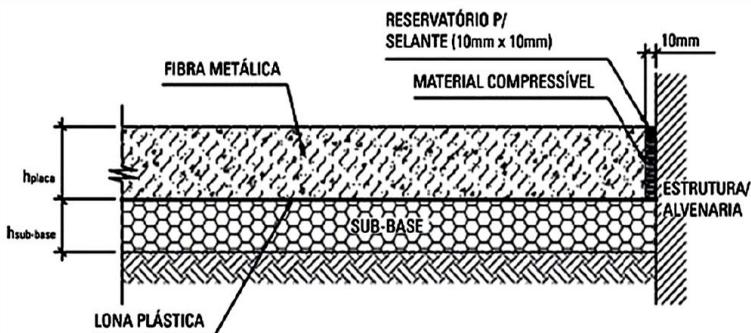
Figura 11 – Junta serrada



Fonte: Rodrigues, 2010, p. 106.

- **Juntas de encontro (JE):** têm a função de permitir a movimentação entre o piso de concreto e os elementos construtivos em contato com o mesmo. Juntas de encontro devem ser utilizadas em regiões adjacentes a paredes, pilares, bases de máquinas, mecanismos de drenagem e outros elementos que possam impedir a livre movimentação do piso (ACI, 1997).

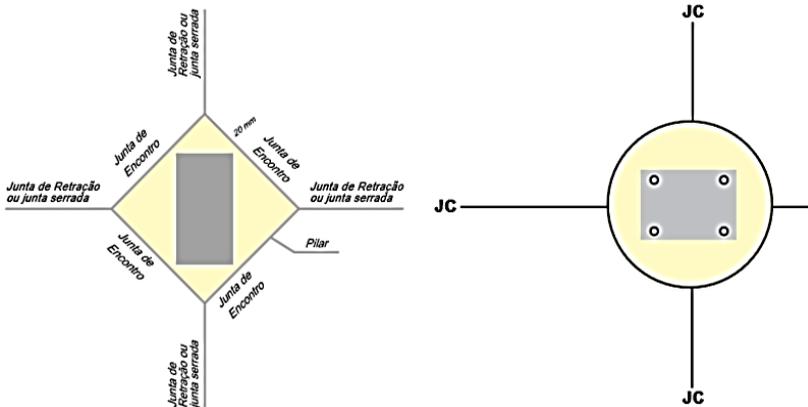
Figura 12 - Junta de encontro



Fonte: Rodrigues, 2010, p. 109.

A Figura 12 representa junta de encontro entre piso de concreto e parede de alvenaria e a Figura 13 representa as maneiras como devem ser executadas juntas de encontro entre pisos e pilares.

Figura 13 – Juntas de encontro



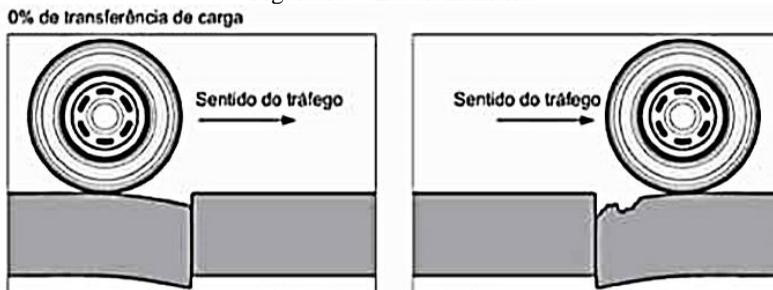
Fonte: IBTS, 2006, p. 72.

2.7.1 Mecanismos de transferência de carga

Mecanismos de transferência de carga têm a função de transmitir as cargas verticais entre as placas contíguas sem impedir a movimentação horizontal necessária para alívio das tensões geradas pelas variações volumétricas do pavimento (*THE CONCRETE SOCIETY*, 2003).

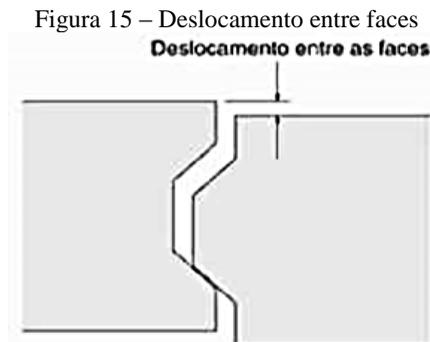
A não utilização de mecanismos de transferência de carga pode gerar movimentação diferencial entre as placas que em alguns casos pode danificar as mesmas em fenômeno conhecido como esborcinamento (Figura 14) (RODRIGUES, BOTACINI e GASPARETTO, 2006).

Figura 14 – Esborcinamento



Fonte: Rodrigues, Botacini e Gasparetto, 2006, p. 79.

Os mecanismos de transferência de carga mais empregados são as barras de transferência devido à sua facilidade de execução e eficácia, mas podem também ser utilizados sistemas do tipo macho-fêmea, com chapas de aço ou ainda baseados no entrosamento entre os agregados. No sistema do tipo macho-fêmea (Figura 15) se deve ter cuidado com possíveis deslocamentos entre as faces devido à abertura das juntas (RODRIGUES, BOTACINI e GASPARETTO, 2006).



Fonte: Rodrigues, Botacini e Gasparetto (2006, p. 83).

2.8 Execução

A execução de pisos de concreto deve ser feita por equipe qualificada e com o máximo controle e planejamento possíveis. Mesmo com projetos e materiais de boa qualidade, caso o pavimento seja mal executado o desempenho do mesmo pode ficar comprometido (RODRIGUES, BOTACINI e GASPARETTO, 2006).

2.8.1 Camadas de suporte do pavimento

Caso o piso de concreto tenha o solo como camada de suporte, e não uma laje, é necessário que seja executado um sistema de base para o mesmo.

De acordo com o ACI (1997), o desempenho de um pavimento de concreto depende diretamente da qualidade da placa de concreto e do sistema de suporte do mesmo, ou seja, mesmo que a placa de concreto

seja corretamente executada, caso o solo base não seja bem preparado o pavimento provavelmente apresentará problemas.

Considera-se como fundação de um pavimento o preparo do subleito, da sub-base e caso seja necessário, de membrana de isolamento da placa de concreto (RODRIGUES, BOTACINI e GASPARETTO, 2006).

O The Concrete Society (2003) destaca que a influência das camadas mais profundas do pavimento se dá a longo tempo, enquanto nas camadas mais superficiais a influência se dá de maneira mais rápida e mais intensa.

a) Preparo do subleito

Após executados todos os testes necessários para caracterização do solo base, como sondagem e ensaio de plasticidade, devem ser identificadas as regiões muito rígidas e muito moles. Nestas regiões deve ser feita escavação, remoção do material impróprio e reposição com material que promova suporte uniforme para o piso (*THE CONCRETE SOCIETY*, 2003).

O preparo do subleito, segundo (RODRIGUES, 2010), resume-se basicamente à compactação do solo conforme exigido em projeto caso este seja de material adequado, para tanto deve ser levada em consideração a curva de compactação do solo para determinação da umidade ótima e da energia a ser empregada. O grau de compactação mínimo recomendado, de acordo com Pitta (1998a), deve ser de 95%.

De acordo com o ACI (1997) uma maneira simples de testar a compactação do subleito é a passagem de um caminhão carregado sobre o mesmo, caso a depressão causada pela trilha de rodas tenha profundidade superior a 13mm pode-se concluir que o mesmo não apresenta compactação adequada.

b) Preparo da sub-base

Sub-base é a camada intermediária de um piso de concreto apoiado sobre o solo, responsável pela transferência das cargas aplicadas na superfície de concreto para o subleito (ACI, 1997).

Segundo Pitta (1998b) as principais funções da utilização de camada de sub-base para pavimentos de concreto são:

- Criar camada de suporte constante e uniforme para a placa de concreto;
- Diminuir a espessura da placa de concreto devido ao incremento do coeficiente de recalque das camadas de suporte;
- Evitar que ocorra o bombeamento dos finos do subleito através de juntas, bordas ou trincas, que em casos extremos pode levar o pavimento ao colapso.

A execução da sub-base é basicamente o espalhamento de material previamente especificado e preparado e a compactação do mesmo até que se atinja a espessura definida em projeto (RODRIGUES, BOTACINI e GASPARETTO, 2006).

Na prática é comum a utilização de camada de areia sobre a sub-base para fins de regularização. Rodrigues (2010) destaca que esta prática deve ser condenada caso não exista controle da granulometria e capacidade de suporte da mesma.

c) Isolamento com membranas

As principais funções da utilização de membranas de isolamento em pavimentos de concreto executados diretamente sobre a sub-base são (IBTS, 2006):

- Impedir o carreamento de finos e água de hidratação do concreto para a sub-base, que pode resultar em fissuração por retração plástica da parte inferior da placa de concreto;
- Nos casos de sub-bases drenantes, impedir a ocorrência de colmatação, ou seja, preenchimento dos poros, diminuindo a eficiência da mesma;
- Diminuir o coeficiente de atrito entre a camada de concreto e a sub-base, de modo a reduzir as tensões devido às restrições dos movimentos.

Outra importante atuação das membranas, segundo o *The Concrete Society* (2003), é além de resolver ou amenizar os problemas acima citados, também atuar como barreira de vapor, impedindo a ascensão de umidade.

As membranas mais empregadas são os filmes plásticos de polietileno, popularmente conhecidos como lonas pretas, porém estes têm como desvantagem sua baixa durabilidade em função da alcalinidade do concreto, podendo gerar restrições à placa de concreto quando danificadas. Para suprir este problema podem ser empregadas mantas de Policloreto de Vinila - PVC ou equivalente (RODRIGUES, 2010).

Rodrigues (2010) destaca ainda que em muitos casos, principalmente em ambientes externos, a utilização de membranas impermeáveis para redução do atrito entre placa e sub-base é contestada por favorecer o empenamento da placa de concreto. Este problema pode ser resolvido com a execução de furos que permitam a passagem de água sem o prejuízo de sua redução no coeficiente de atrito.

Caso seja necessária a utilização destas membranas, sua aplicação é bastante simples, resumindo-se a esticar as mesmas sobre a sub-base antes da concretagem do piso.

2.8.2 Preparação para concretagem

Findas as etapas de preparação das camadas de apoio, antes do início da execução da concretagem do piso diversos fatores devem ser verificados para proporcionar o sucesso da estrutura.

a) Condições ambientais

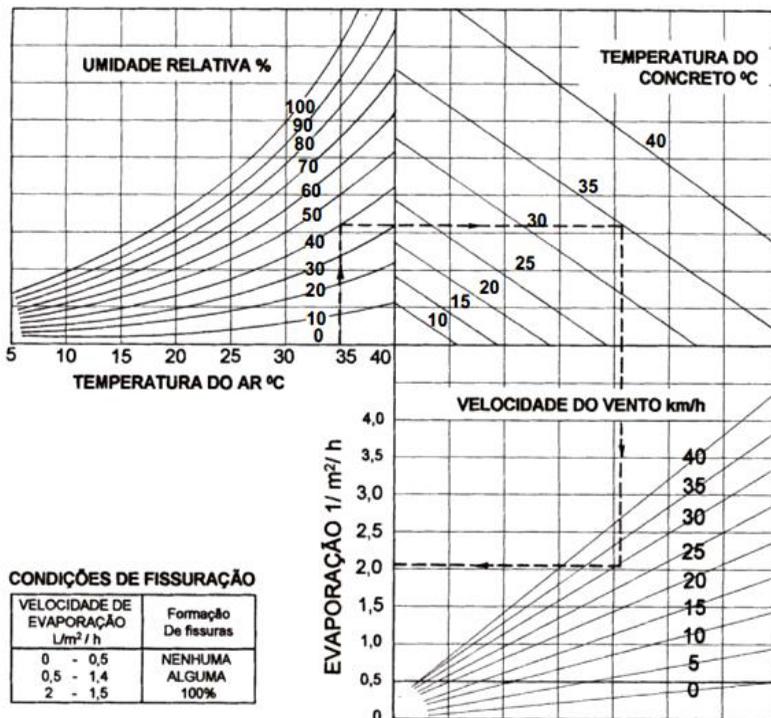
De acordo com Rodrigues, Botacini e Gasparetto (2006) as condições ideais para execução do concreto envolvem proteção contra o vento e contra a incidência de radiação solar, portanto ambientes cobertos e com vedações laterais são os que apresentam as melhores condições. Com relação à incidência solar, o problema pode ser resolvido com concretagens no período noturno, porém nem sempre isto é viável.

Condições como a umidade relativa do ar, a temperatura ambiente e do concreto, a incidência solar e de vento, têm influência direta na taxa de evaporação da água de hidratação do concreto, podendo resultar em alterações das propriedades do mesmo e ainda favorecer o desenvolvimento de fissuras por retração plástica (RODRIGUES, 2010).

Com base na umidade relativa do ar, na temperatura do concreto, na temperatura do ar e velocidade do vento pode-se encontrar um valor aproximado para a velocidade de evaporação de água por metro

quadrado de concreto através do ábaco representado na Figura 16. Por meio deste pode-se avaliar o risco de desenvolvimento de fissuras no concreto e, portanto a necessidade de medidas preventivas.

Figura 16 - Influência ambiental sobre a evaporação da água do concreto



Fonte: Cánovas, 1988, p.168

Rodrigues (2010) destaca ainda que a temperatura ideal para concretagem de pisos é entre 10°C e 15°C, portanto muito raras no Brasil. Caso medidas especiais não sejam tomadas podem ocorrer perdas na resistência à compressão do concreto e na resistência química e à abrasão. Para amenizar este problema podem ser utilizados concretos especiais para climas quentes.

b) Formas e outros anteparos

De acordo com o ACI (1997) as formas podem ser executadas em metal, madeira ou concreto pré-moldado. Estas devem ter elevação adequada em relação à altura de projeto da placa de concreto e resistir a todos os esforços existentes durante as etapas de lançamento e acabamento do concreto.

Todos os elementos construtivos como pilares e paredes devem ser adequadamente isolados do piso de concreto com a utilização de algum material compressível adequado na região de contato, formando juntas de encontro (ACI, 1997).

c) Posicionamento das armaduras

Todas as armaduras definidas em projeto devem ser cuidadosamente posicionadas, utilizando espaçadores, distanciadores ou materiais equivalentes para garantir o correto posicionamento das mesmas (RODRIGUES, BOTACINI e GASPARETTO, 2006). Devem ainda ser posicionadas todas as barras e mecanismos de transferência de carga definidos em projeto.

d) Propriedades e disponibilidade do concreto

Segundo o *The Concrete Society* (2003) devem ser verificadas: se as propriedades do concreto que chega a obra estão de acordo com as especificadas em projeto, se existe disponibilidade adequada de concreto, se o concreto é corretamente misturado nos caminhões betoneira e caso sejam adicionadas fibras no local, se suas proporções estão de acordo com o projeto.

2.8.3 Lançamento e adensamento

A etapa de concretagem merece especial atenção devido a sua grande influência na qualidade final do pavimento. A ela podem ser associadas várias manifestações patológicas como: fissuração por retração plástica, delaminação, absorção elevada, baixa resistência à abrasão, textura incorreta, planicidade e nivelamento inadequados (IBTS, 2006).

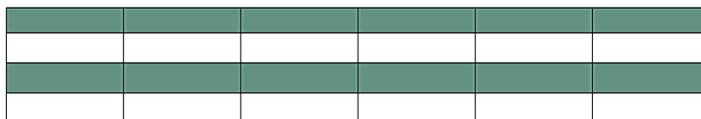
Rodrigues (2010) recomenda que seja feito inicialmente um trecho experimental de piso, este deverá apresentar as características esperadas no pavimento definitivo e ser utilizado como referência.

Caso todas as etapas preliminares à concretagem estejam satisfatoriamente executadas, pode-se dar início ao lançamento do concreto.

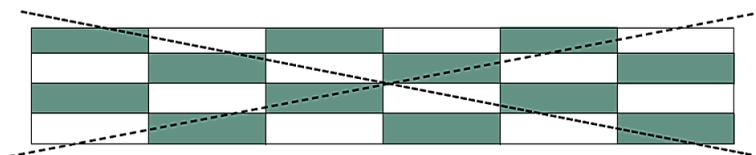
A descarga de cada caminhão deverá ser feita de acordo com a ordem cronológica de carga, desta maneira o início da pega do concreto se dá de conforme a ordem de lançamento dos mesmos. Deve-se ainda, para cada caminhão, ser avaliado o abatimento (RODRIGUES, 2010).

A sequência de concretagem recomendada é a de faixas alternadas, em que as placas são feitas isoladamente das vizinhas, que são executadas somente após 24 horas. Concretagens em xadrez, muito utilizadas anteriormente, hoje são condenadas por apresentarem grande número de juntas e altos níveis de fissuração (IBTS, 2006). Os dois modelos de estão representados na Figura 17.

Figura 17 – Planos de concretagem



Concretagem em Faixas



Concretagem em Xadrez – Não empregar!

Fonte: IBTS, 2006, p. 88.

O lançamento do concreto pode ser feito diretamente do caminhão betoneira, através de bombeamento, baldes, giricas, esteiras, guas e outros, de acordo com as condições locais e de projeto (ACI, 1997). É recomendado que o lançamento seja feito de forma contínua e com velocidade constante de aproximadamente $20\text{m}^3/\text{h}$, podendo variar em função dos equipamentos e equipe utilizados (RODRIGUES, BOTACINI e GASPARETTO, 2006).

O ACI (1997) destaca que precauções devem ser tomadas para evitar a segregação do concreto, pois caso ocorra é muito difícil a remistura após o lançamento. Dentre estas precauções se destacam: lançar o concreto o mais próximo possível de sua posição definitiva, lançá-lo em baixa altura em relação ao solo evitando grandes quedas e não mover o concreto horizontalmente através de vibração.

Os equipamentos mais indicados e de maior popularidade no Brasil para adensamento do concreto lançado são as régua vibratórias. Vibradores de imersão não são indicados para aplicações em pisos de concreto. Existem ainda equipamentos de alta produção denominados *Laser Screed* que podem espalhar, vibrar e dar acabamento primário na camada de concreto (IBTS, 2006).

2.8.4 Acabamento da superfície

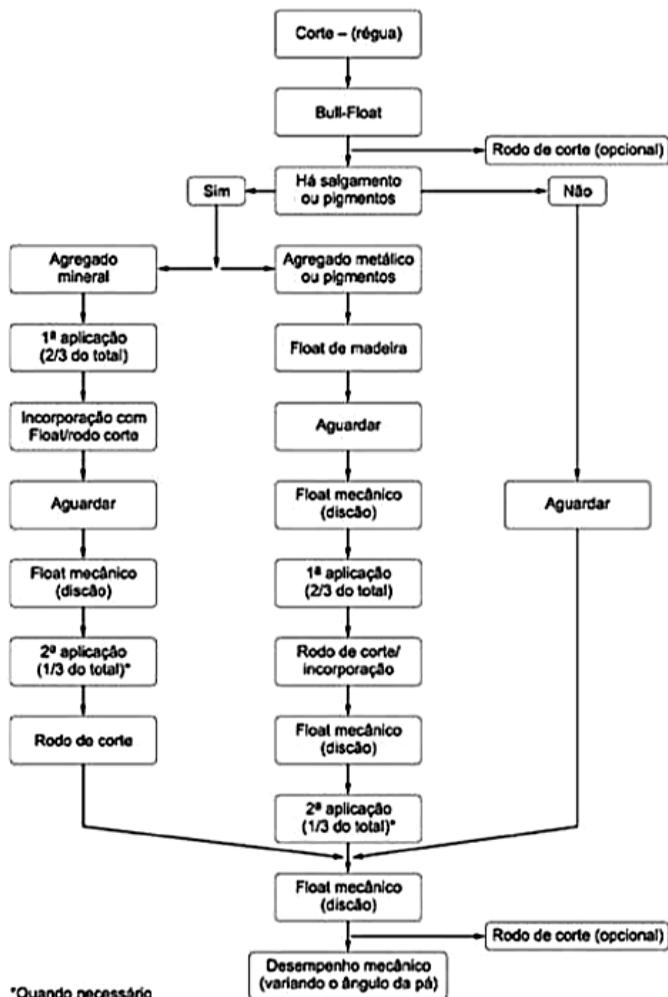
Geralmente é observando a superfície do pavimento de concreto que, mesmo de forma subjetiva, é feita a avaliação de qualidade do mesmo. É fundamental que pisos de concreto sejam acabados com qualidade, afinal é a superfície que recebe as cargas de utilização e ainda está sempre visível aos usuários (RODRIGUES, 2010).

As principais operações realizadas, segundo Rodrigues, Botacini e Gasparetto (2006), nas etapas de acabamento de pisos de concreto são:

- **Corte:** consiste na utilização da régua vibratória, que além de adensar o concreto promove seu nivelamento, conhecido como corte ou *strikeoff*;
- **Desempeno:** operação realizada com *float* ou *bull-float*, que são desempenadeiras específicas para utilização em pisos de concreto;
- **Rodo de corte:** é a ferramenta utilizada para planificar o pavimento. Consiste em um perfil de alumínio ligado a um cabo que permite modificar o ângulo do perfil de modo que o mesmo possa cortar o concreto quando é puxado ou empurrado;
- **Desempeno ou float mecânico:** são grandes discos fixados em desempenadeiras mecânicas com o objetivo de compactar a superfície do concreto;
- **Alisamento mecânico:** utilização de desempenadeiras mecânicas com lâminas de aço para o desempenho final do concreto.

A Figura 18, do ACI (1997), representa um fluxograma resumido com as principais etapas de execução de acabamento superficial de pisos de concreto.

Figura 18– Fluxograma da etapa de acabamento do concreto



Fonte: ACI, 1997, tradução de Rodrigues, Botacini e Gasparetto, 2006, p. 30.

2.8.5 Cura

O processo de cura do concreto consiste em mantê-lo saturado, ou o mais próximo possível disso, até que os produtos de hidratação do cimento ocupem parte dos espaços anteriormente ocupados pela água de amassamento até uma condição desejável. Caso não seja realizada cura adequada pode ocorrer perda de resistência, retração plástica, alta permeabilidade e perda na resistência à abrasão (NEVILLE, 1997).

Em pisos de concreto, devido à sua grande área em relação ao volume, os fenômenos de superfície como exsudação e retração plástica se apresentam de maneira muito mais intensa do que no concreto de estruturas (IBTS, 2006), portanto atenção especial deve ser dada a estes no processo de cura.

O processo de cura do concreto pode ser dividido em duas etapas, a cura inicial, iniciada logo após o acabamento da superfície e a cura complementar, iniciada próximo ao fim da pega do concreto (IBTS, 2006).

a) Cura inicial

Segundo Rodrigues (2010), a cura inicial desempenha papel fundamental para qualidade de pisos de concreto, pois é nas primeiras horas que os fenômenos de superfície se apresentam de forma mais intensa.

Um dos processos de cura inicial mais aplicados, segundo o ACI (1997), é a aspersão de líquidos formadores de membrana logo após a perda de brilho da superfície, quando não há mais água livre. Estes devem ser aplicados uniformemente em toda a superfície e formam um filme bastante frágil, que por algumas horas reduz a evaporação de água.

Outros processos de cura inicial que podem ser aplicados são: cobertura da superfície com filmes plásticos para evitar evaporação de água, criar barreiras contra o vento e aspergir água no ambiente para aumentar a umidade relativa do ar e repor a água da superfície (RODRIGUES, 2010).

b) Cura complementar

Logo que o concreto adquirir resistência suficiente para resistir ao trânsito de pessoas a cura complementar pode ser iniciada. Sua execução consiste em espalhar sobre a superfície do pavimento material inerte e

absorvente, como mantas não-tecidas, e periodicamente saturá-las com água (RODRIGUES, BOTACINI e GASPARETTO, 2006).

Este procedimento pode ser encerrado quando o concreto adquirir capacidade de manter sua umidade devido à sua baixa permeabilidade, geralmente quando o concreto atinge 75% de sua resistência (IBTS, 2006).

2.8.6 Execução de juntas

De acordo com o *The Concrete Society* (2003), o corte de juntas deve ser feito logo que o concreto permitir a operação sem se danificar, preferencialmente antes de o lançamento do concreto completar 24 horas. O corte deve ser feito até pelo menos $\frac{1}{4}$ da espessura do concreto, criando uma região enfraquecida propícia para o desenvolvimento da fissura.

As juntas serradas são feitas com a utilização de serras diamantadas e não podem ser aplicadas em pavimentos com protensão (RODRIGUES, 2010).

O fechamento das juntas pode ser feita logo que as faces da junta estejam secas o suficiente para a adesão do selador, mas como a abertura das juntas pode se estender por meses indica-se que o seja feito tão tarde quanto possível (*THE CONCRETE SOCIETY*, 2003).

2.8.7 Planicidade e nivelamento

Após o término da execução do pavimento, e assumindo que todas as etapas executivas do mesmo foram realizadas de maneira adequada e não apresentaram falhas, é de grande importância a verificação das tolerâncias superficiais do mesmo.

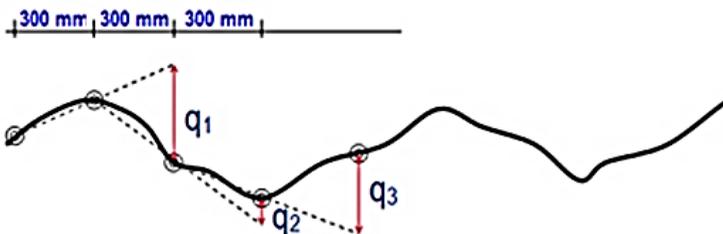
A norma ASTM E1155m:1996 (*Standard test method for determining Ff floor flatness and Fl floor levelness numbers*) apresenta um procedimento de medida das características da superfície, denominado sistema *F-Numbers*, baseado em dois parâmetros:

a) Planicidade (*Flatness*) (FF):

Relaciona com a ondulação do piso. É de grande importância quando se trata da circulação de equipamentos sobre o piso por conta de vibrações e cargas dinâmicas (RODRIGUES, 2010).

Define-se como a curvatura máxima (q_i) em 600mm de piso (Figura 19), e é calculada com base em duas medidas sucessivas de elevações diferenciais, tomadas a cada 300mm. (IBTS, 2006).

Figura 19 - Diferenças de elevação

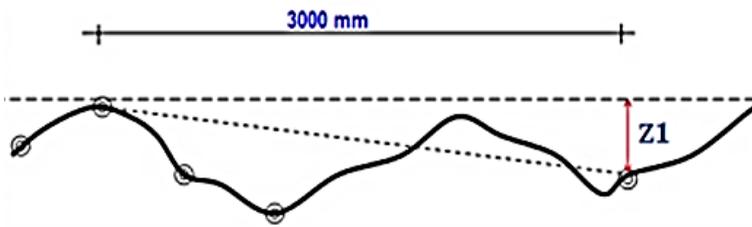


Fonte: Obra 24 horas, 2010.

b) Nivelamento (*Levelness*) (FL):

Baseia-se na comparação do desnível da superfície com o plano horizontal (z_i), medido a cada 3 metros. Este índice torna-se importante em centros de estocagem em que ocorre o empilhamento de paletes (RODRIGUES, 2010).

Figura 20 – Diferença de nível



Fonte: Obra 24 horas, 2010.

Para cada *F-Number* (FF e FL) devem ser adotados dois requisitos de qualidade:

- **Valor global:** índice de planicidade ou nivelamento a ser atingido no piso como um todo, calculado pela média ponderada com a área dos resultados individuais de cada faixa (seção de teste), conforme equações abaixo:

$$F_f = \frac{\sum A_i \cdot F_{f_i}}{\sum A_i} \quad F_l = \frac{\sum A_i \cdot F_{l_i}}{\sum A_i}$$

- **Valor mínimo local:** é o valor mínimo de planicidade ou nivelamento aceitável para qualquer trecho do piso, faixa de concretagem ou parte dela.

A tabela abaixo (Figura 21), apresentada por Rodrigues (2010), adaptada da ACI (1997), apresenta os valores típicos de utilização destes índices em diversas aplicações de pisos de concreto apoiados sobre o solo. Nos casos de pisos suspensos, ou seja, executados sobre laje, estes valores não se aplicam.

Figura 21 – Valores globais típicos de planicidade e nivelamento

Planicidade	Nivelamento	Descrição do uso
20	15	Não-crítico: salas mecânicas, áreas restritas ao público, contrapisos para pisos elevados, contrapisos para aplicação de revestimento com sistemas argamassados.
25	20	Áreas carpetadas, estacionamentos e áreas de circulação com velocidades baixas.
35	25	Centros de distribuição com tráfego moderado a elevado; áreas para aplicação de revestimentos colados sobre o concreto ou revestimentos poliméricos ou pinturas; áreas portuárias com tráfego elevado de equipamentos de movimentação de carga.
45	35	Áreas com tráfego de veículos sobre colchão de ar, tráfego de equipamentos com fio indutivo ou similar, pisos de ginásios esportivos
> 50	> 50	Tráfego de empilhadeiras do tipo trilaterais; estúdios de televisão.

Fonte: Rodrigues, 2010, p. 136.

Como pode ser observado na Figura 21, quanto maiores os valores de FF e FL mais qualidade superficial o piso de concreto apresenta.

3 PATOLOGIA DE PISOS DE CONCRETO

Neste capítulo serão apresentados os conceitos básicos sobre patologia e as manifestações patológicas de pisos de concreto de maior relevância.

3.1 Conceitos sobre patologia

Patologia é de acordo com o Dicionário Online (MICHAELIS, 2009): “a ciência que estuda a origem, os sintomas e a natureza das doenças”. Na engenharia civil, o conceito é muito similar, ou seja, entende-se por patologia o estudo que identifica os sintomas, os mecanismos, as causas e origens dos problemas. É a parte da engenharia que compreende e interpreta o problema, diagnosticando-o e procura encontrar a terapia mais adequada ao determinado sintoma (HELENE, 1992).

Os principais conceitos sobre patologias na construção civil são (HELENE, 1992):

- **Sintomas:** São manifestações, geralmente externas, a partir das quais se pode deduzir a natureza, a origem, os mecanismos e as prováveis consequências da patologia.
- **Mecanismos:** Para o tratamento adequado do sintoma é imprescindível conhecer o mecanismo que gerou o problema. Como por exemplo, a oxidação é o mecanismo (reação físico-química) que deteriorou a armadura.
- **Origem:** As manifestações patológicas só têm origem após a etapa de execução, geralmente ao longo do uso da estrutura. “Para cada origem do problema há uma terapia mais adequada, embora o fenômeno e os sintomas possam ser os mesmos.”
- **Causas:** Dentre as principais causas de manifestações patológicas destacam-se: sobrecarga, variações térmicas e de umidade, incompatibilidade de materiais, agentes biológicos, agentes atmosféricos e outros.
- **Consequências:** Um bom diagnóstico se completa com algumas considerações sobre as consequências do problema no comportamento geral da estrutura, ou seja, um prognóstico da questão. De forma geral, costuma-se separar as considerações

em dois tipos: as que afetam as condições de segurança da estrutura (associadas ao estado limite último) e as que comprometem as condições de higiene, estética, etc., ou seja, as denominadas condições de serviço e funcionamento da construção (associadas aos estados limites de utilização).

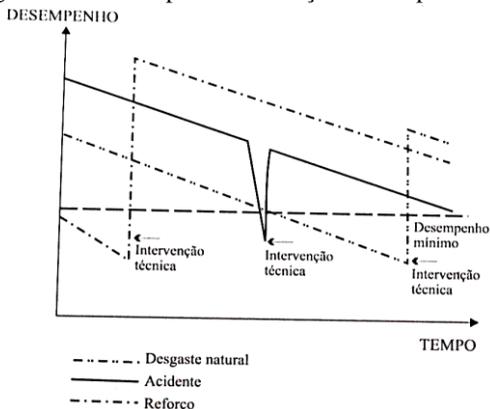
- **Terapia:** Consiste desde pequenos reparos em regiões específicas até a completa recuperação da estrutura e reforços estruturais.

3.2 Vida útil, desempenho, durabilidade

Os conceitos de vida útil, desempenho e durabilidade que têm relação direta entre si podem ser entendidos como:

- **Vida útil:** é o período de tempo em que a estrutura desempenha as funções a ela atribuídas mantendo suas características básicas de resistência e utilidade em nível aceitável (NEVILLE, 1997);
- **Desempenho:** “[...] por desempenho entende-se o comportamento em serviço de cada produto, ao longo da vida útil, e a sua medida relativa espelhará, sempre, o resultado do trabalho desenvolvido nas etapas de projeto, construção e manutenção.” (SOUZA e RIPPER, 1998). A Figura 22 retrata diferentes desempenhos de uma estrutura, com o tempo em função de diferentes fenômenos patológicos;

Figura 22 – Desempenho em função do tempo



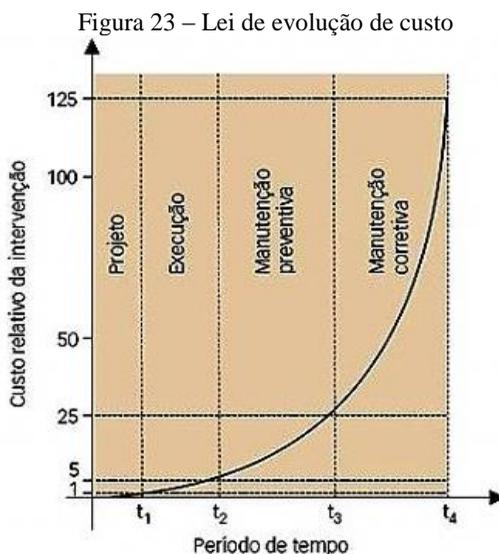
Fonte: Souza e Ripper, 1998, p. 18.

- **Durabilidade:** “Capacidade do edifício ou de seus sistemas de desempenhar suas funções, ao longo do tempo e sob condições de uso e manutenção especificadas, até um estado limite de utilização.” (NBR 15575-1:2013 - Edificações habitacionais: Desempenho Parte 1: Requisitos gerais).

3.2.1 Manutenção de estruturas

Conforme os autores Souza e Ripper (1998), “entende-se por manutenção de uma estrutura o conjunto de atividades necessárias à garantia do seu desempenho satisfatório ao longo do tempo, ou seja, o conjunto de rotinas que tenham por finalidade o prolongamento da vida útil da obra, a um custo compensador.”

Quanto antes identificada e executada a manutenção da manifestação patológica, de forma a esta não evoluir para quadros mais avançados, mais fácil, barato e efetivo será o reparo. Esta afirmação é demonstrada pela “lei de Sitter” (Figura 23) que relaciona os custos de intervenção, que crescem em progressão geométrica em relação ao tempo decorrente até a manutenção (HELENE, 1992).



Sitter, 1984 apud Helene, 1992, p. 24.

A ocorrência de manutenção periódica é um fator determinante da vida útil de pisos de concreto. A recuperação de manifestações patológicas nas fases iniciais pode impedir que as mesmas evoluam para quadros de desempenho insatisfatório, como aspecto estético deficiente e insegurança, e ainda elevar muito os custos de recuperação (ANAPRE, 2014).

3.3 Manifestações patológicas de pisos de concreto

Serão neste item abordadas as principais manifestações patológicas que podem se desenvolver em pisos de concreto.

3.3.1 Fissuração

Pisos de concreto estão sujeitos a fissuração quando existem restrições, sejam elas internas ou externas, às variações volumétricas do concreto. Saber as causas destas variações e encontrar meios de reduzi-las ou acomodá-las é essencial para prevenir o desenvolvimento de fissuras (ACI, 1997).

Segundo o PCA (2001), fissuras em pisos podem se desenvolver antes ou depois da secagem do concreto e ser associadas a uma série de fatores, ou combinação de fatores, dentre eles: variações de temperatura, retração plástica e por secagem, aplicação de sobrecargas e assentamento do terreno base.

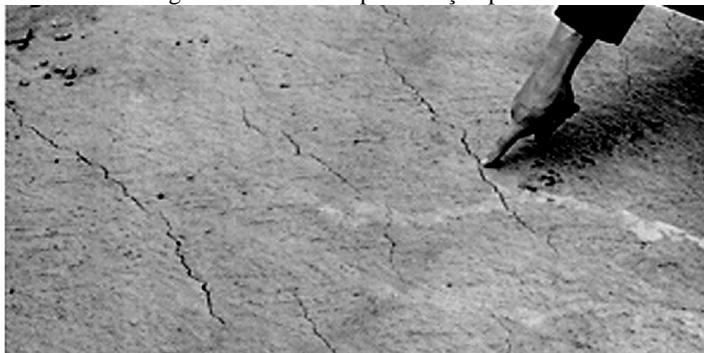
3.3.1.1 Fissuras precoces

São fissuras que se desenvolvem antes ou nas primeiras fases do endurecimento do concreto.

a) Fissuras por retração plástica

Segundo Rodrigues (2010), ocorrem quando a taxa de evaporação da água da superfície do concreto supera a taxa de exsudação, formando pressões negativas devido à capilaridade nos poros (Figura 24). Sofrem ainda influência do processo de hidratação do cimento, que gera aumento da rigidez do sistema.

Figura 24 – Fissuras por retração plástica



Fonte: ACI, 1997, p. 54.

Fissuras de retração plástica apresentam aberturas relativamente grandes e a profundidade atingida por eles sofre influência direta dos seguintes fatores (RODRIGUES, 2010):

- Condições atmosféricas e de exposição: ambientes sujeitos a incidência solar, ventos, baixa umidade relativa e temperaturas altas apresentam elevadas taxas de evaporação, sendo assim mais sujeitos à retração plástica;
- Características do concreto: misturas com teores altos de cimento, principalmente quando estes são altamente coesivos, e elevada relação água/cimento são mais propícias ao desenvolvimento de fissuração por retração plástica.

Como maneira de amenizar os efeitos deste tipo de fissuração o *The Concrete Society* (2003) recomenda proteger o concreto no estado plástico da ação solar e do vento e acima de tudo realizar um efetivo sistema de cura. Outra medida efetiva, conforme abordado no anteriormente, é a utilização de telas soldadas e fibras, principalmente as microfibras de polipropileno, como material de reforço para o concreto.

b) Fissuras por assentamento plástico do concreto

Fatores como a falta de adensamento adequado e o *slump* muito elevado durante a execução podem fazer com que se desenvolvam fissuras por assentamento tardio do concreto sobre barras de reforço,

formas e até mesmo partes já endurecidas do próprio concreto (PCA, 2001).

c) Fissuras craqueladas (*crazing*)

Chamadas também de tela de galinheiro, fissuras mapeadas e *crazing*, ocorrem em pavimentos que receberam acabamento de aspecto polido e se penetram muito pouco na superfície do concreto (Figura 25) (IBTS, 2006).

Figura 25 – Fissuras craqueladas



Fonte: ACI, 1997, p. 54.

De acordo com o ACI (1997), o mecanismo de formação se assemelha bastante à fissuração da lama quando seca. O concreto começa a ganhar resistência mais rapidamente na sua superfície devido ao maior potencial de evaporação e sofre retração, as restrições impostas pelas camadas mais profundas propiciam estas fissuras.

Outros fatores que propiciam o desenvolvimento deste tipo de fissura são (IBTS, 2006):

- Adensamento e desempenho muito elevado;

- Lançamento de pó de cimento para induzir rápida secagem ou água no acabamento da superfície;
- Utilização de água muito fria na etapa de cura;
- Ciclos de molhagem e secagem durante a cura do concreto;
- Utilização prematura ou excessiva de equipamentos de acabamento.

Estas fissuras geralmente não prejudicam o desempenho do piso e dificilmente são notadas. Podem ser mais facilmente vistas quando o piso é molhado e está secando e quando ocorre acúmulo de sujeira nas fissuras (*THE CONCRETE SOCIETY*, 2003).

Os procedimentos para prevenção do desenvolvimento deste tipo de fissuração são similares aos empregados na prevenção de fissuras por retração plástica. A cura deve ser iniciada o quanto antes e caso possível, proteger o piso da radiação solar e ventos (PCA, 2001).

3.3.1.2 Fissuras causadas por restrições

Quando se dá o início do endurecimento do concreto, o mesmo vai gradualmente perdendo sua capacidade de acomodar tensões oriundas de variações volumétricas. Com as restrições impostas ao movimento pelos mecanismos de reforço, camadas de apoio e elementos estruturais conectados, o piso tende a se fissurar (ACI, 1997).

a) Fissuras por retração hidráulica

Também denominada retração por secagem, segundo Rodrigues (2010) este tipo de retração está ligado à evaporação da água excedente à hidratação do cimento. Deste modo, a prática de adicionar água além do necessário, muitas vezes empregada para aumentar a fluidez do concreto no estado fresco, está intimamente ligada ao desenvolvimento de fissuras por retração hidráulica (Figura 26).

Figura 26 – Fissuras por retração hidráulica



Fonte: ACI, 1997, p. 53.

O *The Concrete Society* (2003) classifica as fissuras de retração por secagem como as mais sérias em relação ao comprometimento da qualidade de pavimentos e geralmente seus danos são irreversíveis. A maneira mais eficaz de evitar o desenvolvimento destas fissuras é evitar as seguintes más práticas de execução (ACI, 1997):

- Utilização de concreto com muita água, pouco cimento ou componentes inadequados como agregados e aditivos que promovam fissuração;
- Execução inadequada ou inexistente da cura do concreto;
- Má execução do sistema de juntas, como: corte tardio, profundidade e espaçamento insuficientes e reforços contínuos que impeçam o funcionamento da junta;
- Restrições devido à má execução das camadas de apoio como: desníveis e utilização de materiais com alto coeficiente de fricção;
- Restrições devido ao mau isolamento ou não isolamento de elementos construtivos em contato com o piso.

O *The Concrete Society* (2003) recomenda para redução do consumo de água no concreto, e conseqüente redução da fissuração de origem hidráulica, que sejam adotados agregados com granulometria contínua e com as maiores dimensões de agregado graúdo aceitáveis, não sejam especificadas resistências maiores que as necessárias e que se considere a possibilidade de utilizar aditivos que reduzam a demanda de água.

b) Fissuras por retração térmica

Quando a execução de pavimentos de concreto ocorre durante o dia, quando a temperatura é mais elevada, o pavimento sofre retração durante a noite com a queda da temperatura. Caso esta variação volumétrica seja acentuada e o movimento seja restringido pode ocorrer fissuração da placa de concreto (PCA, 2001). O corte tardio e a má execução das juntas de dilatação podem contribuir para este tipo de fissuração por estas não absorverem as deformações.

c) Outras causas de fissuração

Além das retrações do concreto, fissuras podem ser geradas por outras causas, como (ACI, 1997):

- Movimentação das camadas de suporte do piso por: recalque, perda de material, drenagem inadequada, reações ou argilas expansivas e movimentação de água subterrânea.
- Impacto, sobrecarga e trânsito prematuro sobre a placa de concreto;
- Expansão por corrosão de armaduras;
- Gelo e degelo;
- Insuficiência estrutural do pavimento para o uso;
- Reações expansivas do concreto.

3.3.2 Baixa resistência ao desgaste superficial

Pode-se conceituar resistência ao desgaste superficial como a capacidade de o piso resistir aos esforços abrasivos a ele impostos ao longo de sua vida útil. Estes esforços podem ser desde os mais brandos como trânsito de veículos leves até os mais agressivos, como o tráfego

de empilhadeiras industriais com rodas rígidas, arraste de cargas e tráfego intenso de pessoas (RODRIGUES, BOTACINI e GASPARETTO, 2006).

O desgaste de um piso é o destacamento e deslocamento de partículas ou fragmentos de sua superfície (*THE CONCRETE SOCIETY*, 2003). A resistência ao desgaste está ligada à resistência do concreto, deste modo a relação água/cimento é um dos fatores mais influentes desta propriedade (IBTS, 2006).

Segundo Rodrigues (2010), por ser a pasta superficial da placa de concreto a primeira parte a receber os esforços de abrasão, o tipo de acabamento mais resistente ao desgaste é o desempenado. Por este mesmo motivo, pisos com excesso de exsudação apresentam desempenho inferior na resistência ao desgaste.

Para execução de pisos com resistência à abrasão adequada devem-se evitar as seguintes práticas (ACI, 1997):

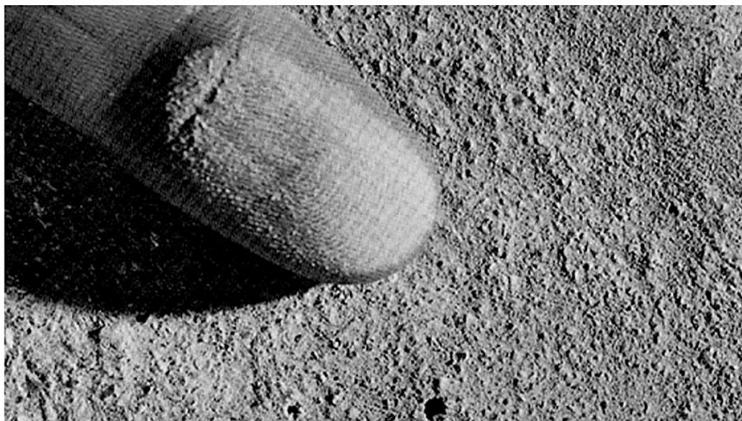
- Utilização de muita água na mistura;
- Má execução da etapa de acabamento: uso excessivo de água para acabamento, início prematuro do acabamento e desrespeito aos tempos adequados de cada etapa de modo a criar excesso de exsudação;
- Abertura prematura do pavimento ao tráfego;
- Congelamento da superfície de concreto fresco;
- Cura inadequada;
- Excesso de ar incorporado na argamassa.

De acordo com o The Concrete Society (2003), melhorias na resistência à abrasão podem ser atingidas com a utilização de resinas, porém em casos extremos pode ser exigida remoção e reconstrução completa da superfície.

3.3.3 Pulverulência (*dusting*)

Caracteriza-se pela formação de uma fina camada de material frágil na superfície que se destaca com facilidade da mesma (Figura 27). Este tem aspecto de pó e é formado pela ascensão de cimento, água e materiais finos quando o concreto está no estado plástico (PCA, 2001).

Figura 27 – Pulverulência superficial



Fonte: ACI, 1997, p. 56.

De acordo com o (ACI, 1997), a ocorrência deste fenômeno gera na superfície uma camada muito fraca, permeável e susceptível à abrasão, justamente no local onde ocorrem as principais solicitações, e os principais causadores desta pulverulência são:

- Corte e desempenho da superfície prematuramente;
- Excesso de água e falta de cimento na mistura do concreto;
- Excesso de impurezas nos agregados;
- Molhagem da superfície para facilitar acabamento;
- Utilização de cimento seco para acelerar secagem da superfície;
- Congelamento da superfície;
- Cura inadequada ou insuficiente.

Para amenizar ou corrigir este problema pode-se remover toda a camada frágil ou ainda aplicar um líquido endurecedor de superfície (PCA, 2001).

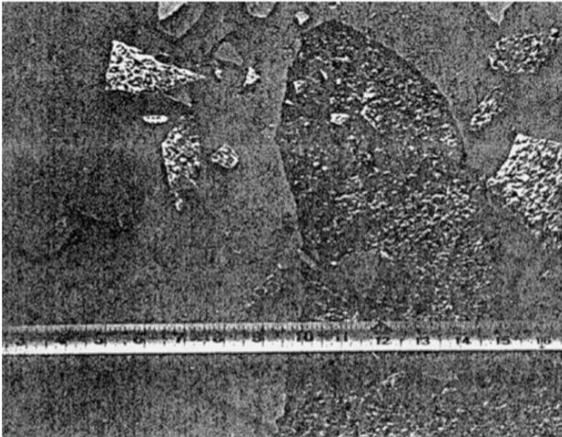
3.3.4 Bolhas e delaminação

Os fenômenos de delaminação (Figura 28) e formação de bolhas na superfície do pavimento (Figura 29) são bastante similares. Ambos são causados pelo fechamento de forma prematura da camada superficial do piso, enquanto as camadas inferiores ainda estão no estado plástico. Com a perda de permeabilidade da superfície a água de

exsudação e o ar incorporado que ascende depositam-se sob a camada superficial do piso (PCA, 2001).

A água e o ar depositados sob a camada de acabamento podem causar tensões na mesma gerando bolhas (ACI, 1997) ou ainda destacar finas camadas de até 4mm do restante da placa de concreto que geralmente se rompem com o tráfego chamadas de delaminação. (*THE CONCRETE SOCIETY*, 2003).

Figura 28 – Delaminação superficial



Fonte: PCA, 2001, p. 5.

Figura 29 – Bolhas na superfície



Fonte: ACI, 1997, p.58.

As seguintes práticas são favoráveis ao desenvolvimento de delaminação e bolhas na superfície do concreto (ACI, 1997):

- Excesso de ar incorporado em conjunto com alto teor de finos no concreto podem promover selagem da superfície de modo a barrar a dissipação de ar;
- Adensamento inadequado: caso insuficiente pode não eliminar satisfatoriamente o ar incorporado no concreto, caso exagerado pode promover elevação de finos favoráveis à selagem superficial;
- Acabamento superficial enquanto o concreto ainda se encontra em estágio esponjoso;
- Utilização de concreto com cimentos impróprios, alto abatimento, altos índices de finos, ar incorporado e água;
- Sobretrabalho de acabamento, de modo a promover excesso de exsudação.
- Acabamento prematuro da superfície;
- Lançamento direto do concreto sobre membranas impermeáveis.

O reparo destas manifestações patológicas pode ser feito através de corte e remoção da superfície afetada e preenchimento com argamassa a base de cimento ou resina. Pode-se em alguns casos, se a superfície delaminada não foi rompida, preencher a região de interface entre a placa de concreto e a superfície solta com resina epóxi de baixa viscosidade através de injeção (*THE CONCRETE SOCIETY*, 2003).

3.3.5 Descamação da superfície (*scaling*)

Trata-se de um fenômeno de descolamento da argamassa superficial decorrente de efeitos de gelo e degelo. Ocorre quando no congelamento a pressão causada pela expansão da água infiltrada no piso supera a capacidade resistente de tração do concreto fazendo com que a argamassa superficial se solte deixando os agregados graúdos expostos, como pode ser visto na Figura 30 (PCA, 2001).

Figura 30 – Descamação superficial



Fonte: ACI, 1997, p. 56.

Para prevenir ou reduzir os efeitos da ocorrência deste fenômeno deve-se (ACI, 1997):

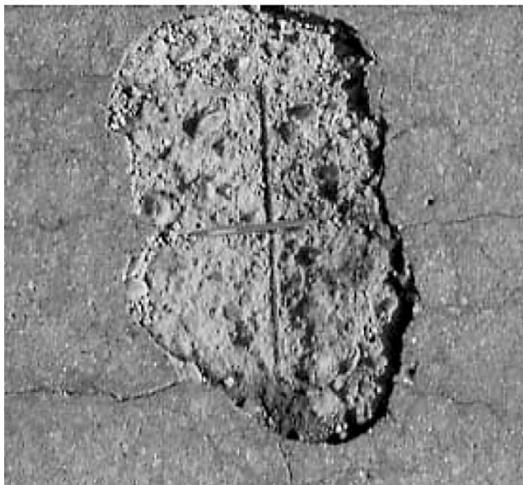
- Utilizar concreto de resistência adequada e de baixa permeabilidade;
- Promover drenagem adequada de modo a reduzir a infiltração de água no concreto;
- Evitar que ocorra congelamento da superfície antes de o concreto atingir resistência adequada;
- Utilizar teores de ar incorporado suficiente para absorção das tensões geradas durante o congelamento;

O *The Concrete Society* (2003) destaca que a incorporação de ar no concreto deve ser realizada apenas quando existe real necessidade, pois esta prática é favorável à delaminação do concreto, principalmente em pisos de acabamento superficial elevado (vítreo).

3.3.6 Lascamento (*spalling*)

É um fenômeno de deterioração superficial de pisos que atinge profundidades superiores em relação à descamação, geralmente 25mm ou mais. São depressões ovais na superfície (Figura 31) ou alongadas em regiões adjacentes às juntas (Figura 32) decorrentes do rompimento do concreto por conta de tensões gerados por: expansão de armadura por oxidação, impactos, incêndio, intempéries, juntas mal executadas e outros (PCA, 2001).

Figura 31 - Lascamento de superfície



Fonte: PCA, 2001, p. 12.

Figura 32 - Lascamento ao longo de junta



Fonte: PCA, 2001, p. 11.

As seguintes práticas indicadas para evitar a ocorrência de lascamento do concreto (ACI, 1997):

- Promover cobertura adequada e com concreto de boa qualidade para as armaduras em aço, de modo a evitar oxidação das mesmas;
- Executar as juntas de maneira adequada, levando em consideração os carregamentos de uso, principalmente veículos de rodas rígidas de pequeno diâmetro;
- Caso o piso seja executado tendo uma laje de concreto como base, promover boa colagem entre a camada de acabamento e a base.

De acordo com o (PCA, 2001), o piso deve ser completamente reparado quando: as barras de reforço estão descobertas, o lascamento é fruto de mau posicionamento da armadura, mais de 1/3 da espessura da placa está danificada. Nos outros casos, reparos parciais podem ser feitos com concretos convencionais ou poliméricos com características de expansão similares ao concreto do piso e devem se estender por aproximadamente 100mm a mais do que a região danificada.

3.3.7 Descolamento de fragmentos (*popouts*)

Ocorre quando existe no concreto agregado poroso que se expande com a absorção de água ou pelo congelamento de água nele absorvida gerando no concreto pressão suficiente para o rompimento do mesmo e descolamento de fragmentos que em geral têm formato cônico (Figura 33). A expansão do agregado pode também ser fruto de reação álcali-agregado (PCA, 2001).

Figura 33 – Descolamento de fragmentos.



Fonte: ACI1997, p. 56.

Segundo o ACI (1997) deve ser executada cura úmida por no mínimo sete dias para redução da ocorrência de reação álcali-agregado e quando possível utilizar agregados pouco porosos e expansivos, de modo a evitar a ocorrência desta manifestação patológica.

A ocorrência de *popouts* geralmente não compromete a qualidade do piso, por esse motivo muitas vezes é tolerada. A manutenção pode ser feita removendo a partícula expandida e preenchendo o vazio com argamassa adequada (PCA, 2001).

3.3.8 Descoloração da superfície

A tentativa de uniformizar a coloração do concreto em pisos exige muito controle, pois vários são os parâmetros envolvidos nesta propriedade. A aparência final dificilmente é tão uniforme quanto uma superfície que recebe acabamento de pintura (*THE CONCRETE SOCIETY*, 2003).

Não se pode apontar único fator para o desenvolvimento de descoloração e manchamento de pisos. Os fatores mais influentes de acordo com a idade de ocorrência são (PCA, 2001):

- Nas primeiras idades: mudanças na mistura do concreto, variações da relação água/cimento na superfície, cura inadequada, variações de umidade na base, álcalis do cimento, misturas de cloreto de cálcio e má execução do acabamento;
- Em idades mais avançadas: matéria orgânica, reações do piso com a atmosfera, eflorescência e sujeira. Geralmente estas manchas podem ser removidas com lavagem intensa e limpadores químicos apropriados.

De forma geral, os problemas de descoloração e manchamento prejudicam apenas o aspecto estético, mantendo as propriedades estruturais e de uso do pavimento inalteradas (ACI, 1997).

3.3.9 Empenamento das placas (*curling*)

Segundo Rodrigues (2010), as tensões atuantes na placa de concreto são função das cargas aplicadas e das variações volumétricas devido às mudanças de temperatura e perda de umidade.

O empenamento das placas de concreto ocorre devido às variações volumétricas, que ocorrem de maneira diferente no decorrer na espessura da placa. A superfície da placa seca e se retrai de maneira mais acentuada e rápida do que as camadas mais profundas, fazendo com que a placa fique empenada. É inevitável a ocorrência deste fenômeno em algum nível, principalmente nos dois primeiros anos do pavimento (*THE CONCRETE SOCIETY*, 2003).

Para redução da magnitude deste fenômeno são indicados (PCA, 2001):

- Utilização de misturas de concreto que promovam baixa retração;
- Utilização de reforço com barras de aço ou armadura protendida na parte inferior da placa de concreto;
- Utilização de placas mais espessas de concreto;
- Criação de teor de umidade e temperatura uniformes em toda espessura da placa durante a execução do piso;
- Utilização de espaçamento adequado entre juntas;

O empenamento de placas muitas vezes não prejudica o desempenho do piso e, portanto providencias não precisam ser tomadas. Por outro lado, caso este fenômeno ocorra de forma acentuada pode haver perda de suporte das camadas de base fazendo com que a placa de concreto se movimente com o uso. Nestes casos devem ser tomadas medidas adequadas para solução do problema (*THE CONCRETE SOCIETY*, 2003).

Para amenizar os efeitos do empenamento podem ser executadas juntas adicionais ou injetado graute de cimento *Portland* para inibir a movimentação das placas e posteriormente regularizar a superfície mecanicamente (PCA, 2001).

3.3.10 Problemas de drenagem

Deficiências no sistema de drenagem de pisos de concreto podem ser facilmente identificadas pela formação de poças quando a superfície é molhada. Os principais motivos para falhas no sistema de drenagem são (ACI, 1997):

- Caimentos inadequados ou insuficientes;
- Má definição ou execução de níveis das formas e ralos;

- Execução inapropriada do acabamento;
- Má iluminação durante o lançamento e acabamento do concreto;
- Má execução do sistema de juntas;
- Deflexão de lajes após a remoção do cimbramento quando o piso é suspenso.

Segundo a ABNT (2014) deve ser evitado o acúmulo de água sobre a superfície de estruturas de concreto, sendo nos sistemas horizontais, como os pisos de concreto recomendado utilizar completo sistema de drenagem com ralos e condutores.

4 ESTUDOS DE CASO

4.1 Método de trabalho

Este capítulo apresenta as etapas realizadas nos estudos de caso: a coleta de dados, a descrição dos empreendimentos, os instrumentos de coleta de dados, o processo de análise dos dados e as considerações dos resultados.

Os empreendimentos escolhidos como objetos de análise desta pesquisa encontram-se na região da Grande Florianópolis, sendo um localizado em Florianópolis e o outro em São José. A análise realizada se deu nas garagens com pisos de concreto destes edifícios residenciais.

Depois de realizar visitas técnicas em alguns empreendimentos residenciais com pisos de concreto, foram escolhidos dois deles para estudo. O motivo pelo qual foi escolhido o primeiro empreendimento (caso 1) foi a possibilidade de acompanhar a etapa executiva do piso de concreto. O segundo empreendimento foi escolhido por conta do grande número de manifestações patológicas identificadas.

Foram realizadas visitas técnicas que ocorreram entre os meses de junho e julho de 2014 com o objetivo de registrar por meio de fotografia digital, imagens da execução (apenas no caso 1) e da qualidade final dos pavimentos de concreto. O proponente também fez registros e anotações, além de conversar com os responsáveis técnicos pela execução das obras.

De posse das imagens e baseado na revisão de literatura apresentada neste trabalho foi possível analisar a execução (apenas no caso 1) e a qualidade final dos pisos de concreto dos empreendimentos, identificando os problemas encontrados, as possíveis causas dos mesmos, apontando possíveis reparos para as manifestações patológicas encontradas e avaliando a qualidade dos reparos quando executados.

4.2 Caso 1

O primeiro estudo de caso consistiu no acompanhamento de execução de piso de concreto, avaliando os procedimentos e técnicas empregadas e posteriormente a qualidade final do piso.

As visitas técnicas foram realizadas nos meses de junho e julho de 2014 e os registros foram feitos por meio de fotografias digitais e anotações.

4.2.1 Descrição da obra

Trata-se de um edifício com estrutura em concreto armado e vedações em alvenaria, com 14 pavimentos, sendo que em que dois deles existem garagens onde são empregados pisos de concreto.

A Figura 34 apresenta a fachada do edifício na época do estudo de caso.

Figura 34 – Fachada da Obra 1

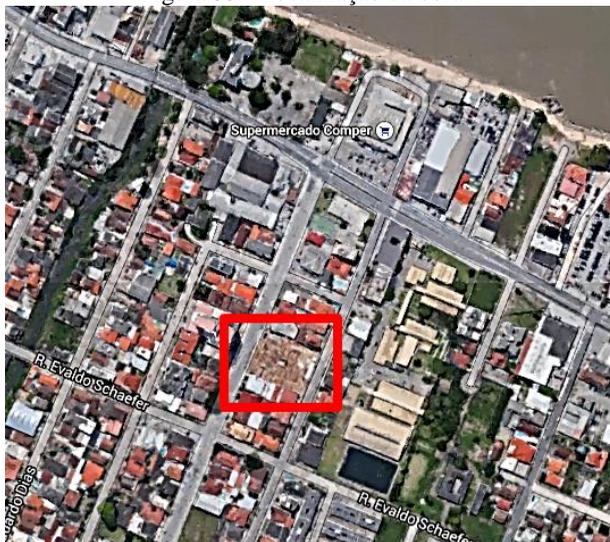


Fonte: Registro do próprio autor, 2014.

Os principais dados da obra são:

- Local: Avenida Atlântica, Jardim Atlântico, Florianópolis-SC (Figura 35);

Figura 35 - Localização da obra 1



Fonte: Google Maps, acesso em: 05/12/2014.

- Área total: 13.068,65 m²;
- Pavimentos: 14, sendo o térreo composto por áreas comuns e garagem, o segundo por garagem e 12 pavimentos de apartamentos;
- Estrutura: concreto armado com lajes nervuradas;

4.2.2 Execução do piso de concreto

Acompanhou-se a execução de parte do piso de concreto da garagem do segundo pavimento. Os carregamentos de utilização previstos são o trânsito de veículos leves e pedestres. A técnica utilizada foi executar uma camada de concreto com fibras sintéticas utilizando a laje já executada como base. Não foram adotadas armaduras de aço no piso.

De acordo com os responsáveis pela execução do piso e com o engenheiro responsável pela execução da obra, não foi executado projeto da camada de piso de concreto, sendo apenas especificadas as características do concreto e a espessura da placa.

a) Preparação do local

Como a base para execução da camada de concreto é uma laje preexistente e não foram utilizadas armaduras no concreto, a preparação do local consistiu basicamente em limpar a base por varrimento, executar as formas e instalar as barras de transferência. O posicionamento dos materiais flexíveis das juntas de encontro foi feito simultaneamente com o lançamento do concreto.

Foram utilizadas barras de transferência apenas nas regiões de interface entre partes pré-executadas de piso e a nova parte.

Ao invés de se utilizar barras lisas com metades deslizantes previamente concretadas na parte do pavimento que já havia sido feita, foram feitos furos com furadeira na placa pré-executada e nestes inseridas barras de aço estrutural nervuradas comuns de 10mm de diâmetro e aproximadamente 50cm de comprimento até sua metade (Figura 36).

Figura 36 – Mecanismo de transferência de carga.



Fonte: Registro do próprio autor, 2014.

O funcionamento deste mecanismo é similar ao das barras lisas com metades deslizantes e baseia-se na capacidade de a barra se movimentar horizontalmente no furo executado e estar aderida em sua outra metade à nova camada de concreto, no entanto por esta técnica diferir das especificadas nas normas e publicações consultadas, a qualidade deste sistema não é comprovada.

b) Lançamento do concreto

As condições locais e climáticas eram favoráveis à concretagem. O local é coberto e com paredes fechadas reduzindo as ações de vento e radiação solar e por ser inverno na ocasião a temperatura era amena. Estas condições, conforme pode ser verificado no ábaco da Figura 16, reduzem a taxa de evaporação de água do concreto, diminuindo a ocorrência de fissuração.

Utilizou-se concreto com fck igual a 30MPa e abatimento de 10 ± 2 cm com fibras sintéticas. Fez-se uso tanto das microfibras de polipropileno, que funcionam basicamente como mecanismos de controle de retração plástica, quanto das fibras de sintéticas maiores e corrugadas, que têm função estrutural análoga às fibras de aço (Figuras 37 e 38). Estas foram adicionadas ao concreto nos caminhões betoneira no local da obra.

Figura 37 - Fibras sintéticas estruturais e microfibras de polipropileno.



Fonte: Registro do próprio autor, 2014.

Figura 38 - Amostra de concreto com fibras utilizado.



Fonte: Registro do próprio autor, 2014.

O transporte do concreto dos caminhões betoneira até o local de lançamento foi feito por bombeamento. Não foi feito controle do abatimento do concreto e nem moldados corpos de prova para posterior ensaio de resistência à compressão, etapas importantes para controle da qualidade do pavimento.

O lançamento do concreto (Figura 39) foi adequadamente feito seguindo a ordem cronológica de horários de mistura dos caminhões betoneira, conforme notas fiscais, e lançado em áreas bem definidas.

Figura 39 - Lançamento do concreto.



Fonte: Registro do próprio autor, 2014.

Figura 40 - Junta de encontro.



Fonte: Registro do próprio autor, 2014.

Foram utilizadas placas de Poliestireno Expandido (EPS) como material de preenchimento das juntas de encontro (Figura 40). Estes foram posicionados junto às paredes e pilares conforme era dado o andamento da concretagem.

Por vezes o material das juntas de encontro foi mal posicionado ou até mesmo não colocado, deixando com que a placa de concreto entre em contato direto com os elementos construtivos. Conforme abordado anteriormente, esta prática pode levar à fissuração e até mesmo lascamento do concreto.

Não foram utilizados instrumentos vibratórios para o adensamento do concreto, como as régua vibratórias. Após o lançamento o concreto foi espalhado com enxada e nivelado com régua de alumínio (Figura 41), utilizando referência de nível laser giratório (Figura 42). Por se tratar de uma camada relativamente fina de concreto e por não serem utilizadas armaduras no piso, dificilmente ocorrerão problemas devido à falta de adensamento.

Figura 41 - Nivelamento do concreto.



Fonte: Registro do próprio autor, 2014.

Figura 42 - Nível laser giratório.



Fonte: Registro do próprio autor, 2014.

Depois do início da pega do cimento, quando o concreto já lançado e nivelado já podia suportar o caminhar dos operários, deu-se início à etapa de desempenho (*float*) mecânico (Figura 43). Esta etapa foi executada até a superfície apresentar compactação suficiente para o acabamento final.

A última etapa de acabamento da superfície realizada foi o alisamento mecânico. Para tanto foram utilizadas desempenadeiras mecânicas duplas e simples com lâminas de aço (Figura 44).

Figura 43 - Desempeno do concreto.



Fonte: Registro do próprio autor, 2014.

Figura 44 - Desempenadeira mecânica de lâminas.



Fonte: Registro do próprio autor, 2014.

Ao fim do acabamento do concreto não foi realizado nenhum procedimento de cura.

Mesmo com condições locais e ambientais favoráveis à baixa evaporação de água do concreto, a etapa de cura deve ser executada. Diversas manifestações patológicas de pisos são ligadas à falta ou insuficiência de cura, principalmente as fissurações ligadas à retração do concreto (RODRIGUES, 2010).

No dia seguinte à execução da concretagem e acabamento superficial do piso, foram marcadas e cortadas as juntas, utilizando-se de serra diamantada mecânica (Figura 45).

Figura 45 - Corte de junta.



Fonte: Registro do próprio autor, 2014

4.2.3 Avaliação da qualidade final do piso

Ao verificar a qualidade final das partes já executadas do piso da garagem não foram identificadas manifestações patológicas significativas, mesmo em partes do piso que já haviam sido feitas até 12 meses antes segundo o engenheiro responsável pela execução da obra.

O piso de forma geral apresenta aspecto uniforme e bem feito de acabamento e baixo grau de fissuração (Figura 46). As diferenças de tonalidade identificadas (Figura 47) são fruto das diferentes idades das partes executadas de concreto, sendo as partes recentemente executadas

mais escuras devido à maior presença de água no concreto (*THE CONCRETE SOCIETY*, 2003).

Figura 46 - Aspecto final do piso.



Fonte: Registro do próprio autor, 2014.

Figura 47 - Diferença de tonalidade em concretos de idades distintas.



Fonte: Registro do próprio autor, 2014.

4.2.4 Considerações sobre o caso

No piso avaliado, por não haver projeto e nem especificações de execução adequadas, diversas manifestações patológicas podem se desenvolver ao longo da vida útil do mesmo.

As etapas de execução foram, em sua maioria, executadas conforme as diretrizes das normas e publicações consultadas apesar de não existir especificações e projeto. Provavelmente por este motivo que o piso apresentou qualidade satisfatória após o fim da etapa de execução.

Algumas práticas executivas incorretas foram adotadas, como a falta de cuidado na execução das juntas de encontro, sistema de transferência de carga de qualidade questionável e ausência das etapas de adensamento, cura e controle de qualidade do concreto.

Apesar de até o momento manifestações patológicas expressivas não tenham se apresentado, nada impede que isto ocorra com o passar do tempo. Fenômenos como a retração do concreto tendem a se estabilizar somente após períodos de aproximadamente dois anos (*THE CONCRETE SOCIETY*, 2003), podendo seus efeitos se manifestar em longo período após a execução do piso.

Outro importante ponto é que o pavimento foi avaliado antes de sua liberação para o uso ao qual foi planejado, não havendo garantia que o mesmo irá resistir às solicitações sem o desenvolvimento de problemas.

4.3 Caso 2

O segundo estudo de baseou-se na avaliação da qualidade final de quatro pavimentos de garagem de um edifício residencial. A avaliação foi realizada aproximadamente 30 dias antes da entrega final do empreendimento aos clientes. Neste estudo de caso não foi realizado acompanhamento da etapa executiva dos pisos.

As visitas técnicas foram realizadas nos meses de junho e julho de 2014 e os registros foram feitos por meio de fotografias digitais e anotações

4.3.1 Descrição da obra

Trata-se de um edifício com estrutura em concreto armado e vedações em alvenaria, com 17 pavimentos e um subsolo, sendo que em três pavimentos e no subsolo existem garagens, onde são empregados pisos de concreto (Figura 48).

Figura 48 - Fachada da Obra 2.



Fonte: Registro do próprio autor, 2014.

Os principais dados da obra são:

- Local: Avenida Brigadeiro da Silva Paes, Campinas, São José-SC (Figura 49);

Figura 49 - Localização da obra 2



Fonte: Google Maps, acesso em: 05/12/2014.

- Área total: 15.150,10 m²
- Pavimentos: 17, sendo o térreo composto por áreas comuns e garagem, o segundo, o terceiro e o subsolo por garagens e 14 pavimentos de apartamentos;
- Estrutura: concreto armado com lajes nervuradas;

4.3.2 Identificação e análise das manifestações patológicas

Avaliou-se a qualidade final dos pisos de concreto das garagens do subsolo, térreo, segundo e terceiro pavimentos. Os carregamentos de utilização previstos são o trânsito de veículos leves e pedestres.

Segundo o engenheiro responsável pela execução da obra, a técnica utilizada no subsolo (Figura 50) e em parte do pavimento térreo foi executar uma camada de concreto reforçado com fibras sintéticas utilizando o solo como base. Foram utilizadas nestes pavimentos tanto as microfibras de polipropileno quanto as fibras sintéticas estruturais.

Não foram adotadas armaduras de aço no piso do subsolo e o mesmo foi executado somente após o término da laje de cobertura e das vedações laterais.

Nas garagens do segundo (Figura 52), terceiro (Figura 53) e maior parte do pavimento térreo (Figura 51), a técnica utilizada segundo o engenheiro responsável pela execução da obra foi realizar acabamento da superfície do próprio concreto estrutural das lajes. Foram adicionadas microfibras de polipropileno ao concreto nestes pavimentos.

Ainda de acordo com o engenheiro responsável pela execução da obra, não foram executados projetos específicos dos pisos de concreto, existindo apenas projeto estrutural nos pisos executados através do acabamento superficial de lajes e especificação de características do concreto e espessura de placa no piso apoiado no solo.

Ao analisar os pisos foram facilmente identificadas diversas manifestações patológicas em todos os pavimentos, quase todas estão aparentemente ligadas à baixa qualidade na execução, às condições climáticas adversas durante a execução ou ainda à falta de projeto e especificações adequadas.

Figura 50 - Garagem do subsolo.



Fonte: Registro do próprio autor, 2014.

Figura 51 - Garagem do térreo.



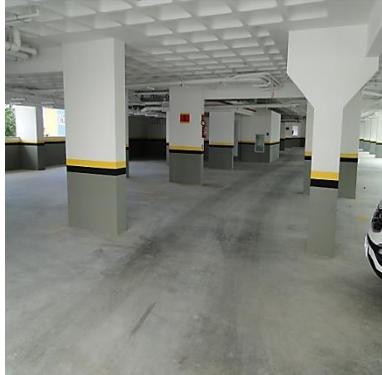
Fonte: Registro do próprio autor, 2014.

Figura 52 - Garagem do segundo pavimento.



Fonte: Registro do próprio autor, 2014.

Figura 53 - Garagem do terceiro pavimento.



Fonte: Registro do próprio autor, 2014

a) Fissuras

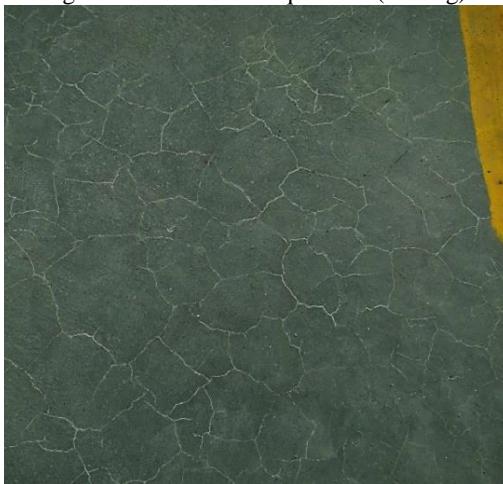
Foram identificadas fissuras de naturezas diversas e em grande número. O local que apresentou maior número e variedade de tipos de fissura foi o piso da garagem do subsolo.

Dentre as fissuras classificadas como precoces, ou seja, formam-se antes do endurecimento do concreto, foram identificadas fissuras craqueladas (*crazing*) nos pisos do segundo e terceiro pavimento (Figura 54).

Conforme abordado no item 3.3.1.1, estas fissuras de modo geral não comprometem a qualidade final do piso e dificilmente são notadas. Nos casos identificados são facilmente visíveis por conta da sujeira inserida nas mesmas.

A provável causa para o desenvolvimento das fissuras craqueladas no segundo e terceiro pavimento é que a execução foi feita através do acabamento da laje estrutural, ou seja, não existiam cobertura nem vedações laterais, favorecendo a evaporação da água superficial por conta da ação solar e de ventos. Provavelmente a etapa de cura foi insuficiente. Ocorre ainda que devido ao maior volume de concreto empregado nesta técnica e a necessidade de adensamento enérgico por conta das armaduras a exsudação do concreto é alta, enfraquecendo o concreto superficial (ACI, 1997).

Figura 54 - Fissuras craqueladas (crazing).



Fonte: Registro do próprio autor, 2014.

Figura 55 - Junta de construção.



Fonte: Registro do próprio autor, 2014.

Foram identificadas no subsolo fissuras decorrentes de juntas de construção (Figura 55), oriundas das formas devido à concretagem em etapas. A ocorrência deste tipo de fissuração é normal e não gera problemas caso as barras de transferência estejam corretamente

empregadas e seja feito selamento da fissura. (RODRIGUES, 2010). Nas fissuras causadas por juntas de construção identificadas não existia selagem, possibilitando a entrada de partículas rígidas e água, podendo danificar a junta a longo prazo.

Ocorreu também, na garagem do subsolo, grande número de fissuras aparentemente ligadas a restrições das variações volumétricas do concreto.

Figura 56 - Fissura por restrição.



Fonte: Registro do próprio autor, 2014.

Figura 57 - Fissuras por restrição.

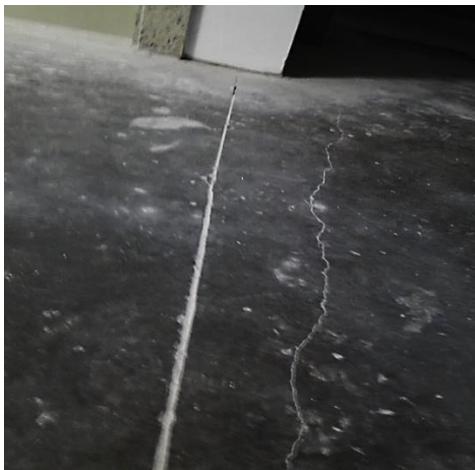


Fonte: Registro do próprio autor, 2014.

Dentre as prováveis causas para as fissuras apresentadas nas Figuras 56 e 57 estão a incapacidade de absorção de variações volumétricas, principalmente retração por secagem e por variação térmica, pelo sistema de juntas e assentamento das camadas base do piso (PCA, 2001, p. 02).

A Figura 56 demonstra claramente a ineficiência de uma junta localizada na garagem do subsolo. O desenvolvimento da fissura ao lado da junta aparenta estar ligado ao corte tardio da junta, à pequena profundidade do corte ou ainda à restrição do funcionamento da junta devido à inexistência ou falta de qualidade das juntas de encontro na interface entre o piso e os elementos construtivos (ACI, 1997).

Figura 58 - Ineficiência de junta.



Fonte: Registro do próprio autor, 2014.

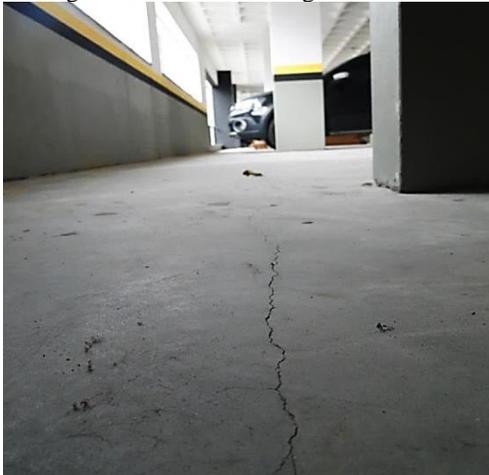
A Figura 59 representa fissura identificada no pavimento térreo aproximadamente na região de interface entre a parte deste pavimento que é apoiada sobre o solo (pequena região à direita) e parte que foi feita pelo acabamento superficial da laje (à esquerda). A provável causa desta fissura é a movimentação diferencial entre as duas partes.

Figura 59 - Fissura por restrição.



Fonte: Registro do próprio autor, 2014.

Figura 60 - Fissura de origem estrutural.



Fonte: Registro do próprio autor, 2014.

A provável causa da fissura identificada na Figura 60 é a incapacidade de suporte da laje ao momento fletor negativo que ocorre na região (parte da laje à esquerda na foto está em balanço) sem que ocorra fissuração. A fissura ocorre de maneira contínua por toda a região em balanço da laje.

Dentre as fissuras identificadas nesta obra esta é uma das que merece maior atenção por provavelmente ser de origem estrutural. Um dos principais riscos do desenvolvimento deste tipo de fissura é susceptibilidade à corrosão da armadura, que ocorre ainda mais intensamente quando esta é tracionada (NBR 6118:2014 - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento).

b) Exposição de armadura

Nos pavimentos onde o piso foi executado por acabamento superficial do concreto da laje (segundo, terceiro e maior parte do térreo) foram identificados vários problemas relacionados à exposição e baixo cobrimento da armadura.

Problemas de exposição de armadura e baixo cobrimento favorecem a corrosão da armadura podendo em longo prazo comprometer o desempenho das mesmas (NBR 6118:2014 - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento).

A corrosão das armaduras pode, conforme abordado anteriormente, desenvolver diversos problemas na superfície do concreto. Além de prejudicar o aspecto estético do piso, seja pela exposição da armadura ou pelo manchamento do concreto, pode ocorrer prejuízo na regularidade e ainda o desenvolvimento de patologias ligadas à expansão do aço na oxidação.

No caso da exposição de armadura da Figura 61 as barras de aço apresentam-se em nível mais alto do que a superfície do piso. Como tráfego previsto é de pedestres e veículos leves com pneus flexíveis o tráfego não é prejudicado de maneira muito severa, ao contrário do que aconteceria em pisos sujeitos ao tráfego de empilhadeiras com rodas rígidas pequenas.

Nas Figuras 62 e 63 a expansão da armadura devido à oxidação resultou em fenômeno de lascamento (*spalling*) do concreto, ou seja, a tensão gerada pela expansão foi maior do que a capacidade de suporte do concreto ocorrendo rompimento e desprendimento de parte da camada superficial. Pode ser identificado na Figura 64 manchamento do piso decorrente da oxidação, é provável que neste caso também ocorra lascamento da superfície com a evolução da corrosão.

Figura 61 - Exposição de armadura.



Fonte: Registro do próprio autor, 2014.

Figura 62 – Lascamento do concreto.



Fonte: Registro do próprio autor, 2014.

Figura 63 – Lascamento do concreto.



Fonte: Registro do próprio autor, 2014.

Figura 64 - Baixo cobrimento.



Fonte: Registro do próprio autor, 2014.

Os problemas de baixo cobrimento e exposição de armaduras estão ligados de forma direta à baixa qualidade de execução. Estes

problemas poderiam ser facilmente evitados com o correto posicionamento das armaduras e espessura de concreto adequada.

A manutenção nestes casos é bastante complicada. De forma geral a recomposição da superfície do concreto, quando não ocorre aumento no cobrimento da armadura, não interrompe o processo de corrosão, podendo a superfície voltar a se danificar.

Conforme abordado anteriormente, o PCA (2001) indica que o piso deve ser completamente reparado quando as barras de reforço estão descobertas e quando existe lascamento fruto de mau posicionamento da armadura. Na obra em questão basicamente nada foi feito, apenas alguns reparos localizados foram realizados removendo pedaços da armadura expostos e recompondo a superfície com argamassa (Figura 65).

Figura 65 - Reparo de armadura exposta.



Fonte: Registro do próprio autor, 2014.

c) Delaminação

Foi identificada no piso de concreto da garagem do terceiro pavimento região em que a superfície de concreto não estava aderida ao restante da laje (Figura 66). Após a remoção da camada superficial de concreto pôde-se verificar que provavelmente houve depósito de água sob a superfície, caracterizando fenômeno de delaminação.

A camada de concreto abaixo da superfície removida apresentou-se enfraquecida e com pulverulência, características diretamente ligadas à forte presença de água de exsudação no local (PCA, 2001).

Figura 66 - Delaminação da superfície.



Fonte: Registro do próprio autor, 2014.

É possível que outras regiões dos pisos de concreto apresentem o mesmo problema e não tenham sido identificadas, conforme abordado anteriormente este fenômeno geralmente não pode ser identificado por simples observação, podendo se manifestar durante a etapa de uso do piso.

d) Baixa resistência da superfície

Em diversas regiões do terceiro pavimento a camada superficial do piso se apresentava muito enfraquecida (Figuras 67 e 68) a ponto de ser removida por simples raspagem e com aspecto bastante alterado, não atendendo os requisitos de resistência à abrasão e estético.

Segundo o engenheiro responsável pela execução da obra, durante a concretagem da laje e acabamento da superfície da mesma ocorreu chuva intensa. Pode-se constatar que o acúmulo de água na superfície aumentou bastante a relação água/cimento na região, fazendo com que este concreto se tornasse bastante frágil e poroso (ACI, 1997).

Figura 67 - Concreto da superfície degradado.



Fonte: Registro do próprio autor, 2014.

Figura 68 - Concreto da superfície degradado.



Fonte: Registro do próprio autor, 2014.

Pela baixa qualidade superficial apresentada nos pisos de concreto do terceiro pavimento seria indicada completa recuperação da superfície, porém apenas partes julgadas pelos responsáveis pela obra como as mais críticas foram recuperadas com revestimento em argamassa (Figuras 69 e 70).

Figura 69 - Recuperação parcial da superfície.



Fonte: Registro do próprio autor, 2014.

Figura 70 - Recuperação parcial da superfície.



Fonte: Registro do próprio autor, 2014.

Como pode ser visto na Figura 70, em alguns casos os próprios reparos feitos na superfície de concreto apresentaram problemas, em geral decorrentes da baixa aderência entre os mesmos e a superfície reparada.

4.3.3 Avaliação da qualidade final do piso

Pelo grande número de manifestações patológicas apresentadas e pela má qualidade do acabamento da superfície pode-se avaliar a qualidade final do piso como ruim.

Nas regiões próximas de pilares e paredes o piso geralmente não apresentava acabamento superficial satisfatório e nem juntas de encontro (Figura 71). Em várias regiões pôde-se notar que o acabamento realizado foi insuficiente e feito com pouco cuidado, podendo-se observar marcas de passos no concreto (Figura 72).

Figura 71 - Mau acabamento nos encontros com elementos construtivos.



Fonte: Registro do próprio autor, 2014.

Figura 72 - Má qualidade de acabamento da superfície.



Fonte: Registro do próprio autor, 2014.

A empresa responsável pela execução da obra, na maior parte dos casos não procurou solucionar os problemas aqui identificados, sendo a obra assim entregue aos clientes após alguns dias.

4.3.4 Considerações sobre o caso

Pode-se verificar que a maior parte dos problemas identificados está ligada à falta de projeto e especificações do piso e baixa qualidade e nível de controle na etapa de execução.

A ocorrência de fissuras se deu de maneira muito mais intensa no subsolo, onde a técnica de execução do pavimento de concreto é distinta dos demais pavimentos. Neste pavimento a técnica utilizada foi executar uma camada de concreto reforçado com fibras sintéticas utilizando o solo como base.

Os prováveis motivos para fissuração do piso de concreto do subsolo são: não utilização de armaduras no concreto, insuficiência ou má qualidade do sistema de juntas, menor espessura da placa de concreto e acomodação das camadas de suporte do piso.

A maior parte das manifestações patológicas relacionadas à baixa qualidade da camada superficial do concreto ocorreu nos pavimentos onde a técnica utilizada foi realizar acabamento da superfície do

concreto estrutural das lajes. Por não haver cobertura e vedações laterais ocorreu exposição do concreto ao vento, radiação solar e precipitações durante a execução. Nestes pavimentos também existiu maior exsudação devido à maior espessura de concreto e do adensamento mais intenso por conta das armaduras.

Apesar do grande número de problemas identificados, pouco foi feito para tentar resolvê-los. Geralmente quando executados, os reparos foram feitos de forma parcial e de maneira inadequada.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diversas são as manifestações patológicas que podem se desenvolver em pisos de concreto. Pode-se notar que o excesso de água no concreto em seu estado plástico está associado à maior parte destas manifestações patológicas, devendo-se procurar a utilização relação água/cimento adequados no concreto, a fim de evitar a ocorrência das mesmas.

Verificou-se nos dois estudos de caso ausência ou insuficiência de projeto dos pisos de concreto, evidenciando que apesar da indicação em normas e outros materiais referentes a pavimentos de concreto da importância e necessidade de utilização destes projetos, muitas vezes estes são ignorados.

Quando não existem parâmetros de execução bem definidos é comum que ocorram práticas inadequadas nesta etapa, podendo estas resultar em diversas manifestações patológicas, conforme identificado nos estudos de caso.

Boas práticas em projeto e execução de pavimentos de concreto envolvem:

- Investigação, projeto e preparo do solo base;
- Projeto e execução de sistemas de drenagem;
- Cálculo e detalhamento de armaduras, espessura de placa e parâmetros do concreto;
- Projeto e detalhamento do sistema de juntas;
- Projeto de sistemas de transferência de carga;
- Projeto e detalhamento do sistema de formas;
- Controle no posicionamento das armaduras e execução dos sistemas de transferência de carga e de formas;
- Controle de abatimento e de resistência do concreto;
- Cuidados no lançamento, adensamento, acabamento e cura do concreto;
- Corte de juntas no intervalo correto de tempo e selamento das mesmas.

Nos estudos de caso ficou claro que muitas destas etapas são ignoradas ou realizadas de maneira insuficiente ou inadequada,

resultando em diversos problemas mesmo antes da etapa de uso dos pavimentos.

Pôde-se verificar através dos estudos de caso nos pisos de concreto das garagens dos dois empreendimentos residenciais avaliados da Grande Florianópolis que a qualidade e controle empregados nas etapas de projeto e execução têm reflexos significativos no desempenho da estrutura ao longo de sua vida útil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 302.1R-96**: Guide for Concrete Floor and Slab Construction. ACI: Detroit (USA), 1997.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E1155M**: STANDARD TEST METHOD FOR DETERMINING FF FLOOR FLATNESS AND FL FLOOR LEVELNESS NUMBERS. ASTM, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**. Projeto de estruturas de concreto. Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 7211**. Agregados para concreto. Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 7481**. Tela de Aço Soldada: Armadura para concreto. Rio de Janeiro, 1990.

_____. **NBR 7583**: Execução de Pavimentos de Concreto Simples por Meio Mecânico. Procedimento. [Rio de Janeiro], 1986.

_____. **NBR 14050**: Sistemas de Revestimento de alto desempenho, à base de resinas epoxídicas e agregados minerais: Projeto, execução e avaliação do desempenho. Procedimento. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais: Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 15575-3**: Edificações habitacionais: Desempenho Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PISOS E REVESTIMENTOS DE ALTO DESEMPENHO. **Histórico**. São Paulo: ANAPRE, 2014.

Disponível em:

http://site.anapre.org.br/index.php?option=com_content&view=article&id=2&Itemid=2. Acesso em: 07 jul. 2014.

BELGO BEKAERT ARAMES. **Aços Longos**. 2010. Disponível em: https://www.belgo.com.br/produtos/construcao_civil/dramix/pdf/dramix.pdf. Acesso em: 07 out. 2014.

CÁNOVAS, Manuel Fernández. **Patologia e Terapia do Concreto Armado**. São Paulo: PINI, 1988. 522 p.

FEITOSA, L. R. L.; LIMA, L. A. G. de. Radier protendido. **Téchne**, São Paulo, ed. 185, jun. 2012. Disponível em: <http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/185/artigo285959-1.aspx>. Acesso em: 15 nov. 2014.

GOOGLE MAPS. **Mapa da Região do Jardim Atlântico-Florianópolis**. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps/@-27.5762407,-48.5980725,707m/data=!3m1!1e3>. Acesso em: 7 dez. 2014.

GOOGLE MAPS. **Mapa da Região de Campinas-São José**. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps/@-27.5957543,-48.6121744,330m/data=!3m1!1e3>. Acesso em: 7 dez. 2014.

HELENE, P. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1992.

INSTITUTO BRASILEIRO DE TELAS SOLDADAS. **Projetos e Critérios Executivos de Pavimentos Industriais de Concreto Armado**. São Paulo, 2006.

MICHAELIS. Patologia. [S.l.]: Editora Melhoramentos, 2009. Disponível em: <http://michaelis.uol.com.br/moderno/portugues/index.php?typePag=sobre&languageText=portugues-portugues>. Acesso em: 5 jul. 2014.

NEVILLE, A. M. Propriedades do Concreto. São Paulo: Pini, 1997.

OBRA 24 HORAS. **Especificação e Medição de F-Numbers**. Disponível em: <http://www.obra24horas.com.br/artigos/revestimentos/especificacao-e-medicao-de-f-numbers>. Acesso em: 7 Dez. 2014.

PITTA, M. R. **Construção de Pavimentos de Concreto Simples**. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 1998a.

_____. **Dimensionamento dos pavimentos rodoviários de concreto**. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 1998b.

PORTLAND CEMENT ASSOCIATION. Concrete Slab Surface Defects: causes, prevention, repair. **Concrete Information**. Portland Cement Association, 2001.

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

RODRIGUES, P. P. F. **Manual de Pisos Industriais**: fibras de aço e protendido. . São Paulo: Pini, 2010.

RODRIGUES, P. P. F.; BOTACINI, S. M.; GASPARETTO, W. E. **Manual Gerdau de Pisos Industriais**. São Paulo, Pini: 2006.

RODRIGUES, P. P. F; MONTARDO, J. P. A influência da Adição de Fibras de Polipropileno nas Propriedades dos Concretos para Pisos e Pavimentos. In: Instituto Brasileiro do Concreto, 44, 2002, Belo Horizonte: IBRACON. Disponível em:
<https://www.impercia.com.br/tecnologias/BOLETINS%20TECNICOS/ADITIVOS/ARTIGOS%20TECNICOS%20NEO%20FIBRAS/A%20Influencia%20da%20Adicao%20de%20Fibras%20de%20Polipropileno%20nas%20Propri.pdf>. Acesso em: 17 set. 2014.

THE CONCRETE SOCIETY. **Concrete Society Technical Report N. 34**: Concrete industrial ground floors: a guide to design and construction. The Concrete Society: Berkshire (UK), 2003.