

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
ESPECIALIZAÇÃO EM PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES**

THIAGO AUGUSTO ANACLETO

**DELAMINAÇÕES EM PISOS INDUSTRIAIS DE CONCRETO:
ANÁLISE DAS PRINCIPAIS CAUSAS E ESTUDO DE CASO**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2014

THIAGO AUGUSTO ANACLETO

**DELAMINAÇÕES EM PISOS INDUSTRIAIS DE CONCRETO:
ANÁLISE DAS PRINCIPAIS CAUSAS E ESTUDO DE CASO**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Patologia das Construções, do Departamento Acadêmico de Construção Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. M. Amacin Rodrigues
Moreira

CURITIBA

2014

THIAGO AUGUSTO ANACLETO

**DELAMINAÇÕES EM PISOS INDUSTRIAIS DE CONCRETO:
ANÁLISE DAS PRINCIPAIS CAUSAS**

Monografia aprovada como requisito parcial para obtenção do título de Especialista no Curso de Pós-Graduação em Patologia das Construções, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, pela comissão formada pelos professores:

Orientador:

Prof. M. Eng. Amacin Rodrigues Moreira
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Câmpus Curitiba.

Banca:

Prof. M. Eng. Massayuki Mário Hara
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – *Câmpus* Curitiba.

Prof. M. Eng. Roberto Levi Sprenger
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – *Câmpus* Curitiba.

Curitiba
2014

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso

Aos meus pais, pelo esforço e dedicação
para minha formação e à minha irmã, pelo
exemplo.

AGRADECIMENTOS

Deixo registrado meus sinceros agradecimentos às pessoas que fizeram parte dessa etapa da minha formação e que me auxiliaram direta ou indiretamente na realização desse trabalho.

Agradeço ao Prof. M. Amacin Rodrigues Moreira, pelo acompanhamento do trabalho e pelas aulas ministradas.

Aos demais professores do curso, pelas valiosas contribuições e compartilhamento de ideias e experiências.

Aos colegas de classe, pela costumeira prazerosa companhia durante as aulas.

Ao meu pai Hélio e à minha irmã Tâmile, pelo suporte em todos os momentos e pela compreensão pelas horas de minha ausência.

À Vanessa, por todo incentivo dado antes e durante essa realização, pela companhia e especialmente por me dar a certeza de que sempre estará por mim.

E, de forma especial à minha mãe Cléia, que mesmo já não mais em presença física, acompanha-me em todas as minhas decisões através de seu exemplo de caráter e força de vontade.

RESUMO

ANACLETO, Thiago. Delaminações em pisos industriais de concreto: análise das principais causas e estudo de caso. 2014. 140p. Monografia (Especialização em Patologia das Construções) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2014.

Neste trabalho são estudadas as causas principais do surgimento de delaminações em pisos industriais de concreto. Caracteriza-se o que são pisos industriais de concreto, delimitando-se a abrangência das considerações realizadas. Há embasamento de pesquisa bibliográfica sobre as camadas constituintes de um piso, desde as de fundação até as de revestimento superficial. Tópicos relacionados ao dimensionamento estrutural não são abordados. Caracterizam-se as formas de aparecimento dessa manifestação patológica, como se diagnosticá-la e formas de correção. Ao final é apresentado um estudo de caso com discussão sobre as possíveis causas do seu aparecimento.

Palavras-chave: Delaminação. Piso de concreto. Piso industrial.

ABSTRACT

ANACLETO, Thiago. Delaminations in industrial concrete floors: analysis of the main causes and case study. 2014. 140p. Monografia (Especialização em Patologia das Construções) - Federal Technology University - Parana. 2014.

In this work the main causes of the occurrence of delaminations in industrial concrete floors are studied. What industrial concrete floors are is characterized, delimiting the scope of the considerations made. There is a supportive bibliographical research on the constituent layers of a floor, from the foundation to the surface coating. Issues related to structural design are not addressed. The ways of appearance of such pathological manifestation, how to diagnose and to fix it are characterized. At the end, a case study with discussion of the possible causes of its appearance is presented.

Keywords: Delamination. Concrete Floor. Industrial Floor.

LISTA DE FIGURAS

<p>Figura 1 - Distribuição de esforços em pavimentos (a) rígidos, gerando grande área de distribuição de carga e pequena pressão nas fundações e (b) flexíveis, gerando pequena área de distribuição de carga e grande pressão nas fundações.....</p>	18
<p>Figura 2 – <i>Layers</i> (ou camadas) de um piso de concreto.....</p>	19
<p>Figura 3 – Diagrama PDCA.....</p>	20
<p>Figura 4 – Gráfico de desempenho <i>versus</i> vida útil com manutenções periódicas.....</p>	22
<p>Figura 5 – Montagem de equipamentos para ensaio SPT.....</p>	24
<p>Figura 6 – Correlação entre CBR e k.....</p>	26
<p>Figura 7 – Incremento de k em função da presença de base granular.....</p>	30
<p>Figura 8 - Incremento de k em função da presença de solo-cimento.....</p>	32
<p>Figura 9 – Incremento de k em função da presença de brita graduada tratada com cimento.....</p>	33
<p>Figura 10 – Incremento de k em função da presença de concreto compactado a rolo.....</p>	35
<p>Figura 11 – Placa de concreto simples (a) sem barra de transferência e (b) com barra de transferência.....</p>	38
<p>Figura 12 – Placa de concreto com armadura distribuída descontínua.....</p>	39
<p>Figura 13 – Placa de concreto com armadura distribuída continuamente.....</p>	39
<p>Figura 14 – Piso de concreto armado.....</p>	40
<p>Figura 15 – Piso de concreto protendido.....</p>	41
<p>Figura 16 – Piso de concreto com fibras.....</p>	42
<p>Figura 17 – Lançamento de agregados minerais.....</p>	47
<p>Figura 18 – Processo de perda material por abrasão em superfície de concreto não tratada.....</p>	48
<p>Figura 19 – Piso com superfície tratada com endurecedores à base de silicados e à base de flúor-.....</p>	48

silicatos.....	
Figura 20 – Junta sem dispositivo de transferência de carga.....	52
Figura 21 – Junta tipo macho-fêmea.....	53
Figura 22 – Junta com BT.....	53
Figura 23 – Junta (a) de construção, (b) serrada e (c) de encontro.....	54
Figura 24 – Corte de junta serrada e fissuração induzida.....	55
Figura 25 – Posicionamento barra de transferência.....	57
Figura 26 – Preenchimento do selante em junta serrada.....	58
Figura 27 – Junta com preenchimento do tipo lábio polimérico.....	59
Figura 28 – Medição de planicidade com régua metálica.....	60
Figura 29 – Medição do índice de planicidade.....	60
Figura 30 – Medição do índice de nivelamento.....	61
Figura 31 – Aparelho <i>dipstick</i>	62
Figura 32 – Recompactação bloco de fundação.....	64
Figura 33 – Compactação de subleito.....	65
Figura 34 – Execução de sub-base com material granular.....	67
Figura 35 – Execução de sub-base em BGTC.....	67
Figura 36 – Execução de sub-base em solo cimento.....	68
Figura 37 – Execução de camada de CCR.....	68
Figura 38 – Colocação de barreira de vapor.....	69
Figura 39 – Utilização de formas metálicas (travamento utilizando concreto)	71
Figura 40 – Posicionamento de treliças de h=8cm.....	72
Figura 41 – Exumação de piso com armadura superior rebaixada, praticamente colada com armadura inferior.....	73
Figura 42 – Transpasse de tela em duas malhas.....	76
Figura 43 – Montagem do conjunto de ancoragem com o cabo passando do limite da forma para	77

protensão.....	
Figura 44 – Posicionamento de cabos com espaçador plástico.....	78
Figura 45 – Conjunto de acessórios para ancoragem.....	79
Figura 46 – Vista de uma pista com cabos de protensão.....	80
Figura 47 – Alinhamento das BT posteriormente ao lançamento.....	81
Figura 48 – Placa teste.....	83
Figura 49 – Concretagem em xadrez – processo em desuso e com recomendação de não utilização.....	83
Figura 50 – Concretagem em faixas e panos.....	84
Figura 51 – Realização do <i>slump test</i>	85
Figura 52 – Ensaio de compressão com prensa hidráulica.....	86
Figura 53 – Ensaio de tração na flexão com prensa hidráulica.....	86
Figura 54 – Moldagem de CPs cilindros e prismáticos.....	87
Figura 55 – Lançamento de concreto próximo ao piso.....	88
Figura 56 – Execução com régua vibratória treliçada e vibradores de imersão...	89
Figura 57 – <i>Laser screed</i>	90
Figura 58 – Fluxograma fases de acabamento da superfície de concreto.....	92
Figura 59 – Janela de acabamento para pisos de concreto.....	93
Figura 60 – Aplicação de cura química.....	94
Figura 61 – Corte de junta serrada com disco diamantado.....	95
Figura 62 – Fissuração fora da área de controle provocada por corte terminando muito afastado da junta de encontro.....	96
Figura 63 – Corte de um piso com formação de bolha.....	100
Figura 64 – Aspecto de delaminação.....	101
Figura 65 – Janela de acabamento.....	104
Figura 66 – Delaminação em piso com adição mineral.....	105
Figura 67 – Gráfico comparativo de percentual de ar contido em função da profundidade e resultado de delaminação.....	106
Figura 68 – Distribuição de camadas afetadas em polimento de pisos com ar incorporado.....	107
Figura 69 – Seção com delaminação em piso utilizando concreto com ar	109

incorporado. Camada DSL com entre 4 a 6mm de espessura.....	
Figura 70 – Seção de um concreto com ar incorporado (6,2%) mostrando falhas na aderência entre pasta-agregado na DSL (A e B) e na DT (C).....	110
Figura 71 – Seção de um concreto com ar incorporado (3,8%) mostrando falhas na aderência entre pasta-agregado na DSL (b, camada com espessura total de 3mm) e na DT (a, camada com espessura total de 27mm).....	110
Figura 72 – Brilho característico da água de exsudação.....	111
Figura 73 – <i>Spray</i> para aumentar umidade relativa.....	112
Figura 74 – Pequenos e grandes reparos de delaminação.....	117
Figura 75 - Primeira fissuras no piso já acabado.....	119
Figura 76 - Interseção entre fissuras.....	120
Figura 77 - Primeiro aparecimento de área com fragmentos.....	120
Figura 78 - Vista geral de uma das áreas afetadas.....	124
Figura 79 - Detalhe da retirada do material não aderido com ferramentas manuais	125
Figura 80 - Amostra de fragmento delaminado.....	125
Figura 81 - Detalhe da porção mais superficial delaminada.....	126
Figura 82 - Detalhe da porção mais profunda delaminada.....	126
Figura 83 - Detalhe da separação entre a camada mais superficial e a mais profunda apenas na argamassa.....	127
Figura 84 - Detalhe de separação da camada mais profunda com agregado graúdo aderido à parte deslocada.....	128
Figura 85 - Detalhe de separação da camada mais profunda com agregado graúdo aderido ao piso base.....	128

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos de sub-base.....	28
Tabela 2 – Faixas granulométricas admissíveis para materiais estabilizados granulometricamente.....	29
Tabela 3 – Módulo resiliente ou elástico.....	31
Tabela 4 – Sistemas de execução de revestimentos de alto	49

desempenho.....	
Tabela 5 – Critérios para escolha de um revestimento.....	50
Tabela 6 – Métodos de preparação de substrato.....	51
Tabela 7 – Seção, comprimento e espaçamento das BT em função da espessura do piso.....	57
Tabela 8 – Índices de planicidade e nivelamento em função da utilização de áreas.....	61
Tabela 9 – Medidas comerciais de telas soldadas.....	75
Tabela 10 – Sequência de acabamento superficial.....	91
Tabela 11 – Principais patologias em pisos industriais. Características, prevenção e tratamento.....	98
Tabela 12 – Detalhes de projeto e de traço de concreto utilizados.....	118

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Correlação entre resistência à compressão e resistência à tração na compressão.....	87
---	----

LISTA DE SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
a/c	Fator água / cimento
ACI	<i>American Concrete Institute</i>
ANAPRE	Associação Nacional De Pisos E Revestimento De Alto Desempenho
APC	<i>As-placed Concrete</i> (Concreto como lançado)
A _{sl}	Área de seção longitudinal
A _{st}	Área de seção transversal
ASTM	<i>American Society For Testing And mMaterials</i>
BGS	Brita Graduada Simples
BGTC	Brita Graduada Tratada Com Cimento
BT	Barra de Transferência
CBR	<i>California Bearing Ratio</i> (Índice de Suporte Califórnia)
CCAA	<i>Cement Concrete And Aggregates Australia</i>
CCR	Concreto Compactado a Rolo
CP	Corpo de Prova
DER	Departamento de Estradas de Rodagem
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DSL	<i>Densified Surface Layer</i> (Camada superficial adensada)
DT	<i>Distorted Layer</i> (Camada distorcida)
f _{ck}	Resistência do concreto à compressão
f _{ctM,k}	Resistência do concreto à tração na flexão
GC	Grau de Compactação
IBTS	Instituto Brasileiro De Telas Soldadas
JC	Juntas de Construção
JE	Juntas de Encontro
JS	Juntas Serradas
k	Coeficiente de Recalque
NBR	Norma Brasileira
NRMCA	<i>National Ready Mixed Concrete Association</i>
P	Pressão Unitária
PCA	<i>Portland Concrete Association</i>
PCS	Pisos de Concreto Simples

PN	Proctor Normal
PI	Proctor Intermediário
PM	Proctor Modificado
RAD	Revestimentos de Alto Desempenho
SC	Solo-Cimento
SMC	Solo Melhorado com Cimento
SPT	<i>Standart Penetration Test</i> (Ensão à percussão)
TAZ	<i>Trowel-Affected Zone</i> (Zona afetada pelo acabamento)
VU	Vida Útil
VUP	Vida Útil de Projeto

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
2. PISOS INDUSTRIAIS DE CONCRETO	18
2.1 PROJETOS DE PISOS INDUSTRIAIS DE CONCRETO.....	20
2.2 FUNDAÇÕES PARA PISOS DE CONCRETO.....	22
2.2.1 Subleito.....	23
2.2.1.1 Sondagem à percussão SPT.....	24
2.2.1.2 Ensaio de compactação.....	25
2.2.1.3 Coeficiente de recalque k.....	25
2.2.1.4 Índice de suporte califórnia – CBR.....	25
2.2.2 Sub-base.....	27
2.2.2.1 Sub-bases granulares.....	28
2.2.2.2 Sub-bases tratadas com cimento.....	31
2.2.2.2.1 Solo-cimento (SC) e solo melhorado com cimento (SMC).....	31
2.2.2.2.2 Brita graduada tratada com cimento (BGTC).....	33
2.2.2.2.3 Concreto compactado a rolo (CCR).....	34
2.3 BARREIRA DE VAPOR.....	35
2.4 PLACA DE CONCRETO.....	36
2.4.1 Pisos de Concreto Simples.....	37
2.4.2 Pisos de Concreto Com Armadura Distribuída.....	38
2.4.3 Pisos de Concreto Armado.....	40
2.4.4 Pisos de Concreto Protendido.....	41
2.4.5 Pisos de Concreto Reforçado com Fibras.....	42
2.4.6 Outras Tecnologias de Pavimentos Rígidos.....	42
2.5 CONCRETOS.....	43
2.5.1 Propriedades do Concreto Fresco.....	43
2.5.2 Propriedades do Concreto Endurecido.....	44
2.6 TRATAMENTOS SUPERFICIAIS.....	46
2.6.1 Agregados Minerais ou Metálicos.....	47

2.6.2	Endurecedores de Superfície.....	48
2.6.3	Revestimentos de Alto Desempenho – RAD.....	49
2.6.3.1	Métodos de preparação do substrato.....	51
2.7	JUNTAS.....	52
2.8	CRITÉRIOS DE PLANICIDADE E NIVELAMENTO.....	59
3	EXECUÇÃO DE PISOS DE CONCRETO.....	63
3.1	FUNDAÇÕES.....	63
3.1.1	Subleito.....	64
3.1.2	Sub-base.....	66
3.2	BARREIRA DE VAPOR.....	69
3.3	POSICIONAMENTO DE FORMAS.....	70
3.4	POSICIONAMENTO DA ARMAÇÃO.....	71
3.4.1	Armação em Pisos Estruturalmente Armados.....	72
3.4.2	Armação de Pisos Protendidos.....	76
3.5	BARRAS DE TRANSFERÊNCIA.....	80
3.6	CONCRETAGEM.....	82
3.6.1	Produção, Transporte e Recebimento do Concreto.....	84
3.6.2	Lançamento do Concreto.....	88
3.6.3	Adensamento e Nivelamento do Concreto.....	89
3.6.4	Acabamento do Piso.....	90
3.6.5	Cura do Concreto.....	95
3.7	CORTE E TRATAMENTO DE JUNTAS.....	94
4	PATOLOGIAS EM PISOS INDUSTRIAIS DE CONCRETO.....	97
5	DELAMINAÇÕES EM PISOS INDUSTRIAIS DE CONCRETO.....	100
5.1	PROCESSO DE SURGIMENTO DE DELAMINAÇÕES.....	101
5.1.1	Acabamento Prematuro.....	102
5.1.2	Acabamento Prolongado.....	103
5.1.3	Acabamento com Adições ou Revestimentos.....	105
5.1.4	Ar Incorporado.....	105
5.1.5	Condições Climáticas.....	111

1 INTRODUÇÃO

O emprego de pisos de concreto em edificações industriais está diretamente ligado à capacidade desse elemento construtivo em resistir aos diferentes tipos de solicitações que áreas produtivas e de estocagem exercem sobre o mesmo, na maioria das vezes sem necessitar de qualquer outro revestimento, sendo sua própria superfície sujeita às solicitações. Para tanto, faz-se necessário especificar, projetar e executar um piso que seja resistente às cargas atuantes, a impactos, à abrasão e que se mantenha estrutural e funcionalmente estável.

As manifestações patológicas apresentadas nos pisos industriais de concreto acarretam perda de funcionalidade, uma vez que as mais variadas falhas observadas tendem a comprometer a operação de cargas, a estética e a resistência estrutural desse elemento. Ainda, é notório o efeito progressivo dessas manifestações; uma vez iniciado algum processo de deterioração, independentemente do motivo do seu surgimento, este tende a se agravar rapidamente se não for corrigido em tempo adequado.

Este trabalho irá abordar de forma abrangente a concepção atual dos pisos industriais de concreto adotados em unidades de produção e/ou de estocagem, fazendo uma revisão bibliográfica para caracterizá-los, introduzir os processos executivos envolvidos e apontar as principais patologias. De forma específica, propõe-se a aprofundar o estudo sobre a delaminação, que é uma patologia manifestada nas camadas superficiais do concreto quando do seu tratamento superficial com as máquinas acabadoras de superfície, caracterizada pelo desprendimento de uma porção de pequena espessura. Para tanto, será realizado um estudo mais aprofundado sobre suas causas e apresentação de um estudo de caso sobre essa manifestação.

Não serão tratados itens de dimensionamento, tanto de fundações como do próprio pavimento, bem como especificação de materiais, espessuras de placas e cálculo de armação.

2 PISOS INDUSTRIAIS DE CONCRETO

Os pavimentos rígidos, também chamados de pavimentos de concreto, podem ser classificados como sendo aqueles em que a camada de rolamento funciona também como estrutura, proporcionando redistribuição dos esforços e diminuição da tensão transmitida às camadas adjacentes, normalmente formadas apenas por uma sub-base e subleito. De outro lado tem-se os pavimentos flexíveis, nos quais a camada de rolamento funciona apenas como revestimento e transmite os esforços provenientes do tráfego diretamente às fundações, nesse caso compostas normalmente por base, sub-base e reforço de subleito. (OLIVEIRA, 2000).

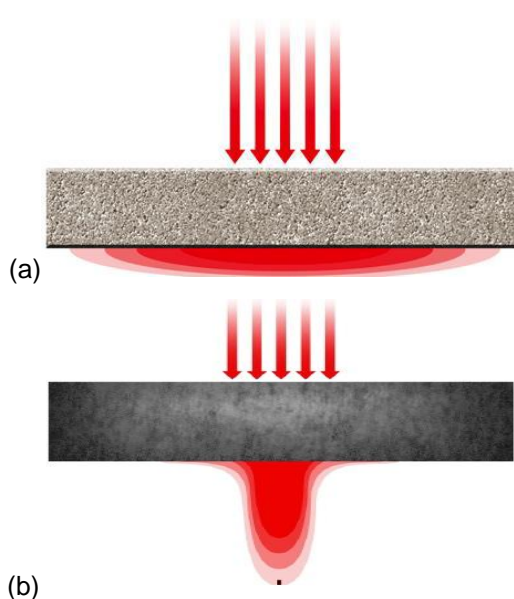


Fig. 01 – Distribuição de esforços em pavimentos (a) rígidos, gerando grande área de distribuição de carga e pequena pressão nas fundações e (b) flexíveis, gerando pequena área de distribuição de carga e grande pressão nas fundações (Fonte: ABCP).

Ainda, pode-se classificar os pavimentos de concreto como aqueles cujas camadas de rolamento são obtidas a partir de diversas técnicas de produção e manipulação do concreto, podendo ser de forma pré-moldada ou moldada *in loco*, respeitando certas particularidades de projeto, execução, operação e manutenção (BALBO, 2009).

Além dessa caracterização, pode-se também citar como diferença entre os tipos de pavimentos de concreto rodoviários ou urbanos e os industriais, uma vez que os primeiros normalmente consideram praticamente inexistente a presença de carregamentos estáticos, enquanto nos pavimentos industriais esse tipo de carregamento é notoriamente mais significativo. (RODRIGUES, 2006).

Os pavimentos industriais de concreto, segundo Rodrigues (2006) também “comumente chamados de pisos industriais de concreto”, podem ser construídos com diversas técnicas, sendo cada uma delas aplicada para uma situação específica, produzindo dessa forma estruturas condizentes com a forma de utilização, necessidades particulares da obra e realidades financeiras (RODRIGUES, 2006).

Usualmente, considera-se a estrutura completa de um piso industrial de concreto composta por cinco camadas, também conhecidas como *layers*, sendo cada uma delas responsável por uma função específica. As premissas de projeto (incluindo corretas especificações) e execução de cada uma das camadas são elementos que garantem eficiência e qualidade aos pisos industriais. (CRISTELLI, 2010).

A figura abaixo apresenta as camadas de forma ordenada considerando a disposição construtiva.

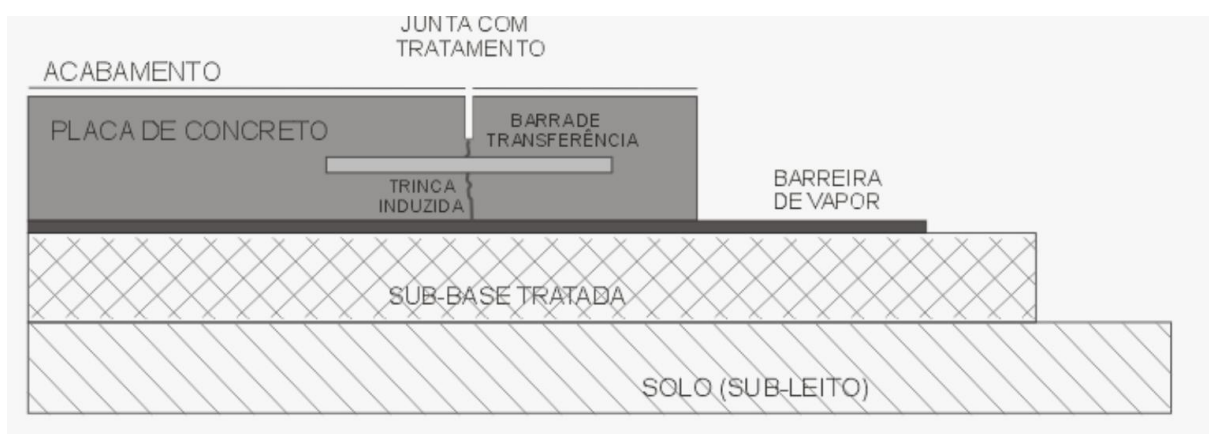


Fig. 02 – *Layers* (ou camadas) de um piso de concreto (Fonte: PETRONILHO e SÍGOLO, 2011)

Entretanto, há variações no número de camadas dependendo da necessidade e realidade de cada projeto, podendo-se incluir ou excluir camadas, bem como se repensar nas estruturas de suporte (fundação) do piso considerado.

2.1 PROJETOS DE PISOS INDUSTRIAIS DE CONCRETO

“[O projeto] não é simplesmente uma coletânea de documentos, é o instrumento pelo qual a obra se norteará para sua execução e conseqüentemente obtenção dos resultados esperados e ainda, permitir que a operação logística, de produção ou comercial, tenham custos competitivos.” (GASPARETTO, 2007)

O desempenho – comportamento em uso de uma edificação e de seus sistemas – é avaliado buscando-se analisar a adequação ao uso de um sistema destinado a cumprir determinada função, independentemente da solução técnica empregada. Para tanto, é necessária investigação sistemática que direcione a um comportamento adequado do sistema em função das condições de uso definidas pelo cliente. (NBR 15575-1, item 6).

As premissas de projeto são de extrema importância para o sucesso do mesmo, pois é a partir das definições claras e objetivas das necessidades específicas que se consegue criar um produto que efetivamente atenda tais necessidades. Segundo Gasparetto (2007), “os profissionais não conseguem definir algo que não conhecem profundamente(...)” e essa falta de conhecimento “pode levar ao insucesso todo o esforço de uma equipe”.

Gasparetto (2007) elucida de forma gráfica o trabalho necessário pelo projetista para iniciar e atualizar questões de projeto, envolvendo as necessidades do cliente – que podem variar ao longo do tempo -, propondo que haja um *looping* entre as etapas *Do*, *check* e *act* a fim de se instalar um processo de controle de qualidade.

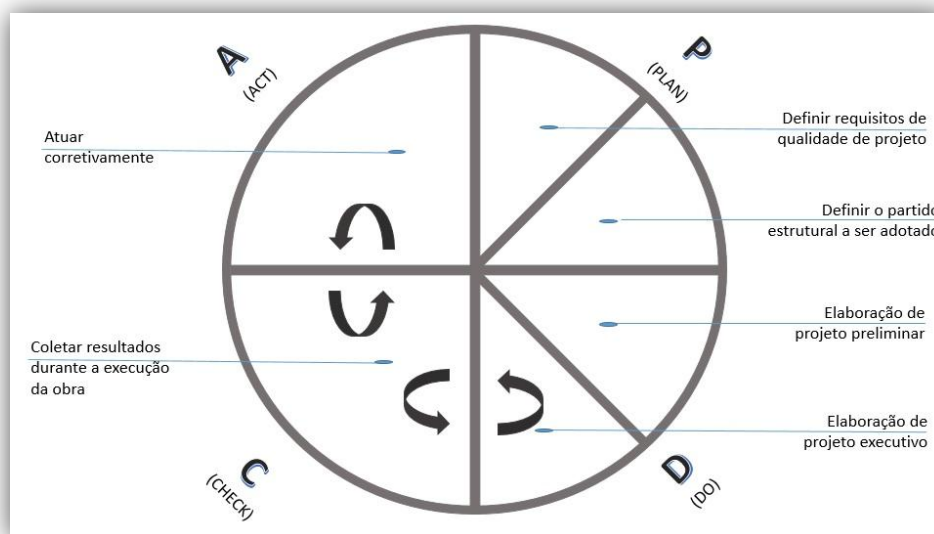


Fig. 03 – Diagrama PDCA (Fonte: Adaptado de GASPARETTO, 2007)

Partindo-se de premissas equivocadas ou imprecisas, pode-se levar à incorreta avaliação de esforços atuantes e conseqüentemente a geração de esforços solicitantes com valores acima dos quais os materiais empregados poderiam resistir, possibilitando ruptura dos mesmos. (BALBO, 1997).

Além disso, estimativas de tráfego ou carregamentos incorretas influem no fator de confiabilidade do pavimento, o qual determina sua durabilidade pelo período para o qual foi projetado, podendo causar não apenas deterioração estrutural mas também funcional (perda de serventia) devido às cargas. (RUFINO, 1997).

Ainda no tocante ao sucesso de um projeto, sugere-se que este depende de diversos fatores. Em ordem de execução, pode-se citar: experiência do projetista, confiabilidade dos dados disponíveis, atendimento às normas e especificações, incorporação de novas tecnologias e equipamentos, experiência do executor e, conectando todos esses aspectos, a aderência do serviço executado em campo aos detalhes e especificações previstas em projeto. (ANAPRE, 2009).

Além de se ter um projeto consistente, a elaboração de um manual de operação, uso e manutenção é de fundamental importância para guiar a utilização da edificação ou sistema. Ambos tem como objetivo evitar a ocorrência de patologias e mesmo acidentes oriundos da incorreta utilização e permitir alterações futuras – através do conhecimento e avaliação de um profissional habilitado. Outras finalidades do manual são as de orientação quanto a realização de atividades de manutenção, descrição de procedimentos recomendáveis para melhor

aproveitamento do sistema e contribuição para aumento da durabilidade da edificação ou sistema. (NBR 14037 – item 4)

Em resumo, o projeto deve atender aos requisitos de desempenho estabelecidos em norma, ou seja, atender a Vida Útil de Projeto (VUP). O atendimento a esse critério, considerando-se que haja cumprimento de processos e periodicidade de manutenção descritos no Manual de Operação, Uso e Manutenção, é satisfeito quando a Vida Útil (VU) do sistema, que é o período de tempo efetivo em que tal sistema se presta às atividades para as quais foi projetado, é satisfeito. (NBR 15575-1, anexo C)

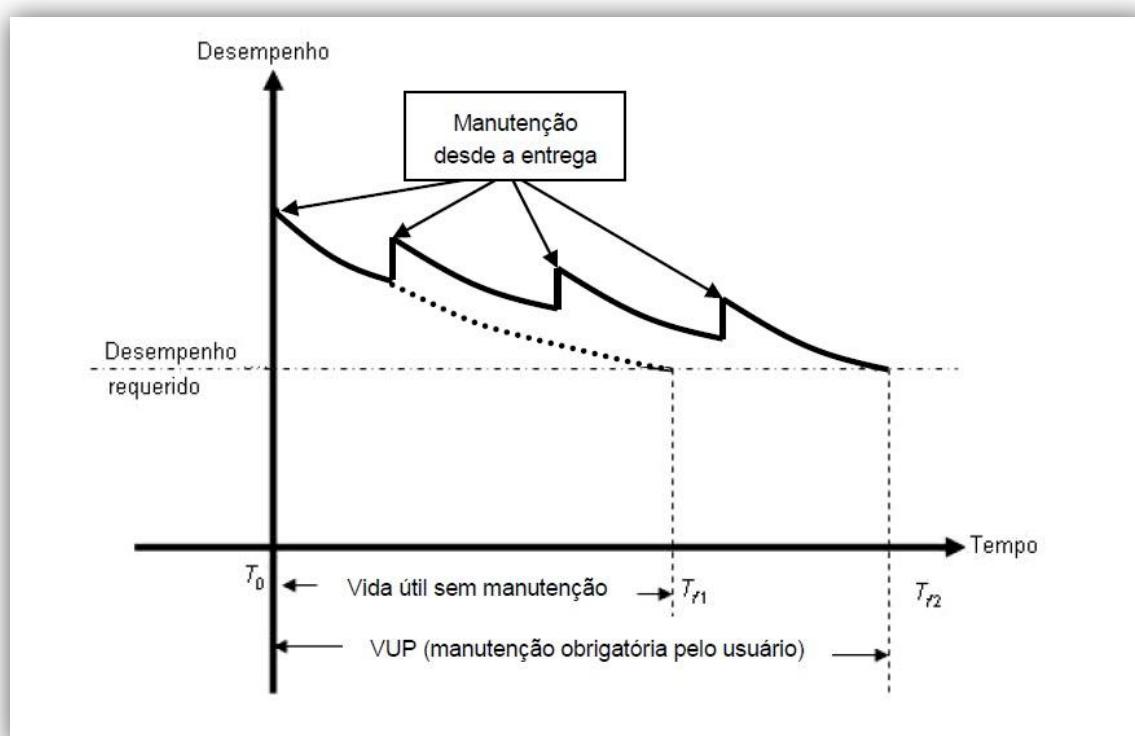


Fig. 04 – Gráfico de desempenho *versus* vida útil com manutenções periódicas (Fonte: NBR 15575)

2.2 FUNDAÇÕES PARA PISOS DE CONCRETO

Da mesma forma que analisado para um projeto de fundações convencional, as fundações para os pisos de concreto também merecem estudo aprofundado para serem dimensionadas de forma a suportar os esforços recebidos pelo pavimento. (RODRIGUES, 2006).

As fundações para os pisos industriais variam de acordo com as características do solo local, podendo ser fundações diretas, como, segundo Rodrigues (2006), é o que acontece na maioria dos casos, nos quais denominamos o terreno tratado de subleito. Em outros casos, no entanto, torna-se necessária a adoção de outras técnicas, como por exemplo o estaqueamento do pavimento.

Segundo Chodousnky e Viecili (2007), a escolha do tipo de fundação deve levar em consideração a existência de vários tipos de solos, avaliando especialmente os com propriedades indesejáveis para recebimento de tensões.

Existem três grupos de solos que podem ser caracterizados como problemáticos e que demandam estudo e tratamento especial: solos moles, solos expansivos e solos colapsíveis.

Para execução de pisos de concreto sobre esses tipos de solos, é necessário realizar reforço, substituição ou tratamento químico para melhoria ou controle de determinadas características dos mesmos. O reforço com estaqueamento tem por objetivo utilizar a resistência de ponta quando as estacas são apoiadas nas camadas inferiores com maior resistência, além de aproveitar o atrito lateral oferecido pelas camadas superiores. A remoção e substituição de pequenas camadas de solo mole, embora onerosa, também é possível. (RODRIGUES, 2007).

Já para solos expansivos, há experimentos em que a alteração na umidade ótima (acréscimo de 1 a 3%), associada ao aumento do grau de compactação, reduzem a ocorrência de expansão. (RODRIGUES, 2007). No entanto, há também a possibilidade de utilização de estabilizantes químicos que, quando misturados ao solo local, reduzem o volume de vazios, ou ainda misturas com material granular.

Por fim, para solos colapsíveis, que são os classificados como muito instáveis na situação de saturação de água, pode-se realizar tratamento com controle rigoroso de compactação com injeção de silicato de sódio (para redução do recalque de colapso) e até mesmo com utilização de camadas de sub-base que apresentem propriedade de impermeáveis para proteção da saturação do subleito. (CHODOUNSKY e VIECILI, 2007).

2.2.1 Subleito

O estudo e caracterização das propriedades do solo faz-se necessário para determinação da sua capacidade de suporte, representada na maioria das vezes pelo Índice de Suporte Califórnia (ou *California Bearing Ratio* – CBR) e pelo coeficiente de recalque (k). Além desses dois parâmetros, o perfil das camadas subjacentes também é importante para o entendimento do comportamento do terreno. Para tanto, o ensaio de Sondagem à Percussão (ou *Standard Penetration Test* – SPT) é geralmente suficiente para entendimento do comportamento de tais camadas. Já para o acompanhamento em campo da compactação da camada de subleito, trabalha-se com o ensaio de compactação.

2.2.1.1 Sondagem à percussão SPT

O ensaio de sondagem à percussão, ou simplesmente SPT, consiste na cravação de um cilindro amostrador no solo, em posição vertical, através de golpes gerados por um martelo com massa de 65kg a uma altura padrão de queda 75cm. Toda essa aparelhagem é montada sob um tripé de suporte e movimentada de forma manual por um operador ou motor através de sistema de cordas e polias (roldanas). Além de se poder recolher amostras do material das camadas subjacentes a cada metro para ensaios geotécnicos, o ensaio fornece a quantidade de golpes necessários para se provocar uma cravação padrão. Esse resultado, expresso pela letra N, condiz com o número de golpes somados para cravação dos últimos dois trechos de 15cm em cada metro, ou seja, dos 30cm finais de cravação. (PINTO, 2006)

Outros parâmetros obtidos a partir desse ensaios são (CRISTELLI, 2010):

- Identificação de diferentes camadas de solo que compõe o subsolo;
- Classificação dos solos de cada camada;
- Nível do lençol freático; e
- Capacidade de carga em várias profundidades.

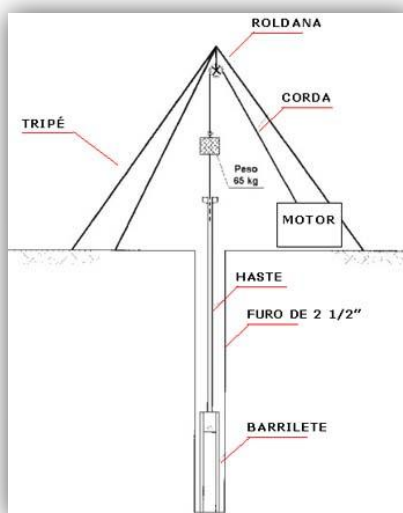


Fig. 05 – Montagem de equipamentos para ensaio SPT (Fonte: Fórum da Construção¹)

2.2.1.2 Ensaio de compactação

O ensaio de compactação tem como objetivo obter a definição da densidade seca máxima que um determinado tipo de solo pode chegar, quando compactado com uma energia conhecida, à qual corresponde uma umidade ótima. O ensaio consiste em variar a umidade de uma amostra, iniciando com valores percentuais abaixo do que se espera que seja a umidade ótima (o que pode ser aproximadamente identificado de forma prévia aproximada por um laboratorista experiente) e traçar um gráfico com os valores de densidade encontrados. É possível também realizar variação da energia empregada, sendo esta normal, intermediária ou modificada, dependendo da finalidade de utilização da camada de solo compactada a ser preparada. O resultado do ensaio é plotado graficamente e nos informa qual é a umidade ótima, a qual irá proporcionar maior densidade no solo. (PINTO, 2006).

Para verificação em campo da obtenção da densidade máxima encontrada em laboratório, faz-se uma comparação percentual através do chamado grau de compactação (GC). Essa razão comprova que está sendo reproduzida a melhor condição de compactação que o solo pode oferecer. (RODRIGUES, 2007)

¹ Disponível em: <<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=9&Cod=126>> (Acesso em 26 jan.14)

2.2.1.3 Coeficiente de recalque k

Também chamado de módulo de reação, esse parâmetro é determinado pela tensão necessária para produzir uma deformação numa porção de solo. Expresso através da relação entre a pressão unitária P e o recalque ou deflexão correspondente δ , o coeficiente de recalque, como será abordado a seguir, é utilizado tanto para representação da capacidade de reação do subleito como também de um sistema considerando subleito/sub-base. A unidade mais comum para designação desse valor é expressa em MPa/m. (RODRIGUES, 2006; OLIVEIRA, 2010).

2.2.1.4 Índice De Suporte Califórnia – CBR

Segundo Rodrigues (2006), o índice de suporte Califórnia nos fornece caracterização do solo do ponto de vista de sua resistência. O ensaio caracteriza-se pela aplicação de uma pressão controlada, numa amostra saturada, através de um cilindro e realização de medidas das deformações apresentadas pela amostra ensaiada. Cristelli (2010) informa que o mesmo procedimento é realizado para uma brita graduada de boa qualidade e que os resultados são comparados, obtendo-se então o valor do CBR da amostra em termos percentuais, comparativos aos da brita de controle.

Os parâmetros CRB e k são correlacionáveis, sendo apresentados na literatura de forma tabelada. Essa correlação é usualmente suficiente para se projetar um pavimento, pois apesar de o coeficiente k variar entre amplos limites – dependendo do solo, da sua densidade e umidade -, pequenas variações ocasionadas pela tabela resultam em consequências desprezíveis para determinação de espessuras do pavimento. (RODRIGUES e PITTA, 1999; RODRIGUES, 2006).

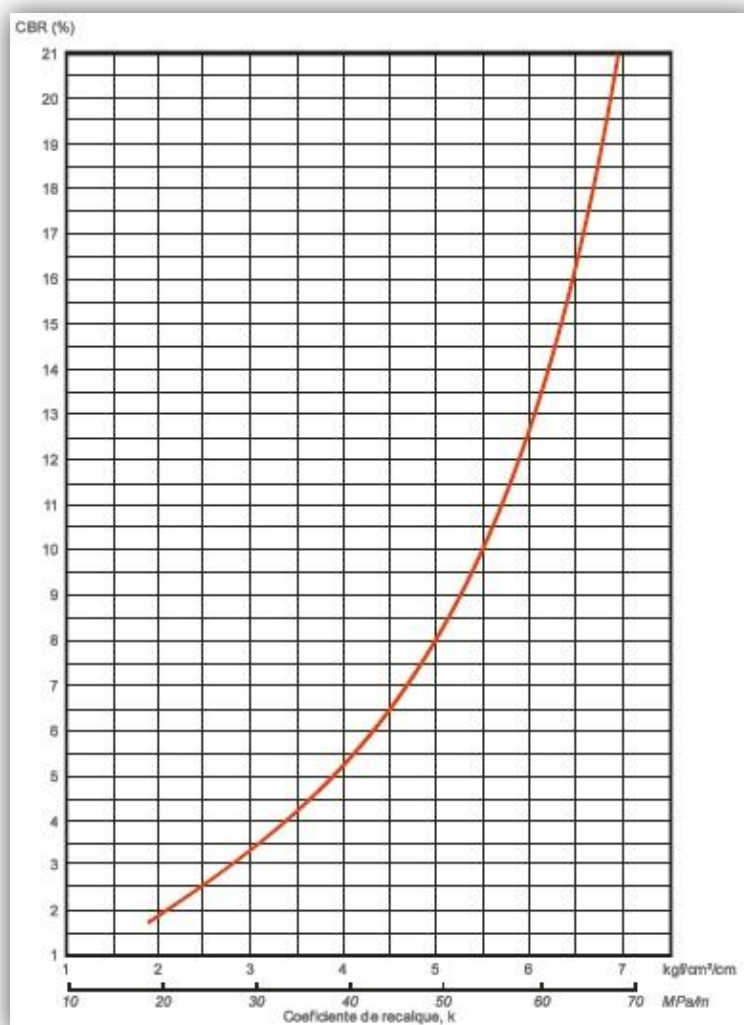


Fig. 06 – Correlação entre CBR e K (Fonte: PITTA, 1990)

Uma vez caracterizado o solo local e convenientemente dimensionada a forma de tratamento para essa camada, a correta execução desse elemento de fundação é de fundamental importância para a sequência executiva que culminará em um piso de alta qualidade. Para tanto, é necessário realizar o controle tecnológico de solos, avaliando *in loco* através de ensaios a reprodução dos resultados obtidos em laboratório.

A umidade ótima é determinada a partir dos resultados de densidade seca máxima obtidos para três níveis de energia de compactação empregada: energia normal, intermediária e modificada. Portanto, trabalhando-se em campo reproduzindo essa mesma umidade e energia de compactação, deve-se obter um

resultado de 98% de GC para se classificar como satisfatório (podendo esse percentual variar de acordo com as considerações de projeto). (RODRIGUES, 2007).

Outra forma de avaliação, que também pode ser considerada como ensaio de campo, é a prova de carga. Segundo o *American Concrete Institute* (ACI), a prova de carga é uma das formas mais efetivas de avaliar se a capacidade de suporte do solo é adequada. Baseado no carregamento da camada com um veículo de transporte (caminhão caçamba carregado, na realidade brasileira), qualquer deformação excessiva, marcas de pneus tipo trilho e bombeamento observados devem ser corrigidos. (ACI 302-1R-04 – Item 4.1.1)

2.2.2 Sub-Base

As sub-bases são camadas intermediárias entre o subleito e a placa de concreto do piso, que, segundo Rodrigues (2006), são de “importância primordial ao desempenho do piso”. Justifica-se sua existência pelo fato de ser uma camada que ameniza a grande disparidade de rigidez existente entre o piso de concreto e o subleito. (RODRIGUES, 2006).

Considerando-se as importâncias dessa camada descritas por Pitta (1987), Rodrigues e Pitta (1999), Oliveira (2000) e Rodrigues (2006), pode-se citar o seguintes itens como funções fundamentais das sub-bases:

- Eliminar ou impedir o fenômeno de bombeamento, também conhecido como *pumping*, que é caracterizado pela expulsão dos finos plásticos do solo através das juntas do piso. Esse processo ocorre quando da passagem de um carregamento pesado sobre o piso associado à presença de água no subleito;
- Aumentar a capacidade de suporte da fundação, uma vez que a adoção do valor de coeficiente de recalque k é válida tanto para a camada de subleito quanto para o conjunto subleito/sub-base. A sub-base, portanto, auxilia o sistema de fundação a suportar mais carga, considerando-se um mesmo valor de deformação do conjunto.
- Evitar variações excessivas do material de subleito e seus efeitos expansivos sobre o piso;

- Uniformizar a fundação e seu comportamento mecânico ao longo do piso, minimizando o efeito negativo causado por variações no subleito;
- Incremento na transferência de carga nas juntas, devido à redução das deformações da placa de concreto.

As camadas de sub-base podem variar de acordo com sua composição, sendo usualmente classificadas como granulares ou como tratadas, nesse último caso podendo variar de tratamento com cimento em percentuais variados ou com outros aditivos. (CHODOUNSKY, 2007).

A seguir é apresentada tabela com resumo dos tipos de sub-bases e, adiante, descrição das características de cada uma delas, exceto para as tratadas com outros aditivos que não cimento.

Sub-bases granulares	Granulometria aberta	
	Granulometria fechada	
Sub-bases tratadas	Com cimento	Solo-cimento
		Solo melhorado com cimento
		Brita graduada tratada com cimento
		Concreto compactado a rolo
	Com outros aditivos	Cal
		Pozolana
		Asfalto
		Aditivos químicos

Tab. 01 – Tipos de sub-base (Fonte: Adaptado de Chodousnky, 2007)

2.2.2.1 Sub-bases granulares

As sub-bases granulares, conforme visto acima, podem apresentar variação de granulometria entre aberta e fechada. A diferença entre as duas classificações se dá pelos percentuais de material passante para cada tipo de peneira e sua abertura. Segundo o Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), existem seis faixas admissíveis, nomeadas de A a F, que levam em consideração também o valor de N, representando o volume de tráfego com referência do eixo rodoviário padrão.

Tipos	Para N > 5 X 10 ⁶				Para N < 5 x 10 ⁶		Tolerâncias de faixa de projeto
	A	B	C	D	E	F	
Peneiras	% em peso passando						
2"	100	100	-	-	-	-	± 7
1"	-	75 - 90	100	100	100	100	± 7
3/8"	30 – 65	40 - 75	50 - 85	60 - 100	-	-	± 7
nº 4	25 – 55	30 - 60	35 - 65	50 - 85	55 - 100	10 - 100	± 5
nº 10	15 – 40	20 - 45	25 - 50	40 - 70	40 - 100	55 - 100	± 5
nº 40	8 – 20	15 - 30	15 - 30	25 - 45	20 - 50	30 - 70	± 2
nº 200	2 – 8	5 - 15	5 - 15	10 - 25	6 - 20	8 - 25	± 2

Tab. 02 – Faixas granulométricas admissíveis para materiais estabilizados granulometricamente
(Fonte: DNER, 1997)

Além disso, pode-se adotar certa faixa granulométrica para se alcançar determinados resultados com relação à permeabilidade dessa camada. Há casos em que a drenagem e escoamento de águas que permearam o revestimento é bastante desejada, para tanto faz-se utilização de granulometria mais aberta, que apresenta menor quantidade de finos. Por outro lado, para áreas cobertas, por exemplo, não se tem a mesma necessidade de permeabilidade, podendo-se optar por uma granulometria mais densa. (RODRIGUES, 2006).

Rodrigues (2006) ainda chama a atenção para casos em que erroneamente se especifica britas utilizadas em concretos para execução de camadas de sub-base. Por apresentarem granulometria muito estreita (próximas a serem monogranulares), esse tipo de material não proporciona estabilização granulométrica adequada.

Outro fator importante a se observar é o incremento do valor de k devido à presença de sub-bases granulares, auxiliando o conjunto de fundação a suportar maiores carregamentos. (RODRIGUES, 2006).

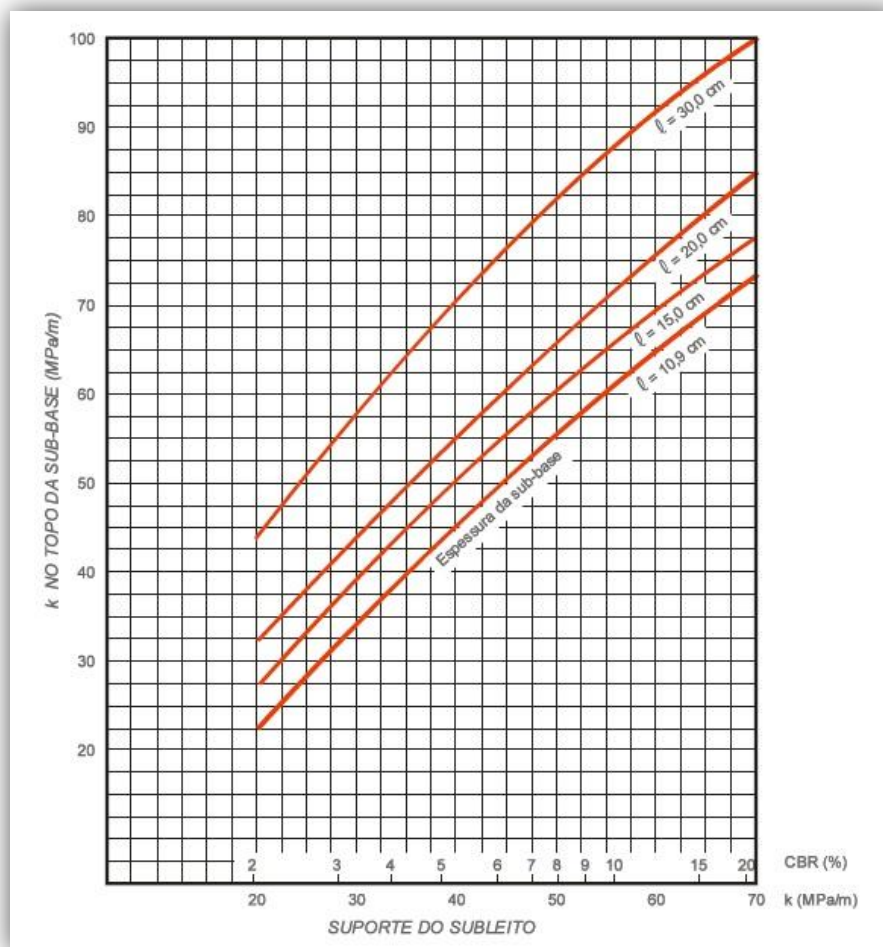


Fig. 07 – Incremento de k em função da presença de base granular (Fonte: DNIT, 2004)

Ainda, a boa qualidade da rocha empregada é de grande importância, pois do contrário há possibilidade de rebitagem desse material nas regiões de juntas, justamente nas quais existe maior deformação do piso, podendo-se levar a descolamento e conseqüente fissuração do pavimento. (RODRIGUES, 1999).

2.2.2.2 Sub-bases tratadas com cimento

As sub-bases tratadas com cimento conferem um ganho de qualidade para o pavimento, pois em comparação às granulares, garantem diminuição das tensões

transmitidas ao subleito e conseqüente diminuição de deformações no terreno. (RODRIGUES, 2006).

A avaliação de sua eficiência ou desempenho é feita a partir dos valores de módulo de elasticidade. Também chamado de módulo elástico ou módulo resiliente, essa grandeza varia de acordo com o tratamento realizado (RODRIGUES, 2006)

TIPO DE MATERIAL	MÓDULO ELÁSTICO E (MPa)
Concreto compactado com rolo	7000 a 14000
Brita graduada tratada com cimento	3500 a 7000
Bases tratadas com asfalto	2500 a 2100
Misturas estabilizadas com asfalto	280 a 2100
Solo - cal	140 a 300
Bases granulares	100 a 300
Material fino ou subleito	20 a 280

Tab. 03 – Módulo resiliente ou elástico (Fonte: RODRIGUES e PITTA, 1999 *apud*. RODRIGUES, 2006).

Da mesma forma como acontece para as sub-bases granulares, as tratadas com cimento conferem incremento ao valor do coeficiente de recalque. Esse ganho varia de acordo com o tipo de tratamento aplicado, e será apresentado para cada uma das sub-bases descritas.

A classificação dos tipos de sub-bases tratadas com cimento se dá a partir de função, quantidade de adição de cimento e comportamento estrutural. Elas podem ser divididas em solo-cimento (SC), solo melhorado com cimento (SMC), brita graduada tratada com cimento (BGTC) e concreto compactado a rolo (CCR).

2.2.2.2.1 Solo-cimento (SC) e solo melhorado com cimento (SMC)

Segundo o Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná (DER/PR), os dois tipos de sub-base (sendo o SMC nomeado de solo tratado com cimento) consistem em uma mistura íntima formada entre parcelas de solo, cimento e água. A distinção feita por esse órgão consiste na resistência à compressão simples apresentada aos sete dias de idade; para o SMC, varia de 1,2 a 2,1 MPa e para o SC, superior a 2,1MPa. (DER/PR ES-P11/05)

Para Rodrigues (2006), a diferenciação na classificação das sub-bases entre as de SMC e as de SC consiste no percentual de cimento empregado, em volume, variando respectivamente entre 3 a 6% e 6 a 12%. (RODRIGUES, 2006).

Já segundo Chodounsky (2007), a diferenciação se dá de acordo com a função do ligante; para controle de características indesejáveis do solo, como plasticidade e expansibilidade, denomina-se SMC enquanto para ganhos de resistência denomina-se SC.

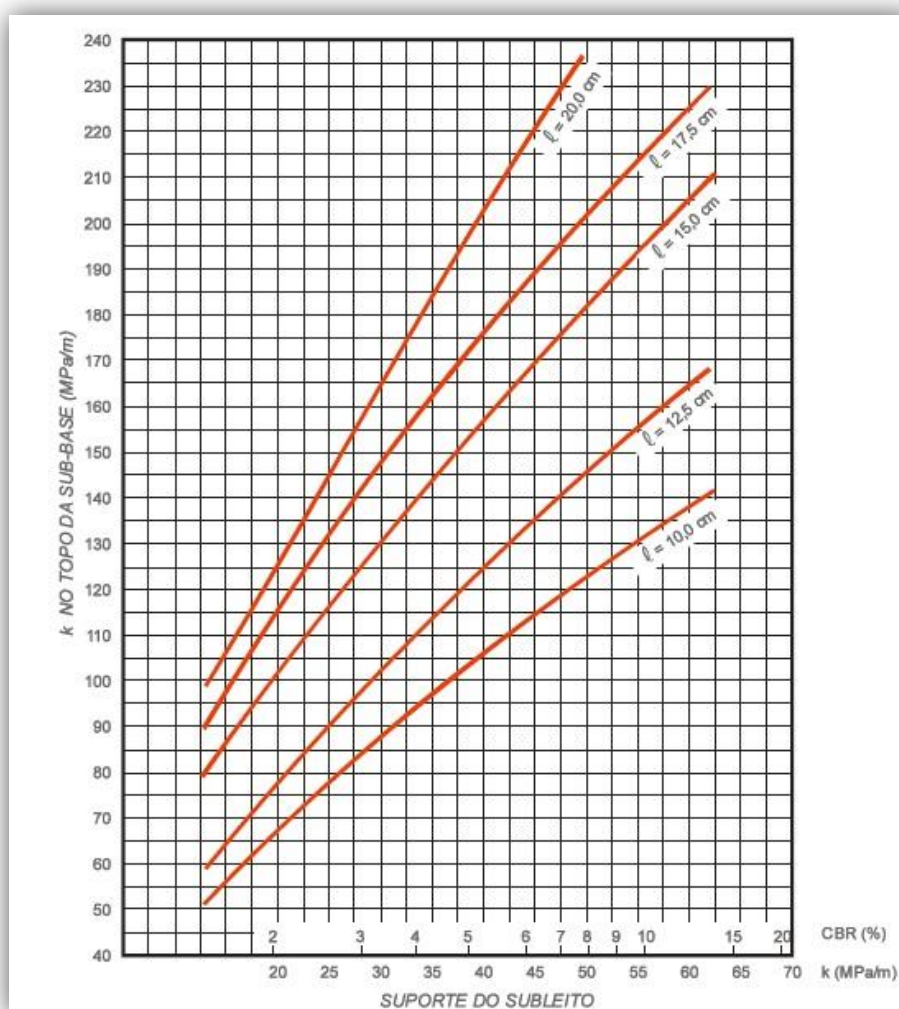


Fig. 08 – Incremento de k em função da presença de solo-cimento (Fonte: DNIT, 2004)

2.2.2.2 Brita graduada tratada com cimento (BGTC)

Buscando também definição contida nas especificações do DER/PR, pode-se caracterizar a sub-base de BGTC como camada composta por mistura produzida em usina de produtos de britagem, cimento e água. A mistura deve apresentar composição granulométrica conhecida, dentro de suas especificações, e, principalmente, apresentar resistência à compressão mínima de 3,5MPa e máxima de 8,0MPa.

Rodrigues (1999) também descreve esse tipo de mistura como dependente da sua granulometria para se atingir desempenho satisfatório. Partindo-se da granulometria da brita graduada simples (BGS), e estudando-se variações no percentual de cimento entre 3 e 6%, obtém-se misturas com resistência à compressão aos sete dias variando entre 4,0 e 8,0 MPa.

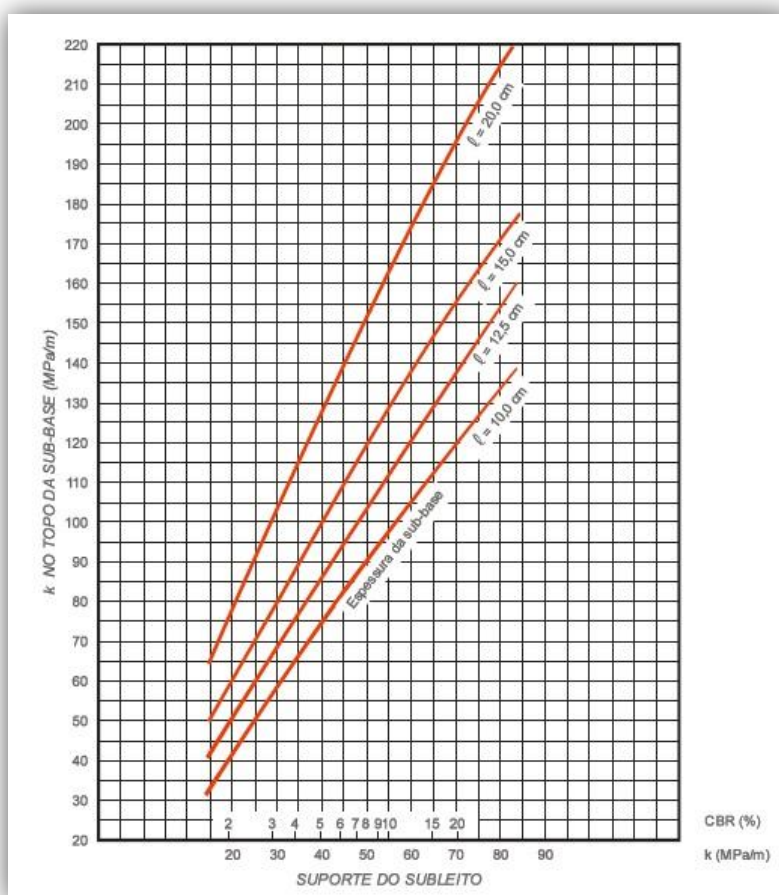


Fig. 09 – Incremento de k em função da presença de brita graduada tratada com cimento
(Fonte: DNIT, 2004)

2.2.2.2.3 Concreto compactado a rolo (CCR)

A tecnologia de concretos compactados a rolo desenvolveu-se no início da década de 20 para aplicação em pavimentação, como concreto de regularização e base para pavimentos. Hoje em dia é largamente utilizada para outras finalidades além das de camada de sub-base (estudadas nesse trabalho), sendo muito comum, por exemplo, sua utilização em barragens. (MARQUES FILHO, 2005).

Em comparação à BGTC, o CCR apresenta maior consumo de cimento. Distingue-se também pela vantagem de que não se é necessária uma observância tão rigorosa com relação à granulometria do material empregado, podendo-se trabalhar com diâmetros entre 19 e 25mm. (RODRIGUES, 2006)

O consumo de cimento para o CCR pode variar bastante em função da sua utilização. A faixa de consumo situa-se entre 40 e 380 kg/m³, sendo que valores mais baixos representam CCR utilizado em sub-bases de pavimentos e valores mais altos representam utilização para camadas de pavimentação. Para Rodrigues (1999), a faixa usual utilizada para sub-bases é de 120 a 150kg/m³. Já para camadas de pavimentação, após o seu lançamento e adensamento, utilizando-se para tanto equipamentos usuais de terraplenagem, sua apresentação final assemelha-se a do concreto convencional. (ABREU, 2002 apud. TRABOULSI, 2007; RODRIGUES, 1999).

Sua resistência à compressão aos sete dias apresenta valores entre 4,0 e 10,0 MPa, mostrando-se superior, portanto, aos valores apresentados pela BGTC.

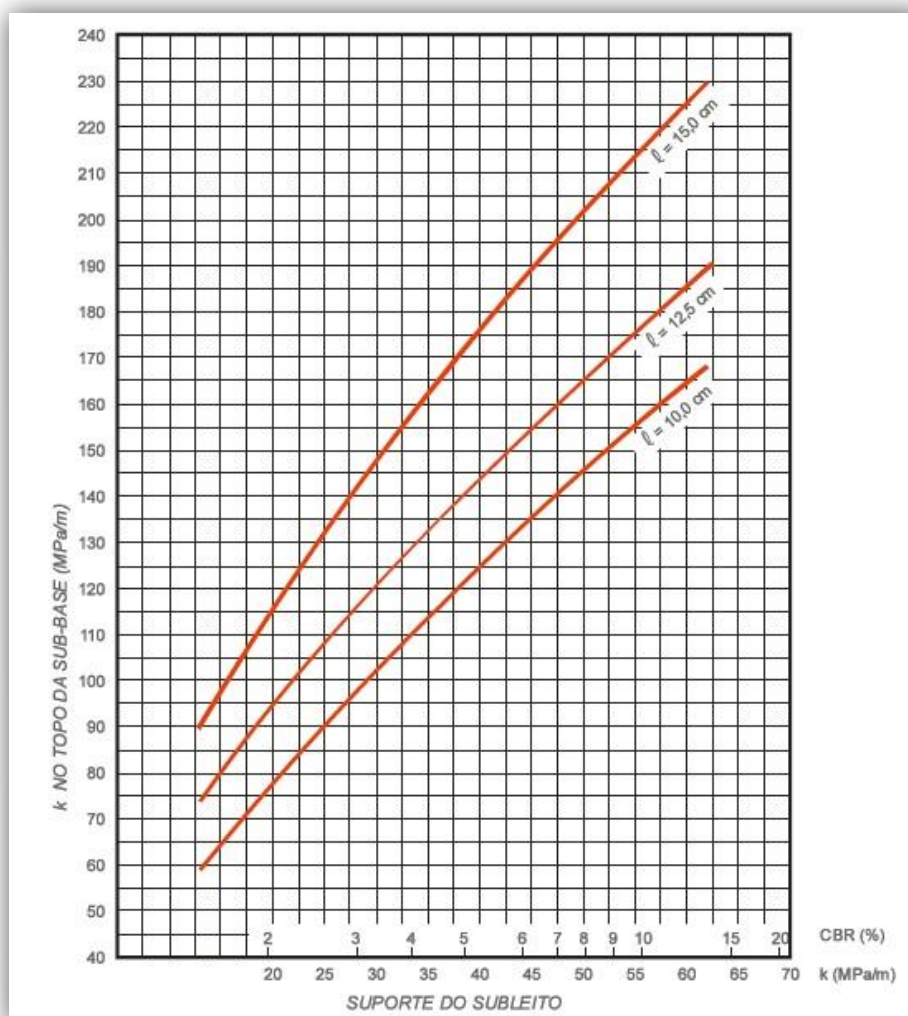


Figura 10 – Incremento de k em função da presença de concreto compactado a rolo (Fonte: DNIT, 2004)

2.3 BARREIRA DE VAPOR

Barreiras de vapor são camadas impermeáveis, normalmente formadas por lonas plásticas, que tem por principal finalidade impedir a ascensão de umidade das camadas de fundação. Podendo também serem empregadas imprimações impermeabilizantes para essa função, as barreiras são especialmente utilizadas quando se prevê aplicação de revestimentos de alto desempenho (RAD). (RODRIGUES e HOVAGHIMIAN, 2008).

A Associação Nacional de Pisos e Revestimentos de Alto Desempenho (ANAPRE), bem como o *American Concrete Institute* (ACI), preconizam que as

barreiras de vapor podem ser consideradas, além de lonas com grande espessura, camadas granulares (mas não areias) que impeçam a ascensão capilar. A ANAPRE também considera que estruturas de drenagem podem ser consideradas barreiras de vapor. (ANAPRE, 2010; ACI 302.1R-04 – item 4.1.5)

Existem, no entanto, recomendações de que a aplicação das barreiras de vapor seja avaliada caso a caso, em especial quando da utilização de acabamentos ou revestimentos específicos para o piso. O ACI menciona que seu emprego deve levar em considerações o potencial efeito no surgimento de empenamento ou fissuração no piso. A utilização de barreiras de vapor contribui também, portanto, para diminuir o atrito entre sub-base e o piso. (ACI 302.1R-04 – item 4.1.5)

Por outro lado, a utilização de barreiras de vapor gera, durante a fase de execução, uma barreira também para a perda da água de emassamento. Gera-se, então, aumento comparativo na água resultante na exsudação, podendo acarretar em dificuldades ou mesmo em problemas de acabamento superficial, como prolongamento no tempo de execução, fissuração e até de resistência do piso. (NICHOLSON, 1981 apud. SUPRENTANT, 1992).

No mercado nacional, entretanto, há forte recomendação de que seja empregada a barreira de vapor de maneira generalizada, objetivando evitar patologias causadas pela umidade, como bolhas, e para proteção do próprio concreto durante seu lançamento. (RODRIGUES e HOVAGHIMIAN, 2008).

2.4 PLACA DE CONCRETO

A placa de concreto é o elemento estrutural mais importante para os pisos de concreto. É através dela que os carregamentos serão absorvidos e transferidos para a fundação, de forma uniforme, garantindo que essa transmissão mantenha o trabalho das fundações no regime elástico, ou seja, sem provocar deformações permanentes. (CRISTELLI, 2010; RODRIGUES e HOVAGHIMIAN, 2008).

Outra situação que caracteriza as placas de concreto como de fundamental importância para os pisos industriais é o fato de que sua superfície normalmente é diretamente exposta a diversas formas de solicitação causadas pelos agentes agressores, podendo-se citar: abrasão, impactos e a ataques químicos. Para auxiliar na resistência superficial, existem produtos específicos para tratamento e revestimentos diversos que auxiliam na resistência à essas solicitações. No entanto,

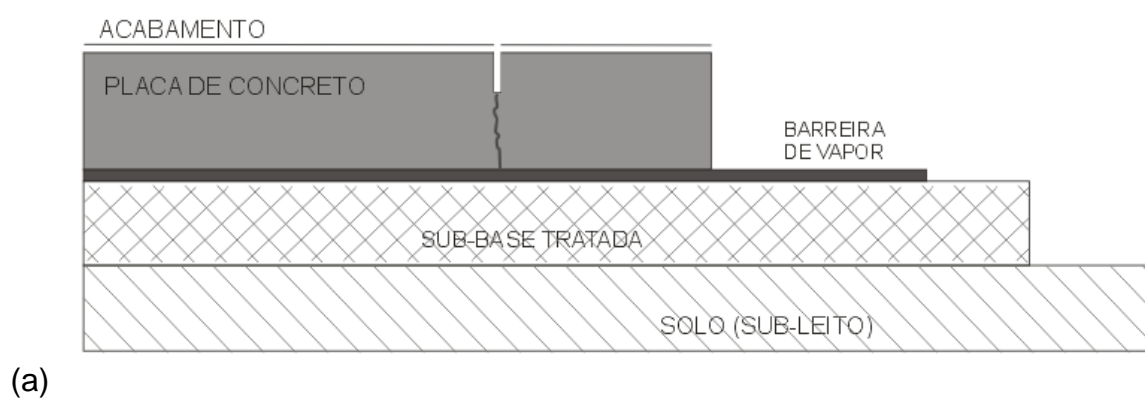
mesmo com adoção desses sistemas de tratamento e revestimento, a placa e seu concreto constituinte serão igualmente solicitados em termos de ancoragem. Esses tratamentos e revestimentos serão melhor abordados adiante. (CRISTELLI, 2010; RODRIGUES e HOVAGHIMIAN, 2008).

Os pisos de concreto podem ser construídos com diversas técnicas, sendo cada uma delas aplicada para uma situação específica, produzindo dessa forma estruturas condizentes com a forma de utilização, necessidades particulares da obra e realidades financeiras.

A classificação usual dos pisos de concreto é baseada na presença ou não de armaduras, função estrutural e tipo de armação – podendo ser passiva ou ativa – e, ainda, na presença de fibras no concreto. A seguir são apresentados os tipos de piso de concreto.

2.4.1 Pisos de Concreto Simples

Segundo Oliveira (2000), são pavimentos nos quais os esforços de tração e compressão são resistidos apenas pelo concreto. Chodounsky e Viecili (2007) acrescentam que sua caracterização se dá por não haver presença de armadura estrutural, mas que dispositivos de transferência de carga ou mesmo de ligação podem ser utilizados, ficando a cargo das considerações do projetista. A partir dessa colocação, pode-se subdividir os PCS em pisos sem barra de transferência e com barra de transferência.



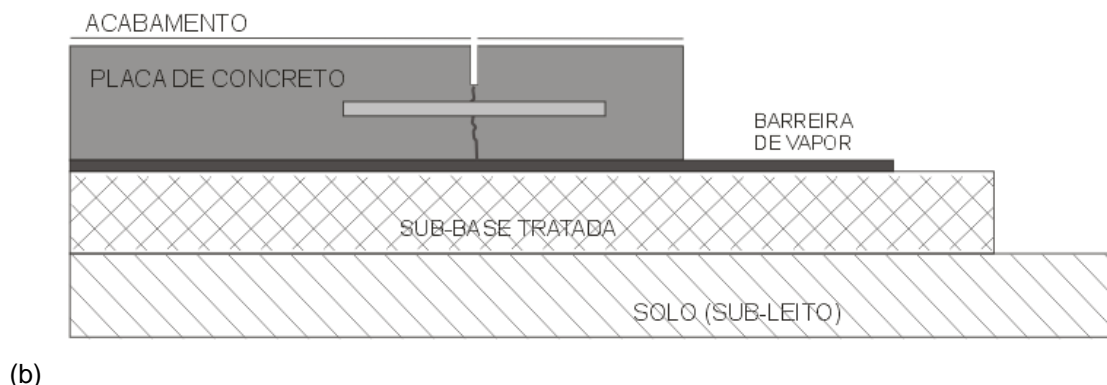


Fig. 11 – Placa de concreto simples com barra de transferência (Fonte: PETRONILHO e SÍGOLO, 2011)

Para Petronilho e Sígolo (2011), as áreas pavimentadas com esse tipo de estrutura – PCS – recebem juntas serradas ou de construção com finalidade de induzir a fissuração em pontos controlados, auxiliando assim nos efeitos de fissuração por retração, dilatação térmica e empenamento.

Esse tipo de piso é mais comumente usado para pavimentos rodoviários, e, segundo Mantovani (2012), tem pequena utilização para pisos industriais. Petronilho e Sígolo (2011) salientam que sua utilização se dá em áreas que aceitem um grande número de juntas e que, embora o processo executivo apresente maior facilidade, critérios de resistência e durabilidade são inferiores aos proporcionados por outros sistemas.

2.4.2 Pisos de Concreto com Armadura Distribuída

A Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) diferencia os pisos de concreto com armadura distribuída entre os que apresentam armadura contínua e os que apresentam armadura descontínua. Para ambos os casos, a ABCP classifica os dois tipos acima mencionados como pisos com armadura sem função estrutural.

Oliveira (2000) esclarece que a armadura para esses pisos é posicionada acima do plano médio da seção, respeitando-se cobertura mínima de 5cm, e que essa armação tem por função a inibição da propagação de fissuras causadas por variações volumétricas devido à retração por secagem e a gradientes térmicos. De

forma mais precisa, no entanto, Felix (2008), Cristelli (2010) e outros autores indicam a posição da armadura – para esses pisos sempre negativa – no terço superior da seção.

Para o caso de pisos com armadura descontínua, o posicionamento da armação, em planta, deve respeitar uma distância mínima de 30 a 50mm das juntas. Em caso de não interrupção conforme citado, pode-se gerar aparecimento de fissuras transversais ao longo da placa (CHODOUNSKY e VIECILI; 2007).

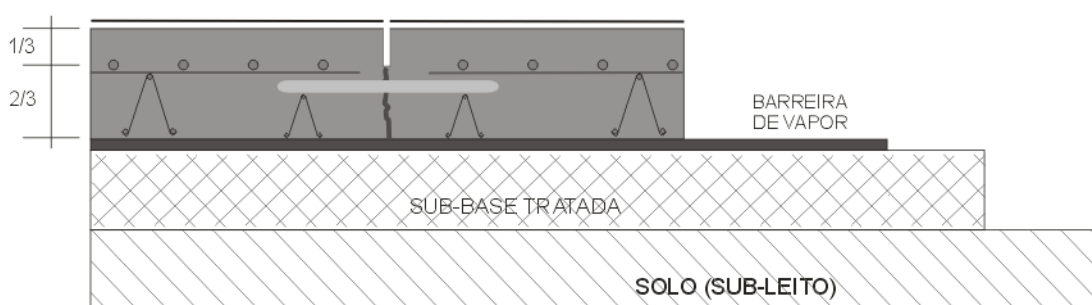


Fig. 12 – Placa de concreto cm armadura distribuída descontínua (Fonte: PETRONILHO e SÍGOLO, 2011)

Já para os pisos com armadura contínua, toda a sua extensão recebe armação, fazendo com que o emprego de barras de transferência não seja necessário. Desta forma, faz-se igualmente desnecessário o corte de juntas de retração, criando-se a possibilidade de execução de pavimentos com comprimentos teoricamente ilimitados. O único limitante de seu comprimento é, na verdade, o processo executivo (juntas de construção, nas quais sim são instaladas barras de transferência). (BALBO, 2005).

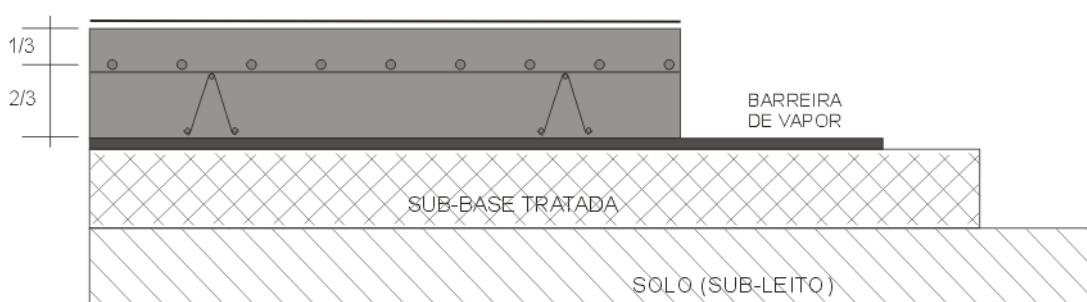


Fig. 13 – Placa de concreto cm armadura distribuída continuamente (Fonte: PETRONILHO e SÍGOLO, 2011)

Uma importante colocação a ser fazer é a de que, apesar da presença de armadura negativa nesses pisos, não se pode classifica-los como estruturalmente armados, pois a armadura acima da linha média da seção absorve pouco esforço gerado pelo carregamento (RODRIGUES e PITTA, 1997).

2.4.3 Pisos de Concreto Armados

Também chamados de pisos de concreto estruturalmente armados, são compostos por duas linhas de armadura, uma inferior e outra superior, que conferem, respectivamente, resistência aos esforços de tração e controle na fissuração causada por retração hidráulica. Com o emprego de armadura com função estrutural, propicia-se maior eficiência da estrutura, resultando em redução da espessura do concreto quando em comparação com os PCS. (BALBO, 2005; PETRONILHO e SÍGOLO, 2007; OLIVEIRA, 2010).

Ainda, o posicionamento das juntas para esses pisos é mais espaçado do que para os PCS, conferindo melhor desempenho quando considerados critérios de durabilidade e manutenção. No entanto, a utilização de dispositivos de transferência de carga – barras de transferência – deve ser projetada e executada de forma a se obter uma transferência eficaz. (OLIVEIRA, 2000).

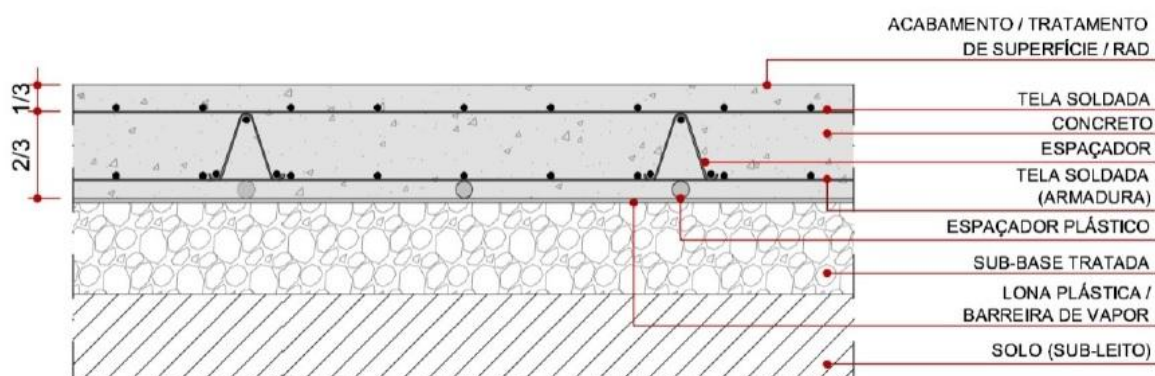


Fig. 14 – Piso de concreto armado (Fonte: CRISTELLI, 2010)

2.4.4 Pisos de Concreto Protendido

A protensão pode ser descrita como um artifício baseado na introdução de um estado de tensões prévio numa estrutura, com objetivo de melhoria na resistência ou comportamento do concreto considerando o efeito de diversas condições de carga. (PFEIL, 1984).

A introdução dessa técnica para execução de pisos de concreto proporciona algumas características bastante desejáveis, como diminuição do espaçamento entre juntas, minoração no risco de fissuração e reduções de espessura. (OLIVEIRA, 2000; PETRONÍLHO e SÍGOLO, 2007).

Segundo Faria (2009), frente às atuais demandas de áreas para estocagem vertical, grandes valores de carregamentos atuando de forma distribuída e também de forma pontual (como racks ou porta-pallets) e intensa movimentação de empilhadeiras, os pisos protendidos se mostram uma solução tecnicamente superior e mais adequada para atendimento dessas necessidades.

A execução de um piso protendido exige, no entanto, maior rigor quanto à preparação da base, posicionamento dos cabos de protensão e maiores cuidados durante o lançamento do concreto, para manter os cabos e suas ancoragens em posições corretas.

Segundo Petronilho e Sígolo (2007), a planicidade da sub-base torna-se ainda mais importante para que não se criem restrições à livre movimentação da placa. Além disso, a barreira de vapor tem uma função essencial atuando também como camada de deslizamento, sendo habitualmente especificado utilização de dupla camada de manta de polietileno de 200 micras de espessura.

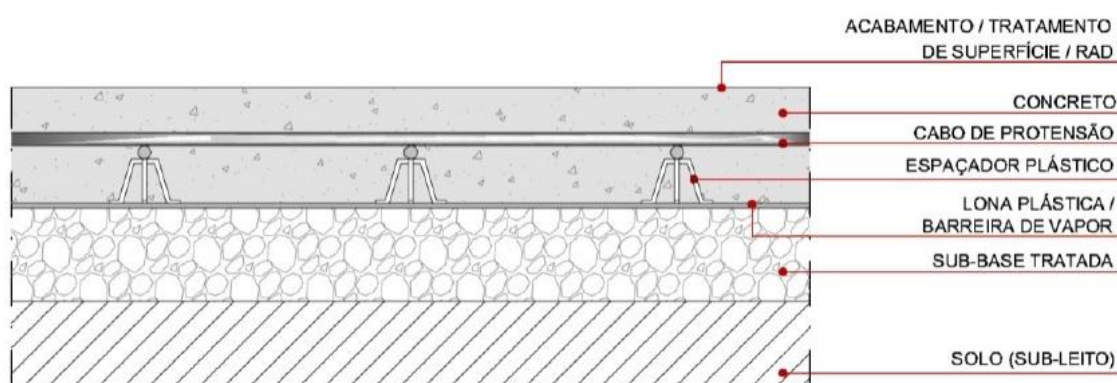


Fig. 15 – Piso de concreto protendido (Fonte: CRISTELLI, 2010)

2.4.5 Pisos de Concreto Reforçado com Fibras

O concreto reforçado com fibras é, segundo Chodounsky (2007), uma mistura (compósito) constituída de duas fases: o concreto e as fibras. As propriedades desse concreto são resultado, portanto, do comportamento estrutural do conjunto desses componentes.

A utilização de compostos de concreto com fibras para pisos de concreto (nos quais os esforços de tração na flexão são preponderantes), se dá pelo elevado desempenho de redistribuição das tensões e controle de fissuração. Essas características alteram o comportamento do concreto, modificando-o em um material semi-deformável. Ainda, em termos de dimensionamento, pode-se levar em consideração o fato de o concreto reforçado com fibras manter sua capacidade de suportar esforços mesmo após o início do processo de fissuração. (BINA, 2009).

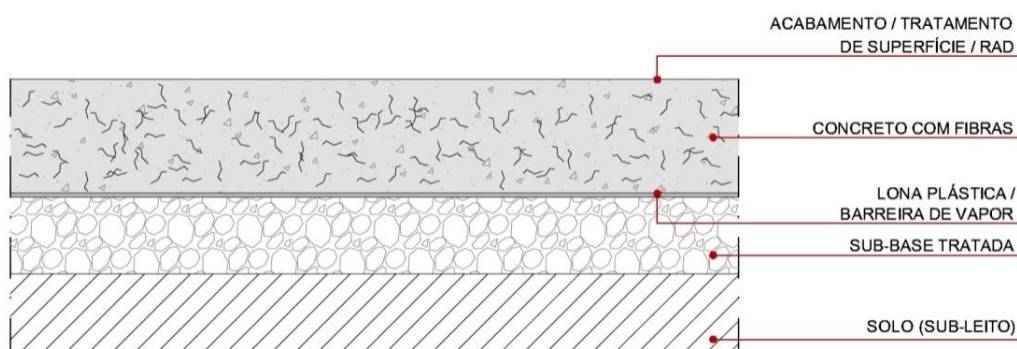


Fig. 16 – Piso de concreto com fibras (Fonte: CRISTELLI, 2010)

2.4.6 Outras Tecnologias de Pavimentos Rígidos

Existem outras técnicas que viabilizam a utilização de pavimentos de concreto como reabilitação de pavimentos asfálticos antigos. O *Whitetopping*, por exemplo, pode ser empregado para melhoria de condição de pavimentos asfálticos deteriorados, provendo aumento de qualidade e diminuindo ciclos de manutenção. Essa tecnologia apresenta espessura usual de 12 a 15 centímetros e pode ser executada com qualquer uma das técnicas para pisos de concreto descritas até

agora nesse trabalho, mas usualmente são executadas com piso de concreto simples. Outro exemplo é a versão aprimorada mas ainda experimental do *Whitetopping*, o *Whitetopping* ultradelgado. Diferentemente da anterior, essa tecnologia permite construção de placas de 5 a 10 centímetros de espessura, necessitando, no entanto, a fim de se evitar fissuras de retração, juntas pouco espaçadas, normalmente entre 60 e 180 centímetros. (OLIVEIRA, 2000)

2.5 CONCRETOS

A escolha de um concreto adequado para ser utilizado é de vital importância para o resultado final de um piso em execução. Rodrigues (2006) elucida que o sucesso de um piso está associado ao trinômio projeto, execução e materiais. Desta forma, deve-se ter atenção para a especificação e controle corretos do concreto aplicado. De forma geral, Rodrigues (2006) informa que, no mínimo, deve haver controle e análise das seguintes características: resistência à compressão e à tração na flexão, resistência ao desgaste, exsudação e retração hidráulica.

Rodrigues (2007) acrescenta que é comum haver especificação também de consumo mínimo de cimento, teor de argamassa e, como já citado, controle com maior severidade quanto à exsudação e ao ar incorporado quando da comparação com concretos estruturais.

Dentre as necessidades requeridas para os pisos de concreto, em função de sua utilização, o concreto utilizado precisa atender à determinados critérios, tanto no seu estado fresco quanto no seu estado endurecido.

2.5.1 Propriedades no Estado Fresco

Para o período em que se produz, lança, adensa e faz-se o acabamento do piso industrial, as características do concreto a serem observadas são:

- **Trabalhabilidade:** Medida através do *slump test* (ou abatimento do tronco de cone), é considerada para proporcionar compatibilidade com o método construtivo. Balbo (2009) exemplifica que para trabalhos com régua vibratórias ou *laser screeds*, o valor de abatimento pode variar entre 60 a 160mm;

- **Segregação e exsudação:** Requerem atenção para se obter qualidade no acabamento superficial. Entende-se por segregação a separação da fração mais grossa dos agregados da mais fina, em movimento descendente. Esse fenômeno em geral ocorre simultaneamente à exsudação, que caracteriza-se por uma movimentação ascendente das partículas finas com a água de amassamento como meio de transporte, gerando excesso de pasta na superfície (BALBO, 2009);
- **Retração plástica:** Segundo Balbo (2009), esse fenômeno está “intimamente ligada à evaporação de água na superfície e concreto antes do final da pega” e “à segregação e exsudação do concreto”. Quando da incidência solar direta e uma alta temperatura ambiente, pode haver formação de uma crosta superficial endurecida e com temperatura mais elevada que o fundo da placa, gerando assim um gradiente de temperatura interno ao concreto. Esse gradiente fará com que mais água tenda a subir para a superfície, água esta que também será perdida para o ambiente externo, gerando contrações na pasta de cimento e forçando sua ruptura. Rodrigues (2006) acrescenta que a utilização de cimentos com adições geram tempo de pega mais longo, podendo também contribuir para o aparecimento de fissuras plásticas. Além disso, informa que conforme o concreto vai ganhando resistência, a retração plástica tende a desaparecer.

2.5.2 Propriedades no Estado Endurecido

Após a conformação do concreto de um piso industrial, deve-se ainda ter atenção e tomar providências no sentido de minimizar os efeitos decorrentes das próprias características do concreto e também do meio externo ao qual o piso está inserido. Para tanto, deve-se ter em mente que as seguintes características merecem cuidados.

- **Retração hidráulica ou por secagem:** Fenômeno que ocorre pela diminuição do volume do concreto causada pela evaporação de parte da água de amassamento, uma vez que nem todo o volume dessa água é empregada para hidratação do cimento. (RODRIGUES, 2006);

- **Retração autógena:** Associada a fenômenos complexos (como por exemplo forças capilares, mudança de água capilar para adsorvida e pressões de separação), acontece sem haver troca de água com o meio ambiente. Está ligada ao valor do fator a/c , que por sua vez tem ligação com a formação dos poros do concreto e, conseqüentemente, a variações da tensão interna, provocando, dessa forma, retração. Sua ocorrência se dá de maneira mais notória quando utilizados concretos de auto desempenho (CAD), em função da utilização de cimentos mais finos e materiais mais ávidos por água, como por exemplo a sílica ativa. (RODRIGUES, 2006, RODRIGUES, 2009);
- **Resistência estática:** Referem-se basicamente à resistência à compressão e à tração na flexão. Seu controle é importante para adequação ao projeto estrutural, sendo que valores abaixo do especificado podem causar rupturas precoces dos pisos. Existe normatização para relacionar a relação entre essas resistências, bem como a forma de ensaiá-las. (BALBO, 2009);
- **Resistência à fadiga:** Balbo (2009) menciona que a “ruptura por fadiga é atribuída a um processo de microfissuração progressiva na estrutura de um material”. Segundo Oliveira (2000), uma peça de determinado material solicitado a um processo de modificações progressivas e permanentes pode romper por fadiga, mesmo que o nível de tensões não ultrapasse a resistência do material. Ainda segundo Balbo (2009), existem vários modelos experimentais de fadiga para concretos e que, respeitadas suas proporções de tempo de aplicação de cargas em ensaios e na prática, os resultados apresentam um número de repetições para o qual o material resistiria;
- **Expansão térmica:** Segundo Balbo (2009), apesar de necessitar de grande quantidade de calor para apresentar variações de temperatura absoluta e de sua difusão ser lenta no concreto, o efeito da variação de temperatura ambiental nos pisos é considerada como carregamento extra. Para considerar esse efeito, deve-se checar, tanto para dilatação quanto para compressão, se seu valor ultrapassa o valor da força de atrito entre o piso e a base (OLIVEIRA, 2000) e, ainda, verificar a solidariedade das deformações do aço (BALBO, 2009). Outro fenômeno associado às variações de temperatura é o empenamento, caracterizado pela curvatura de formas côncava e convexa do piso em função da variação da temperatura entre as fibras superiores e

inferiores durante o dia – considerando o aquecimento pelo sol e o resfriamento durante a noite. (BALBO, 2009)

- **Abrasividade:** O desgaste superficial em pisos de concreto ocorre em decorrência da passagem de veículos que causam atrito a seco na superfície. Fenômeno que ocorre de forma progressiva, o desgaste por abrasão se forma pela perda gradativa de argamassa superficial e sua prevenção começa desde a fase de lançamento do concreto, pois possíveis segregações e exsudações podem agravar sua ocorrência. Além disso, a qualidade funcional do piso é bastante prejudicada (BALBO, 2009)
- **Porosidade / permeabilidade:** A principal necessidade de controle dessa característica se dá pela durabilidade do concreto, pois concretos com alta permeabilidade permitem a entrada de água em sua estrutura, abrindo espaço para consequências como empenamento higrométrico, reação álcali-agregado e corrosão de armaduras. O controle deve ser feito ainda quando se está no estado fresco, pois características do traço (adições de grande finura como ligantes hidráulicos e alta relação a/c) e da execução (adensamento e cura) são decisivos para formação de um concreto poroso (BALBO, 2009).

De forma abrangente, Rodrigues (2006) recomenda observação dos seguintes itens para escolha de concretos para piso (RODRIGUES, 2006):

- Consumo de cimento;
- Dimensão máxima de agregados;
- Abatimento (*slump*);
- Resistência (à tração na flexão);
- Consumo de água.

2.6 TRATAMENTOS SUPERFICIAIS

Os tratamentos superficiais em pisos de concreto tem como objetivo melhorar o desempenho do piso frente a solicitações de abrasão. Pode-se promover a aspersão de agregados minerais ou metálicos durante a fase de acabamento do

piso ou então aplicação de líquidos endurecedores de superfície, sendo que em ambos os casos há ganho significativo de dureza superficial. A utilização desses produtos pode ser vista como uma alternativa à utilização de concreto de resistência muito elevada para se melhorar a resistência à abrasão, pois o efeito de retração gerado por esses concretos poderia gerar um efeito contrário ao esperado. (RODRIGUES, 2010).

2.6.1 Agregados Minerais ou Metálicos

A aspensão de agregados minerais ou metálicos (chamados também de *dry-shakes*), conhecida também como salgamento, acontece sobre a superfície do concreto já adensado, mas ainda no estado fresco. (CRISTELLI, 2010).

Rodrigues et al (2006) salienta que a dosagem desse tipo de agregado deve obedecer a determinados limites, pois quantidades maiores do que as previstas em projeto podem gerar efeito contrário de perda de resistência e inclusive deslocamentos.

Seu lançamento se dá normalmente através de equipamentos mecanizados que garantam a distribuição em quantidade uniforme desses agregados.



Fig. 17 – Lançamento de agregados minerais (Fonte: ACI)

2.6.2 Endurecedores de Superfície

Os líquidos endurecedores de superfície tem sua formulação química desenvolvida para penetrar nos poros capilares do concreto e reagirem quimicamente com o hidróxido de cálcio - $\text{Ca}(\text{OH})_2$ - presente na pasta de cimento hidratada. Apesar de se tratar de um composto benéfico quando à proteção das armaduras contra a corrosão, o hidróxido de cálcio é instável química e mecanicamente, por isso colabora com o mecanismo de desagregação por abrasão. Tal mecanismo é explicado na figura a seguir:

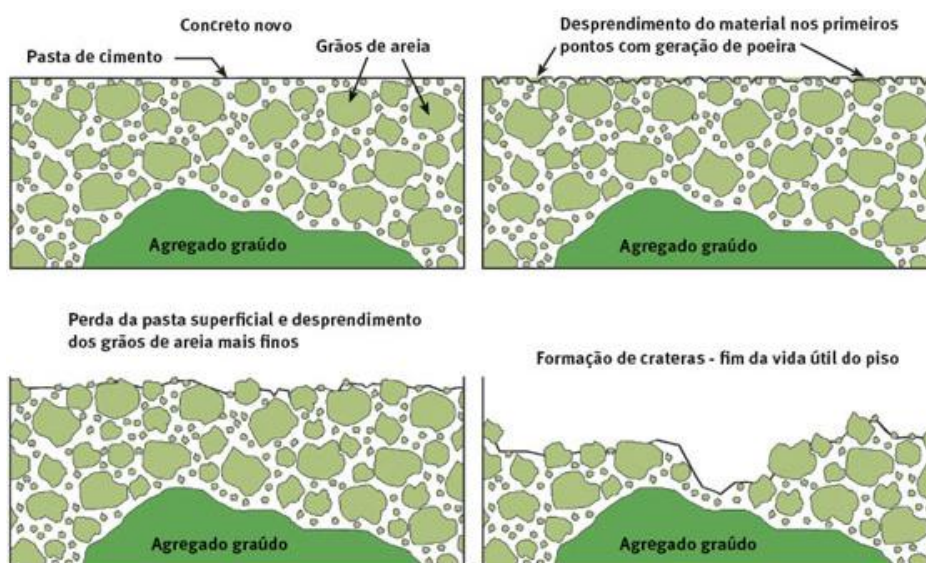


Fig.18 – Processo de perda de material por abrasão em superfície de concreto não tratada (Fonte: OLIVEIRA e TULA, 2006)

Consoante Cristelli (2010), comercialmente encontram-se endurecedores de superfície à base de silicato de sódio ou flúor-silicatos. O resultado da aplicação desses compostos na superfície dos pisos de concreto é exemplificado conforme figura abaixo:

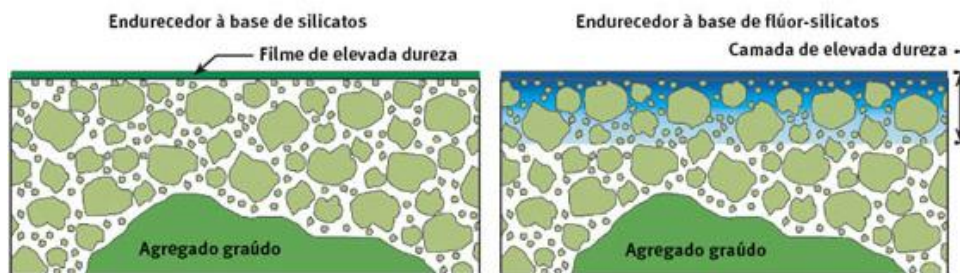


Fig.19 – Piso com superfície tratada com endurecedores à base de silicatos e à base de flúor-silicatos (Fonte: OLIVEIRA e TULA, 2006)

2.6.3 Revestimentos de Alto Desempenho - RAD

Os revestimentos de alto desempenho são, na estrutura de layers apresentada anteriormente nesse trabalho, a última camada executada em um piso de concreto (podendo em muitos casos, no entanto, não ser executada).

Segundo Cristelli (2010), suas principais funções são de reforço e proteção, aumentando a vida útil e reduzindo custos decorrentes de manutenção do piso. Além disso, sua utilização está associada à necessidade de acréscimo de características especiais ao piso, tais como: proteção contra agentes químicos e mecânicos, agressões físicas e bacteriológicas, requisitos higiênicos e estéticos e controle de rugosidade de superfícies lisas ou antiderrapantes.

Para Rodrigues e Hovaghimian (2008), os RADs podem ser divididos em três grupos: os autonivelantes, os multicamadas e os argamassados ou espatulados. Cristelli (2010), acrescenta, no entanto, que a classificação quanto ao sistema de aplicação pode incluir ainda o revestimento executado com pintura.

SISTEMA	CONSTITUIÇÃO
Pintura	Pintura de baixa ou de alta espessura.
Autonivelantes	Argamassa polimérica com pequena quantidade de carga mineral; Fluidez característica.
Multicamadas	Matriz polimérica com posterior incorporação de carga mineral; Aplicação realizada em camadas subsequentes.
Argamassados / Espatulados	Argamassa polimérica com grande

quantidade de carga mineral.

Tab. 04 – Sistemas de execução de revestimentos de alto desempenho (Fonte: Adaptada de CRISTELLI, 2010)

Outra classificação usual é quanto à sua base de composição de aglutinantes. Cristelli (2010) menciona que elas podem ser cimentícias ou poliméricas.

Já com relação à sua espessura, pode-se dizer que sua influência se dá pela forma de distribuição dos esforços recebidos pelo revestimento para o substrato, ou seja, à placa de concreto. Comparando-se um mesmo sistema de revestimento, quanto maior sua espessura, maior será o nível de proteção e resistência oferecida. (CRISTELLI, 2010).

Segundo Oliveira (2003), a utilização de espessuras elevadas promove uma distribuição das tensões geradas na superfície do revestimento a uma área maior do substrato. Com isso, obtém-se um bom desempenho com relação à aderência durante a vida útil do sistema.

Considerando-se a execução do revestimento, deve-se atentar para a preparação do substrato, pois essa é essencial para que se atinja os requisitos previstos na especificação e aplicação de um determinado revestimento. Para tanto, é necessário observar na placa de concreto, previamente, suas condições de planicidade, rugosidade, contaminação, umidade, resistência e integridade de forma geral. Esses cuidados são necessários para garantir durabilidade no revestimento aplicado. A tabela a seguir sumariza os critérios avaliados durante uma inspeção prévia para escolha do sistema de revestimento, sua importância e alguns cuidados para correta execução de cada um deles (CRISTELLI, 2010).

CRITÉRIO	RELEVÂNCIA	CUIDADOS PARA EXECUÇÃO
Condições de umidade	A ascensão de água e sua pressão gerada nos poros capilares do concreto causam problemas no revestimento, como aparecimento de bolhas.	Verificação em projeto da necessidade de barreira de vapor ou drenagem e correta instalação dos mesmos durante execução; Cura adequada da camada de concreto para evitar água retida nas placas; Especificação, para casos de

		elevada umidade (acima de 4 a 5%) ou de concretos novos, de <i>primers</i> para úmido, criando uma camada de bloqueio de umidade.
Grau de contaminação	Podem impedir a ancoragem do revestimento no substrato.	Sujidades em geral, óleos, graxas, açúcares e produtos químicos devem ser removidos. Após sua remoção, recomenda-se lavagem da superfície com água e sabão neutro antes da aplicação do revestimento.
Regularização da superfície de ancoragem	Condições de integridade da placa são essenciais para ancoragem, portanto em casos de condições insatisfatórias, a regularização possibilita a execução do revestimento.	Verificação criteriosa das condições do substrato (busca por trincas, fissuras, diferenças de nivelamento); Determinação de produtos adequados para correções e regularizações; Criação de superfície com rugosidade adequada para aderência do revestimento a ser aplicado.

Tab. 05 – Critérios para escolha de um revestimento (Fonte: Adaptada de CRISTELLI, 2010)

2.6.3.1 Métodos de preparação do substrato

Posto que a preparação do substrato é de grande importância para execução de um RAD, deve-se ter atenção para especificação da metodologia aplicada para essa etapa, bem como dos equipamentos adequados para se atingir os resultados esperados. Em resumo, pode-se ter os seguintes métodos:

Químicos	Ácidos
Mecânicos	Lixamento / Polimento
	Fresamento
	Hidrojateamento
	Hidrojateamento abrasivo
	Jateamento de areia
	Jateamento com gralha

Tab. 06 - Métodos de preparação de substrato (Fonte: Adaptada de MOURA, 2003 *apud*. CRISTELLI, 2010)

2.7 JUNTAS

Segundo Oliveira (2000), a função das juntas é a de promover a fissuração em locais controlados, com geometria conhecida e adequada para as placas, com objetivo de garantir a funcionalidade estrutural e padrão estético de um pavimento. Nos locais aonde se prevê construção de junta, a seção é enfraquecida através de molde ou serragem, a fim de se induzir a fissuração.

Rodrigues (2006) também coloca como principal função das juntas a de “permitir as movimentações de contração e expansão do concreto, sem que ocorram danos ao piso sob ponto de vista estrutural e de durabilidade”. Ainda, acrescenta que é igualmente importante o trabalho de transferência de carga entre placas contíguas.

As figuras a seguir mostram a condição de trabalho de juntas sem dispositivos de transferência de carga.



Fig. 20 - Junta sem dispositivo de transferência de carga (Fonte: Portal LM Brasil)

Segundo Rodrigues e Cassaro (1998), as juntas do tipo macho-fêmea passaram a ter seu emprego reduzido por conta de apresentarem baixa capacidade de transferência de carga, bem como dificuldades executivas e, principalmente, pelo aparecimento de fissuras próximas às bordas. Balbo (2009) atualiza essa informação dizendo que a utilização desse tipo de junta foi abandonada, inclusive por se ter pontos de excessiva tensão, como nos casos de falhas ou protuberâncias no concreto dessa região.

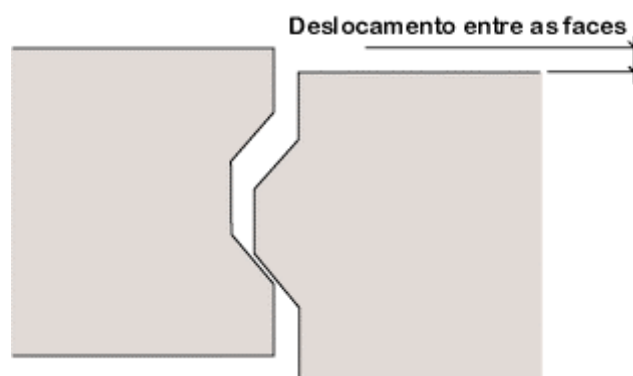


Fig. 21 - Junta tipo macho-fêmea (Fonte: Portal LM Brasil)

Outra forma de se promover a transferência de carga entre placas contíguas é com a utilização de barras de transferência (BT). Balbo (2009) acrescenta que, além da ação de transferência de carga, as BT atuam também de forma solidária ao combate dos efeitos de empenamento das placas, por criarem ancoragem entre as mesmas.

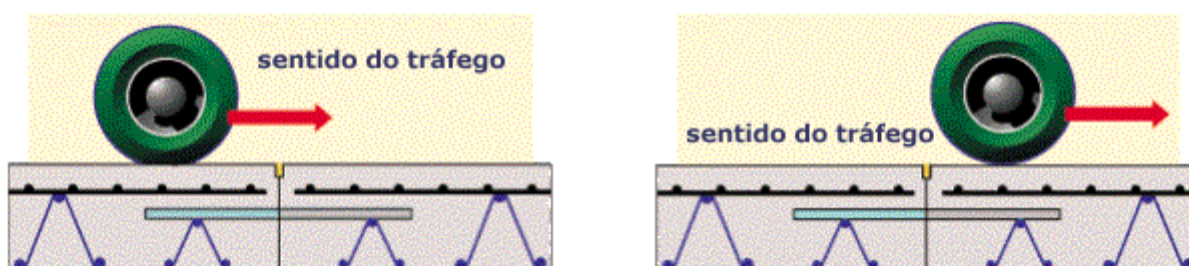


Fig. 22 - Junta com BT (Fonte: Portal LM Brasil)

As juntas são classificadas de acordo com o método executivo e função. A seguir segue classificação e descrição das mesmas segundo Rodrigues (2006):

- **Juntas de construção (JC):** São delimitadas pela capacidade de produção dos equipamentos disponíveis. Devem ser executadas com BT;
- **Juntas serradas (JS):** São empregadas para acomodação das tensões advindas da retração do concreto. O emprego de BT é bastante importante;
- **Juntas de encontro (JE):** São empregadas quando do encontro do piso com partes da estrutura ou bases de máquinas. Podem utilizar BT – quando há tráfego sobre as mesmas) ou não. No encontro com pilares, é usual a utilização dos formatos diamante e circular, ou convencional com armação de reforço.

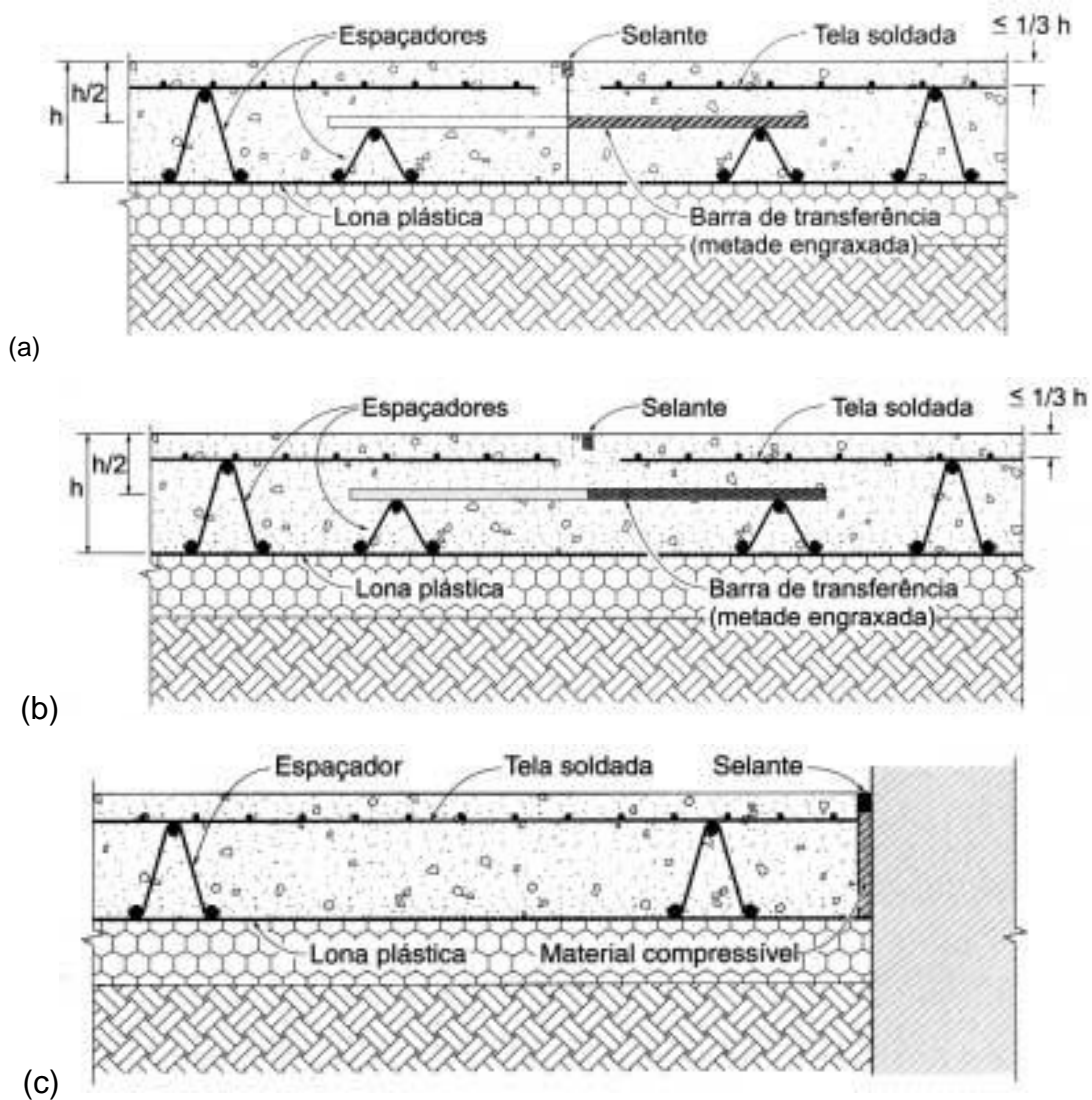


Fig. 23 – Junta (a) de construção, (b) serrada e (c) de encontro (Fonte: RODRIGUES, 2006)

O corte de JS se dá através de equipamentos com serra de disco diamantado, sendo importante observar o tempo para realização da serragem. Cortes prematuros ou atrasados podem gerar problemas nas juntas, como quebras e fissuras em local inadequado, respectivamente. A experiência brasileira, e também no exterior, e mostra que o corte deve ser feito até uma profundidade mínima na razão de 1/4 a 1/3 da espessura da placa e que cortes com profundidades menores resultaram em fissura de retração fora do local de junta proposto. Além disso, a abertura máxima das juntas deve ser de aproximadamente 6mm. (BALBO, 2009).



Fig. 24 - Corte de junta serrada e fissuração induzida (Fonte: ABCP apud CRISTELLI, 2010)

Há especial importância na consideração das juntas num projeto de piso industrial de concreto. As interferências podem ser grandes, e a correta interpretação da posição e quantidade de equipamentos, por exemplo, aliada à experiência do projetista quanto a forma de trabalho das juntas, são essenciais para mitigação de patologias.

Segundo Rodrigues (2006), o projeto geométrico é caracterizado pelo adequado posicionamento e dimensionamento das juntas e deve, no mínimo, respeitar as seguintes recomendações:

- Isolamento do trabalho do piso em relação à estrutura, permitindo que aquele trabalhe de forma independente, sem ser solicitado por pilares, paredes, bases de máquinas, etc.;
- Executar juntas de forma contínua, sem se utilizar confrontamento em T (exceto interrupção em juntas de encontro), a menos que sejam empregados dispositivos para prevenção da propagação de fissura (armação de reforço);
- Executar encontro de juntas sempre com ângulo maior de 90°;

O projeto deve prever o espaçamento entre as juntas, considerando principalmente o tipo de piso executado – piso de concreto simples, com armadura distribuída ou estruturalmente armado – e a espessura da placa, mas também do coeficiente de atrito da placa com a sub-base e condições de cura. (RODRIGUES, 2006).

Outro ponto importante do projeto é a definição do tipo, bitola e posicionamento das BT nas juntas de construção, serradas e de encontro (quando for o caso). Segundo Balbo (2009), o aço empregado nas BT é o CA-25, liso, para permitir movimentações entre as barras e o concreto. Além disso, metade da seção da BT deve receber pintura ou ser engraxada, a fim de se garantir movimentação sem transmissão de esforços (horizontais), de forma não solidária.

A bitola das BT, segundo Rodrigues (2006), é calculada principalmente considerando-se análise de tensões de esmagamento do concreto, mas que, de forma simplificada, considera-se em razão da espessura da placa de concreto. Há ligeira variação na forma de apresentação dos dados por diversos autores brasileiros e pelo ACI. No entanto a maioria daqueles remete às seções comercialmente disponíveis no Brasil e à nossa experiência com relação ao espaçamento. A compilação a seguir resume o que deve ser considerado em projeto, a partir da espessura das placas.

Espessura da placa (mm)	Tipo de barra de transferência					
	Seção quadrada (mm)			Seção circular (mm)		
	Lado	Comprimento ²	Espaçamento ³	Diâmetro	Comprimento ²	Espaçamento ³
$h \leq 125^4$	16	500	300	16	500	300
$125 < h \leq 175$	20	500	300	20	500	300
$175 < h \leq 225$	25	500	300	25	500	300
$225 < h \leq 275$	32	500	300	32	500	300

Tab. 07 – Seção, comprimento e espaçamento das BT em função da espessura do piso (Fonte: Adaptado de ACI 302.1R-04; RODRIGUES,2006; PETRONILHO e SÍGOLO,2011)

Ainda de acordo com Balbo (2009), o posicionamento das BT na seção do concreto deve ser sempre na meia altura da placa ou então um pouco abaixo disso. Em casos em que a BT fique acima da meia seção, poderá ocorrer esmagamento do concreto em função do momento atuante na barra.

² O comprimento indicado padrão de 500mm refere-se ao padrão comercial encontrado no Brasil. O ACI, no entanto, indica que barras de diâmetro de 20mm podem ter comprimento de 350mm, as de 25mm de 400mm e as de 32mm de 450mm.

³ Da mesma forma ocorre para o espaçamento entre as barras, sendo comumente especificado como 300mm pelos projetistas brasileiros, há abertura por parte do ACI para se considerar espaçamento de 350mm para barras de seção quadrada com lado menor ou igual a 25mm;

⁴ Segundo Rodrigues (2006), pisos com essas espessuras, e conseqüente utilização de barras de 16mm, só devem ser executados para casos de baixos carregamentos, sem trânsito de veículos.

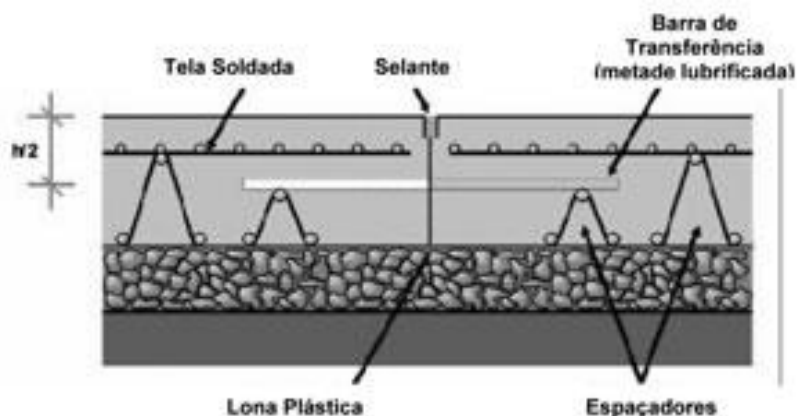


Fig. 25 - Posicionamento barra de transferência. (Fonte: Reis, 2009)

A execução da selagem da junta acontece após a limpeza da mesma com meios mecânicos ou, preferencialmente, com ar comprimido. Essa ação tem por objetivo retirar qualquer material sólido, como pedras, areia e outros detritos de elevada dureza, que impeçam a livre movimentação prevista para as juntas. Após a selagem, o selador atuará de forma a prevenir a entrada desses materiais sólidos novamente.

Os tipos de selantes disponíveis no mercado são vários, e deve-se avaliar cada caso para escolha do melhor produto para a realidade analisada. Rodrigues (2003) menciona dois grupos para os sistemas de tratamento de juntas: pré-moldados e moldados *in loco*. Os pré-moldados são compostos por materiais compressíveis que são aplicados diretamente dentro das juntas. Os moldados *in loco*, normalmente compostos à base de poliuretano, epóxi, silicone ou asfalto modificado, são aplicados de maneira a obterem uma forma propícia à resistência à movimentação do piso. Para tanto, é necessário utilizar material limitante de profundidade, como cordão de sisal ou espuma de polietileno de baixa densidade (conhecida como tarucel). (RODRIGUES, 2003; BALBO, 2009; CRISTELLI, 2010)

O limitador de profundidade deve ser instalado em profundidade adequada de forma a garantir o fator de forma do selante. O fator de forma representa uma proporção entre a altura e a largura da junta e tem por objetivo garantir a aderência do selante apenas nas bordas laterais das placas. (CRISTELLI, 2010).

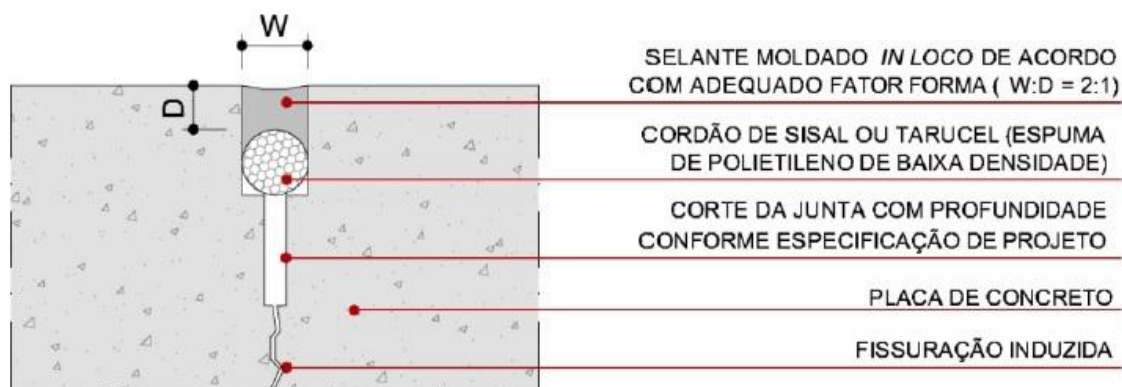


Fig. 26 – Preenchimento do selante em junta serrada (Fonte: CRISTELLI, 2010)

Há casos, no entanto, em que as solicitações nas juntas são elevadas, como quando da movimentação intensa de veículos transportadores que utilizam rodas rígidas e de pequeno diâmetro, nos quais indica-se a utilização de lábios poliméricos. Essa técnica pode ainda ser empregada para reparação de juntas serradas ou de construção que tenham sido danificadas durante sua utilização. (CRISTELLI, 2010).

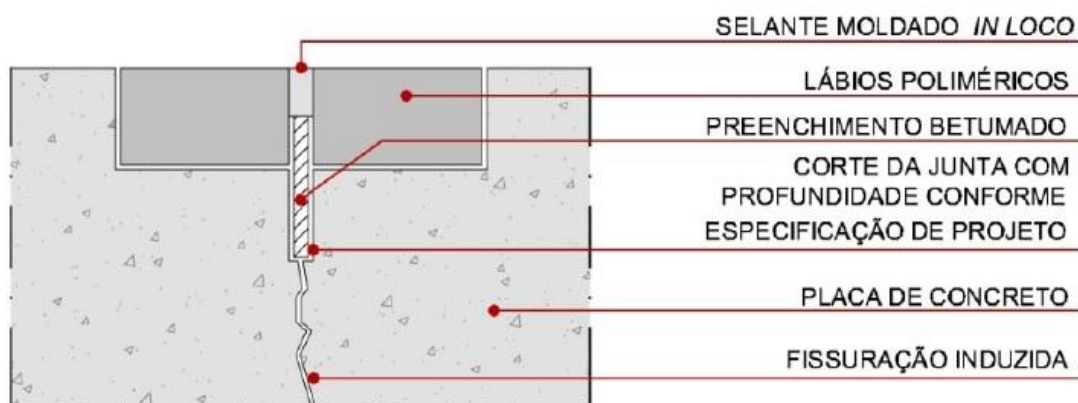


Fig.27 – Junta com preenchimento do tipo lábio polimérico (Fonte: CRISTELLI, 2010)

O tempo adequado para tratamento da junta é um assunto controverso. Apesar de o ACI apresentar formulação para se prever o prazo ideal de tratamento definitivos das juntas, a prática mostra que esses valores podem variar de forma expressiva. Além disso, a ANAPRE reconhece que o prazo de tratamento ideal é incompatível com as realidades de obra e operação das construções e sugere as seguintes recomendações para nossa realidade (ACI 209R-92; ANAPRE, 2010):

- Tratamento provisório com material mais flexível;
- Tratamento definitivo após 01 ano com material de elevada dureza;
- Execução de reforço de borda com argamassa epóxi / uretânica nas áreas críticas.

2.8 CRITÉRIOS DE PLANICIDADE E NIVELAMENTO

A planicidade e nivelamento de um piso afetam a estética e, principalmente, sua funcionalidade. A performance das operações logísticas está diretamente ligada a bons resultados desses dois parâmetros de controle de qualidade da superfície de um piso. (CHODOUNSKY, 2007).

Rodrigues (2006) e Chodounsky (2007) mencionam que até 1987 a medição de planicidade de um piso era executada com uma régua metálica de 3 metros de comprimento, realizando-se medições da máxima luz (ou abertura) entre o piso e a régua. Os resultados de até 3mm eram associados a superfícies muito planas, de até 5mm de superfícies planas, de até 8mm e 12mm de superfícies convencionais sarrafeadas e desempenadas, respectivamente. As deficiências desse método podem ser citadas (ACI, 1990 apud. RODRIGUES, 2006):

- Dificuldade de ensaiar grandes áreas;
- Dificuldade de amostragem aleatória do piso;
- Não reprodutibilidade dos resultados;
- Fracasso do método de determinação da planicidade de superfícies rugosas;
- Não possibilidade de determinação do nivelamento da superfície.

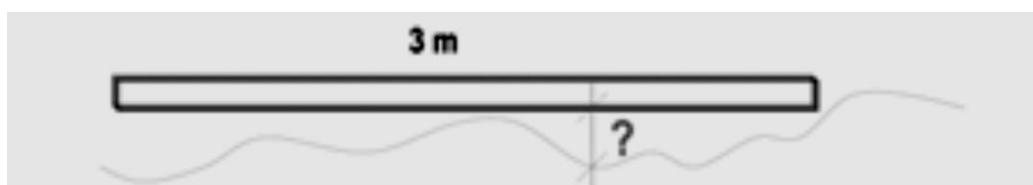


Fig. 28 – Medição De planicidade com régua metálica (Fonte: RODRIGUES, 2006)

A partir dessa data (1987) foi desenvolvido pela American Society for Testing and Materials (ASTM) o sistema conhecido como *F-Numbers*, que permite medição de planicidade e nivelamento, padronizando o ensaio que é realizado até hoje.

A ASTM (1987) nomeia os dois índices da seguinte forma:

- F_F : Índice de planicidade (*flatness*), o qual define a máxima curvatura no piso em 600mm, calculado com base em duas medidas sucessivas de elevações diferenciais, tomadas a cada 300mm

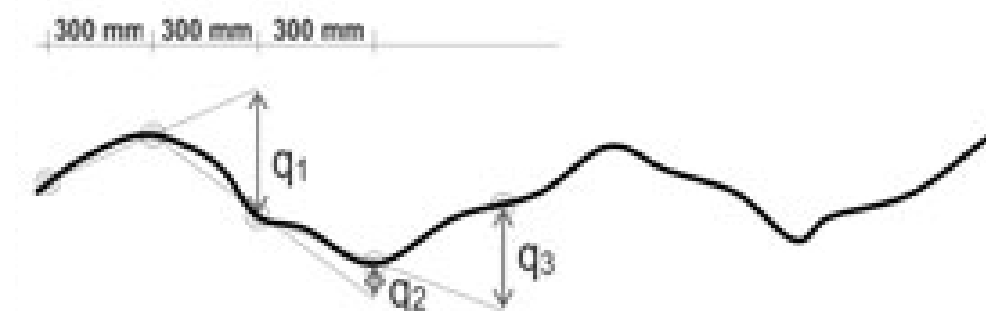


Fig. 29 – Medição do índice de planicidade (Fonte: RODRIGUES, 2006)

- F_L : Índice de nivelamento (*levelness*), o qual define a conformidade relativa da superfície com um plano horizontal, medido a cada 3m.

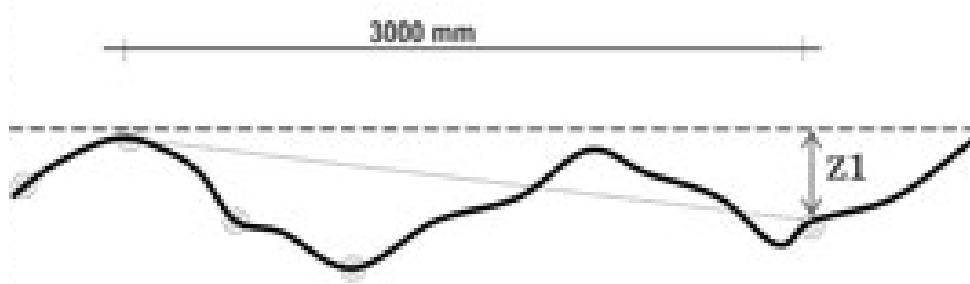


Fig. 30 – Medição do índice de nivelamento (Fonte: RODRIGUES, 2006)

O ACI apresenta uma referência inicial para valores de F_F e F_L para pisos de tráfego aleatório, considerando as utilizações usuais de áreas com piso de concreto. Essa tabela classifica, ainda, os pisos com F_F e F_L maiores que 50 (considerando ambos os valores) como pisos *superflat*. Além disso, é importante se ter claramente a diferenciação entre valores globais e valores mínimos. Os mínimos locais são os menores valores admitidos para cada linha de medida, enquanto os globais são a

média de leituras numa área de piso delimitada. (ASTM, 1987 apud RODRIGUES, 2006, ACI 302.1R-04 – item 8.15)

Uso Típico	Valores Globais		Valores mínimos	
	FF	FL	FF	FL
Uso não industrial, Pátio de estacionamento, Casa de máquinas	20	15	15	10
Edifícios industriais, comerciais	25	20	17	10
Depósito (trânsito de Empilhadeiras)	35	25	20	15
Depósitos especiais, Pistas de patinação	45	35	30	20
Estúdio de televisão	> 50	>50	-	-

Tab. 08 – Índices de planicidade e nivelamento em função da utilização de áreas (Fonte: RODRIGUES, 2006; ACI)

Como o objetivo principal das medições é de se avaliar o processo de execução, recomenda-se que as leituras sejam feitas entre 24 e 72h após o término das operações de acabamento. Dessa forma, evita-se leituras afetadas pelo empenamento da placa, fenômeno que pode ocorrer em decorrência de características do concreto com retração excessiva ou de um procedimento de cura inadequado. Além disso, no caso de se encontrarem irregularidades de planicidade e nivelamento, há tempo hábil para se proceder alterações nos procedimentos de acabamento. (CHODOUNSKY, 2007).

O equipamento utilizado para as medições dos *F-Numbers* é conhecido como *Dipstick floor profiler*. Segundo a ASTM E 1155, esse equipamento é classificado como inclinômetro tipo II. Cristelli (2010) descreve a operação simplificada desse aparelho: Primeiramente define-se uma linha de referência na qual o primeiro ponto é também a referência de nível. O aparelho é então girado pivotando sobre seus apoios seguindo a direção da linha. As leituras são então mostradas no display eletrônico e armazenadas de forma a gerar relatório gráfico com as medidas lidas.



Fig. 31 - Aparelho *Dipstick* (Fonte: Chodousnky, 2007)

3 EXECUÇÃO DE PISOS DE CONCRETO

Além de todo embasamento teórico e experiência do projetista envolvidos no processo de concepção do projeto e especificações técnicas aplicadas a cada caso, a execução de um piso industrial de concreto é igualmente importante para sucesso do produto.

Usualmente existem empresas diferentes envolvidas nas atividades de execução, sendo cada uma delas responsável por um determinada etapa, como por exemplo uma empresa para fundações (subleito, sub-base) e drenagem, quando pertinente, e outra para execução do piso (armações, concretagem, acabamentos e juntas). Ainda, é possível ter uma terceira envolvida com revestimentos de alto

desempenho diferente da executora da camada de concreto e uma quarta para controle tecnológico.⁵

Isto posto, é necessário que se tenha um agente integrador, envolvido e interessado em se obter o resultado desejado para entrega e utilização de um piso de forma satisfatória.

A seguir serão apresentadas as principais etapas executivas de um piso industrial de concreto, com enfoque para prevenção de patologias que podem surgir a partir de falhas executivas.

3.1 FUNDAÇÕES

“É muito comum observarmos problemas de recalques ou rupturas de pavimentos industriais e eles serem creditados a problemas de projeto ou da execução do piso propriamente dito quando na realidade são fruto de problemas de preparo do terreno de fundação”. (RODRIGUES, 2006)

O projeto de um piso industrial deve informar previamente o tratamento necessário para se executar as camadas de subleito e sub-base (e eventualmente ainda outras camadas adicionais, como reforço de subleito), baseados em ensaios como SPT, CBR (a partir do qual correlaciona-se o fator k) e expansibilidade, como anteriormente mencionado. A definição das camadas, espessuras e grau de compactação necessário para cada uma delas devem estar claramente definidas nas especificações do projeto.

Serão apresentados a seguir os processos de execução de subleito e sub-base.

3.1.1 Subleito

A compactação da camada de subleito deve atender ao grau de compactação (GC) mínimo especificado em projeto. Rodrigues (2007) elucida que é importante se seguir o especificado em projeto, pois a escala do GC não é linear e que enganos de interpretação podem ser gerados quando os valores estão relativamente próximos

⁵ Dados referentes à experiência de contratações do autor;

ao solicitado. Como exemplo são usados os valores de 85% ou 93%, que podem parecer percentualmente próximo a uma especificação de 98%, mas na verdade representam, respectivamente, solo praticamente solto e solo ainda mal compactado.

Cristelli (2010) salienta que é muito importante atentar para áreas de movimentação de solo, como por exemplo próximo a fundações, drenagens e instalações, locais nos quais se deve fazer recomposição de modo a se ter a mesma compactação das demais áreas.



Fig. 32 - Recomposição bloco de fundação (Fonte: Própria)

Outro fator importante é o nivelamento da camada, observando-se particularidades como caimentos e inclinações, para que se obtenha espessura adequada em todas as camadas subsequentes do dimensionamento das fundações e mesmo da placa de concreto. Senefonte (2007) coloca que para aceitação de camadas de subleito se admite variações máximas de 10% em espessura e de 15mm no nivelamento.

As máquinas usualmente envolvidas nessa etapa são: rolo compactador tipo pé-de-carneiro, motoniveladora para regularização e nivelamento e trator com grade para áreas que necessitem tratamento de umidade. Em regiões de difícil acesso, ou

mesmo áreas pequenas, pode-se fazer uso de compactadores manuais tipo sapo ou placas vibratórias.



Fig. 33 - Compactação de subleito (Fonte: Própria)

3.1.2 Sub-Base

Como visto anteriormente, as sub-bases podem ser executadas com materiais granulares ou serem compostas por materiais tratados (usualmente com cimento). A forma de execução entre os dois tipos difere sensivelmente, uma vez que o tempo de trabalho para materiais granulares é ilimitado e restrito para sub-bases que utilizem ligantes hidráulicos, pois uma vez incorporados na mistura para compactação da base já é iniciado o processo de hidratação do ligante.

Embora o projeto oriente de forma específica o grau de compactação a ser obtido na camada de sub-base e a energia de compactação aplicada, Rodrigues

(2007) recomenda que as bases granulares sejam empregados valores próximos a 100% de compactação com referência ao Proctor Modificado (PM). Do contrário, pode-se conduzir, de forma invariável, a assentamento e deformação do piso apoiado sobre essa sub-base.

As sub-bases tratadas podem ter suas misturas preparadas na pista ou serem produzidas em usinas. Comumente, sub-bases de solo cimento e solo tratado com cimento podem ser preparadas na pista, enquanto sub-bases de BGTC e CCR tem suas misturas produzidas em usina (próximas ou não ao local de aplicação) e são transportadas até a área de aplicação.

O controle dessas camadas deve observar a espessura final compactada, que difere da espessura de lançamento, uma vez que a compactação final ocorre apenas após o espalhamento do material de forma nivelada na pista. (RODRUGUES et al, 2003).

Segundo Senefonte (2003), deve-se controlar, durante execução e após compactação da camada, sua espessura, nivelamento, grau de compactação, teor de umidade e CBR. Ainda, Senefonte (2007) salienta que as camadas devem ser aceitas apenas se apresentarem variação máxima de 10% de espessura e 7mm de nivelamento.

Outro ponto importante a observar é a necessidade ou não de caimentos, para que a camada de sub-base dê condições de nivelamento para que a próxima camada, a capa de concreto, tenha espessura mínima de projeto.

Para execução de sub-bases, normalmente são utilizados caminhão basculante para transporte de material, motoniveladora para espalhamento e nivelamento, rolo compactador liso vibratório e trator com grade (quando realizada mistura de sub-bases tratadas na pista). Aqui também pode-se citar a utilização de equipamentos de menor porte, como placas vibratórias para compactação e acabamentos de áreas de difícil acesso.



Fig. 34 - Execução de sub-base com material granular (BGS) (Fonte: Própria)



Fig. 35 - Execução de sub-base em BGTC (Fonte: Própria)



Fig. 36 - Execução de sub-base em solo cimento (Fonte: Própria)



Fig. 37 - Execução de camada de CCR (Fonte: Cimento Itambé)⁶

⁶ Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/as-melhores-praticas-em-placas-de-concreto>> (Acesso em 13 jan. 2014)

3.2 BARREIRA DE VAPOR

Como visto anteriormente, há certa controvérsia sobre a utilização ou não de barreiras de vapor, uma vez que sua associação a possíveis patologias que se originem do seu emprego é bastante notória. De um lado há autores pregando sua utilização como padrão, e de outro há autores que avaliam que ela não seja necessária e inclusive indesejada.



Fig. 38 - Colocação de barreira de vapor – filme de polietileno (Fonte: Própria)

Rodrigues (2006) menciona que há cerca de uma década atrás não se questionava sua utilização, mas que se pode associá-la ao processo de empenamento de placas de concreto. Em decorrência disso há uma tendência mais recente de se reduzir seu emprego.

Superada a fase de decisão sobre a utilização desse elemento ou não, quando o projeto, por suas razões, recomenda que seja posicionada a usual lona de polietileno, deve-se em campo cuidar para que ela seja corretamente instalada.

Deve-se, portanto, observar espessura recomendada – normalmente entre 150 e 200 μm – e atentar para seu correto posicionamento, com cobertura total da área e transpasse suficiente.

A ANAPRE recomenda expressamente que, para pisos nos quais é sabida a posterior aplicação de RAD, que se deve utilizar lona plástica de no mínimo 200 μm e transpasse de 30cm. Além disso, a lona deverá se apresentar íntegra, sem apresentar rasgos ou furos, sendo que do contrário ela acabará perdendo sua função.

3.3 POSICIONAMENTO DE FORMAS

Apesar de os pisos normalmente trabalharem com espessuras menores do que outros tipos de elementos estruturais (vigas e pilares por exemplo), não se pode menosprezar o procedimento de travamento de formas. Sejam feitas de madeira ou, como mais usualmente se percebe, com perfis metálicos, elas devem apresentar travamento tal que possibilitem manter nivelamento e alinhamento dos pisos.

Formas instaladas de forma improvisada ou com materiais inadequados podem facilmente não suportar a pressão do concreto durante o seu lançamento e adensamento e acabar formando juntas sinuosas. A partir disso, dificulta-se bastante o processo de corte. Essa deficiência pode acarretar em duplicidade de juntas, uma vez que o acompanhamento do equipamento de corte ao traçado curvo torna-se complicado, culminando em pontos de destaque de concreto. (RODRIGUES, 2006).

Rodrigues (2006) recomenda que sejam cumpridos os seguintes requisitos:

- Linearidade superior a 3mm em 5m;
- Rigidez suficiente para suportar as pressões do concreto;
- Estruturação para suportar equipamentos de adensamento (do tipo réguas vibratórias, quando empregadas);
- Leveza e praticidade para permitir seu manuseio sem emprego de equipamentos pesados;
- Altura ligeiramente inferior à do piso.

Rodrigues (2006) e Cristelli (2010) mencionam que há sucesso na utilização de perfis dobrados tipo U para confecção de formas. Além disso, ambos salientam que as formas, acompanhando uma previsão de espaçamento das barras de transferência nas juntas, convenientemente devem apresentar furações laterais para passagem das BT. Há casos, ainda, em que espaço para dispositivos de ancoragem para protensão são necessários.



Fig 39. – Utilização de formas metálicas (travamento utilizando concreto). (Fonte: Própria)

3.4 POSICIONAMENTO DA ARMAÇÃO

Após a colocação da barreira de vapor sobre a sub-base, e normalmente após instalação das formas, inicia-se o processo de posicionamento da armação de reforço do piso, seja ela através de telas soldadas ou cabos de protensão. Serão

descritos a seguir as etapas pertinentes a armação para pisos estruturalmente armados – com telas duplas – e protendidos.

3.4.1 Armação de Pisos Estruturalmente Armados

Os pisos com telas duplas requerem especial atenção para montagem, de forma que se consiga manter de forma satisfatória as telas nas alturas corretas especificadas pelo projeto.

A armadura inferior, em decorrência da sua função estrutural, deve ter seu cobrimento respeitado, ou caso contrário a resistência projetada pode ser comprometida. Para garantir tal espaçamento, utilizam-se os chamados espaçadores ou distanciadores, que tem como função garantir a uniformidade do cobrimento inferior. Usados habitualmente em número de 4 a 5 peças/m², podem ser feitos de forma de pastilhas argamassadas ou de plásticos. Estes últimos tem se mostrado uma melhor alternativa em função da forma de produção – através de processos industrializados - e consequente garantia de qualidade. (GASPARETTO, 2004).

A armadura superior segue o mesmo conceito: ter sua posição de projeto respeitada para se manter sua função estrutural e/ou de controle de fissuração. Para tanto, deve-se utilizar espaçadores com maior altura, considerando seu apoio sobre a tela inferior. Esses espaçadores podem ser treliças soldadas, espaçadores lineares ou mesmo caranguejos dobrados em obra. As alturas comerciais disponíveis para treliças soldadas e espaçadores lineares faz com que essas soluções sejam as mais adotadas. O espaçamento entre essas peças normalmente é de 80 a 100cm, pois vãos maiores podem permitir um rebaixo localizado da armação superior. (GASPARETTO, 2004; RODRIGUES, 2006).



Fig. 40 – Posicionamento de treliças de $h=8\text{cm}$ (Fonte: Própria)

Durante a montagem das armações e concretagem é necessário se ter grande atenção para a movimentação de pessoas e equipamentos sobre as telas, o que pode acarretar em danos no elementos de espaçamento e consequente deslocamento da posição original das tela.



Fig. 41 – Exumação de piso com armadura superior rebaixada, praticamente colada com armadura inferior (Fonte: Própria)

Para montagem das telas soldadas, deve-se observar atentamente algumas práticas que devem ser evitadas, como (REIS, 2009):

- Posicionar armadura e posteriormente tentar puxá-las;
- Lançar o concreto até a cota da armadura, lançar armadura e completar o lançamento do concreto;
- Concretar toda a espessura do piso e posteriormente tentar empurrar a armadura para a cota adequada.

O sistema comercial de produção e identificação das telas soldadas padronizou a nomenclatura das telas de acordo com seu formato (distância entre as barras de aço, que pode variar de 10, 15, 20 ou 30cm) e seção de aço por unidade de comprimento (usualmente por metro). A razão entre a seção de aço no sentido longitudinal da tela e a seção do sentido transversal é o que nomeia o tipo de tela: Em resumo, tem-se a seguinte convenção (RODRIGUES, 2006):

- Tela tipo Q: $A_{sl} = A_{st}$
- Tela tipo L: $A_{sl} > A_{st}$
- Tela tipo M: $A_{st} = \frac{1}{2} A_{sl}$
- Tela tipo R: $A_{st} = \frac{2}{3} A_{sl}$
- Tela tipo T: $A_{st} > A_{sl}$

Com relação à seção de armadura por metro, existe uma simplificação para apresentação comercial, de forma a tornar o número de identificação de mais fácil leitura, sempre com referência à armadura principal da tela (podendo ser a longitudinal ou a transversal, de acordo com relação apresentada acima). Por exemplo, uma tela identificada como L 283 tem seção de aço no sentido longitudinal de 2,83cm²/m, e uma tela T503 tem seção de aço no sentido transversal de 5,03cm²/m (RODRIGUES, 2006).

A seguir são apresentadas as seções de aço comercialmente produzidas (ARCELORMITTAL, 2006)

Aço CA-60		Espaçamento Entre fios (cm)		Diâmetro (mm)		Seções (cm ² / m)		Apresentação	Dimensões (m)		Peso	
Série	Designação	Long.	Transv	long.	Transv	long.	Trans v.		larg.	Compr.	Kg/m ²	Kg/PC
61	Q61	15	15	3,4	3,4	0,61	0,61	Rolo	2,45	120	0,97	285,2
75	Q75	15	15	3,8	3,8	0,75	0,75	Rolo	2,45	120	1,21	355,7
92	Q92	15	15	4,2	4,2	0,92	0,92	Rolo	2,45	60	1,48	217,6
	T92	30	15	4,2	4,2	0,46	0,92	Rolo	2,45	120	1,12	329,3
113	Q113	10	10	3,8	3,8	1,13	1,13	Rolo	2,45	60	1,8	264,6
	L113	10	30	3,8	3,8	1,13	0,38	Rolo	2,45	60	1,21	177,9
	T113	30	10	3,8	3,8	0,38	1,13	Rolo	2,45	60	1,22	179,3
138	Q138	10	10	4,2	4,2	1,38	1,38	Painel	2,45	6	2,2	32,4
	Q138	10	10	4,2	4,2	1,38	1,38	Rolo	2,45	60	2,2	323,4
	R138	10	15	4,2	4,2	1,38	0,92	Painel	2,45	6	1,83	26,9
	M138	10	20	4,2	4,2	1,38	0,69	Painel	2,45	6	1,65	24,3
	L138	10	30	4,2	4,2	1,38	0,46	Rolo	2,45	60	1,47	216,1
	T138	30	10	4,2	4,2	0,46	1,38	Rolo	2,45	60	1,49	219
159	Q159	10	10	4,5	4,5	1,59	1,59	Painel	2,45	6	2,52	37
	R159	10	15	4,5	4,5	1,59	1,06	Painel	2,45	6	2,11	31
	M159	10	20	4,5	4,5	1,59	0,79	Painel	2,45	6	1,9	27,9
	L159	10	30	4,5	4,5	1,59	0,53	Painel	2,45	6	1,69	24,8
196	Q196	10	10	5	5	1,96	1,96	Painel	2,45	6	3,11	45,7
	R196	10	15	5	5	1,96	1,3	Painel	2,45	6	2,6	38,2
	M196	10	20	5	5	1,96	0,98	Painel	2,45	6	2,34	34,4
	L196	10	30	5	5	1,96	0,65	Painel	2,45	6	2,09	30,7
	T196	30	10	5	5	0,65	1,96	Painel	2,45	6	2,11	31
246	Q246	10	10	5,6	5,6	2,46	2,46	Painel	2,45	6	3,91	57,5
	R246	10	15	5,6	5,6	2,46	1,64	Painel	2,45	6	3,26	47,9
	M246	10	20	5,6	5,6	2,46	1,23	Painel	2,45	6	2,94	43,2
	L246	10	30	5,6	5,6	2,46	0,82	Painel	2,45	6	2,62	38,5
	T246	30	10	5,6	5,6	0,82	2,46	Painel	2,45	6	2,64	38,8
283	Q283	10	10	6	6	2,83	2,83	Painel	2,45	6	4,48	65,9
	R283	10	15	6	6	2,83	1,88	Painel	2,45	6	3,74	55
	M283	10	20	6	6	2,83	1,41	Painel	2,45	6	3,37	49,5
	L283	10	30	6	6	2,83	0,94	Painel	2,45	6	3	44,1
	T283	30	10	6	6	0,94	2,83	Painel	2,45	6	3,03	44,5
335	Q335	15	15	8	8	3,35	3,35	Painel	2,45	6	5,37	78,9
	L335	15	30	8	6	3,35	0,94	Painel	2,45	6	3,48	51,2
	T335	30	15	6	8	0,94	3,35	Painel	2,45	6	3,45	50,7

396	Q396	10	10	7,1	7,1	3,96	3,96	Painel	2,45	6	6,28	92,3
	R396	10	15	7,1	7,1	3,96	2,64	Painel	2,45	6	5,24	77
	M396	10	20	7,1	7,1	3,96	1,98	Painel	2,45	6	4,73	69,5
	L396	10	30	7,1	6	3,96	0,94	Painel	2,45	6	3,91	57,5
	T396	30	10	6	7,1	0,94	3,96	Painel	2,45	6	3,92	57,6
503	Q503	10	10	8	8	5,03	5,03	Painel	2,45	6	7,97	117,2
	R503	10	15	8	8	5,03	3,35	Painel	2,45	6	6,66	97,6
	M503	10	20	8	8	5,03	2,51	Painel	2,45	6	6	88,2
	L503	10	30	8	6	5,03	0,94	Painel	2,45	6	4,77	70,1
	T503	30	10	6	8	0,94	5,03	Painel	2,45	6	4,76	70
636	Q636	10	10	9	9	6,36	6,36	Painel	2,45	6	10,09	148,3
	L636	10	30	9	6	6,36	0,94	Painel	2,45	6	5,84	85,8
785	Q785	10	10	10	10	7,85	7,85	Painel	2,45	6	12,46	183,2
	L785	10	30	10	6	7,85	0,94	Painel	2,45	6	7,03	103,3

Tabela 09 – Medidas comerciais de telas soldadas (Fonte: Arcelormittal)

As emendas (ou transpasses) das telas soldadas são definidas a partir da bitola dos seus fios constituintes e ancoragem dos mesmos no concreto. Existe formulação específica para calcular o tamanho das emendas, mas de forma geral o Instituto Brasileiro de Telas Soldadas (IBTS), através de ensaios específicos e ruptura de modelos, recomenda (IBTS, 2011):

- Para $Q \leq 283$: Emenda com 2 nós (1 malha);
- Para $Q \geq 283$: Emenda com 3 nós (2 malhas);

Portanto, como regra geral, respeitando-se 2 malhas para todos os casos, cumpre-se o critério de ancoragem entre telas.



Fig. 42 – Transpasse de tela em duas malhas (notar área mais escura na sobreposição das telas). (Fonte: Própria).

3.4.2 Armação de Pisos Protendidos

Para os sistemas de pisos protendidos, o lançamento de cabos e seu correto posicionamento, bem como a montagem das peças do sistema de ancoragens e armaduras de reforço (fretagem) são os itens a serem verificados com cautela.

O posicionamento dos cabos de obedecer o espaçamento nas direções transversal e longitudinal da pista a ser montada, e também a altura correta dos cabos na seção da placa. Faria (2009) explica que os cabos de protensão (usualmente cordoalhas plastificadas engraxadas) ficam posicionados no eixo médio do piso, e que as formas devem ser preparadas de forma que os cabos ultrapassem seu alinhamento para poderem ser posteriormente tensionados por macacos hidráulicos. Para respeitar a altura projetada, também são utilizados espaçadores plásticos com alturas definidas em projeto e com características adequadas para apoio em função do tipo de sub-base utilizada.



Fig. 43 – Montagem do conjunto de ancoragem com o cabo passando do limite da forma para protensão (Fonte: Própria)



Fig. 44 – Posicionamento de cabos com espaçador plástico (Fonte: Própria)

Ainda segundo Faria (2009), o processo de protensão deve ser executado em etapas. O tensionamento progressivo dos cabos visa combater o aparecimento de fissuras e deve ser feito a partir das especificações do projetista (inicialmente da ordem de 20% do total de carga) e comprovação em campo de uma resistência mínima (habitualmente da ordem de 10MPa). Outros critérios a serem observados durante a execução de pisos protendidos são (FARIA 2009):

- Força de protensão;
- Alongamento dos cabos;
- Resistência mínima do concreto para cada idade de protensão;
- Número de etapas;
- Ordem de protensão (sequência de cabos);
- Valor e variação máxima admitida para alongamento dos cabos.

Os acessórios utilizados para ancoragem também são merecedores de atenção especial, pois são responsáveis pela transmissão do esforço de compressão produzidos pelo alongamento dos cabos à placa de concreto. Seu correto posicionamento garante eficiência do conjunto e segurança para a operação de protensão. Faria (2009) salienta que se deve tomar cuidado com a instalação do macaco de protensão e das cunhas, para que se tenha perfeito alinhamento entre macaco, cunha e ancoragem, minimizando, assim, riscos de problemas durante a protensão.



Fig. 45 – Conjunto de acessórios para ancoragem (Fonte: Própria)



Fig. 46 – Vista de uma pista com cabos de protensão (Fonte: Própria)

3.5 BARRAS DE TRANSFERÊNCIA

O correto posicionamento das barras de transferência é de grande importância para garantir efetiva transferência de carga entre placas contíguas. O ACI recomenda que elas devem ser cuidadosamente suportadas e alinhadas durante a operação de lançamento de concreto e que o centro da BT deve coincidir com o centro da meia seção do piso. O alinhamento deve ser tanto horizontal como vertical, pois posicionamentos descuidados e diferentes dessa recomendação podem gerar fissuração (ACI 302.1R-04).

Rodrigues (2006) informa que “A técnica de alinhar as barras manualmente logo após o lançamento do concreto é válida”. Essa operação pode ser observada na figura abaixo:



Fig. 47 - Alinhamento das BT posteriormente ao lançamento (Fonte: Própria)

É importante também se certificar que metade da sua seção trabalhe de forma não aderida, permitindo assim os movimentos contrativos das placas. Para isso, deve-se observar a aplicação de graxa ou outro desmoldante. Entretanto, a quantidade de aplicação de graxa, por exemplo, não deve ser excessiva, pois quantidades exageradas podem implicar na redução da eficiência das juntas. (GASPARETTO, 2001; RODRIGUES, 2006).

Rodrigues (2006) chama a atenção para se evitar práticas como enrolar papel de embalagens de cimento, lona plástica ou mesmo colocação de mangueiras nas barras. Essas soluções são inadequadas pois geram espaços vazios entre o aço e o concreto, atrapalhando o mecanismo de transmissão de cargas.

3.6 CONCRETAGEM

Segundo Cristelli (2010), o processo de concretagem pode ser subdividido em 5 etapas bem caracterizadas e sequenciais, sendo elas (CRISTELLI, 2010):

- Produção e transporte;
- Lançamento;
- Adensamento;
- Acabamento superficial; e
- Cura.

Além disso, Cristelli (2010) elucida que deve se tratar o processo de concretagem de um piso industrial com maior rigor executivo e como um serviço especializado, diferente de concretagens de outros tipos de peças estruturais.

O planejamento de cada uma das etapas citadas é bastante importante para se obter um resultado final satisfatório, sendo necessário o envolvimento de diversos profissionais, com tarefas bem delimitadas, para que se realize cada etapa em tempo adequado, evitando assim problemas executivos que culminarão em má qualidade do produto final.

Há forte recomendação da maioria dos autores para que se faça uma placa experimental, de dimensões reduzidas, para se ensaiar todas as etapas envolvidas, desde o recebimento e controle tecnológico do concreto no estado fresco até o resultado do acabamento. Essa prática permite avaliar o comportamento real dos materiais, equipamentos e operários envolvidos para a realidade da obra. Para Rodrigues (2006), a partir de análise dos resultados obtidos nesse procedimento pode-se alterar aspectos referentes aos materiais empregados, em especial o concreto, quanto a parâmetros de avaliação subjetiva, como acabamento e textura superficial.



Fig. 48: Placa teste (Fonte: Própria)

A forma executiva de concretagem também deve ser planejada com cautela antes de se iniciar qualquer operação de concretagem. Há aqui outro consenso entre autores de não se empregar a concretagem em xadrez, uma vez que há aumento desnecessário da quantidade de juntas construtivas. Além disso, para Rodrigues (2006), não se verifica a premissa de que esse plano auxiliaria na redução da movimentação entre as placas. O ideal é, então, realizar concretagem em faixas ou mesmo em placas. Para ambos os casos, as juntas de contração serão serradas posteriormente ao processo de acabamento.

Fig. 49 – Concretagem em xadrez – processo em desuso e com recomendação de não utilização
(Fonte: CRISTELLI, 2010)

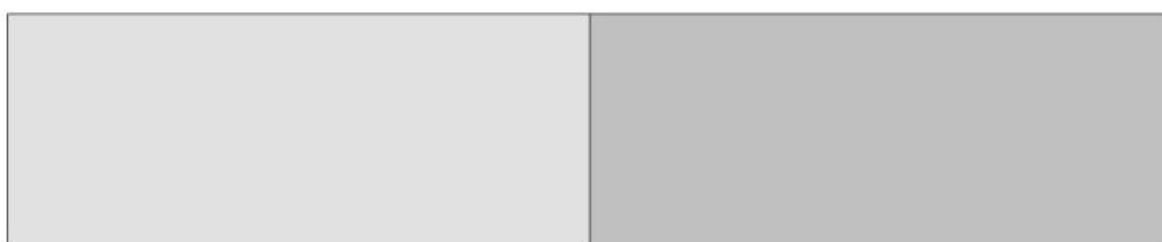
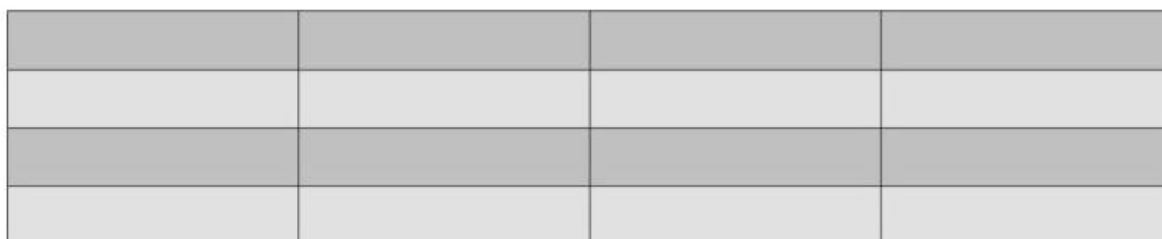


Fig. 50 – Concretagem em faixas e panos (Fonte: CRISTELLI, 2010)

3.6.1 Produção, Transporte e Recebimento do Concreto

A produção do concreto pré-misturado, ou seja, aquele produzido em centrais dosadoras, é a forma atual mais empregada para pisos industriais, tendo sido cada vez menos empregada a produção de concreto na própria obra. Isso se dá principalmente pelo porte relativo das obras industriais e pela necessidade de se investir em um programa rigoroso de controle de aquisição de materiais – agregados e cimento – e do processo executivo. (RODRIGUES, 2006).

A produção de concreto deve se guiar pelas necessidades apresentadas pelo projeto, como resistência à compressão (f_{ck}) e à tração na flexão ($f_{ctM,k}$), abatimento, fator água/cimento (a/c), teor de argamassa, dimensão máxima de agregados, aditivos e adições e outros critérios solicitados pelo projetista. Todos esses índices devem ser atendidos e uma carta-traço deve ser apresentada para se ter registro do produto que se está adquirindo.

Além desses parâmetros relacionados acima, Cristelli (2010) informa que deve haver planejamento também das condições de fornecimento da usina, como logística de transporte e capacidade da central dosadora e logística de lançamento,

considerando os equipamentos disponíveis e condições de acesso ao canteiro de obras.

Antes da etapa de lançamento, deve-se proceder com o ensaio de abatimento de tronco de cone – *slump test* – para se analisar a consistência do concreto no seu estado fresco. Essa consistência indicará a trabalhabilidade que o mesmo apresentará para as operações de lançamento, adensamento e nivelamento. Nesse ponto é fundamental se ter uma pessoa especialmente treinada para realizar o ensaio e liberar as cargas apenas quando estiverem dentro das condições especificadas na nota fiscal de transporte do concreto e esta, por sua vez, deverá condizer com o especificado em projeto e na contratação da concreteira.



Fig. 51 – Realização do *slump test* (Fonte: Revista Equipe de Obra⁷)

Segundo o ACI, valores de *slump* abaixo do especificado devem ser corrigidos através da adição de água, respeitando o limite permitido para o traço

⁷ Disponível em: <<http://equipedeoobra.pini.com.br/construcao-reforma/24/artigo144245-2.aspx>>
Acesso em 30 jan. 2014

utilizado, sem, no entanto, exceder a relação a/c da mistura. Após a adição deve-se ensaiar novamente o *slump* do concreto.

Além do *slump*, outros ensaios importantes para o controle tecnológico são os de resistência à compressão e de tração na flexão. O ensaio de compressão tem seu início na moldagem dos corpos de prova (CP) cilíndricos, sejam eles de 10x20cm ou 15x30cm, para posterior rompimento em prensas hidráulicas que informarão a resistência à compressão, em MPa, dos exemplares moldados.



Fix. 52 – Ensaio de compressão com prensa hidráulica (Fonte: UFPE⁸)

Para verificação da resistência à tração, faz-se amostragem com os CP prismáticos, se seção quadrada, que posteriormente serão rompidos através de duas cargas iguais, simétricas, dispostas no meio do vão.



⁸ Disponível em
<http://www.ufpe.br/decivil/index.php?option=com_content&view=article&id=297%3Alaboratorio-de-materiais-e-estruturas-labme&catid=1&Itemid=230>. Acesso em 30 jan. 2014.

Fix. 53 – Ensaio de tração na compressão com prensa hidráulica (Fonte: UFPE⁹)

Segundo a NBR 6118, pode-se fazer uma correlação entre a resistência à compressão e a resistência à tração na flexão através da equação:

$$f_{ct,m} = 0,3 f_{ck}^{2/3}$$

Eq. 01 – Correlação entre resistência à compressão e resistência à tração na compressão.
(Fonte: NBR 6118)

A execução do ensaio, em campo, deve ser realizada por um operário treinado de acordo com as normas NBR 5738:2003 que descreve o procedimento para moldagem e cura de corpos de prova e com a da NBR 5739:2007, que descreve o ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Deve-se atentar para o procedimento de cura dos CP, pois, segundo Cervo et al. (2008), pode-se encontrar variações da casa de 12% entre os valores obtidos dos rompimentos de acordo com o método e qualidade da cura executadas.



Fig. 54 – Moldagem de CPs cilíndros e prismáticos (Fonte: Fernandes Engenharia¹⁰)

⁹ Disponível em

<http://www.ufpe.br/decivil/index.php?option=com_content&view=article&id=297%3Alaboratorio-de-materiais-e-estruturas-labme&catid=1&Itemid=230>. Acesso em 30 jan. 2014.

¹⁰ Disponível em <<http://www.fernandesengenharia.com.br/fotos.php>>. Acesso em 30 jan. 2014.

3.6.2 Lançamento do Concreto

Segundo Rodrigues (2006), o processo de lançamento do concreto nas pistas de concretagem é relativamente simples, pois é comum a possibilidade dos caminhões betoneira atingirem diretamente o local de aplicação. Quando esse tipo de operação não é possível, utilizam-se bombas do tipo lança ou estacionária para lançamento, sendo as primeiras mais adequadas por apresentarem maior flexibilidade e versatilidade de operação.

Quando o lançamento acontece diretamente dos caminhões-betoneiras, deve-se instalar a terceira calha a fim de se ter maior alcance de lançamento e efetuar a descarga com o balão em rotação menor do que a máxima. Com esses cuidados diminui-se a probabilidade de se causar segregação, fenômeno caracterizado pela separação da pasta de cimento dos agregados graúdos quando do lançamento do concreto a elevadas alturas. (CHODOUNSKY e VIECILI, 2007).

Da mesma forma pode acontecer para lançamentos através de bombas. Para se evitar a segregação deve-se, portanto, exigir lançamento próximo da altura do piso. Dessa forma, evitam-se também problemas de espalhamento indesejado de concreto em outras partes da estrutura.

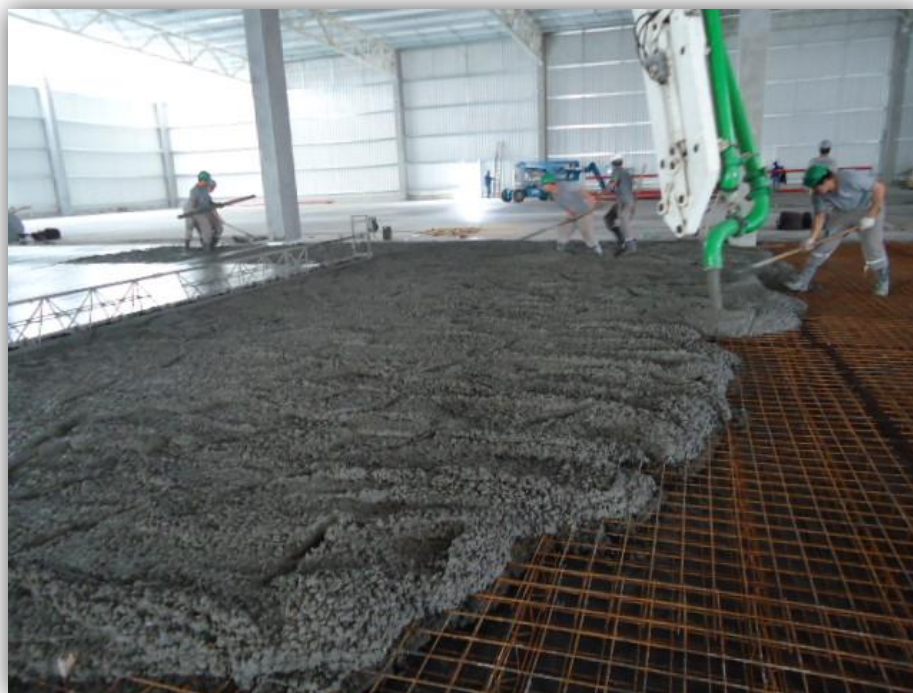


Fig. 55 – Lançamento de concreto próximo ao piso (Fonte: Própria)

Outra preocupação quanto ao lançamento é a de que se garanta o correto posicionamento das armações de reforço – telas ou cordoalhas – quando do impacto do concreto fresco sobre as mesmas ou da movimentação de operários para as operações exigidas. (RODRIGUES, 2006).

3.6.1 Adensamento e Nivelamento do Concreto

Sugere-se que o processo de adensamento do concreto em pisos seja feito através de régua vibratórias devido às suas características de grandes áreas aliadas às suas baixas espessuras. A utilização de vibradores de imersão pode também ser uma alternativa para o processo de adensamento. No entanto, mecanicamente podem haver restrições, principalmente pelo fato de o vibrador trabalhar praticamente na horizontal devido a baixas espessuras do piso e isso reduzir sua vida útil. Além disso, pode haver aquecimento do equipamento por este não estar totalmente imerso, fato que também colabora para sua rápida deterioração. Contudo, na proximidade das formas, é interessante o trabalho com vibradores de imersão pois a eficiência das régua vibratórias nesses locais é normalmente mais baixa. (RODRIGUES et al, 2006 e RODRIGUES 2010).



Fig. 56 – Execução de piso com régua vibratória treliçada e vibradores de imersão (Fonte: Própria)

Outra alternativa para se fazer simultaneamente o processo de adensamento e nivelamento é a utilização do equipamento conhecido como *Laser Screed*. Essas máquinas são auto propelidas e guiadas por emissor a laser, o qual acusa o correto nivelamento nos receptores acoplados à máquina. Além disso, parte do processo de acabamento superficial é promovido por esse tipo de equipamento (CRISTELLI, 2010). Outra vantagem é a grande produtividade proporcionada por essas máquinas, podendo-se chegar a até 3.000 metros quadrados por dia de trabalho.



Fig. 57 – Laser Screed (Fonte: Alphapiso¹¹)

3.6.4 Acabamento do Piso

Segundo Rodrigues (2010), a superfície dos pisos de concreto são responsáveis por uma avaliação normalmente subjetiva e imediata da qualidade de uma obra, uma vez que esta é sempre apresentada para os usuários.

Existem várias metodologias para execução do acabamento da superfície dos pisos de concreto de acordo com o aspecto final desejado. Pode-se citar diferenças quando da incorporação de agregados minerais ou metálicos, por exemplo. Além disso, tais superfícies estarão em contato direto com o meio agressor, devendo, portanto, utilizar práticas executivas criteriosas para que se obtenha bom desempenho final. (CRISTELLI, 2010).

Cristelli (2010) resume de forma bastante didática as etapas envolvidas no processo de acabamento superficial baseado em dados de Rodrigues et al (2006). A tabela abaixo explica sucintamente cada uma dessas etapas

¹¹ Disponível em <<http://alphapiso.com.br/equipamentos>>. Acesso em 30 jan. 2014)

Etapas	Equipamentos	Processo	Função
Desempeno (float / bullfloat)	Desempenadeira manual, metálica ou de madeira com 80 cm a 300 cm de comprimento e 20 cm de largura, com extremidades arredondadas	Operação de alisamento de superfície	Promover um primeira alisamento superficial, fechando as imperfeições deixadas pela régua vibratória
Rodo de corte	Ferramenta constituída por uma régua de alumínio de 3 m, montada ortogonalmente a um cabo articulado que permite mudar o seu ângulo de ataque na superfície, permitindo o corte tanto quando é puxado como empurrado	Remoção de material superficial através de atrito da lâmina nos pontos de espessuras diferentes e desnivelamentos	Melhorar a planicidade do piso, permitindo a execução de superfícies mais planas
Período de espera	Barreiras de vento, proteções contra incidência solar e partículas de cura química específicas	Instalação de dispositivos de proteção ou aplicação de cura química sobre a superfície	Controlar a perda de água do concreto por exsudação e agentes externos durante o período de pega de concreto
Desempeno (float mecânico)	Disco (s) metálico com cerca de 80 cm de diâmetro, fixado nas acabadoras mecânicas (duplas ou simples). São também conhecidas como discão	Alisamento mecânico da superfície do concreto através do uso das acabadoras em momento adequado da pega do concreto cerca 2 horas e meia após aplicação do rodo de corte. Em função das características do concreto, o tempo de início da etapa pode variar bastante	Promover a compactação superficial e garantir maior concentração de argamassa na superfície
Desempeno fino / Alisamento mecânico	Rodo de corte (opcional, no caso de pisos com elevados índices de planicidade) e acabadoras mecânicas com dispositivos de pás metálicas com inclinações variáveis	Aplicação do rodo de corte e, posteriormente, alisamento mecânico com forte tensão de contato das pás metálicas com a superfície do piso	Desempenar e alisar a superfície por ação abrasiva, controlando a sua rugosidade e conferindo brilho à superfície acabada. Diminuir o atrito na utilização do piso, caracterizando aumento de resistência à abrasão.

Tabela 10 – Sequência de acabamento superficial. (Fonte: RODRIGUES et al., 2006 apud. CRISTELLI, 2010)

Sumarizando o apresentado nos itens anteriores, apresentam-se duas compilações mostrando através de fluxogramas a sequência executiva de pisos industriais.

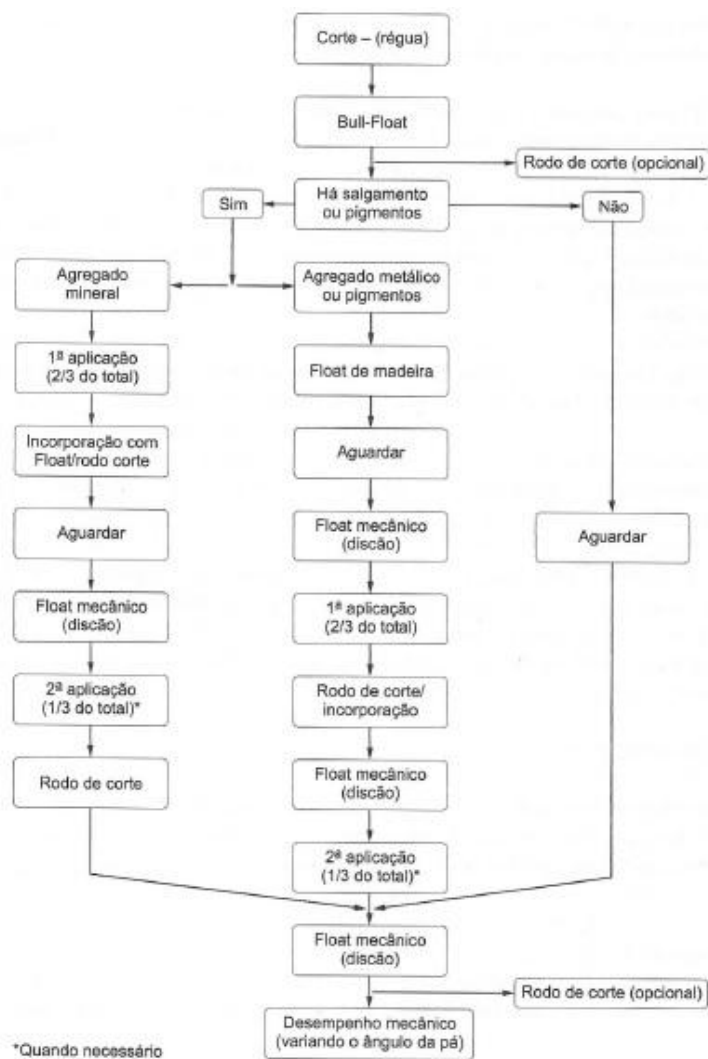


Fig. 58 – Fluxograma fases de acabamento da superfície de concreto (Fonte: RODRIGUES et al., 2006)

De forma um pouco mais abrangente, o ACI acrescenta não só a sequência de equipamentos e processos empregados, mas também uma forma de avaliação para o período ideal de início de acabamento. Esse tempo é definido considerando a marca da pegada do operador deixada sobre o piso: para se iniciar com o disco manual, a pegada deve ser de 6mm, e para acabamento mecânico de apenas 3mm. (ACI 302.1R-04)

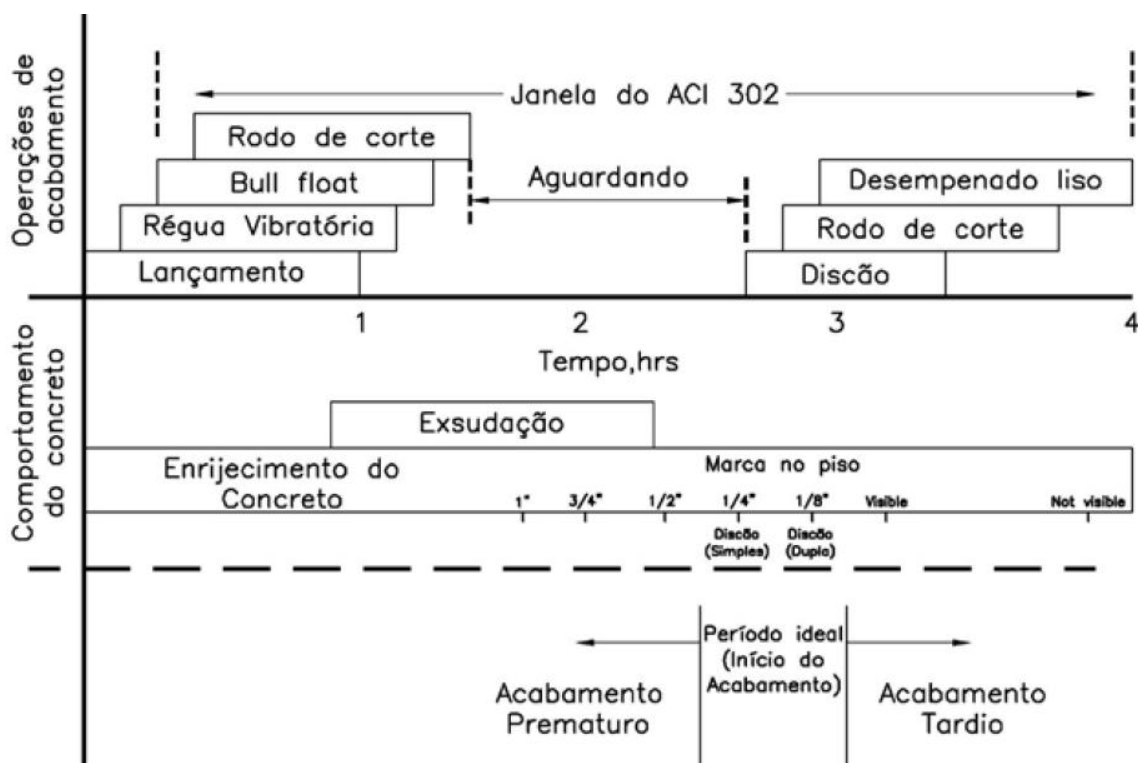


Fig. 59 – Janela de acabamento para pisos de concreto (Fonte: RODRIGUES, 2007)

3.6.5 Cura do Concreto

Segundo Rodrigues et al (2006), a cura é “um conjunto de medidas tomadas para manter as condições de hidratação do cimento, isto é, umidade e temperatura”. Cristelli (2010) complementa essa afirmação dizendo que, em função da grande superfície exposta dos pisos de concreto, a influência das condições ambientais na qualidade final do concreto é grande, e que procedimentos inadequados podem causar evaporação da água necessária à hidratação do cimento Portland.

Pode-se separar o processo de cura em duas etapas distintas: inicial e complementar. Na inicial, procede-se com a aplicação de membranas de cura ou filmes plásticos para evitar evaporação da água de emassamento logo após as operações de acabamento. A complementar, por sua vez, é iniciada após o fim de pega do concreto, e tem como principal objetivo manter a superfície saturada, minimizando a ação de ventos, calor e principalmente de baixas umidades relativas do ar. Esta deve ser feita através de dispositivos inertes dispostos na superfície da placa e que tenham boa capacidade de retenção de água e mantida pelo tempo necessário para o concreto atingir no mínimo 75% de sua resistência. (RODRIGUES, 2006).



Fig. 60 – Aplicação de cura química (Fonte: Própria)

3.7 CORTE E TRATAMENTO DE JUNTAS

O corte das juntas nos pisos de concreto deve acontecer tão logo o concreto atinja resistência suficiente para possibilitar a movimentação das máquinas de corte e operários sobre o piso, e, sobretudo, para evitar esborcinamentos nas bordas. O tempo ideal para esse procedimento varia em função das condições de temperatura ambiente, da velocidade de hidratação do cimento e do tipo de concreto utilizado. (GASPARETTO, 2001; RODRIGUES, 2006).

Encontra-se na literatura pequenas variações sobre o tempo em que esses requisitos citados serão atingidos, mas pode-se mencionar: cerca de 10 horas após o lançamento (GASPARETTO, 2001), de 12 a 18 horas (RODRIGUES, 2006) e de 8 a 15 horas (CRISTELLI, 2010).

Balbo (2009) informa que, apesar de vários estudos com relação a esse tema, é necessário se ter uma abordagem prática para determinação através de experimentação do tempo de serragem. Ainda, elucida que o corte é responsável

pelo controle da inevitável retração por secagem e que a demora no procedimento pode acarretar em consequências desastrosas para o piso.



Fig.

Corte de junta serrada com disco diamantado (Fonte: Alphapiso¹²)

61 –

Outra observação importante a se fazer é com relação ao posicionamento dos cortes. Antecipadamente à concretagem, é necessário realizar marcações em campo que permitam ao operário que irá realizar o corte procedê-lo exatamente na posição em que as barras de transferência foram instaladas. Dessa forma, evita-se que a placa seja cortada em posição diferente à prevista, mantendo-se então a correta operação das juntas. Ainda, há casos em que as máquinas de corte podem não alcançar toda a extensão do piso para proceder com o corte, deixando caminho para que a fissuração da placa ocorra de forma não controlada, como pode ser visto na figura a seguir.

¹² Disponível em <<http://alphapiso.com.br/equipamentos>>. Acesso em 30 jan. 2014.



Fig .62 – Fissuração fora da área de controle provocada por corte terminando muito afastado da junta de encontro (Fonte: Própria)

4 PATOLOGIAS EM PISOS INDUSTRIAIS DE CONCRETO

“As pessoas têm enorme facilidade de julgar as coisas pelo seu exterior e quando se trata de pavimentos industriais essa avaliação subjetiva é ainda mais fácil, pois o que está à mostra é apenas a sua superfície: por exemplo, um piso com o RAD solto quem é imediatamente rotulado é o aplicador, quando na realidade podem haver outros fatores importantes que conduzem a essa patologia, sem que seja necessariamente culpa da aplicação, ou quando vemos uma fissura de ordem estrutural, como uma

quebra de canto de placa, automaticamente o projetista é o alvo das críticas”. (RODRIGUES E HOVAGHIMIAN, 2008)

Segundo a ANAPRE, o surgimento de patologias nos pisos de concreto está associado a um conjunto de fatores, desde a concepção do projeto até a utilização final do piso. São citados os seguintes itens:

- Falta de projeto;
- Especificações inadequadas;
- Foco na redução de custo e não na qualidade;
- Falta de controle tecnológico;
- Procedimentos executivos inadequados;
- Contratos inadequados;
- Mau uso;
- Ausência de normas.

Dentro de uma gama enorme de consequências trazidas pelas patologias manifestadas no pisos, Cristelli (2010) menciona o aumento de custo com manutenção dos equipamentos, redução da produção, restrição de operações de carga e contaminações generalizadas. Ainda, informa que os custos envolvidos para recuperação são bastante elevados, e que em muitos casos se equiparam ao custo de produção de um novo piso. (CRISTELLI, 2010).

As patologias associadas a projeto, execução e operação de pisos de concretos são muitas e ocorrem por vários motivos. A seguir serão apresentados os dados de diversos autores compilados por Cristelli (2010), de forma tabelada, a fim de se elucidar sobre causas, prevenções e recuperações de tais patologias.

Patologia	Descrição	Causa	Prevenção	Recuperação
Delaminação	Destacamento da camada superficial de acabamento, cuja espessura varia de 2 mm a 4 mm.	Selamento superficial prematuro que impede a exsudação da água do concreto, gerando pressões internas na camada impermeável de selante.	Controle da umidade do substrato (placa de concreto) antes de aplicação de materiais formadores de filme impermeável.	Reparo com argamassas poliméricas ou cimentícias modificadas com polímeros. Recorte da área danificada, regularização da superfície, aplicação de um primer e argamassa. Executar processo de cura adequado e lixar cas necessário.
			Controle da dosagem do concreto evitando emprego de grandes quantidades de aditivos incorporadores de ar, retardadores de pega ou agregados miúdos de baixa granulometria. Fator água/cimento adequado.	
Desgaste Superficial	Desprendimento do material superficial do piso, grãos de areia e pó de cimento.	Utilização de concreto de baixa resistência, tratamento superficial incorreto, concreto com exsudação excessiva ou cura inadequada. Ataques químicos e má utilização do piso.	Especialização da resistência do concreto com base na utilização do piso. Controle dos processos executivos de acabamento, cura e tratamento superficial.	Fechamento da porosidade superficial através de aplicação de endurecedor químico em duas demãos. Lapidagem da superfície com ferramentas diamantadas (até grana 3000). Aplicação de RAD argamassados epoxídicos ou uretânicos sob substrato preparado.
Manchas	Formação de manchas que se destacam da cor padrão do concreto aplicado no piso, proveniente dos processos de hidratação e carbonatação do concreto.	Atraso no processo de concretagem e conseqüente pega diferenciada do concreto.	Definição prévia de plano de concretagem e de cálculo de volume de material necessário para cada placa.	A cor da superfície do concreto tende a se uniformizar com o tempo e, após alguns meses, as manchas podem desaparecer. Caso os aspectos estéticos sejam primordiais, pode-se aplicar uma pintura de resistência compatível com as atividades previstas. Esta alternativa gera custo extra-planejado.
		Posicionamento dos agregados grãos muito próximos da superfície.	Dosagem correta dos materiais do concreto considerando sua trabalhabilidade e controle do processo de lançamento, adensamento e vibração.	
		Processo de cura mal-executado e de maneira heterogênea na superfície.	Controle do processo de cura. Garantir que os agentes de cura estejam em contato com toda a superfície do concreto.	
Fissuras de Retração	Fissuras regulares nas placas concretadas geralmente paralelas às juntas serradas.	Atraso no corte das juntas. A retração hidráulica na cura do concreto não é absorvida pelas juntas, impedindo sua movimentação durante o período de pega.	Executar o corte das juntas no intervalo entre 4 e 12 horas após o lançamento do concreto. O tempo de pega é variável em função do tipo de concreto utilizado. Após a pega, executar imediatamente.	Fissuras próximas às juntas (de 5 cm a 10 cm): aplicar selador de acordo com especificação dos materiais das juntas.
		Reforço insuficiente ou Restrição à movimentação da placa.	Detalhamento das juntas e mecanismos de transferência de carga devidamente dimensionados e posicionados.	Fissuras mais afastadas: estabilização por colagem com material epoxídico/poliuretano, ou pela costura com barras de aço inclinadas na lateral da fissura, sendo estas coladas e seladas material à base de resina epóxi.
		Deficiências no preparo ou especificação de tratamento da base.	Procedimento criterioso de execução com base no projeto (atenção aos aspectos de caracterização da capacidade de suporte do solo e tratamento adequado das sub-bases.)	Execução de trechos com armação complementar de combate à tração e empenamento da placa.
Deslocamento (corrosão das armaduras)	Deslocamento da camada de cobrimento do concreto sob tensões de expansão volumétrica das armaduras.	Penetração de cloretos e dióxidos de carbono, nas placas do piso causando depassivação das armaduras (de controle de retração, de combate à tração e até mesmo das fibras de aço) e posterior processo de corrosão das armaduras. Aumento do volume das ferragens causado pela corrosão destes elementos.	Execução de cobrimento com espessura adequada e concretagem adequada para evitar elevada porosidade (baixo fator água/cimento, vibração adequada). Tratamento contra umidade: instalação de barreira de vapor, selamento das juntas e critérios na seleção dos métodos e materiais de acabamento superficial.	Delimitação da área afetada, remoção do concreto deteriorado. Limpeza das superfícies. Tratamento e/ou reforço estrutural das armaduras. Aplicação de camada para selamento e ponte de aderência. Aplicação da argamassa de alto desempenho, regularização e cura adequada.
Bolhas	Formação de bolhas na superfície e conseqüente descolamento dos revestimentos. Quando submetido a condições de tráfego intenso, o RAD sofre deformações, rupturas e exposição da base ou de camadas intermediárias.	Presença de líquidos ou gases oriundos da sub-base (variação do lençol freático, falha na drenagem ou infiltração das tubulações embutidas). Umidade da placa de concreto (substrato). Presença de água de amassamento.	Instalação de sistema de drenagem eficiente. Utilização de sub-base granular e barreira de valor com filme de polietileno. Controle do tempo ideal de cura completa antes da aplicação do revestimento. Análise da umidade do substrato que deverá apresentar taxas máximas de 4% a 5% conforme ensaios específicos.	O revestimento danificado deve ser removido parcial ou totalmente. Dependendo da distribuição das patologias, a base deverá ser novamente preparada. Aplicação de revestimentos específicos para concretos recém lançados ou para áreas com umidade ascendente.
		Presença de agentes contaminantes, como óleos e produtos químicos variados.	Limpeza e descontaminação do substrato utilizando métodos adequados de lavagem.	
		Presença de agentes contaminantes do próprio revestimento. Erros de dosagem, falhas dos produtos e aplicações em desconformidade com a especificada.	Respeitar prazo de cura das camadas dos materiais aplicados. Especificação técnica de materiais com qualidade reconhecida no mercado.	

Patologia	Descrição	Causa	Prevenção	Recuperação
Falhas e irregularidades no acabamento	Variações estéticas e acabamento superficial irregular do revestimento. Variação da textura final do revestimento, liso em certos pontos e antiderrapante em outros. Em alguns casos o sistema apresenta posterior desagregação em relação ao substrato.	Falhas na preparação do substrato. Uso de materiais de baixa qualidade e de sistemas inadequados. Utilização inadequada do piso (rodízios duros, presença de abrasivos na área, ataque de produtos químicos a concentrações e temperaturas elevadas).	Regularização do substrato. A superfície deverá apresentar rugosidade uniforme para aplicação do RAD. Especificação técnica de sistemas de RAD adequados ao uso proposto e emprego de materiais com qualidade reconhecida no mercado.	Lixamento geral da área e na aplicação de uma nova camada com sistemas livres de solventes e melhor índice de cobertura. Remoção da parte danificada, preparação da base e reconstituição do sistema de RAD. tratamento com sistemas argamassados (epóxi/poliuretano) em áreas de maior solicitação de abarsão. Nas áreas de ataques químicos utilizar sistemas à base de resinas éster vinílicas, metil-metacrilatos, epóxi ou poliuretanos modificados.
Destacamentos e Descolamentos	Desprendimento de placas de RAD do substrato.	Perda de aderência do RAD com o substrato em função de falhas na preparação da base. Solicitação mecânica superior à prevista em projeto.	Regularização do substrato. A superfície deverá apresentar rugosidade uniforme para aplicação do RAD. Especificação técnica de sistemas de RAD adequados ao uso proposto e emprego de materiais com qualidade reconhecida no mercado.	Mapeamento da área a ser recuperada por meio de testes localizados. Remoção do revestimento danificado. Identificação da causa da patologia (preparação do substrato ou incompatibilidade entre o substrato e o revestimento). Correção e aplicando o novo sistema.
Trincas e Fissuras	Aparecimento de trincas e fissuras na superfície do revestimento.	Deficiência do sistema estrutural do piso (trincas geradas pela movimentação excessiva ou assentamento de material do substrato RAD). Tratamento inadequado das juntas antes da aplicação do RAD.	Desenvolver projeto criterioso de todos os elementos do sistema do piso. Controlar a qualidade da execução para atingir os índices descritos em projeto. Tratamento específico das juntas antes da aplicação do RAD.	Criação de junta ao longo de toda a fissuração aparente, permitindo a movimentação independente dos dois panos. Recorte da faixa de revestimento danificada com folga lateral de 5 cm para cada lado. Preenchimento do local com argamassa epóxi de alta resistência. corte com disco, no alinhamento da fissura, e preenchimento com selante elastomérico à base de poliuretano ou epóxi semirrígido.

Tabela 11 – Principais patologias em pisos industriais. Características, prevenção e tratamento (Fonte: CRISTELLI, 2010¹³)

5 DELAMINAÇÕES EM PISOS INDUSTRIAIS DE CONCRETO

¹³ Compilação de dados realizada por Cristelli (2010), oriundos de: Adaptação de dados de Aguiar (2009) e dados de Gasparetto e Hovaghimian, disponíveis em <www.revistatechne.com.br> apud. Cristelli (2010).

O termo delaminação refere-se ao fenômeno de destacamento ou separação de uma parcela da superfície de um piso que recebe acabamento superficial com máquinas acabadoras (com pás metálicas). A área de ocorrência dessa manifestação pode variar de vários centímetros quadrados a alguns metros quadrados¹⁴, sendo similares ao aparecimento de bolhas na superfície, apenas apresentando dimensões consideravelmente maiores. (National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA), 2004)



Fig- 63 - Corte de um piso com formação de bolha. (Fonte: PCA *apud* SEEGBRECHT, 2013)

Jana (2007) informa que a delaminação é um plano de separação que acontece em superfícies acabadas de pisos de concreto, com orientação paralela à essa superfície, e com espessuras variando normalmente entre 6,25 e 25mm. A autora acrescenta que essa manifestação pode aparecer em tabuleiros de pontes, pavimentos de concreto, calçadas, lajes internas e externas e em pisos industriais de concreto.

Segundo Seegebrecht (2013), o fenômeno de delaminação é primeiramente ouvido, e só depois é visto. Isso se dá porque após o acabamento da superfície de um piso e com a retomada de outras atividades, movimentações nessa área podem

¹⁴ Adaptado do texto original da NRMCA: "The delaminations on the surface of the slab may range in size from several square inches to many square feet", que trata as medidas citadas em polegadas e pés quadrados para para centímetros e metros.

gerar impactos de ferramentas, por exemplo, o que denunciaria um som falso (oco), e não um som de sino, como seria de se esperar para um concreto são.



Fig. 64 - Aspecto delaminação (Fonte: SUPRENANT E MALISCH, 1998)

A espessura na qual essa manifestação acontece é apresentada entre vários limites por diferentes autores, empresas ligadas ao setor de produção de concreto e de executores de pisos. A Cement Concrete and Aggregates Australia (CCAA) informa que se trata de um destacamento de até 5mm e a National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA) fala em variação de 3 a 6mm. Por outro lado, há publicações explicando que pode-se encontrar casos que alcancem espessuras ainda maiores; como já citado, Jana (2007) fala em variação de 6,25 e 25mm, e Lankard (2004) elucida que o plano de separação varia normalmente de 3 a 10mm, mas que pode atingir até 30mm abaixo da superfície.

5.1 PROCESSO DE SURGIMENTO DE DELAMINAÇÕES

O aparecimento de pontos de delaminação está associado a algumas outras patologias ou métodos executivos. A primeira consideração que se faz é resultado da patologia de corrosão de armaduras, na qual sua expansão causa efeitos sequenciais de tensões no concreto, podendo levar a uma delaminação de áreas superficiais. Outro agente que pode levar a delaminação de pisos é o efeito de gelo e degelo atuando em placas de concreto externas. Por outro lado, no entanto, os

casos que aparecem em pisos internos são associados a fatores relativos aos materiais empregados e ao processo de acabamento de superfície. (JANA, 2007).

O principal mecanismo associado ao aparecimento de delaminações é o de entrada prematura dos equipamentos no processo de acabamento do piso. Após o lançamento, adensamento e nivelamento do concreto, ocorre um processo de acomodação dos sólidos e de exsudação, com ascensão da água e do ar incorporado. Iniciando-se com o acabamento antes da exsudação ter cessado, observa-se um selamento da superfície do concreto, o que acarreta em água e/ou ar aprisionado abaixo dessa superfície fechada. Conforme o endurecimento do concreto vai se desenvolvendo, formam-se vazios onde esse ar e/ou água ficaram retidos, separando fisicamente uma camada que será destacada do piso. (SEEGEBRECHT, 2013)

Existem, no entanto, vários outros fatores tanto pelo lado dos materiais e do processo de exsudação quanto pelo lado da execução que podem desencadear essa indesejada manifestação patológica. Jana (2007) elenca 08 fatores comuns que podem atuar de forma isolada ou conjunta para contribuir com o surgimento de delaminações. Destes, 02 não serão abordados, sendo eles: Corrosão de armaduras no concreto e ciclo de gelo e degelo. Os outros 06 são descritos a seguir, incluindo contribuições de outros autores.

5.1.1 Acabamento Prematuro

Segundo Jana (2007), o início do acabamento antes de se haver cessado o processo de exsudação e antes também do início de pega geralmente acarreta aprisionamento da água resultante da exsudação, pois essa não consegue ultrapassar a superfície acabada que já se encontra mais densa. Com isso, gera-se uma superfície fraca logo abaixo à superfície acabada, que ficará suscetível à delaminação quando carregada pelas cargas previstas no piso.

Alguns fatores estão associados ao início prematuro do acabamento da superfícies, podendo-se citar (JANA, 2007):

- Presença de ar incorporado, partículas finas como pozolanas, excesso de finos na areia, retardadores de pega e outros fatores que eventualmente reduzam a exsudação (considerando também a combinação desses fatores);

- Evaporação rápida da água na superfície e desaparecimento do brilho da água de exsudação na superfície, o que indica ou chama pelo início do acabamento, enquanto o concreto ainda está exsudando internamente;
- Uso muito cedo do float ou de máquinas de acabamento enquanto o concreto ainda está exsudando internamente.

Rodrigues (2007) elucida que a primeira operação mecânica a ser realizada no piso é a utilização do chamado discão. A operação com esse equipamento tem por finalidade a compactação e o posicionamento de argamassa na camada superficial, afastando também os agregados graúdos da superfície. O marco teórico (e também subjetivo) indicado para início da atividade desse equipamento é a profundidade da pegada deixada pelo operador, sendo adequada quando medir entre 6 e 3mm. Aqui também é enfatizada a informação de que o início antes do tempo adequado pode levar a ocorrência de delaminações, e o início tardio pode comprometer níveis de planicidade requeridos. (RODRIGUES, 2007)

5.1.2 Acabamento Prolongado

Diferentemente do que ocorre com o acabamento prematuro, quando acontece aprisionamento da água de exsudação ou do ar incorporado, o acabamento prolongado pode levar à delaminação por expulsar água e ar da região superficial que está sendo fortemente adensada pelas máquinas acabadoras de superfície para um região logo abaixo a ela. Essa região de onde a água é expulsada geralmente tem entre 3 e 19mm¹⁵ e é próxima à superfície. Caracteriza-se também por ser densa e apresentar ainda baixa relação a/c, justamente devido ao fato de haver expulsão de água para camadas subjacentes. (JANA, 2007).

Para se entender melhor a forma adequada de trabalho, apresenta-se a janela de acabamento, ou como originalmente chamado pelo ACI, “Window of Finishability”, que graficamente elucida sobre os fenômenos envolvidos na produção

¹⁵ Adaptado de Jana (2007) “usually $\frac{1}{8}$ to $\frac{3}{4}$ in.” de polegadas (Sistema Americano) para milímetros (Sistema Internacional).

do concreto e os cuidados a serem tomados com o tempo de cada etapa executiva do acabamento.

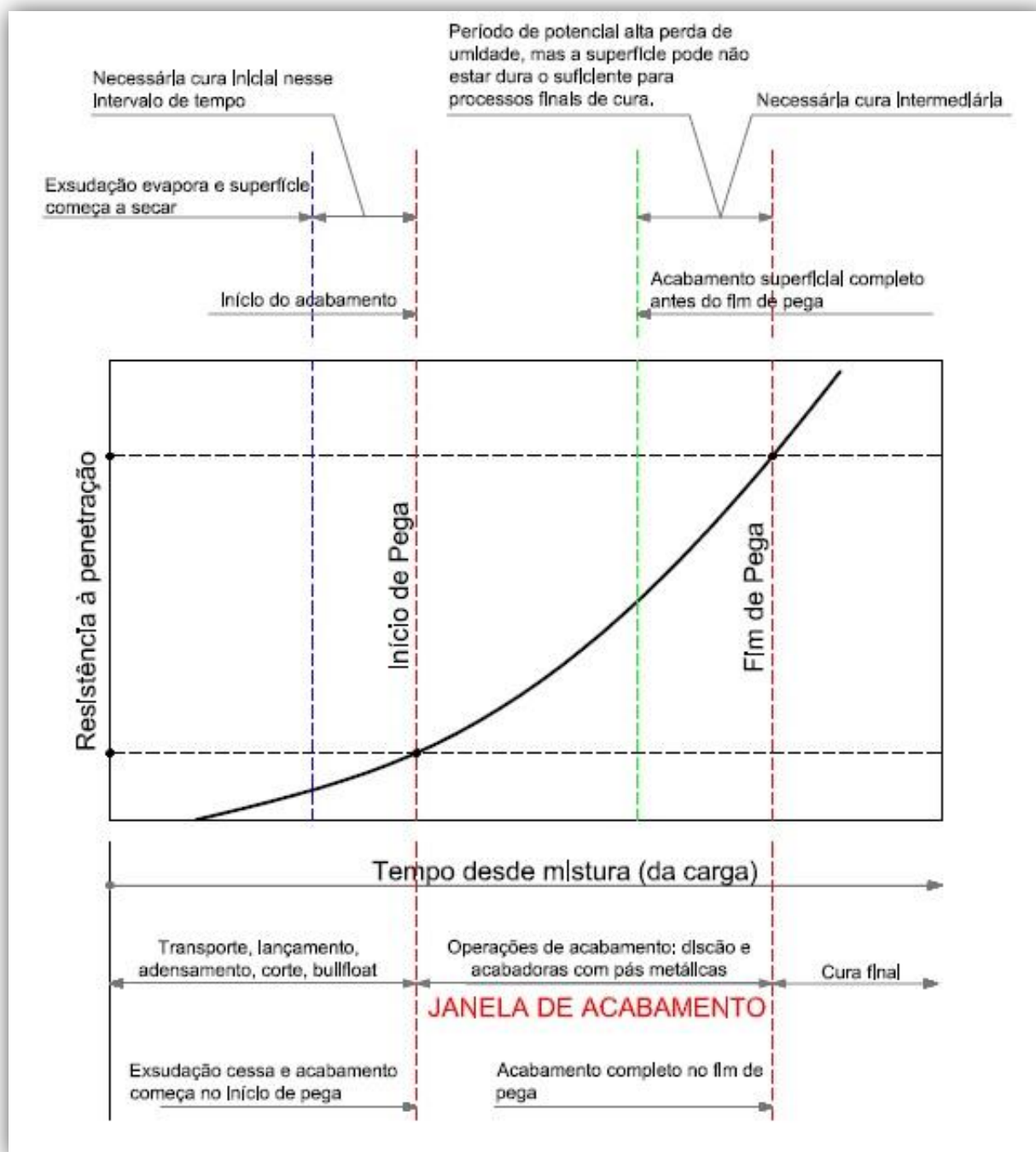


Fig. 65 – Janela de acabamento (Fonte: Adaptado de ACI 308R-01)

5.1.3 Acabamento com Adições ou Revestimentos

No caso de utilização de adições minerais ou metálicas e revestimentos sobre a superfície do piso, pode acontecer de a camada com as adições também sofrer delaminação ou mesmo de o revestimento se destacar da superfície de concreto (substrato). Operações prolongadas para incorporação das adições à superfície do concreto, indo além do necessário para essa mistura, podem provocar a delaminação. A figura a seguir mostra um exemplo de superfície acometida por essa patologia.

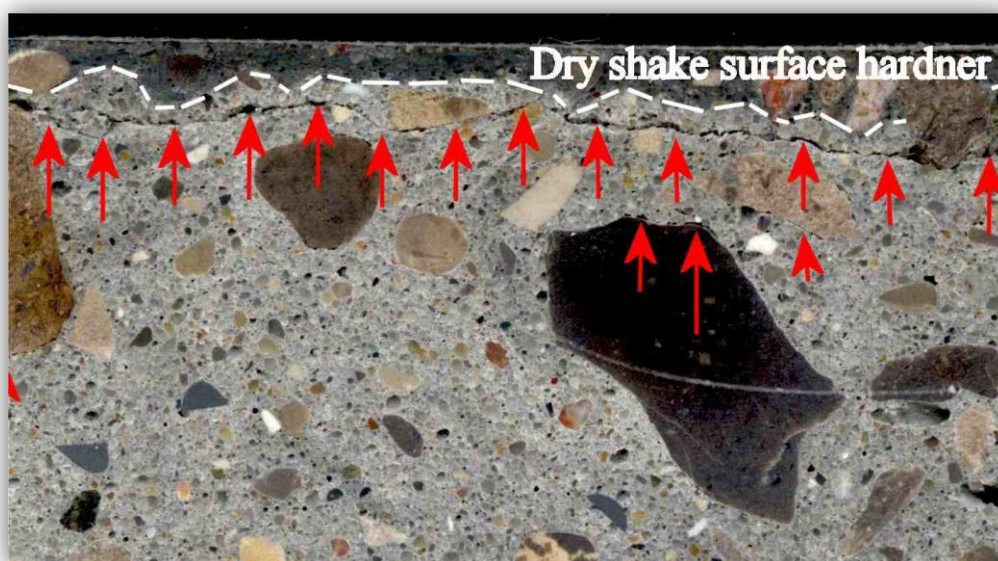


Fig. 66 - Delaminação em piso com adição mineral (Fonte: JANA, 2007).

5.1.4 Ar Incorporado

Existem vários estudos mostrando que a presença de ar incorporado acima de certos percentuais tem relação íntima com o aparecimento de delaminações quando executado acabamento polido com acabadoras de superfície em pisos de concreto. O percentual limite citado por diversos autores para se evitar a patologia é de 3%.

Jana (2007) apresenta uma compilação dos fatores que fazem com o ar incorporado aumente o potencial de delaminação (JANA, 2007):

- Concretos com ar incorporado exsudam devagar, o que aumenta a possibilidade de se iniciar o acabamento do piso antes do fim do processo de exsudação, especialmente em condições climáticas desfavoráveis;
- Ar incorporado torna o concreto mais coeso, o que pode dificultar operações de acabamento. A operação de acabamento vai adensar a superfície e remover o ar dessa camada. A interface entre essa camada superficial sem ar e o restante da placa com ar pode resultar em um ponto fraco para delaminação;
- A mesma interface pode apresentar mudança na forma dos vazios produzidos pelo ar incorporado, de esféricos para lamelares, com formatos alongados, e seu espalhamento até que um vazio se encontre com outro pode também provocar delaminações.

O percentual de ar incorporado ou simplesmente o ar contido no concreto varia de acordo com a profundidade da seção analisada para o caso de pisos com acabamentos superficiais. Como explicado, isso se dá pela expulsão do ar na camada superficial que recebe a movimentação das acabadoras de piso. A configuração em função da profundidade e o resultado obtido em ensaios com diferentes percentuais de ar contido no concreto, comprovando que percentuais de ar contido acima de 3% levam à delaminação, são mostrados nas figuras abaixo: (JANA, 2007):

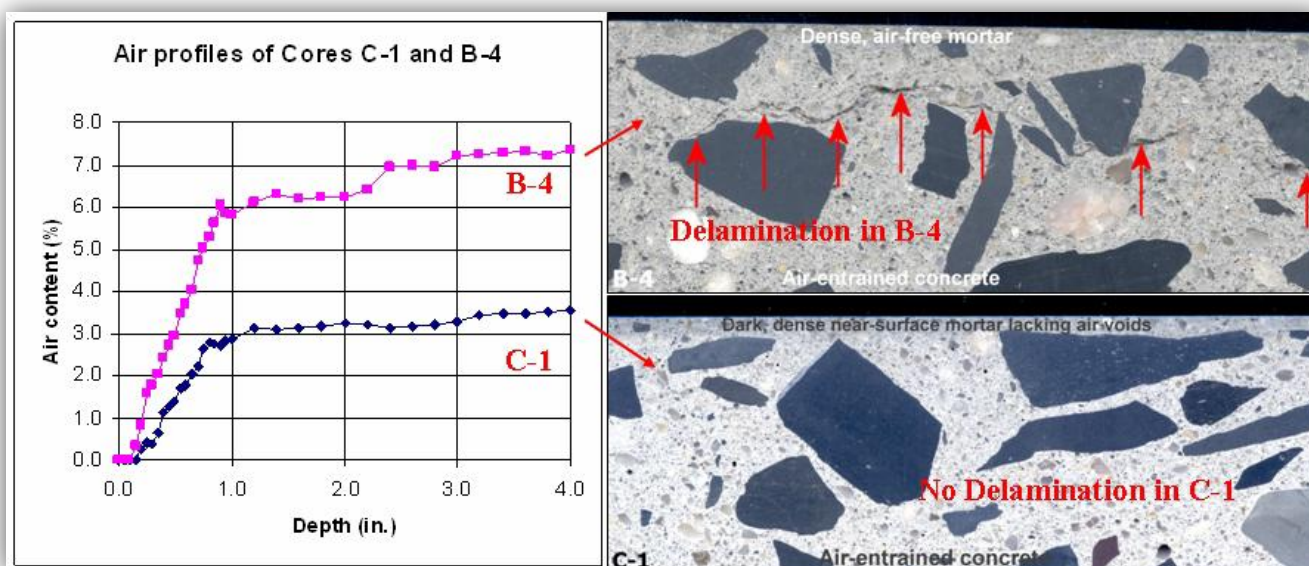


Fig. 67 - Gráfico comparativo de percentual de ar contido em função da profundidade e resultado de delaminação (Fonte: JANA, 2007)

Sobre a questão do efeito do ar incorporado em pisos que recebem polimento, Lankard (2004) apresenta um trabalho bastante completo, analisando várias seções de piso que apresentaram o problema de delaminação e classificando 04 camadas que elucidam o entendimento do fenômeno. De forma esquemática, tem-se a seguinte configuração:

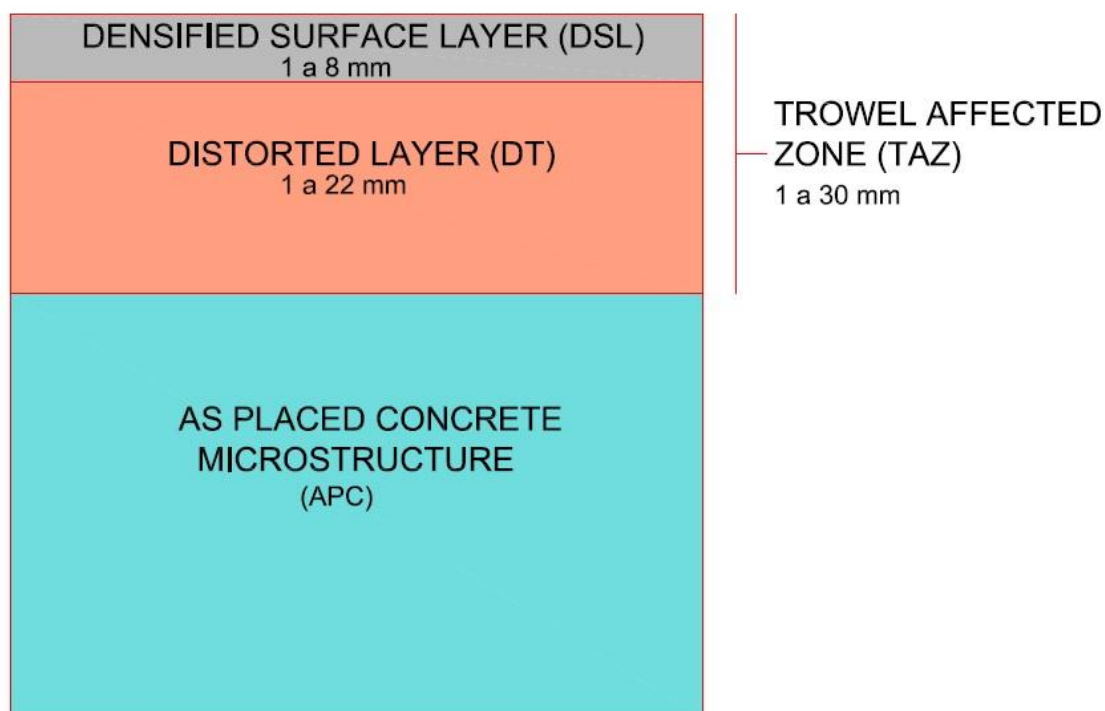


Fig. 68 – Distribuição de camadas afetadas em polimento de pisos com ar incorporado. (Fonte: Adaptado de LANKARD, 2004)

- Densified Surface Layer (DSL):** Essa é a primeira camada observada e caracteriza-se por ser compactada e adensada pela energia empregada - calor pelo atrito e pressão - pelas acabadoras de superfície e é identificável por sua coloração escura decorrente da baixa relação a/c causada pela expulsão da água para as regiões inferiores. Além da expulsão de água, há uma eliminação praticamente total do ar incorporado dessa região. De maneira geral, para pisos sem ar incorporado, o limite dessa camada com a camada chamada de *as-placed concrete* (APC) é o local no qual se espera a observação de delaminações. Isso ocorre fatalmente quando a DSL é formada antes do final da exsudação. Essa camada é formada basicamente de argamassa e tem uma permeabilidade muito inferior ao restante do piso. Sua espessura usual varia de 1 a 4mm, mas pode chegar a 8mm em determinados casos;
- Distorted Layer (DT):** Para concretos com ar incorporado em percentuais mais altos (acima de 3%), há formação de uma camada intermediária, que

sofre ainda efeitos das acabadoras de superfície, e representa uma transição principalmente na quantidade de vazios causados pelo ar incorporado em relação à camada inferior. Em comparação a APC, apresenta uma relação a/c similar e quantidade de pasta de cimento comparável. Contém particularidades microestruturais tais como vazios com formato irregular e descontinuidades na aderência pasta-agregado. Sua espessura típica é de 1 a 10mm, podendo chegar, entretanto, a 22mm e é imediatamente superior à camada APC;

- **Trowel-affected zone (TAZ):** Essa camada é nomeada apenas para representar as camadas mais superficiais que sofrem compressão e que são manipuladas e distorcidas pela ação das acabadoras. Em resumo, é a somatória das camadas DSL e DT. Sua espessura usual varia entre 2 a 14mm, mas pode chegar a 30mm.
- **As-placed concrete (APC):** Representa a camada final do piso, iniciando logo abaixo à DT (ou à TAZ) e indo até a sub-base, ou seja, o concreto que não sofre interferência em termos de relação a/c e ar incorporado em função das atividades de acabamento da superfície. Além disso, apresenta vazios de ar com formato esférico.

Lankard (2004) explica ainda que, em função da brusca transição entre o conteúdo de ar incorporado entre as camadas DT e APC, o plano de delaminação aparece tipicamente entre essas camadas. Além disso, há uma separação bastante clara entre o local de formação dos vazios para concreto com e sem ar incorporado. Para os primeiros, a formação de vazios é predominante logo abaixo da camada DSL, enquanto para os últimos essa formação pode ocorrer em vários níveis.

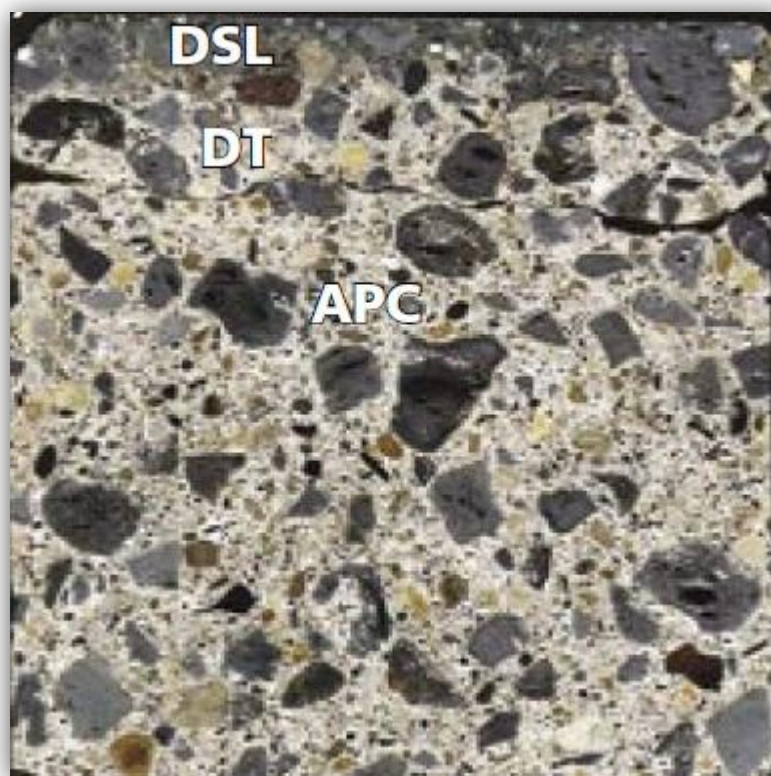


Fig. 69 – Seção com delaminação em piso utilizando concreto com ar incorporado. Camada DSL com entre 4 a 6mm de espessura. (Fonte: LANKARD, 2004)

Outro ponto importante elucidado por Lankard (2004) é que a formação de vazios por decorrência do ar incorporado acontece de forma a contribuir para falhas na aderência entre pasta-agregado. Existe formação de vazio na parte superior do agregado, deixando claro que não se trata de um vazio gerado pela água de exsudação – pois, se fosse o caso, esse vazio apareceria na parte inferior do agregado, como ocorre tipicamente também com armaduras. Ainda, o esforço gerado pela movimentação das acabadores acaba unindo esses vazios, comumente em formato lamelar, e criando assim um plano de delaminação.

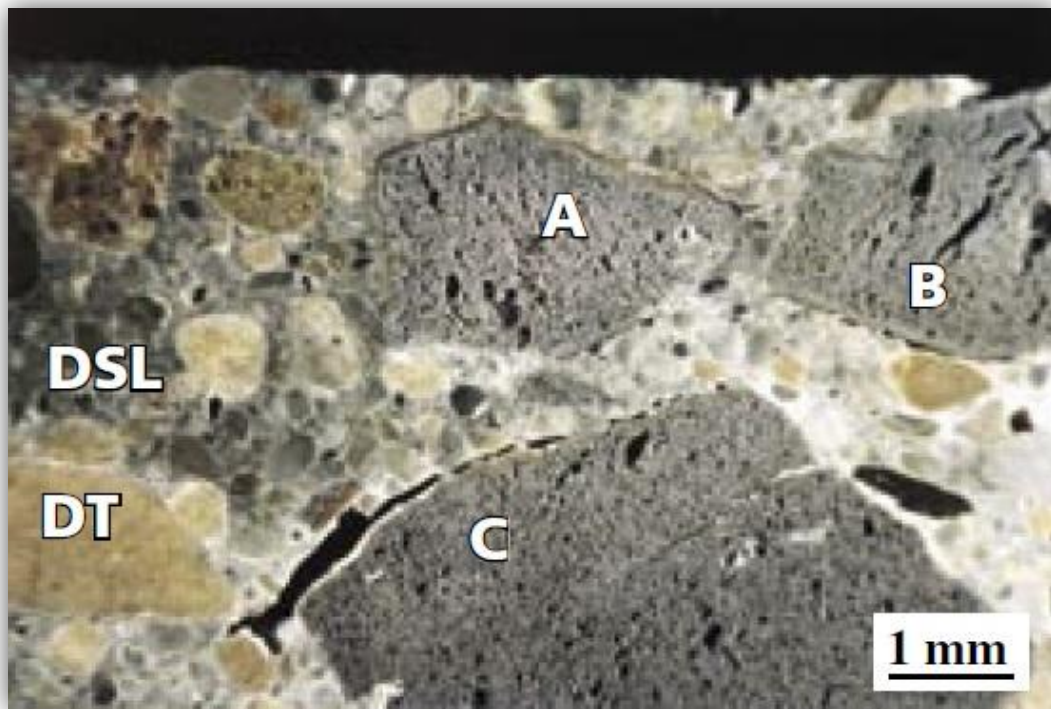


Fig. 70 – Seção de um concreto com ar incorporado (6,2

%) mostrando falhas na aderência entre pasta-agregado na DSL (A e B) e na DT (C). (Fonte: LANKARD, 2004)

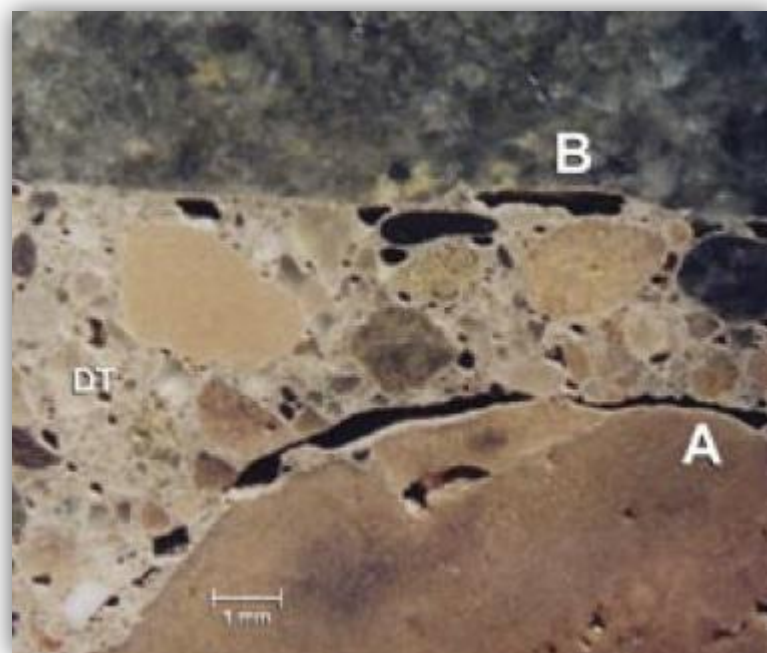


Fig.

71 – Seção

de um concreto com ar incorporado (3,8%) mostrando falhas na aderência entre pasta-agregado na DSL (B, camada com espessura total de 3mm) e na DT (A, camada com espessura total de 27mm).

(Fonte: LANKARD, 2004)

5.1.5 Condições Climáticas

Um indicador de que o concreto está aproximadamente pronto para se iniciar com as operações de acabamento é a ausência de água de exsudação e mesmo do seu brilho característico na superfície do piso. Pode-se ter a falsa sensação de que uma superfície está pronta para o acabamento quando a taxa de evaporação da água da superfície é maior do que a taxa com que a água de exsudação chega à essa superfície. Como já mencionado, isso levaria a um acabamento prematuro e conseqüentemente a uma grande probabilidade de se ocorrer a delaminação. (CCAA, 2009).



Fig. 72 - Brilho característico da água de exsudação. (Fonte: Cortesia de PCA apud SEEGBRECHT, 2013)

Essa falsa sensação é criada por fatores climáticos como vento, sol, baixa umidade relativa do ar e altas temperaturas do ambiente e faz com que surjam áreas localizadas ou generalizadas nas quais a secagem superficial dificulta o processo de acabamento. A formação característica associada a interferências climáticas é o

chamado *crusting* (ou borrachudo), que se dá pelo rápido enrijecimento no sentido topo-fundo do piso. Essa formação pode também ocasionar a fissuração por retração plástica do concreto. Pode-se associar ao aparecimento desse fenômeno o fato de se ter placas muito delgadas e também diferenciais de temperatura do concreto entre o topo e o fundo da placa, causado por lançamento do concreto diretamente sobre uma sub-base com baixa temperatura, o que prolonga o tempo de pega do fundo da placa. (JANA, 2007, CCAA, 2009)

Uma alternativa que se tem para amenizar o efeito de evaporação da água de superfície é a aplicação de um spray de água com intenção de se criar uma névoa que aumente a umidade relativa do ar na área e diminua, assim, a taxa de evaporação superficial até que se tenha cessado o processo de exsudação. É necessário atenção, no entanto, para se direcionar o spray para o ambiente, e não diretamente sobre o piso. (SEEGEBRECHT, 2013)



Fig. 73 - *Spray* para aumentar umidade relativa. (Fonte: PCA apud. SEEGEBRECHT, 2013)

5.1.6 Exsudação e Tempo de Pega

A CCAA alerta para a consistência entre a taxa de exsudação e o início de pega para diferentes cargas de concreto lançadas numa área de grandes dimensões, a fim de se evitar variações para o tempo de acabamento, podendo-se manter o sentido do acabamento igual ao sentido do lançamento do concreto.

Abel e Hover (2000), por sua vez, mostram estudos realizados comparando a resistência do concreto à impressão de marca da bota de um operador com o tempo passado a partir da produção do concreto e a partir do seu lançamento. Os resultados obtidos são condizentes com as observações de campo realizadas pelos operadores; para mesmas medidas de resistência à impressão da pegada, a variação do tempo em horas é maior quando avaliado o tempo de lançamento do que quando avaliado o tempo de produção. Isso mostra que o tempo de pega e conseqüentemente o tempo de início de acabamento por parte dos operadores deve levar em conta mais o horário de produção do concreto do que o horário do seu lançamento.

Outro ponto importante a se avaliar é para o caso de utilização de retardadores de pega. Segundo a CCAA, tais aditivos devem ser utilizados somente em casos em que há condições climáticas muito quentes ou quando se tem um tempo muito longo de trajeto, aumentando a janela entre produção e lançamento.

Já com relação aos cimentos empregados, Rodrigues (2006) informa que, embora não se possa relatar como via de regra, há experiências no Brasil em que o aparecimento de delaminações associa-se à utilização de cimentos com elevada adição de escória de alto forno, pois há aumento do tempo pega, além de aumentarem o intervalo de tempo em que a exsudação pode ocorrer, sendo portanto desfavoráveis ao acabamento.

Segundo Suprenant (1997), algumas outras características do traço de concreto também podem influenciar no aparecimento do *crusting*, em especial as relacionadas à exsudação do concreto. Chodounsky (2008) elucida que tais características são: incorporação de ar, elevado teor de finos, uso de adições minerais de elevada finura (tais como sílica ativa ou metacaulim) e consistência mais seca de concretos.

5.2 DETECÇÃO DE DELAMINAÇÕES

O processo de detecção de delaminações considera a utilização de equipamentos e instrumentos que, de forma não-destrutiva, detectam vazios internos, falhas e fissuras ou trincas no concreto. As técnicas que podem ser empregadas são (JANA, 2007):

- **Percussão metálicas:** Batidas com objeto metálico, como um martelo por exemplo, produzem som vazio (oco) quando efetuadas em áreas com delaminação, enquanto para áreas sadias o som é de sino;
- **Arrastamento de corrente:** Similar à ideia da percussão metálica, o arrastamento de corrente pode facilitar o processo, pois quando da passagem dos elos da corrente sobre superfícies danificadas, o mesmo som vazio é produzido, tendo como vantagem a velocidade de cobertura para grandes áreas;
- **Sondagem eletromecânica:** Realizado com equipamento sobre rodas que é empurrado sobre linhas paralelas pré-determinadas sobre o piso. Duas das rodas são energizadas eletricamente e realizam percussão (batidas) sobre o piso a uma taxa de 33 batidas / segundo que são captadas por dois sensores. As áreas delaminadas são notadas até a profundidade de 65mm, e os resultados são plotados em cartões específicos;
- **Termografia infravermelha:** É baseada na leitura de uma descontinuidade térmica provocada pela delaminação ou vazios, detectável pela superfície do piso;
- **Impacto – eco:** É baseado da relação entre o tempo de viagem de uma onda por uma seção conhecida de concreto e a velocidade da onda. Um pequeno objeto metálico emite energia mecânica que gera uma onda que viaja pelo concreto, reflete em superfícies delaminadas e retorna até um transdutor próximo ao ponto de impacto que converte as leituras em gráficos;
- **Radar de penetração:** É baseado na emissão de energia eletromagnética na forma de pulsos de frequência de rádio no concreto que, quando encontram ponto de delaminação, o qual apresenta condutividade diferente, retorna essa energia que é recebida e interpretada por uma antena radar.

5.3 DIAGNÓSTICO DE DELAMINAÇÕES

Para poder se entender as causas que originaram a delaminação de um piso avaliado, é necessário se munir da maior quantidade de informações disponíveis com relação ao projeto, materiais empregados, condições de produção e aplicação do concreto, condições climáticas durante o processo de acabamento e principalmente coletar informações com os executores.

Contudo, pode não ser possível apenas com essas informações se chegar a um diagnóstico preciso e condizente com a realidade apresentada. Para tanto, o ACI recomenda que seja realizado um ensaio conhecido como Exame Petrográfico, normatizado pela ASTM C 856, o qual pode fornecer informações detalhadas do concreto endurecido, como propriedades físicas, texturas, mineralogia e propriedades de composição do concreto na superfície, na região próxima à superfície, no plano de delaminação e no corpo do concreto.

Dentre as diversas propriedades que podem ser analisadas com esse tipo de ensaio, são aqui destacadas as principais que podem auxiliar no diagnóstico da patologia (JANA, 2007):

- Cor, textura, dureza, densidade, fator a/c, ar incorporado, pasta de cimento, tipo de vazios, grau de hidratação do cimento na região próxima à superfície até uma profundidade de 25mm (acima do plano de delaminação) e variações dessas leituras dentre várias profundidades;
- Perfil de ar incorporado e fator a/c para todas as profundidades;
- Profundidade, espessura e extensão da delaminação: se ela ocorre num plano único, ou como várias separadas, descontínuas mas ligeiramente paralelas à superfície;
- Presença de delaminações incipientes;
- Evidências de exsudação excessiva (aumento progressivo de a/c em direção ao topo de placa, exceto pela superfície densificada) e evidência de água aprisionada sobre a superfície acabada;
- Evidência que afete a taxa de exsudação: evaporação rápida da água superficial ou endurecimento prematuro da superfície;

5.4 REPAROS DE DELAMINAÇÕES

Os reparos de piso que apresentam pontos de delaminação são relativamente simples do ponto de vista funcional. No entanto, encontram-se dificuldades para se amenizar a diferença de coloração normalmente apresentada em função dos tipos de materiais empregados e técnicas de aplicação.

Antes de se iniciar o reparo, é necessário avaliar se toda a área afetada e também sua espessura foi devidamente preparada. Para tanto, deve-se utilizar um dos métodos de detecção de delaminação nessa região avaliada, a fim de se manter apenas concreto sã para ancoragem do reparo, removendo todas as partes ainda não íntegras.

Os materiais mais comuns para esse tipo de reparo são de base epóxi ou cimentícias estabilizados com resina. Um ponto importante a ser observado é o tempo disponível para liberação da área que está sendo recuperada, pois normalmente já há circulação em áreas de produção ou armazenagem de pisos destinados a fins industriais. Os de base epóxi tem seu endurecimento e consequente liberação para tráfego em apenas 12 horas, enquanto que os cimentícios podem levar até 72 horas para obter resistência que permita movimentação sobre ele. (Revista Técnica, ed. 154, jan. 2010).

Outro ponto importante a se observar quanto ao material empregado é a espessura mínima necessária para cada um deles. Materiais de base epóxi podem ser aplicados em espessuras de 3 a 6mm, enquanto que materiais de base cimentícia necessitam de espessuras mais elevadas, com no mínimo 8mm. O preparo da região de delaminação consiste no corte do piso de forma que acompanhe o máximo possível uma forma geométrica regular e que seja respeitada a espessura mínima recomendada pelo fabricante do produto. Para isso, deve-se realizar desbaste superficial, se necessário, em áreas com espessuras menores. Deve-se então remover todo o material solto da região e proceder com instalação de um primer (caso também seja especificado) antes da aplicação do produto final. Dependendo da característica do produto, é possível realizar um lixamento superficial após sua cura, para melhor acabamento. (Revista Técnica, ed. 154, jan. 2010).



Fig. 74 - Pequenos e grande reparos de delaminação (Fonte: Própria)

6 ESTUDO DE CASO DE DELAMINAÇÃO EM PISO INDUSTRIAL DE CONCRETO

A título de elucidação e aproximação do estudo aqui realizado com a realidade de execução de pisos industriais, será apresentado um caso de delaminação ocorrido na cidade de Curitiba / PR em outubro de 2012. Sobre o caso serão apresentados os dados obtidos com relação à característica do piso e às observações feitas quanto às possíveis causas que agiram para o aparecimento da patologia.

6.1 CARACTERÍSTICAS DO PISO

O piso estudado faz parte de um área total de execução de aproximadamente 5,6mil m², toda trabalhada com um mesmo traço, com a mesma equipe e mesmas especificações de projeto. Em resumo, tem-se as seguintes características:

SISTEMA	CARACTERÍSTICA
Fundação	Fundação direta com reforço de Subleito, sub-base composta por camada granular e camada de BGTC
Barreira de vapor	Filme de polietileno (lona preta) de 200 μm .
Classificação estrutural do piso	Piso estruturalmente armado - tela dupla
Espessura do piso	150mm
Tipo de acabamento de projeto	Acabamento polido (vítreo)
Planicidade e nivelamento de projeto	FF 40/30 e FL 20/15
Área média de lançamento (por etapa)	930m ²
Equipamento de lançamento	Bomba lança
Resistência do concreto	f_{ck} 35,0 MPa, $f_{ctm,k}$ 4,5 MPa.
Abatimento (slump)	100+-20 mm
Fator a/c	0,48
Cimento	CP V ARI RS
Aditivo	Plastificante Polifuncional a 0,45%
Agregados miúdos	Areia fina e areia industrial
Agregados graúdos	Brita 1
Fibra	Fibra de polipropileno (600g/m ³)
Equipamento de adensamento e nivelamento	Régua vibratória treliçada, vibradores de imersão
Equipamento de acabamento	Float (discão) e acabadoras duplas

Tab. 12 – Detalhes de projeto e de traço de concreto utilizados (Fonte: Própria)

6.2 MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA

Para análise da patologia observada, faz-se necessário informar que os dados coletados serão apresentadas de forma objetiva e imparcial, a fim de se

manter a abrangência na pesquisa entre as causas possíveis que resultaram no aparecimento da patologia.

O que se observou em um dos panos de execução do piso em questão foram duas grandes áreas de delaminação que se manifestaram preliminarmente com aproximadamente 24h passadas após o término do acabamento. Inicialmente surgiram algumas fissuras e deslocamentos localizados, mas que logo foram identificados através do processo de percussão metálica como inseridos em duas áreas com dimensões maiores, pois esses pontos se mostraram unidos por fissurações.

A grande área observada se manteve razoavelmente estável por cerca de mais duas semanas, suportando com alguma segurança o tráfego de equipamentos utilizados para conclusão da obra, como por exemplo plataformas de trabalho aéreo. Enquanto isso, apenas uma área pouco maior que uma mão aberta foi removida. Passadas essas duas semanas, iniciou-se o processo de remoção da camada em toda a área afetada para realização do seu tratamento.



Fig. 75 – Primeira fissuras no piso já acabado (Fonte: Própria)



Fig. 76 – Interseção entre fissuras (Fonte: Própria)



Fig. 77 – Primeiro aparecimento de área com fragmentos (Fonte: Própria)

6.3 ANÁLISE DO PROCESSO EXECUTIVO

Dentro as possíveis causas do aparecimento de delaminações, algumas delas estão ligadas ao processo executivo. No caso relatado, há de se fazer considerações com relação à execução:

- A contratação do executor aconteceu mediante comprovação de capacidade técnica através de visitação a obras em andamento e a obras já entregues, além de se pesquisar referências de outros contratantes que já haviam trabalhado com essa mesma empresa;
- Os operários que compuseram a equipe responsável pela execução da obra foram os mesmos do início ao fim da obra (tanto os de lançamento, quanto os de acabamento);
- Os equipamentos utilizados foram os mesmos para todas as etapas, consistindo basicamente em régua treliçada vibratória, discão e acabadoras auto propelidas duplas;
- O aparecimento da patologia se deu apenas na placa de número 05 num total de 06 placas executadas;
- O traço utilizado já havia sido utilizado em outros 12mil m² numa etapa anterior desse mesmo site, no ano de 2011, sem apresentar manifestações significativas quanto à delaminações. Ainda, desconsiderando o fator tempo, esse traço continuou sendo utilizado em mais 6mil m² numa etapa subsequente à avaliada, no ano de 2013, também sem apresentar manifestações;
- A rastreabilidade do concreto utilizada pela obra demonstra claramente a manifestação acontecendo em dois pontos distintos, mas identificáveis como totalmente contidos no conteúdo das cargas 11/24 e 12/24, sem ramificação para outras cargas lançadas nas suas adjacências;
- O local de execução do piso já estava com cobertura e fechamento lateral em telhas 100% concluído;
- A maior área de delaminação corresponde a aproximadamente 15m² (3 x 5m) e a menor a aproximadamente 10m² (2,5 x 4m).

6.3.1 Acabamento

Conforme já mencionado, o processo de acabamento deve ser iniciado considerando algumas respostas que o próprio concreto dá aos operadores. A primeira delas é com relação à exsudação: durante essa ascensão de água para a superfície do piso, ou mesmo antes da sua evaporação por completo, não se deve iniciar o acabamento. Outro fator já citado é o de se avaliar, após haver-se cessado o processo de exsudação, a pegada deixada pelo operador sobre a superfície do concreto: em torno de 6mm para entrada do discão manual.

O que se resume da literatura pesquisada é que o início prematuro do acabamento ou mesmo a sua execução de forma prolongada são fatores que podem desencadear manifestações de delaminações.

Para o caso observado, a entrada prematura dos equipamentos de acabamento aconteceria se, para a carga específica considerada, houvesse atraso na finalização da exsudação ou no tempo de início de pega. Segundo a informação de que duas cargas específicas e bem delimitadas apresentaram problemas, supõe-se que se realmente houve esse atraso em exsudação ou pega, pode-se ter havido quebra na sequência de acabamento – sendo esta diferente então da sequência de lançamento – e provocado um eventual equívoco por parte do operador em iniciar o acabamento. Nesse cenário, ter-se-ia um acabamento prematuro. Considerando-se essa hipótese, o selamento da superfície de forma prematura aprisionaria água sob um camada superficial adensada e conseqüente aparecimento do deslocamentos.

Outra hipótese que pode ser levantada, mas também preliminarmente descartada, é a possibilidade de deslocamentos relacionado a pisos com adições, pois não é o caso para essa execução.

6.3.2 Ar Incorporado

A presença ou não de ar incorporado em percentuais acima dos 3% citados como limite para prevenção dessa patologia não foram avaliados nem antes nem depois da execução do piso. Há informação de que não se especificou durante a contratação do fornecedor de concreto que essa seria uma restrição para o fornecimento. No entanto, entende-se que as concreteiras de grande porte estão

preparadas para atender às demandas de mercado quanto à qualidade do fornecimento, considerando as necessidades específicas dos clientes e a evolução do mercado de pisos industriais.

De qualquer forma, não há evidência de que se possa ter excedido esse percentual citado para as cargas que foram lançadas nas áreas que apresentaram problema.

6.3.3 Condições Climáticas

A execução das 06 etapas aconteceu num período de 02 semanas, durante as quais as condições climáticas se mantiveram muito semelhantes. Não foram registradas alterações significativas de temperatura e condições de vento. Ainda, reforça-se a situação de total fechamento do prédio no qual os pisos estavam sendo executados, tanto de cobertura quanto lateralmente.

Outro ponto que corrobora para o pensamento de não influência das condições climáticas é o de que o aparecimento da patologia aconteceu de forma bem localizada e não próxima a aberturas de portas ou portões, que pudesse associar a incidência direta de sol ou passagem de uma corrente de vento pelo local.

6.3.4 Exsudação e Tempo de Pega

Para esses dois fenômenos presentes na execução de estruturas de concreto e em especial em pisos industriais, existem inúmeras variáveis com relação à dosagem que podem influenciar na variação da duração desses dois acontecimentos.

Deve-se considerar que erros de dosagem que pudessem aumentar o percentual de ar incorporado ou promover a inclusão em excesso (fora do programado na carta-traço) de materiais de elevada finura, como pozolanas ou mesmo excesso de finos na areia, poderiam reduzir a exsudação. Além disso, a inclusão de aditivos modificadores de pega também colaboraria com variações do tempo de pega entre as cargas. Com isso, a sequência de acabamento estaria prejudicada, pois essas áreas chamariam pelo acabamento mais cedo, por exemplo.

6.4 AVALIAÇÃO DO LOCAL

Para casos como o descrito acima, é de fundamental importância que se tenha também um acompanhamento visual da área afetada, para melhor entendimento da forma como a manifestação apareceu e visualização de detalhes que possam elucidar a pesquisa aos agentes causadores.

Em função da necessidade de liberação da área para início de suas atividades com estocagem, foi-se iniciado o processo de remoção do material não aderido. Para esse procedimento foram usadas inicialmente ferramentas manuais como martelos e talhadeiras e, posteriormente, serras com disco diamantado para delimitação de forma mais regular da área afetada.

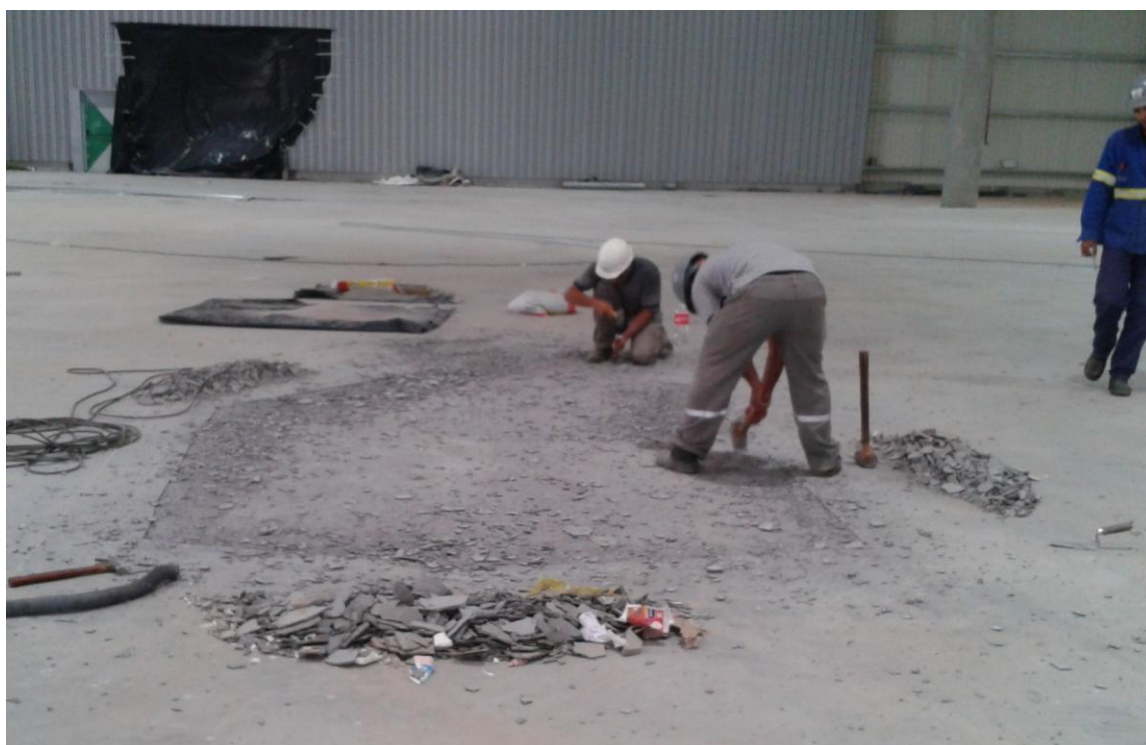


Fig. 78 – Vista geral de uma das áreas afetadas (Fonte: Própria)



Fig. 79 – Detalhe da retirada do material não aderido com ferramentas manuais (Fonte: Própria)

Além da visão geral da área afetada, há de se considerar os detalhes específicos sobre espessura das camadas de delaminação e da forma como houve falha na aderência entre as camadas e, especialmente, entre os agregados.



Fig. 80 – Amostra de fragmento delaminado (Fonte: Própria)

Pode-se evidenciar pelas amostras dos fragmentos delaminados que há separação de duas camadas claramente distintas: uma bastante superficial, apenas na argamassa de acabamento, e outra já mais abaixo, deixando à mostra os agregados graúdos. A menor porção apresenta espessura média de 3mm, enquanto a maior chegou até a 16mm, como pode ser visto nas figuras a seguir.



Fig. 81 – Detalhe da porção mais superficial delaminada (Fonte: Própria)



Fig. 82 – Detalhe da porção mais profunda delaminada (Fonte: Própria)

Além da avaliação das espessuras dos planos de separação do concreto, a forma como houve essa separação é igualmente importante para auxílio ao entendimento da manifestação.

Pode-se observar pelas figuras que seguem que na primeira camada destacada houve separação apenas na argamassa superficial, sugerindo que as etapas de acabamento podem ter influenciado no seu aparecimento, seja por simples equívoco do operador na sequência de acabamento ou pelo próprio concreto ter demonstrado que aceitaria esse processo numa idade mais precoce – resultado esse de uma variação brusca no tempo de exsudação.



Fig. 83 – Detalhe da separação entre a camada mais superficial e a mais profunda apenas na argamassa (Fonte: Própria)

Por outro lado, para a camada mais profunda, pode-se notar que houve separação inclusive do agregado graúdo. Nesse caso, alguns agregados destacaram-se do piso base através da sua face inferior e destacaram-se juntamente com a camada citada, e em outros casos houve falha na aderência pasta-agregado pela face superior do mesmo. Isto, segundo Lankard (2004), evidenciaria um concreto que recebe acabamento polido que apresenta um valor considerável de ar incorporado (acima de 3%).

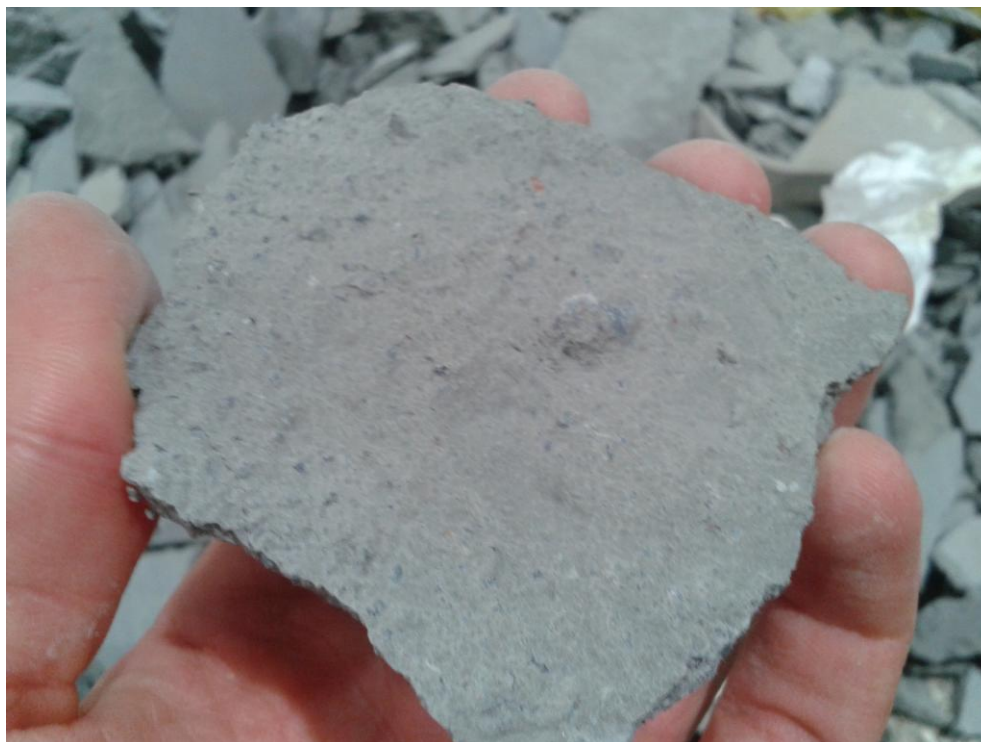


Fig. 84 – Detalhe de separação da camada mais profunda com agregado graúdo aderido à parte deslocada (Fonte: Própria)



Fig. 85 – Detalhe de separação da camada mais profunda com agregado graúdo aderido ao piso base (Fonte: Própria)

Ainda baseando-se no trabalho de Lankard (2004), poderia associar as camadas aqui visualizadas com as camadas classificadas como *Densified Surface Layer* (DSL) para a camada superficial e como *Distorted Layer* (DT) para a camada mais profunda.

Visto que se pode associar o aparecimento da manifestação tanto para problemas de ordem executiva quanto para problemas na dosagem e fornecimento do concreto, ou ainda para a combinação de ambos, torna-se bastante difícil se chegar a um resultado conclusivo sobre o(s) agente(s) causadores dessa manifestação.

Uma outra avaliação mais criteriosa poderia ser feita a partir da retirada de alguns exemplares do piso para a visualização aproximada da estrutura do concreto, o que poderia trazer luz ao entendimento da questão. Nesse caso seriam procuradas evidências de vazios (avaliando quantidade, posição e formato). Contudo, tendo-se possibilidade de uma avaliação consideravelmente mais técnica, poder-se-ia realizar um ensaio petrográfico. Dessa forma seriam obtidos resultados mais apurados para auxiliar no fechamento da hipótese de aparecimento da manifestação aqui estudada.

Não se pode, portanto, com as informações até então apresentadas, concluir de forma satisfatória sobre o real agente causador para emissão de um parecer conclusivo. Pode-se, no entanto, indicar a linha de pesquisa para a qual a probabilidade de sucesso para se delimitar o agente causador seria maior:

- Busca por informações, imagens, vídeos, documentos ou outros registros que possam elucidar sobre o procedimento de execução adotado, considerando se houve ou não alteração na sequência de acabamento em relação à sequência de lançamento (ou, mais precisamente, à sequência de produção das cargas); e
- Busca por erros no carregamento das cargas mencionadas, em especial por dosagem de aditivo (modificador de pega ou incorporador de ar) ou nos materiais com elevada finura (pozolanas ou areia de lotes diferenciados, com alto teor de finos – em especial na areia industrial).

7 CONCLUSÃO

O aparecimento de delaminações em pisos industriais de concreto, mesmo após muito avanço nessa área específica da engenharia, continua sendo uma manifestação bastante recorrente, indesejada e difícil de ser mitigada. Isso se deve ao grande número de variáveis envolvidas e, principalmente, ao envolvimento íntimo entre material, execução e condições climáticas durante a aplicação. Muitos fatores, principalmente os relacionados à execução e à condições climáticas, são de difícil controle; os primeiros por se ter que necessariamente passar por um processo de renovação de operários para que novos conceitos e tecnologias sejam aplicados, e os segundos por se tratar de uma condição que foge à vontade do executor, que muitas vezes se vê sem alternativas para uma determinada concretagem.

Para obras em que o resultado final de um piso industrial seja fator determinante para a contratação ou não de um executor, haverá certamente uma preocupação em se cercar dos melhores materiais e executores e em se tentar propiciar as melhores condições possíveis para se sofrer o mínimo possível com adversidades climáticas.

A contratação de profissionais especializados e experientes na área de pisos é fundamental para o sucesso da execução. Todas as etapas devem ser avaliadas com rigor a fim de se obter um produto economicamente viável e que ao mesmo tempo atenda às necessidades de utilização. É importante também a interação entre as partes envolvidas – clientes, projetistas, executores, fornecedores de concreto e demais materiais e gerenciador; sem haver clareza para as necessidades e objetivos a serem atingidos, corre-se grande risco de se gerar um produto ineficiente ou antieconômico.

Um ponto observado e que é entendido como crucial para se minimizar ou eliminar o problema de delaminações, quando este ocorre, é o fato de se atrelar o procedimento executivo a índices que são muito difíceis de serem observados e controlados em campo. A avaliação da profundidade da pegada gerada por um operador, por mais que embasada em estudos específicos, parece subjetiva demais e de difícil controle. Mesmo que haja fundamentação para uma correlação entre

ensaios de carga aplicados sobre um piso em execução e a pressão provocada por uma pegada, a variação provocada por diferenças regionais – entre países inclusive – nas características dos materiais, executores e condições climáticas abre discussão para muitas ocorrências.

Quando se evidencia o problema durante as primeiras etapas de execução de áreas que continuarão sendo concretadas, pode-se fazer um trabalho de ajuste de traço ou de procedimento para corrigir a manifestação. Quando esta ocorre, no entanto, em etapas finais de uma obra, ou mesmo algum tempo depois de sua entrega, o impasse entre fornecedor de concreto e o executor estará certamente formado.

Para se avaliar as responsabilidades, encontra-se então a dificuldade em se diagnosticar o ocorrido apenas por ensaios expeditos ou relatos dos acontecimentos. Encontra-se, então, a dificuldade em termos de custo e disponibilidade de ensaios específicos que venham a elucidar as causas da manifestação. Diante disso, usualmente se procede com a execução das correções necessárias do piso - a fim de se liberar a área para utilização -, o que representa normalmente um menor gasto de recursos – dinheiro e tempo – do que se partir para as minúcias de causas.

Conclui-se, portanto, que o conhecimento acerca do tema – conhecimento de causas prováveis - e a delimitação prévia das responsabilidades dos envolvidos são o melhor caminho para se evitar o aparecimento da manifestação, da marca comprobatória de uma anomalia e, principalmente, o custo de reparo.

Como sugestões para trabalhos futuros, cita-se:

- Estudo qualitativo e quantitativo da ocorrência de delaminações em áreas específicas, objetivando-se correlações entre materiais empregados, metodologia de execução e condições climáticas; e
- Proposta de criação de metodologia para avaliação do tempo de entrada dos equipamentos de acabamento de superfície associando o conceito de maturidade do concreto.

REFERÊNCIAS

ABEL, Jon D.; HOVER, Ken C.. Field study of the setting behavior of fresh concrete. **Cement, Concrete and Aggregates**, v. 22, n. 2, dez. 2000, 95-102. Disponível em: <http://www.lmcc.com/concrete_news/0810/blessing_the_slab.asp>. Acesso em: 19 dez 2013.

ALPHAPISO. Site Eletrônico. Disponível em <<http://alphapiso.com.br/equipamentos>>. Acesso em 30 jan. de 2014,

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 302.1R-04**: guide for concrete floor and slab construction. Michigan, 2004.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 308R-01**: guide to curing concrete. Michigan, 2001.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **C856-95**: standard practice for petrographic examination of hardened concrete. West Conshohocken (Pensilvânia), 1995.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **E 1155-96**: standard test method for determining of floor flatness and fl floor levelness numbers. West Conshohocken (Pensilvânia), 2008.

ARCELOR MITTAL. **Telas soldadas nervuradas**. São Paulo, mar 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: concreto de cimento Portland – preparo, controle e recebimento. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR 12655**: concreto de cimento Portland – preparo, controle e recebimento. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR 14037**: manual de operação, uso e manutenção das edificações – conteúdo e recomendações para elaboração e apresentação. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR 14931**: execução de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 15575**: edificações habitacionais - desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 5738**: concreto – procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2003.

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

_____. **NBR 6023**: informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2002.

_____. **NBR 6118**: projetos de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 7211**: agregados para concreto. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PISOS E REVESTIMENTO DE ALTO DESEMPENHO. **CR 001/2011**: recomendações para a execução de piso de concreto que receberá um revestimento de alto desempenho (RAD). São Paulo, 2011. Disponível em: <http://site.anapre.org.br/pdfs/CR001_RECOMENDACAO>

PARAAEXECUCAO_DE_PISO_DE_CONCRETO_QUE_RECEBER_UM_RAD.pdf>.

Acesso em: 19 dez 2013.

_____. **Coletânea de artigos técnicos ANAPRE**. São Paulo: ANAPRE, 2010.

BALBO, José T. **Pavimentos asfálticos – patologias e manutenção**. São Paulo: Plêiade, 1997.

_____. **Pavimentos de concreto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

_____. **Pavimentos viários e pisos industriais**. In: ISAIA, Geraldo C. (Ed.). **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005

_____. **Pesquisa dos efeitos do clima sobre pavimentos de concreto: instrumentação da pista experimental da USP**. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 14., 2000, Gramado. **Anais...** Rio de Janeiro: ANPET, 2000.

BINA, Paulo. Pisos industriais e pavimentos com fibras: o desenvolvimento e o futuro. **Revista Concreto & Construções**, São Paulo, ano 37, n. 56, 2009, 24-30. Disponível em: <http://www.ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/Revista_Concreto_56.pdf>. Acesso em: 18 dez 2013.

BINA, Paulo; CASTRO, Paulo R. F. de; TEIXEIRA, Antônio de O. F.. **Estado da arte dos pisos industriais e pavimentos: do sistema de damas ao protendido**. In: CONGRESSO DO INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO, 44., 2002, Belo Horizonte.

BOLETIM TÉCNICO 30: novos conceitos na produção de concretos de alto desempenho para pisos industriais. São Paulo: ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PISOS E REVESTIMENTOS DE ALTO DESEMPENHO, 2013.

BOLETIM TÉCNICO 4: especificação e medição de F-Numbers. São Paulo: ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PISOS E REVESTIMENTOS DE ALTO DESEMPENHO, 2007.

BOLETIM TÉCNICO 6: concreto borrachudo. São Paulo: ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PISOS E REVESTIMENTOS DE ALTO DESEMPENHO, 2008.

CEMENT CONCRETE & AGGREGATES AUSTRALIA. **Delamination of concrete industrial floors**. Sydney, 2009.

CERVO, Tatiana C.; ISAIA, Geraldo C.; OLIVEIRA, Marcelo D.. **Estudo comparativo entre resistência à tração na flexão e resistência à compressão axial empregando diferentes métodos de cura em concreto para pavimentos**. In: CONGRESSO DO INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO, 50., , Salvador, 2008.

CHODOUNSKY, Marcel A.; VIECILI, Fábio A.. **Pisos industriais de concreto: aspectos teóricos e executivos**. São Paulo: Ed. Reggenza, 2007.

CHODOUNSKY, Marcel Aranha. **Patologias em pisos industriais**. ANAPRE Rio de Janeiro, dez. 2010.

CIMENTO ITAMBÉ. Sítio eletrônico. Disponível em: <www.cimentoitambe.com.br>. Acesso em: 13 jan 2014.

CRISTELLI, Rafael. **Pavimentos industriais de concreto – análise do sistema construtivo**. 2010. 160 f. Monografia (Especialização em Construção Civil)

– Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DO PARANÁ. **ES-P 11/05**: pavimentação: solo-cimento e solo tratado com cimento. Curitiba, 2005.

_____. **ES-P 16/05**: pavimentação: brita graduada tratada com cimento. Curitiba, 2005.

_____. **ES-P 35/05**: pavimentação: pavimento rígido. Curitiba, 2005.

DEPARTAMENTO DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de pavimentos rígidos**. 2 ed. Rio de Janeiro: DNIT, 2004.

DIRETRIZES para elaboração de projeto de pisos e pavimentos de concreto estruturalmente armado. 2009. 110 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Programa de Pós-Graduação Lato Sensu em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia. Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2009.

FARIA, Hernando M.. Pisos protendidos – processo executivo. In: **Coletânea de artigos técnicos ANAPRE**, São Paulo: ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PISOS E REVESTIMENTO DE ALTO DESEMPENHO, 39-40, ago 2009.

FELIX, Daniela Bonina Clemente. **Avaliação da metodologia do USACE aplicada à análise das condições de rolamento dos pavimentos de concreto armado**. 2008. 360 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

FÓRUM DA CONSTRUÇÃO. Sítio eletrônico. Disponível em <www.forumdaconstrucao.com.br>. Acesso em: 26 jan 2014.

GASPARETTO, Wagner E.. Gestão de projetos – pisos e pavimentos de concreto. **Revista Pisos Industriais**, ano 5, n. 8, 2007.

GASPARETTO, Wagner E.. Pisos e pavimentos de concreto com uso de espaçadores. **Revista Técnica**, São Paulo, jan 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE TELAS SOLDADAS. **Estudo do comportamento de estruturas de concreto armadas com telas soldadas: ensaios sobre emendas**. São Paulo, 2011.

_____. **Projetos e critérios executivos de pavimentos industriais de concreto armado**. 2 ed. São Paulo, 2006.

JANA, Dipayan. **Delamination – a state-of-the-art review**. In: CONFERENCE ON CEMENT MICR, 29., Quebec, PQ , 2007.

L&M CONSTRUCTION CREMICALS INC.. **Concrete setting: initial set, final set**. Cidade, 2008. Disponível em: <www.lmcc.com/concrete_news/0810/blessing_the_slab.asp>. Acesso em: 14 dez. 2013.

LANKARD, David R.. Air Entrainment and Delaminations: how air entrainment contributes to distress of concrete slabs subjected to a hard-trowel finish. In: **Concrete International**, Farmington Hills (Michigan), 21-30, nov. 2004.

MANTOVANI, Lucas. **Pisos de concreto: avaliação dos processos executivos na cidade de Porto Alegre e região metropolitana**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

MARQUES FILHO, José. **Maciços experimentais de laboratório de concreto compactado com rolo aplicado às barragens**. 2005. 278 f. Tese (Doutorado em Construção Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

NATIONAL READY MIXED CONCRETE ASSOCIATION. **Technical information concrete in practice nº. 20 (CIP 20): what, why & how? delamination of troweled concrete surfaces**. 1992.

OLIVEIRA, Patrícia Lizzi de. **Projeto estrutural de pavimentos rodoviários e de pisos industriais de concreto**. 2000. 246 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

OLIVEIRA, Paulo S. F. de.; TULA, Leonel. Tratamento anti-pó para pisos de concreto com endurecedores de superfície químicos a base de flúor-silicatos metálicos. **Revista Pisos Industriais**, São Paulo, 5 ed., 2006.

PETRONILHO, Edson; SIGOLO, Caio. **Pavimentos em concreto. Princípios fundamentais para projetar e executar pisos em concreto**. São Paulo, 2011.

PFEIL, Walter. **Concreto protendido**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1984.

PINTO, Carlos de S. **Curso básico de mecânica dos solos**. 3 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

PISO novo: como ocorrem e como evitar patologias em pisos de concreto? **Revista Técnica**, São Paulo, ed. 114, set. 2006.

PITTA, Márcio R. **Projeto de sub-bases para pavimentos de concretos**. 5 ed. São Paulo: ABCP, 1990.

PITTA, Márcio R.. **Dimensionamento de pavimentos rodoviários e urbanos de concreto pelo método da PCA/84**. 2 ed. São Paulo: ABCP, 1996.

RECUPERAÇÃO no chão. **Revista Técnica**, São Paulo, ed. 154, jan. 2010. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/154/artigo286669-1.aspx>>. Acesso em: 19 dez 2013.

RECUPERAÇÃO no chão: Técnicas e produtos para restaurar pavimentos variam de acordo com o tipo de patologia. **Revista Técnica**, São Paulo, ed. 154, jan. 2010.

REIS, Jefferson B. dos. Posicionamento de armaduras em pisos e pavimentos de concreto. In: **Coletânea de artigos técnicos ANAPRE**, São Paulo: ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PISOS E REVESTIMENTO DE ALTO DESEMPENHO, 25-26, abr 2009.

RODRIGUES, Públio P. F.. Pisos industriais: conceitos e execução. **Revista Concreto & Construções**, São Paulo, 45, 2007, 24-31.

RODRIGUES, Públio P. F.; CASSARO, Caio F.. **Pisos Industriais de Concreto Armado**. São Paulo: IBTS, 1998.

RODRIGUES, Públio P. F.; GASPARETTO, Wagner E.. **Juntas em pisos industriais**. São Paulo, 1999.

RODRIGUES, Públio P. F.; GASPARETTO, Wagner E.; BOTACINI, Silvia M.. **Manual Gerdau de pisos industriais**. São Paulo: Editora PINI, 2006.

RODRIGUES, Públio P. F.; HOVAGHIMIAN, Levon H.. O sistema pavimento industrial. In: **Coletânea de artigos técnicos ANAPRE**, São Paulo: ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PISOS E REVESTIMENTO DE ALTO DESEMPENHO, 9-10, mai 2008.

RODRIGUES, Públio P. F.; MONTARDO, Julio P.. **A influência da adição de fibras de polipropileno nas propriedades dos concretos para pisos e pavimentos**. In: CONGRESSO DO INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO, 44., 2002, Belo Horizonte.

RODRIGUES, Públio P. F.; PITTA, Márcio R.. **Dimensionamento de pavimentos de concreto estruturalmente armados**. São Paulo: Instituto Brasileiro de Telas Soldadas, 1999.

SEEGEBRECHT, George W. **Delaminations in Concrete Slabs. What causes them and how to avoid them**. Disponível em: <<http://www.concretenetwork.com/concrete-delamination.html>>. Acesso em: 15 jan 2014.

SENEFONTE, Kleber B.; BARROS, Mércia M. S. B. Diretrizes de execução e controle da produção de pisos industriais de concreto protendido. **Revista Pisos Industriais**, São Paulo, 9 ed, 2007.

SUPRENANT, Bruce A.; MALISCH, Ward R.. **Beware of troweling air-entrained concrete floors**. Boston: The Aberdeen Group, 1999.

SUPRENANT, Bruce A.; MALISCH, Ward R.. **Diagnosing slab delaminations**. Boston: The Aberdeen Group, 1998.

SUPRENANT, Bruce A.; **Vapor barriers under concrete slabs: Shloud concrete be placed directly on the vapor barrier?**. Boston: The Aberdeen Group, 1992.