UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA
Departamento de Engenharia de Construção Civil

MAURÍCIO BERNARDES

TECNOLOGIA CONSTRUTIVA DE PISO ELEVADO PARA ÁREAS EXTERNAS DE EDIFÍCIOS

São Paulo
2009

MAURÍCIO BERNARDES

TECNOLOGIA CONSTRUTIVA DE PISO ELEVADO PARA ÁREAS EXTERNAS DE EDIFÍCIOS

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil

São Paulo
2009

MAURÍCIO BERNARDES

TECNOLOGIA CONSTRUTIVA DE PISO ELEVADO PARA ÁREAS EXTERNAS DE EDIFÍCIOS

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil

Área de concentração:
Engenharia de Construção Civil e Urbana

Orientador:
Profa. Dra. Mércia Maria S. B. de Barros

São Paulo
2009

FICHA CATALOGRÁFICA

Bernardes, Maurício
Tecnologia construtiva de piso elevado para áreas externas de edifícios / M. Bernardes. -- São Paulo, 2009.
221p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

1. Pisos 2. Tecnologia 3. Desempenho de materiais de construção 4. Revestimentos horizontais I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Construção Civil II.t.

Aos meus pais Floripe e Deolinda;
À minha esposa Marta e ao nosso filho Pedro;
Ao meu irmão Ricardo;
pela sustentação, carinho e apoio em cada momento desta longa jornada.

AGRADECIMENTOS

Especialmente à minha orientadora Professora Mércia de Barros pelo conhecimento transmitido, pelo interesse, pelo profissionalismo, pela humildade e pela dedicação exemplar com que me acompanhou no desenvolvimento deste trabalho. Orientadora no sentido mais amplo da palavra ofereceu caminhos seguros para que esta pesquisa fosse conduzida, fometando neste pesquisador, o amadurecimento necessário para chegar até aqui.

Ao Professor Fernando Henrique Sabbatini pelos ensinamentos e por semear em cada um de nós, a visão de que a construção civil precisa exercer a sua vocação de "indústria" e que como tal deve ser encarada.

Ao Professor Francisco Cardoso, pela disposição e pelo auxílio na busca e entendimento de publicações francesas, fundamentais para este trabalho.

Aos demais professores do Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica, pelos ensinamentos oferecidos e por incentivarem a busca incessante de novas fronteiras do conhecimento.

Aos meus colegas que de alguma maneira participaram deste importante projeto de minha vida.

Por fim, agradeço à empresa Tecnisa S/A, pelo incentivo e pelo apoio na realização desta pesquisa.

SUMÁRIO

Lista de figuras, VI

Lista de Tabelas, XI

Resumo, XII

Abstract, XIII

1 INTRODUÇÃO 1

1.1 Contextualização 1

1.2 Objetivos 4

1.3 Metodologia 5

1.4 Estruturação do trabalho 8

2 VEDAÇÕES HORIZONTAIS EXTERIORES DE COBERTURA 10

2.1 Caracterização 10

2.2 O desempenho das vedações horizontais exteriores de cobertura 12

2.2.1 Funções das VHEC 12
2.2.2 Exigências dos usuários para as VHEC 13
2.2.3 Condições de exposição para as VHEC 15
2.2.4 Requisitos de desempenho para as VHEC 16

2.3 Caracterização das Camadas Constituintes 19

2.3.1 Camada de revestimento inferior 22
2.3.2 Camada estrutural 23
2.3.3 Camada de impermeabilização 24
2.3.4 Camada de isolamento termo-acústico 25
2.3.5 Camada de nivelamento 27
2.3.6 Camada de revestimento (não-aderido) 27

3 PISO ELEVADO COM APLICAÇÃO EXTERNA – PELEX 31

3.1 Histórico do desenvolvimento 31

3.2 Descrição do sistema de piso elevado para áreas externas 42

3.2.1 Placas 48
3.2.2 Apoios 55
3.2.3 Juntas 64
3.2.4 Interface dos apoios com o substrato 66

3.3 Categorias de pisos elevados 69

3.4 Benefícios potenciais da aplicação de piso elevado em áreas externas 70

3.5 Requisitos de desempenho do piso elevado para áreas externas.....76
3.5.1 Estabilidade 79
3.5.2 Segurança ao fogo 80
3.5.3 Segurança de utilização 81
3.5.4 Conforto Higrotérmico 85
3.5.5 Conforto acústico 86
3.5.6 Conforto visual.....87
3.5.7 Conforto tátil.....88
3.5.8 Conforto Antropodinâmico.....89
3.5.9 Higiene 90
3.5.10 Durabilidade.....91
3.5.11 Economia 95

3.6 Critérios e ensaios de desempenho do piso elevado para áreas externas.....98
3.6.1 Parâmetros internacionais e nacionais 98
3.6.2 Ensaios de desempenho de placas de concreto para piso elevado no Brasil 111

3.7 Referenciais de desempenho sustentável relacionados à utilização do PELEX 116

4 ESTUDO DE CAMPO 120

4.1 Introdução 120

4.2 Caracterização do piso elevado para áreas externas, em aplicações nacionais.....122
4.2.1 Placas.....122
4.2.2 Apoios 130
4.2.3 Juntas.....134
4.2.4 Interface dos apoios com o substrato.....141

4.3 Benefícios potenciais da aplicação de piso elevado em áreas externas 142

4.4 Controle da qualidade nas obras visitadas.....148

4.5 Caracterização do processo de decisão pela tecnologia 153

4.6 Considerações sobre o estudo de campo.....154

5 RECOMENDAÇÕES PARA O PROCESSO DE PRODUÇÃO DE PISO ELEVADO PARA ÁREAS EXTERNAS DE EDIFÍCIOS 156

5.1 Recomendações para a etapa de projeto 156
5.1.1 Recomendações para definição de vida útil de projeto.....156
5.1.2 Recomendações para a etapa de projeto de produção.....159

5.2 Recomendações para a etapa de contratação 172
5.2.1 Placas.....173
5.2.2 Apoios 181
5.2.3 Juntas.....184

5.2.4 Interface dos apoios com o substrato 185

5.3 Recomendações para uso e operação do PELEX 185

5.3.1 Processo de limpeza 185
5.3.2 Inspeção periódica 186
5.3.3 Intervenções 188
5.3.4 Limitações de utilização 188

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS 191

6.1 Principais resultados alcançados 191

6.2 Trabalhos futuros 192

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 194

APÊNDICE A - LISTA DE PALAVRAS-CHAVE 200

APÊNDICE B – *WEB SITES* CONSULTADOS DE EMPRESAS 201

APÊNDICE C – ORGANISMOS CONSULTADOS 202

APÊNDICE D1 – ROTEIRO DE VISITA AOS EMPREENDIMENTOS COM PELEX 203

APÊNDICE D2 – ENTREVISTA COM USUÁRIO 204

APÊNDICE D3 – ENTREVISTA COM FORNECEDOR 205

APÊNDICE D4 – ENTREVISTA COM CONSTRUTOR 206

ANEXO A1 - PROJETOS DE NORMA PARA PISOS ELEVADOS (ASTM - VERSÃO ICPI) 207

ANEXO A2 - PROJETOS DE NORMA PARA PISOS ELEVADOS (ASTM - VERSÃO NCMA) 215

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1 – Vedações horizontais exteriores de cobertura (VHEC) com potencial de aplicação da tecnologia de pisos elevados (A, B e C) e piso em contato com o solo que usualmente não recebe a aplicação desta tecnologia (D). 11
Figura 2-2 – Seqüência de camadas de uma cobertura *Up Side Down* - U.S.D. em que a membrana de impermeabilização é protegida pela camada de isolamento térmico (BRE,1986). 19
Figura 2-3 – Modelo proposto para caracterização das camadas da VHEC..... 21
Figura 2-4 – Deformação da camada de isolamento térmico sob pisos pré-moldados dispostos sobre bases de apoio (Schild et al., 1978). 27
Figura 2-5 – Esquema de sistema de piso elevado, com placas de concreto apoiadas em pedestais plásticos (ICPI, 2008)..... 29
Figura 2-6 - Modelo proposto para caracterização das camadas do PELEX..... 30
Figura 3-1 – Ruínas do piso elevado por pilaretes da terma romana da cidade de Bath (Junho/2000)..... 35
Figura 3-2 – Ilustração de uma cobertura de piso elevado com apoios fixos em elementos pré-fabricados (Gomes,1968). 37
Figura 3-3 – Vista geral de utilização de piso elevado com apoios fixos em fragmentos de placas, na cobertura do New National Theatre – London (Edwards, 1975)..... 37
Figura 3-4 – Cobertura de piso elevado com apoios fixos em blocos cerâmicos (Lopes,1994)..... 37
Figura 3-5 – Vista geral do conjunto de apoios fixos em blocos de concreto das placas do antigo piso elevado do Centro Empresarial de São Paulo. Fonte: Departamento de Manutenção – Centro Empresarial de São Paulo (2006). 38
Figura 3-6 – Vista geral de utilização do piso elevado em placas de concreto, em condomínio de alto padrão de São Paulo, executado há cerca de 9 anos. 40
Figura 3-7 (a) e b) – (a) Detalhe do espaço de entrepiso de um piso elevado em condomínio de alto padrão; (b) Detalhe do apoio fixo em elementos pré-moldados de concreto. Empreendimento executado em São Paulo há cerca de 9 anos. 40
Figura 3-8 – Detalhe do espaço de entrepiso e do apoio de altura regulável formado pela adaptação de componentes de sistemas hidráulicos, de um piso elevado em placas de concreto em condomínio de alto padrão de São Paulo, executado há cerca de 9 anos..... 41
Figura 3-9 – Ruptura de placa de piso elevado do *La Défense* – Paris – (CHRISTOPHR GRÉBERT. Blog: MonPuteaux) 45
Figura 3-10 – Esquema de instalação de sistema de piso elevado para área de estacionamento. Constituído por placas de concreto pré-fabricado apoiadas em elementos resilientes dispostos sobre poliestireno extrudado (Sistema Pardak ®). 46
Figura 3-11 – Vista de empreendimento com placas pré-fabricadas de concreto aplicadas em pisos elevados de cobertura acessível. Appian Corporation. 49
Figura 3-12 - Placas pré-fabricadas de concreto aplicadas em pisos elevados de cobertura. Appian Corporation. 49
Figura 3-13 - Placas pré-fabricadas de concreto aplicadas em pisos elevados de cobertura sobre poliestireno extrudado e camada de drenagem, acima da impermeabilização. ABBOTSFORD CONCRETE PRODUCTS..... 50
Figura 3-14 – Exemplo de esquema de camadas de uma cobertura, com aplicação de piso elevado com placas de madeira (Fonte: Chenaf et al., 2006). 50
Figura 3-15 - Placas de piso elevado externo em porcelanato com acabamento superficial rugoso (40 x 40 x 1,4 cm – l x c x e) – GRANITI FIANDRE SPA..... 53
Figura 3-16 – Pedestal de policarbonato transparente, resistente aos raios ultravioleta. (Fonte: Buzon Pedestal International S/A. 56

Figura 3-17 – Pedestal com corpo central em PVC - SDR 35 de acordo com ASTM D-3034 e F-679, para alturas de 4cm até 56cm. Extremidades do pedestal em ABS. Appian Corporation. 57
Figura 3-18 – Pedestal em polipropileno com articulação para acomodar desnível do substrato, para alturas de 1,7 cm a 62cm. Buzon Pedestal International S/A..... 57
Figura 3-19 – Pedestal em polipropileno para alturas de 5 a 53,5 cm com possibilidade de compensar a declividade do substrato pela rotação do tubo central próximo à base. Wausau Tile Inc. 58
Figura 3-20 – Pedestal em polipropileno com módulos de extensão preenchidos com concreto para alturas de 5 a 14cm. Wausau Tile Inc..... 58
Figura 3-21 – Pedestais em polipropileno contraventados com fios de aço presos a abas perfuradas do corpo do pedestal. Buzon Pedestal International S/A. 59
Figura 3-22 - Pedestais em polipropileno, com altura superior a 1m, contraventados com fitas de aço presas a abas perfuradas do corpo do pedestal em obra no Japão.. 60
Figura 3-23 – Linha de pedestais em polietileno de alta densidade. Hanover Architectural Products 60
Figura 3-24 - Pedestais com diferentes alturas para acomodar as variações de cota do substrato em função da sua declividade até os ralos. ABBOTSFORD CONCRETE PRODUCTS. 61
Figura 3-25 - Pedestal - sistema *Pave – el* em polietileno de alta densidade. À esquerda esquema de montagem, à direita o detalhe do pedestal e do sistema de calço da ENVIROSPEC INC. 62
Figura 3-26 - Pedestal - sistema TREM Proof King Pin Pedestals. TREMCO INC. 62
Figura 3-27 – Corte esquemático do passeio em piso elevado do *La Défense* – Paris – (Barret, Bertholon e Marie, 1988)..... 63
Figura 3-28 - Pedestal com regulagem de altura em polipropileno do fabricante Soprema, aprovado pelo CSTB. 64
Figura 3-29 – Detalhe da restrição perimetral de um piso elevado, pela interposição de espaçador resiliente entre a placa e a vedação vertical. Catálogo da empresa Wausau Tile Inc (Informação pessoal)..... 66
Figura 3-30 – Sistema de piso elevado com apoio de pedestal sobre camada de isolamento térmico – TILE TECH PAVERS 68
Figura 3-31 – Esquema proposto por empresa construtora para piso elevado cujo espaço de entrepiso funcionará como caixa de retardo de águas pluviais, em obra da cidade de São Paulo. 73
Figura 3-32 (a) e (b)– Aplicação de piso elevado externo em área com expressiva variação de cota do substrato. (a) Detalhe de transição de apoio do vértice de uma placa de piso elevado, utilizando-se perfil metálico; (b) Vista geral do espaço de entrepiso formado 76
Figura 3-33 – Esquema de uma etapa do ensaio de impacto de corpo mole, sobre o centro da placa, com altura de queda de 100 cm, segundo a CEN EN 12825 (2001)..... 103
Figura 3-34 – Esquema de ensaio de impacto de corpo duro, com altura de queda de 60 cm, segundo a CEN EN 12825 (2001)..... 104
Figura 3-35– Esquema de ensaio de flexão de placas para piso, conforme CSA A231.1 (2006). 107
Figura 3-36 (a) e (b) – Ensaio de flexão de placas de concreto nacionais para piso. (a) Preparação do ensaio; (b) Ruptura da placa (09/11/2008)..... 111
Figura 3-37 (a), (b) e (c) – (a) Ensaio de impacto de corpo-mole de 40 kg em placa de concreto armado para piso elevado com altura de queda de 80cm – (320 J); (b) Ruptura de canto da placa no ensaio de corpo mole em função de concentração de esforços determinada pela redução da área de contato com o apoio; (c) Planos de ruptura no alinhamento da armadura da placa. Metodologia de ensaio da CEN EN 12825 (2001). 113
Figura 3-38 (a) e (b) – (a) Ensaio de impacto de corpo-mole de 40 kg em placa de concreto não-armado para piso elevado com altura de queda de cerca de 100 cm – (400 J); (b)

Ruptura frágil da placa de concreto não-armado para piso elevado em ensaio de impacto de corpo mole (400J). Metodologia de ensaio da CEN EN 12825 (2001). 114
Figura 3-39 (a) e (b) – (a) Ensaio de impacto de corpo duro de acordo com a ABNT NBR 12050 (1991), com esfera de aço de 10 kg, em placa de concreto armado; (b) Placa de concreto armado rompida pelo ensaio de impacto de corpo duro, segundo a ABNT NBR 12050 (1991). 115
Figura 3-40 – Esquema de armação de placa de concreto ensaiada ao impacto de corpo duro com esfera de aço de 10 kg. 115
Figura 4-1 – Estruturação da face inferior de placas de granito com resina epoxídica e tela de fibra de vidro no empreendimento E8 (22/06/07). 124
Figura 4-2 – Fôrmas metálicas para pré-moldagem de placas de concreto de piso elevado. Fonte: Fornecedor F4 do estudo de caso. 125
Figura 4-3 – Pista de produção de placas de concreto serradas para piso elevado, estruturadas com fibras de polipropileno – Corte de placas. Fornecedor F7. (06/12/07). ... 125
Figura 4-4 – Pista de produção de placas de concreto serradas para piso elevado, estruturadas com fibras de polipropileno – Após o corte de placas. Fornecedor F7. (06/12/07). 126
Figura 4-5 – Vista geral das pistas de produção de placas de concreto serradas para piso elevado, estruturadas com fibras de polipropileno. Fornecedor F7. (06/12/07). 126
Figura 4-6 – Deformações das placas do antigo piso elevado de empreendimento comercial na cidade de São Paulo – E1. Fonte: Departamento de Manutenção, Operação de Utilidades e Obras deste empreendimento – (2006). 127
Figura 4-7 – Desgaste superficial acentuado e aberturas excessivas das juntas entre placas do antigo piso elevado de empreendimento comercial na cidade de São Paulo - E1, exposto a intempéries. Fonte: Departamento de Manutenção, Operação de Utilidades e Obras deste empreendimento. 128
Figura 4-8 – Simulação de manutenção no novo piso elevado em granito do empreendimento comercial E1, na cidade de São Paulo (28/04/08). 129
Figura 4-9 – Trecho localizado de piso elevado em granito de empreendimento comercial na cidade de São Paulo E1, com pequenas manchas (28/04/08). 130
Figura 4-10 – Apoio fixo em blocos de concreto das placas do antigo piso elevado de empreendimento comercial na cidade de São Paulo - E1. Fonte: Departamento de Manutenção, Operação de Utilidades e Obras deste empreendimento – (2006). 131
Figura 4-11 – Vista geral do conjunto de apoios fixos em blocos de concreto das placas do antigo piso elevado de empreendimento comercial na cidade de São Paulo - E1. Fonte: Departamento de Manutenção, Operação de Utilidades e Obras deste empreendimento – (2006). 131
Figura 4-12– Diferenças de tipos de apoio de pisos elevados nos empreendimentos visitados: E2,E3,E8, E9, E11 e E12. 133
Figura 4-13 – Rebaixos nas arestas inferiores das placas de piso elevado para encaixe do espaçador dos pedestais, para reduzir o tamanho das juntas entre placas. 135
Figura 4-14 – Juntas entre placas de granito de piso elevado, da ordem de 3 mm, empreendimento E8 (22/06/07). 136
Figura 4-15 – Juntas entre placas de granito de piso elevado no empreendimento E8, da ordem de 3 mm, determinada pelos espaçadores do pedestal, indicados na figura (22/06/07). 136
Figura 4-16 – Abertura entre placas de concreto de piso elevado, da ordem de centímetro, empreendimento E10 (24/07/08). 137
Figura 4-17 – Chanfro resultante do ângulo de desenforma de placa de concreto pré-fabricada produzida com fôrma metálica (18/02/09). 138
Figura 4-18 – Junta formada entre placas de concreto pré-fabricadas com fôrma metálica, instaladas no empreendimento E10 (30/04/08). 138
Figura 4-19 – Travamento perimetral do piso elevado fixando as placas de contorno à mureta de jardim. (Fornecedor F5 – empreendimento E9) – (11/09/07). 139

Figura 4-20 – Travamento perimetral do piso elevado fixando as placas de contorno à mureta de jardim, com contenção lateral. (Fornecedor F6 – empreendimento E11) – (29/06/07). 139
Figura 4-21 – Travamento perimetral do piso elevado por meio de juntas secas entre as placas de contorno (apoiadas em pedestal) e o elemento vertical que limita perimetralmente o sistema. (Fornecedor F1 – empreendimento E8) – (22/06/07). 140
Figura 4-22– Travamento perimetral do piso elevado por meio de juntas secas entre as placas de contorno (apoiadas em pedestal) e o elemento vertical que limita perimetralmente o sistema. (Fornecedor F1) – (11/11/08). 140
Figura 4-23 – Travamento perimetral provisório do piso elevado durante a sua execução (Fornecedor F4) – 30/04/08. 141
Figura 4-24 – Instalações embutidas no espaço de entrepiso do PELEX do empreendimento E8 - (22/06/07). 143
Figura 4-25 – Retirada de materiais do espaço de entrepiso do antigo piso elevado de empreendimento comercial na cidade de São Paulo - E1. Fonte: Departamento de Manutenção, Operação de Utilidades e Obras deste empreendimento. (2006) 145
Figura 4-26 – Execução do novo piso elevado em granito de empreendimento comercial na cidade de São Paulo - E1. Fonte: Departamento de Manutenção, Operação de Utilidades e Obras deste empreendimento (2007). 146
Figura 4-27 - Vista geral do novo piso elevado em granito de empreendimento comercial na cidade de São Paulo - E1 (28/04/08). 147
Figura 4-28 - Vista geral do novo piso elevado em granito de empreendimento comercial na cidade de São Paulo - E1 (28/04/08). 147
Figura 4-29 – Espaço de entrepiso do novo piso elevado em granito de empreendimento comercial na cidade de São Paulo - E1 (28/04/08). 147
Figura 4-30 - Exposição e oxidação de armadura de placa de piso elevado, após o seu corte – empreendimento E6. 148
Figura 4-31 – Abertura entre placas de piso elevado, da ordem de centímetro – empreendimento E3. 149
Figura 4-32 – Excessivo desnível entre placas adjacentes de piso elevado - empreendimento E11 (29/06/07). 149
Figura 4-33 – Exposição de armadura em placa de piso elevado, empreendimento E3. 150
Figura 4-34 – Placas de piso elevado “fotografando” a armação. (Fonte: Fornecedor F1) (2005) 150
Figura 4-35 – Ajuste de alturas de pedestais por corte de tubos com serra mármore, no empreendimento E10 (30/04/08). 151
Figura 4-36 – Saliências na extremidade do tubo de pedestal, após ajuste de sua altura por corte, com serra mármore, no empreendimento E10 (30/04/08). 152
Figura 5-1– Exemplo de paginação de piso elevado em *deck* de piscina com borda curva. Piso elevado com diversos pedestais deslocados e 03 placas com tamanho maior do que o padrão previsto originalmente em projeto. 160
Figura 5-2– Exemplo de distribuição de placas do piso elevado com contenção em geometria curva, em que há placa com tamanho estendido (maior do que o padrão previamente definido em projeto) e ajustado no local - empreendimento E8 - (22/06/07). . 161
Figura 5-3 – Exemplo de distribuição de placas do piso elevado com contenção em geometria curva, em que há placa com tamanho estendido (maior do que o padrão previamente definido em projeto) e ajustado no local - empreendimento E8 - (22/06/07). 161
Figura 5-4– Exemplo de aplicação de piso elevado com dificuldade de posicionamento de pedestais, em função da proximidade com elementos verticais que limitam perimetralmente o sistema, nos pontos indicados na figura. 162
Figura 5-5 – Indicação de corte de abas de base de pedestais (2, 3 e 4) para impedir a sua sobreposição e para impedir a interferência com elementos verticais que limitam perimetralmente o sistema. Note-se que o pedestal 1 está desalinhado do pedestal 3 para impedir a sobreposição deste último com o pedestal 4. 163

Figura 5-6 (a) e (b) – (a) Instalação de piso elevado após deslocamento e corte de abas de base de dois pedestais próximos a elemento que limita o sistema perimetralmente; (b) Instalação de piso elevado após corte de abas de base de pedestais próximos a elementos que limitam perimetralmente o sistema. 163
Figura 5-7 – Indicada pela seta superior, uma transição de apoios de piso elevado para desvio de grelhas de captação de águas pluviais (seta inferior). APPIAN CORPORATION. 164
Figura 5-8 (a) e (b) – Exemplo de sistema de fixação de placas em madeira de piso elevado, instaladas em áreas sujeitas à sucção de vento. A fixação da placa ilustrada na figura (a) é feita através de parafuso e arruelas metálicas. A fixação da placa ilustrada pela figura (b) é feita através de perfil metálico dobrado. Em ambos os casos, os elementos de fixação estão encaixados em ranhura na base da placa, conforme indicado. 166
Figura 5-9 (a) e (b) – Piso elevado com cerca de 1,20 m de altura em *deck* de piscina com a utilização de pilaretes de blocos de concreto grauteados e vigas pré-moldadas de concreto, formando pórticos (a) Vista geral do espaço de entrepiso, com corredor de circulação de cerca de 1,1m; (b) Detalhe do apoio das vigas pré-moldadas de concreto sobre os pilaretes de blocos de concreto grauteados (empreendimento E12). 167
Figura 5-10– Pedestal da Buzon Pedestal International S/A, com base de Ø=200 mm, acoplada por rosca e reforçada por abas 168
Figura 5-11– Exemplo de apoio para elevações de piso superiores a 1m, composto por base alargada de concreto (menor lado com dimensão superior a 20 cm), na forma de paralelepípedo, com rebaixo e inserte metálico para engastamento do tubo central preenchido com argamassa fluída. 168
Figura 5-12 – Exemplo de apoio para elevações de piso superiores a 1m, composto por base alargada de concreto (menor lado com dimensão superior a 20 cm), na forma de tronco de pirâmide, com rebaixo e inserte metálico, associado a tubo central com o interior preenchido por argamassa fluída. 169
Figura 5-13 – Exemplo de esquema de acesso pelo subsolo, à casa de equipamentos sob *deck* de piscina com piso elevado. 170
Figura 5-14 (a) e (b) – Exemplos de seqüência de montagem de piso elevado a partir de um vértice (cruzamento de duas fileiras perpendiculares) que não coincide com algum canto da área de aplicação (a) e outro que coincide (b). 172
Figura 5-15 – Vista do espaço de entrepiso de um PELEX em *deck* de piscina onde se observa um pedestal de cerca de 1,20m fora de prumo e em situação de instabilidade – empreendimento E9 (11/09/2007). 187

LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1 – Classes de exigências e requisitos de desempenho associados às VHEC. 18
Tabela 3-1 – Componentes funcionais do PELEX e suas principais funções. 48
Tabela 3-2 – Tipos de isolamento térmico em poliestireno extrudado utilizados nas VHEC com sistema de piso elevado, segundo a ASTM C 981 (2005), com algumas de suas características, de acordo com a ASTM C 578 (2007). 68
Tabela 3-3 – Classes de exigências e requisitos de desempenho associados ao PELEX aplicado em VHEC..... 78
Tabela 3-4: Exemplo de avaliação de requisitos de desempenho do PELEX em diferentes categoriais de aplicação, segundo seu grau de importância relativa: 5 – Fundamental, 4 – Muito importante, 3 – Importante, 2 – Pouco importante, 1 – Sem importância 98
Tabela 3-5– Energias de impacto de corpo-mole segundo a ABNT NBR 15575 (2008)..... 101
Tabela 3-6– Energias de impacto de corpo-duro segundo a ABNT NBR 15575 (2008). 101
Tabela 3-7– As duas classes de resistência de placa indicadas pela AFNOR NF 187 (2006) para pisos elevados sujeitos exclusivamente ao trânsito de pessoas. 106
Tabela 3-8 – Resultados de ensaios de flexão de placas de concreto nacionais para piso. 112
Tabela 4-1 - Informações dos empreendimentos visitados. 120
Tabela 4-2 – Perfil de empresas fornecedoras do sistema de piso elevado completo (materiais e aplicação) que foram pesquisadas. 121
Tabela 4-3 - Comparação de custos de aplicação de pisos elevados em granito e em concreto – Fonte: Construtora C8 - data base: Janeiro/08. 123
Tabela 5-1– Recomendações para fabricação de placas de PELEX..... 174
Tabela 5-2– Desvios dimensionais admitidos para placas de piso pré-fabricadas de concreto (inclusive para piso elevado), segundo a AFNOR NF 187 (2006). 180
Tabela 5-3 – Recomendações para fabricação de pedestais. 181
Tabela 5-4 – Previsão de carregamento de apoios de piso elevado com placas de concreto de 75 x 75 x 5 cm..... 182

RESUMO

No atual cenário da construção civil brasileira, onde há vigorosa competição, as empresas construtoras que conseguirem aplicar tecnologias que aumentem a eficiência econômica ou o desempenho de seus imóveis estarão em melhores condições de perpetuar os seus negócios.

A tecnologia construtiva de piso elevado para áreas externas de edifícios apresenta-se como uma das alternativas que tem elevado potencial de contribuir com incremento do desempenho e da eficiência econômica dos edifícios, já que permite a racionalização da manutenção de parte das vedações horizontais exteriores e da manutenção de eventuais instalações dispostas em seu espaço de entrepiso. Estas possibilidades permitem uma redução do custo global da edificação, ao viabilizar intervenções de menor custo. Porém, para que sejam atingidos os benefícios propostos com a utilização desta tecnologia, é necessário dispor de informações técnicas capazes de orientar satisfatoriamente a concepção e a seleção entre alternativas disponíveis no mercado, para que as exigências dos usuários sejam respeitadas. Diante desta situação, justifica-se o presente projeto de pesquisa, cujo objetivo é a sistematização e análise crítica das informações pertinentes à tecnologia construtiva de piso elevado para áreas externas de edifícios, apresentando os principais aspectos que condicionam sua especificação, projeto e execução.

Por meio do estabelecimento do estado da arte, são abordados os principais conceitos associados à tecnologia, à luz das principais funções e requisitos de desempenho de uma vedação horizontal exterior. Após a avaliação destas informações, e através da análise crítica das práticas de comercialização e de produção identificadas em estudo de campo, são apresentadas diretrizes para especificação, projeto e execução do sistema de piso elevado para áreas externas.

Palavras-chave: Piso externo. Tecnologia. Desempenho. Vedação horizontal. Piso Elevado.

ABSTRACT

In the Brazilian building market, where there is a vigorous competition, the companies that have efficient technological process of production, based on product performance, will be able to turn themselves more competitive.

The technology of raised access floor used in exterior areas appears as an alternative that can both increase the performance and increase the economical efficiency of the building. This technology may turn easier and cheaper the process of planned maintenance. In order to reach those benefits, it is essential to have technical information about raised access floor used in exterior areas to support the stage of design and the stage of technological selection, making the alternative selected, suitable to the user requirements.

With this background justifies a project aiming the systematization and critical analysis of the main characteristics and requirements of the technology that regulate the selection, design and production stages.

This dissertation will present the state of the art on raised access floor in external areas and will use the functions and requirements related to exterior floors, in order to discuss the main parameters which influence its conception and its production system. This discussion will use field information research.

Key-words: Exterior floor.Technology. Performance. Pedestal paving system.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

Nos últimos anos, o Brasil tem sido testemunha de enorme volume de recursos investidos no mercado da construção de edifícios habitacionais de múltiplos pavimentos, motivados pelo elevado déficit que caracteriza este segmento e também pela expectativa de retorno em relação ao montante investido.

Para o segmento de edifícios comerciais, em determinadas regiões brasileiras, os investimentos também têm sido significativos na construção de modernos espaços empresariais.

Neste cenário, novos competidores têm sido atraídos, acirrando ainda mais a concorrência, tornada vigorosa ao longo da última década devido à implantação do novo código do consumidor e das crescentes expectativas dos clientes com relação ao bem adquirido, exigindo do construtor, muita eficiência para conceber, produzir e comercializar os seus produtos.

Em resumo, o acirramento da concorrência setorial, as crescentes exigências de melhor relação custo-benefício dos produtos e também a dificuldade de produzir imóveis diferenciados, a partir de uma base tecnológica comum ao mercado, ressaltam as dificuldades com as quais as empresas construtoras vêm lidando. Em contrapartida, tais fatores estão impulsionando o setor, inspirando renovações tão necessárias para recuperar a defasagem tecnológica que separa a construção civil de outros setores industriais. Em curto ou médio prazo, espera-se um desenvolvimento tecnológico que contemple a criação e o aperfeiçoamento de materiais e componentes, e também procedimentos operacionais e organizacionais (projeto, planejamento, administração e controle de operações construtivas) que proporcionem aos edifícios ou a suas partes, padrões de qualidade, de custo ou de desempenho superiores.

Para se manter a atratividade dos imóveis produzidos, é fundamental ser mais eficiente do que a concorrência neste processo de aperfeiçoamento tecnológico. É preciso extrair e usufruir mais das potencialidades oferecidas pelas novas tecnologias construtivas, o que só se consegue após tê-las avaliado em um processo estruturado e sistêmico.

Acrescenta-se que após ser realizada a avaliação de tecnologias, caberá à empresa, para prosseguir no caminho do desenvolvimento tecnológico, a utilização de uma metodologia que seja capaz de efetivar e consolidar este avanço no seu sistema produtivo, auxiliando na evolução da organização e da gestão produtiva, como ponderou Barros (1996).

Uma das tecnologias que tem elevado potencial de permitir avanços tecnológicos, pelo ganho de eficiência, pelo incremento do desempenho, pela qualidade no processo de produção e que auxiliaria as empresas construtoras a enfrentarem o acirrado mercado é a tecnologia construtiva de piso elevado para áreas externas de edifícios, como alternativa à produção tradicional do subsistema de vedação horizontal com piso aderido.

Esta tecnologia, objeto da presente pesquisa, coloca-se como um elemento facilitador de manutenções programadas sob a camada de piso, já que permite acesso às instalações dispostas no espaço de entrepiso e acesso à própria impermeabilização, racionalizando estas práticas e tendo, como conseqüência, a redução do custo global da edificação.

Neste trabalho, a tecnologia construtiva de piso elevado para áreas externas de edifícios será abreviada pela sigla PELEX, sendo caracterizada como “um sistema para revestimento de piso, com componentes modulares (placas) apoiados sobre suportes (pedestais), criando um espaço entre a camada de revestimento e o substrato, aplicado em ambientes externos, para o trânsito exclusivo de pedestres e de pequenas cargas rolantes, como, por exemplo, de bicicletas e cadeirantes”.

Com a utilização desta tecnologia espera-se evitar a ocorrência de algumas patologias comumente associadas aos pisos aderidos, tais como eflorescências e trincas na camada de revestimento por movimentação do substrato. Além disto, com sua utilização, haverá maior liberdade para alterações de leiaute e a possibilidade de execução de instalações hidráulicas e elétricas complementares. Com isto, se diminuem as chances de obsolescência funcional das edificações, aumentando o seu valor agregado, podendo ser utilizado como elemento de diferenciação mercadológica.

Entretanto, nos últimos anos, apesar das potencialidades da tecnologia, têm sido observadas algumas aplicações, em obras de diferentes empresas, sem que

houvesse um conjunto de dados técnicos sintetizados de forma organizada, capaz de subsidiar, de maneira satisfatória, tanto a ponderação pela sua utilização, quanto o estabelecimento de critérios de desempenho.

Assim como tem ocorrido com outras tecnologias comumente empregadas, na maioria das utilizações do PELEX no Brasil conta-se com elevada dose de empirismo e limitado conhecimento de suas inter-relações com as demais partes da edificação, além do limitado entendimento de seu desempenho ao longo dos anos.

No Brasil, o empirismo é favorecido pela ausência de normas e de códigos de prática específicos para essa tecnologia, já que o conjunto de regulamentações disponível na Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) para pisos elevados trata exclusivamente da sua aplicação em ambientes internos ao edifício, caracterizando a sua utilização em escritórios, salas de processamento de dados e salas com utilização específica, como, por exemplo, na chamada “sala limpa”.

Nessas normas, são apresentados alguns componentes incompatíveis com a aplicação externa, pela insuficiência de desempenho e durabilidade, como é o caso das placas de madeira aglomerada.

A consolidação de conceitos e conhecimentos na indústria da construção civil brasileira deveria ser uma prática constante nas próprias empresas e ocorrer de forma mais abrangente pelo fomento ao desenvolvimento de normas e códigos de prática, por parte do Estado, o que não vem ocorrendo em relação à tecnologia construtiva de piso elevado para áreas externas de edifícios. Embora haja um comitê que pretende normatizar a utilização desta tecnologia, ainda parecem insuficientes os dados que poderiam tornar consistentes as discussões e análises do comitê, prejudicando a avaliação e consolidação da tecnologia no meio técnico.

Em outros países, também se observa a ausência de normas específicas aplicáveis ao PELEX, como é o caso do Reino Unido e da Austrália.

Parece ser uma exceção a aplicação do PELEX na França. O CSTB (1959) prescreve há muitos anos alguns requisitos para o desempenho de piso elevado com aplicação externa, tendo influenciado a criação de diversas outras normas ligadas ao tema: AFNOR NF P 84-204 -1 (2001); AFNOR NF P 84-204 -1 -1 (2004); AFNOR FD P 84-204-3 (2004); AFNOR NF EN 1339 (2004) e AFNOR NF 187 (2006).

Nos EUA, a prescrição referente a requisitos de desempenho do PELEX foi encontrada em um projeto de norma ASTM, que se assemelha à canadense que trata do assunto, a CSA A231.1 (2006) e na especificação técnica do ICPI (2008). As prescrições se limitam ao desempenho da placa.

Contudo, embora esteja disponível uma série de prescrições estrangeiras de desempenho do PELEX, o estudo e a sistematização destas informações adquirem relevância, ao permitir que sejam reunidos e avaliados os subsídios necessários para as atividades de projeto e produção deste sistema.

Destaca-se que o presente trabalho pretendeu coletar, discutir e registrar os principais conceitos envolvidos com esta tecnologia, a fim de contribuir com a sistematização de conhecimentos.

Em função das aplicações nacionais do PELEX contarem com significativo grau de empirismo e com resultados de curto prazo, entendidos como satisfatórios pelos construtores, existirá certa resistência dos mesmos para que sejam requeridos dos fabricantes parâmetros de desempenho em padrões internacionais, já que possivelmente estariam associados a custos iniciais maiores, o que normalmente é assumido como determinante da compra, em detrimento do custo global e dos riscos mais elevados. É nesse contexto que se insere o presente trabalho.

1.2 Objetivos

Os objetivos do presente trabalho são:

Objetivo geral:

- Sistematizar as informações pertinentes à tecnologia construtiva de piso elevado para áreas externas de edifícios, por meio do estabelecimento do seu estado da arte.

Objetivo específico:

- Propor um conjunto de parâmetros e de especificações técnicas a fim de subsidiar a seleção de alternativas tecnológicas, a elaboração de projetos e a execução de piso elevado para áreas externas.

Ressalta-se que a sistematização das informações pertinentes ao PELEX servirá como elemento indispensável para a análise crítica dos principais aspectos que condicionam a especificação e o projeto desta tecnologia.

1.3 Metodologia

A primeira parte da pesquisa baseou-se numa revisão bibliográfica a respeito da vedação horizontal exterior de cobertura do edifício, com enfoque nas suas funções e nos seus requisitos de desempenho. A análise dessas informações ajudou a identificar quais destes requisitos seriam aplicáveis à camada de revestimento desta vedação horizontal, executado segundo técnica de elevação (piso elevado externo).
Para permitir a sistematização das informações pertinentes ao PELEX, promoveu-se uma pesquisa, pela qual se constatou a escassez de artigos técnicos nacionais e internacionais referentes ao tema proposto neste trabalho. Os raros artigos técnicos internacionais disponíveis eram, na sua maioria, das décadas de 1960 e 1970, fato que exigiu a busca de informações mais recentes junto a fabricantes internacionais.

Entretanto, estes artigos internacionais da década de 1960 e 1970 não foram descartados pois auxiliaram na construção do histórico em que se registrou a evolução da aplicação do piso elevado; ajudaram também no entendimento de suas principais características e funções.

Ainda durante esta pesquisa, após consulta ao catálogo da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), contatou-se a inexistência de normas que disciplinassem esta aplicação.

Reconheceu-se, por esta incipiência de dados técnicos nacionais, que uma atenção especial deveria ser dada à pesquisa sobre a tecnologia em outros países.

Para isso, foram definidas as palavras-chave em espanhol, inglês, francês, alemão e italiano, conforme explicitado no APÊNDICE A – “Lista de palavras-chave”. Durante esta definição, ficou claro que a tradução literal do termo “piso elevado” encontrava diferentes entendimentos, muitas vezes inclusive, entre fabricantes de um mesmo país, o que dificultou a localização daqueles que comercializavam efetivamente o PELEX.
Com base neste conjunto de palavras-chave, seguiu-se um extenso trabalho de pesquisa nos “*web sites*” dos maiores fabricantes mundiais do sistema de pisos elevados internos, com a intenção de verificar se também seriam fornecedores do PELEX, conforme pode ser observado pela relação das principais empresas consultadas, no APÊNDICE B – “*Web sites* consultados de empresas.”
Em função destes fabricantes não produzirem o PELEX, foi realizada uma consulta à

maioria deles, por meio de seus representantes indicados nas respectivas páginas da Internet, procurando entender os principais motivos pelos quais não participavam do mercado da aplicação externa, além de questioná-los com relação à existência de normas que pudessem ser aplicáveis aos pisos elevados externos.

Com a intenção de se obter informações a respeito de critérios de desempenho que estariam envolvidos na produção e comercialização de tais componentes buscou-se informações com alguns fabricantes estrangeiros de componentes do PELEX e com organismos normativos.

As diversas empresas fabricantes de componentes do PELEX que foram localizadas e que tiveram seus *web sites* pesquisados complementam o APÊNDICE B – "*Web sites* consultados de empresas".

Destes contatos e por meio de outras pesquisas na Internet, reconheceram-se entidades de classe e outras associações normativas internacionais que também foram contatadas, a fim de que fossem indicadas as referências que parametrizam a fabricação e instalação do PELEX em seus países. Acrescenta-se que os organismos internacionais consultados são relacionados no "APÊNDICE C – Organismos consultados."

Após este trabalho de consulta e comunicação com alguns dos principais agentes desse mercado, foram coletadas algumas especificações de desempenho do PELEX, como, por exemplo, aquelas apresentadas pelo Building Stone Institute (2006), ou ainda as especificações do Sandia National Laboratories (2002), do CSA A231.1 (2006) e principalmente aquelas indicadas em normas francesas da série NF P 84-204 - (DTU 43.1), as quais foram analisadas e serviram como referência para este trabalho.

Além da pesquisa de dados referentes ao PELEX, procurou-se coletar os principais parâmetros de desempenho da aplicação de pisos elevados internos, a fim de auxiliar na avaliação da aplicabilidade destes parâmetros ao PELEX. Tomou-se para esta referência, o código de prática do Reino Unido – Property Services Agency (PSA) - MOB PF2 PS/SPU (1992), por sua tradição no tema e por possuir significativa aplicação da tecnologia, além de sediar a Kingspan Group, o maior fabricante mundial de pisos elevados internos.

Na segunda etapa da pesquisa, foi conduzido um estudo de campo, visitando-se 12

empreendimentos (6 deles em execução e 6 concluídos, em utilização). Nas obras em execução, foram verificados, principalmente, os aspectos ligados ao controle da qualidade da instalação. Das obras em utilização, escolheu-se, para entrevista, aquela com maior histórico de uso do PELEX e que possuía um registro consistente de informações referentes à sua utilização. Neste empreendimento, com cerca de 30 anos de utilização do piso elevado externo, foi possível identificar aspectos relacionados à segurança de utilização e ao conforto antropodinâmico, além de aspectos relacionados à manutenabilidade e conservação do sistema.

No estudo de campo ainda, em uma empresa construtora, foi entrevistado o responsável pelo processo de decisão pela tecnologia do PELEX, procurando identificar os seus principais elementos motivadores e critérios para seleção dentre as alternativas. Com auxílio de visitas a canteiro e entrevistas, procurou-se avaliar os aspectos que as empresas consideram durante a fase de estudo de viabilidade técnico-econômica do PELEX, discutindo-se as exigências feitas ao fabricante para fornecimento. Com isso, procurou-se evidenciar eventuais discrepâncias entre os critérios utilizados no mercado brasileiro e aqueles apresentados como ideais por organismos internacionais.

O estudo de campo foi complementado pela entrevista com dois fornecedores da tecnologia, nos moldes propostos por Yin (2001). Por meio de visita a uma fábrica de placas e por meio das entrevistas com fornecedores, procurou-se avaliar os critérios de desempenho que norteiam a especificação e fabricação dos produtos.

Com essas entrevistas, foi possível conhecer os aspectos que determinaram a escolha e a utilização do PELEX, os quais são importante referência quanto ao grau de conhecimento que parte do mercado possui sobre esta tecnologia, na intenção de mitigar eventuais deficiências pela sistematização da tecnologia.

Além disto, a visita em canteiros permitiu uma avaliação amostral da qualidade da execução dos serviços contratados e da forma como são controlados; buscou-se, com isto, verificar a proximidade dos conceitos adotados na prática com aqueles considerados como ideais.

A partir do estado da arte desta tecnologia e com base na discussão das funções e requisitos de desempenho das vedações horizontais exteriores de cobertura, e ainda com base em especificações e normas internacionais disponíveis aplicadas ao

PELEX, são apresentadas algumas recomendações para a sua utilização nacional, a serem seguidas pelos projetistas e pelos técnicos ao conceberem e decidirem por este sistema de piso, envolvendo aspectos relacionados ao desempenho e qualidade.

Ainda como parte da metodologia de ação para o desenvolvimento da pesquisa, o autor está participando ativamente da comissão que trabalha na formulação da norma brasileira que trata das placas de concreto para pisos elevados externos, tendo assumido a responsabilidade de subsidiar a comissão com referências internacionais de desempenho para o PELEX.

1.4 Estruturação do trabalho

O trabalho está estruturado em seis capítulos, incluindo este apresentado a título de introdução ao tema.

No capítulo 2 caracterizam-se as vedações horizontais exteriores de cobertura do edifício, apresentando suas funções, exigências e requisitos de desempenho e as condições de exposição. Apresentam-se também as suas camadas e as respectivas funções específicas.

No capítulo 3 o sistema de piso elevado com aplicação externa é caracterizado, fazendo-se uma síntese de sua evolução histórica, registrando-se suas características usuais em aplicações nacionais e internacionais. Nesse capítulo também são apresentados os benefícios potenciais da utilização do PELEX. Discutem-se ainda os seus requisitos e critérios de desempenho, a partir dos requisitos de desempenho das vedações horizontais exteriores de cobertura.

O capítulo 4 contempla um estudo de campo que envolveu a visita a diversos empreendimentos com a aplicação do PELEX e o contato com uma empresa construtora e dois fornecedores nacionais, onde se procurou reconhecer as práticas empresariais adotadas no processo de seleção, de especificação e de controle da qualidade do PELEX, analisando-as com base nos parâmetros previamente sistematizados.

No capítulo 5 são apresentadas as principais recomendações para o projeto, contratação, uso e operação do PELEX, a fim de resguardar as principais exigências

dos usuários com relação ao desempenho do sistema. As recomendações estão baseadas em critérios de desempenho coletados em normas e em especificações técnicas.

O capítulo 6 apresenta os comentários finais da pesquisa e sugestões para futuros trabalhos complementares ao proposto.

2 VEDAÇÕES HORIZONTAIS EXTERIORES DE COBERTURA

2.1 Caracterização

O Construction Development (co-ordination) Committee (1974) afirma que o piso pode ser considerado como a construção que proporciona uma superfície para trânsito em uma edificação, compreendendo todas as partes horizontais ou inclinadas que coletivamente formam uma separação entre ambientes.
Para Bring (1972), o conjunto de uma ou mais camadas que promove a separação horizontal de ambientes, incluindo o forro imediatamente inferior ao piso, é chamado de piso intermediário, o que nesta pesquisa será reconhecido como vedação horizontal.

Para o VTT (1969) as camadas que constituem uma vedação horizontal contribuem para o desempenho do conjunto, sendo que a camada mais externa, o revestimento, cumpre as principais funções desta vedação.

Barros (1991) afirma que o piso é parte do subsistema de vedação horizontal e ressalta que suas características devem ser definidas considerando-se suas condições de exposição e de produção. Tais condições são diferentes para as vedações horizontais interiores ou exteriores, cabendo, segundo a autora, uma distinção entre elas. São situações que exigem do piso propriedades e camadas específicas.

A autora destaca que a vedação horizontal exterior de um edifício habitacional está em contato direto com o meio-ambiente e, portanto, sujeita a ações particulares. Já as internas encontram-se protegidas das ações do meio-ambiente, seja porque estão suspensas do solo ou por estarem abrigadas, sujeitas normalmente ao trânsito de pedestres e a cargas devidas ao mobiliário.

Barros (1991) acrescenta que independentemente das características que o piso deve apresentar para atender às condições de solicitação impostas, suas funções no conjunto das vedações seriam as mesmas. Barry (1980)[1] apud Barros (1991, p.23) defende que o piso tem como função principal o suporte de carregamentos e deve permitir o trânsito seguro e confortável pela sua superfície.

---

[1] Barry, R. **The Construction of building.** 4 ed. London: Granada, 1980. p.61-76

Nesta pesquisa, serão exploradas as características do piso pertinentes à sua aplicação externa, a partir do entendimento da função de suas camadas. As discussões estarão limitadas às situações em que o piso esteja disposto ao ar livre, em contato direto com o meio ambiente e fazendo parte da envoltória do edifício, definida por Elder e Vandenberg (1977) como uma composição de pisos inferiores, coberturas e vedações verticais.

A Figura 2-1 ilustra as situações de aplicação do piso em áreas exteriores, objeto desta pesquisa: pisos de cobertura ao nível do ático (A), pisos de terraços (B) e pisos junto ao térreo e que sejam coberturas de outros ambientes da edificação (C).

Estas situações de aplicação do piso, aqui denominadas de vedações horizontais exteriores de cobertura (VHEC), têm em comum a função de abrigar e de proteger ambientes internos. Neste contexto, suas camadas têm funções e características específicas, as quais servirão como referência para que se possa caracterizar o piso elevado que, usualmente, é aplicado em tais vedações.

Cabe ressaltar que na situação em que o sistema de piso externo está aplicado sobre o terreno natural, como ilustra a situação D da Figura 2-1, usualmente, não se aplica a tecnologia de pisos elevados. Tal situação está associada ao emprego de tecnologias de pavimentação de superfícies, tendo o solo como elemento de apoio, o que não é objeto deste trabalho e, portanto, não será caracterizado.

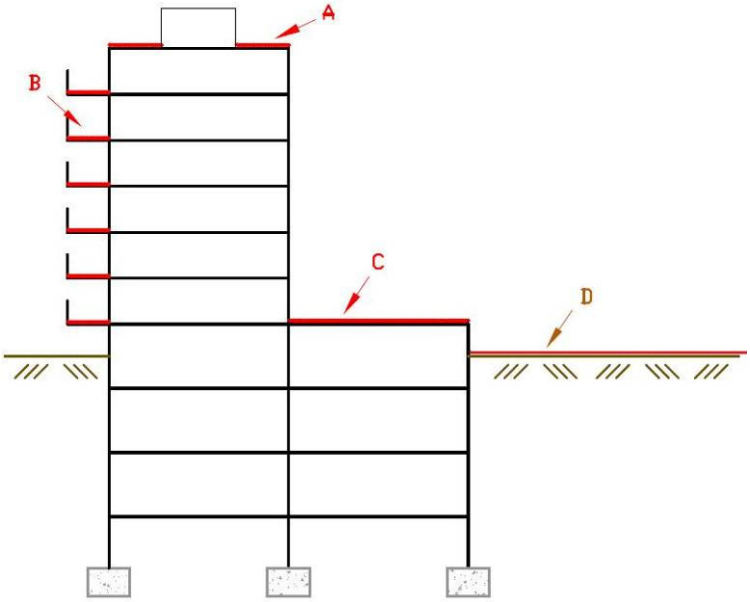


Figura 2-1 – Vedações horizontais exteriores de cobertura (VHEC) com potencial de aplicação da tecnologia de pisos elevados (A, B e C) e piso em contato com o solo que usualmente não recebe a aplicação desta tecnologia (D).

Embora as VHEC possam receber o tráfego de veículos, neste trabalho, a sua caracterização ficará restrita às vedações classificadas como acessíveis a pessoas e a pequenas cargas rolantes (bicicletas e cadeiras de roda, por exemplo), sem circulação de veículos. Esta classificação foi proposta por Lopes (1994) ao tratar de pisos de cobertura, denominados por ele como coberturas em terraço. Para esse autor, este tipo de cobertura poderia ser: não-acessível, acessível a pessoas ou acessível a veículos (leves ou pesados).

2.2 O desempenho das vedações horizontais exteriores de cobertura

2.2.1 Funções das VHEC

Nas situações ilustradas pela Figura 2-1 as VHEC assumem as funções afeitas às coberturas de telhados usuais (coberturas inclinadas), além de manterem as inerentes aos sistemas de pisos.

Assim sendo, como bem estabeleceu o Digest 75 (CBD,1966), a VHEC ao nível da cobertura de um edifício (*roof terrace)*, deverá atender a todos os requisitos de desempenho de uma cobertura convencional. Além disto deve permitir o tráfego de pessoas ou o desenvolvimento de vegetação, provendo a separação entre ambientes interno e externo, sendo acusticamente apropriada, esteticamente agradável, economicamente viável e durável.

Para o Digest 67 (CBD,1965), as vedações exteriores de cobertura, dentro de limites pré-estabelecidos, têm por função principal, controlar certas características de um ambiente, quando submetido a determinadas condições de exposição. Devem funcionar como uma barreira seletiva à temperatura, fluxo de ar e de umidade, precipitação, fogo, radiação, ruído, poeira, odor, insetos, plantas, animais e pessoas. Para isto devem impedir, limitar ou permitir o fluxo de massa e de energia, dependendo das condições de exposição e do grau de separação requerido.

O Digest 312 (BRE,1986) argumenta que as vedações exteriores de cobertura, denominadas na publicação por *flat roofs,* devem proteger não só os ocupantes de uma edificação, mas também a sua estrutura, de ações do meio externo, prevenindo em particular a penetração de água, além de controlar a troca de calor entre ambientes, sem risco de condensação de água na estrutura da cobertura.

Na situação em que as VHEC estão junto ao térreo, posição C da Figura 2-1, usualmente funcionam como cobertura de ambientes internos da construção e devem cumprir as mesmas funções destacadas pelos autores anteriores ao se referirem às vedações exteriores de cobertura. Entretanto, há uma distinção no nível de desempenho requerido para cada situação.

As VHEC ao nível do ático podem apresentar condições mais severas de exposição ao sol e ao vento. Neste caso, são recorrentes as preocupações de organismos de normalização com relação aos esforços de sucção de vento sobre seus materiais de revestimento, o que não ocorre com as VHEC ao nível do térreo. Além disto, ao nível do ático, a VHEC está sujeita a tráfego com intensidade e freqüência normalmente inferiores àquelas observadas junto ao térreo.

Uma característica marcante das VHEC dispostas junto ao térreo é que servem como áreas de acesso coletivo de pedestres, frequentemente integrando-se a elementos de valorização estética do imóvel, tais como fontes, espelhos d'água, jardins, iluminação decorativa, entre outros. Esta interação também vai lhes conferir exigências distintas em relação à situação em que estejam ao nível do ático.

Na situação em que as VHEC são empregadas como terraços, posição B da Figura 2-1, segundo Schild et al. (1978), constituem ambientes externos privativos em uma habitação e possuem a particularidade de estarem sujeitas a movimentações térmicas e estruturais não uniformes.

Nesta situação, pode-se afirmar que as VHEC interagem com elementos específicos da habitação, tais como esquadrias, peitoris, guarda-corpos, churrasqueiras, mobílias, entre outros, sem que com isto caracterize uma diferença significativa nas funções que são necessárias quando as VHEC estão ao nível do ático ou junto ao térreo.

2.2.2 Exigências dos usuários para as VHEC

Souza (1983) sustenta que uma edificação, ao cumprir suas funções, está satisfazendo às exigências dos usuários.

Na ISO 6241 (1984), afirma-se que o elemento, as partes da edificação e o seu conjunto devem atender a requisitos de desempenho expressos a partir do que chamou de requisitos funcionais dos usuários (exigências dos usuários). Essa norma

procurou reunir as principais exigências dos usuários que uma edificação deveria atender, as quais são aqui sintetizadas:

1) Estabilidade – Resistência mecânica a ações estáticas e dinâmicas, impactos, ações acidentais, fadiga, entre outros;
2) Segurança ao fogo – Regulamentação e controle de riscos de início e propagação de incêndio, aquecimento, tempo de evacuação, compartimentação, efeitos da fumaça, entre outros;
3) Segurança de utilização – Segurança referente a agentes agressivos (proteção contra explosões, incêndio, bordas e superfícies contundentes, mecanismos móveis, choques, radioatividade, inalação de substâncias prejudiciais à saúde, infecções), entre outros;
4) Vedação / Estanqueidade – Controle de infiltrações de água de diversas naturezas, de infiltrações de gás, de poeira, de ar, entre outros;
5) Conforto higrotérmico – Controle de temperatura do ar, radiação, umidade relativa, controle de condensação, entre outros;
6) Pureza de ar – Ventilação, controle de odores, entre outros;
7) Conforto acústico – Controle de ruídos internos e externos, inteligibilidade do som, tempo de reverberação, entre outros;
8) Conforto visual – Iluminação de ambientes (artificial e natural), possibilidade de escurecimento de ambientes, aspecto de superfícies e de ambientes (cores, texturas, regularidade, planeza, entre outros), contato visual com o meio externo, privacidade;
9) Conforto táctil – Propriedades das superfícies: aspereza, grau de umidade, sensação de temperatura ao toque, entre outros;
10) Conforto antropodinâmico – Limitação de aceleração do corpo e vibração, conforto de pedestres em áreas de ventos fortes, facilidade de locomoção (inclinação de rampas), manuseio satisfatório de portas, janelas, entre outros;
11) Higiene – Facilidade para limpeza, retirada de dejetos e de fumaça, limitação de emissão de contaminantes, suprimento de água, entre outros;

12) Exigências para utilizações específicas de ambientes - Tamanho, geometria, divisões, relação entre espaços, equipamentos, flexibilidade;
13) Durabilidade – Preservação do desempenho de um elemento ao longo da vida útil requerida, quando sujeito à manutenção regular;
14) Economia – Eficiência de custos iniciais, de operação, de manutenção e de demolição;

Tendo em vista que as VHEC são parte do edifício, defende-se que tais exigências ser-lhes-iam igualmente aplicáveis, podendo ser complementadas ou suprimidas em função de demandas específicas. Essa posição é apresentada pelo LNEC (1984)[2] apud Lopes (1994, p.10) que considerou essas mesmas exigências como aplicáveis a uma vedação exterior de cobertura, o que chamou de cobertura acessível.

2.2.3 Condições de exposição para as VHEC

A norma ISO 6241 (1984) tratou também de identificar as condições possíveis de exposição de uma edificação, por meio dos principais agentes que teriam influência no seu desempenho ou de alguma de suas partes constituintes, de acordo com a sua origem - externa ou interna; e com a sua natureza - mecânica, eletromagnética, térmica, química ou biológica, destacando-se:

- agentes térmicos – aquecimento, congelamento, choque térmico, cigarros, sistema de aquecimento e fogo;
- agentes químicos - água e solventes, oxidantes, redutores, ácidos, bases, sais, óleos e gorduras;
- agentes biológicos – bactérias, fungos, insetos, animais domésticos;
- agentes eletromagnéticos – Radiação, eletricidade, magnetismo;
- agentes mecânicos
    - gravidade - cargas de neve, água, pressões de água, empuxo, cargas de utilização e de ruptura;
    - forças, deformações e restrições - expansões higrotérmicas, mossas, fissuras, deformação lenta;

---

[2] LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL (LNEC) – **Curso de formação em edifícios (1983-1984)**. **Programa**. Lisboa, LNEC, 1984. Especialização e Aperfeiçoamento, Edifícios. AFI 802.

- energia cinética – Vento, impactos externos, terremotos, desgaste superficial;
- vibrações e ruídos – Vento, trovões, explosões, tráfego, ruídos de equipamentos e de outras utilizações.

Estes agentes que atuam no edifício podem atuar igualmente nas VHEC, em maior ou menor intensidade, conforme a posição que ocupa no edifício.

2.2.4 Requisitos de desempenho para as VHEC

Para Souza (1983, p.37) os requisitos de desempenho podem ser considerados como "[...] *condições qualitativas às quais um produto deve atender quando submetido às condições de exposição, a fim de que sejam satisfeitas as exigências do usuário* [...]".

Mitidieri Filho (1998) complementa afirmando que os requisitos de desempenho, ao lado de seus critérios, seriam a tradução das exigências dos usuários, em termos de regras de qualidade, objetivamente definidas, a serem atendidas quando um produto é submetido a determinadas ações.

Para o VTT (1969), as regulamentações de desempenho, em princípio, deveriam considerar requisitos mínimos que incluíssem fatores que afetassem a saúde e a segurança dos usuários. Outros requisitos que também sejam necessários, segundo essa publicação, deveriam ser estabelecidos pelo projetista em conjunto com o consumidor, levando-se em consideração o tipo de construção que será realizado.

Bring (1972) afirma que a expectativa de qualidade de um piso, entendido nesta pesquisa como elemento de uma VHEC, pode ser atingida a partir de diferentes alternativas; entretanto, nenhuma delas atenderia a todos os requisitos de desempenho, pois elevados níveis de exigência sobre certas propriedades podem estar combinados com menores níveis de exigência para outras propriedades. Exemplo disto é incompatibilidade da exigência por elevada dureza superficial e a exigência de maciez no contato com o corpo.

Para o Construction Development (co-ordination) Committee (1974), que discutiu os requisitos de desempenho de vedações horizontais interiores e exteriores, alguns deles estariam ligados especificamente às camadas mais externas do conjunto, como é o caso da resistência ao desgaste mecânico e da resistência química das

camadas de revestimento. Outros requisitos estariam ligados às funções da vedação horizontal quando avaliada como um todo, como é o caso da resistência à flexão, isolamento acústico e transmissão de calor.

Barros (1991) contribuiu com o tema ao reunir em sua pesquisa os principais requisitos de desempenho de vedações horizontais interiores de edifícios habitacionais e comerciais, a saber: resistência mecânica, capacidade de absorver deformações, estanqueidade, resistência ao ataque por agentes químicos, facilidade de limpeza e salubridade, conforto tátil, visual, acústico e higrotérmico, segurança na utilização, segurança contra o fogo e durabilidade compatível com as necessidades de utilização.

Bring (1972) listou uma série de requisitos de desempenho relativos ao piso, os quais foram reunidos a outros requisitos igualmente aplicáveis às VHEC, oriundos das publicações CSTC (1980) e Construction Development (co-ordination) Committee (1976), tendo sido sintetizados na Tabela 2-1.

Observa-se que esta complementação foi necessária pois as VHEC deverão cumprir as funções inerentes ao piso e as de uma cobertura convencional, de maneira a assegurar que as exigências dos usuários sejam atendidas.

Tabela 2-1 – Classes de exigências e requisitos de desempenho associados às VHEC[3].

Classes de exigências de desempenho para as VHEC	Principais requisitos de desempenho
Estabilidade	Resistência estrutural (cargas verticais concentradas, distribuídas, sucção do vento) Resistência estrutural aos efeitos térmicos Resistência estrutural aos impactos de corpos sólidos (corpo mole e duro)
Segurança ao fogo	Reação ao fogo (Propagação) Resistência ao fogo Ação dos subprodutos da combustão, sobre o organismo
Segurança de utilização	Segurança no contato Segurança na circulação (resistência ao escorregamento, planicidade, inclinação, entre outros) Segurança aos desníveis de borda de coberturas (guarda-corpos) Segurança à intrusão de seres humanos e de animais
Estanqueidade	Estanqueidade à água e ao ar Estanqueidade a outros materiais suspensos no ar
Conforto Higrotérmico	Isolamento térmico Limitação de condensação interna
Qualidade do ar	Emissão de odores pelos materiais constituintes dos pisos de cobertura
Conforto acústico	Isolamento aos ruídos aéreos e de impacto
Conforto visual	Aspecto superficial (fissuras, relevos, bolhas, alinhamento, esquadro, entre outros) Cor Rugosidade
Conforto tátil	Sensação ao toque (rugosidade, dureza)
Conforto antropodinâmico	Flexibilidade (deformabilidade)
Higiene	Probabilidade de sujar Facilidade de limpeza Resistência a micro-organismos
Durabilidade	Resistência a mossas Resistência ao desgaste Resistência à água Resistência à radição Resistência à luz Resistência a agentes químicos Resistência aos agentes climáticos (ciclos de congelamento, variação de temperatura, umedecimento, raios ultra-violeta) Resistência à corrosão por agentes químicos presentes no ar Resistência à corrosão eletroquímica Resistência a agentes biológicos
Economia	Manutenabilidade Preço Economia de energia

[3] Síntese proposta pelo autor a partir de Bring (1972), CSTC (1980) e Construction Development (co-ordination) Committee (1976).

2.3 Caracterização das Camadas Constituintes

Tendo em vista a similaridade das funções que são exigidas das VHEC nas três situações descritas - ao nível do ático, junto ao térreo e em sacadas - para complementar a sua caracterização será utilizado um modelo único de camadas, destacando as principais funções de cada uma delas. Para definir esse modelo, a configuração de camadas de coberturas planas será utilizada como referência.

Segundo o Digest 312 (BRE,1986) as coberturas planas apresentariam como constituintes principais as camadas de: impermeabilização, isolamento térmico e estrutura, complementadas pelas camadas de revestimento externo ou pavimentação, camada de revestimento interno sob a estrutura e a barreira de vapor, previstas de acordo com condicionantes de projeto.

Essas camadas podem ser dispostas com diferentes seqüências, além de poderem ser executadas a partir de diferentes técnicas.

Há por exemplo, situações em que o elemento de isolamento térmico está disposto sobre a impermeabilização e esta sobre a laje estrutural, como ilustra a Figura 2-2. Segundo Picchi (1986), este tipo de cobertura é denominada "invertida" (*Inverted roof assembly*) ou "com membrana protegida" (*Protected membrane roof* – PMR) ou ainda "*Up Side Down* - U.S.D." por ter uma concepção oposta à que usualmente era utilizada na década de 1970 (*Bitumen Uninsulated Roof* – B.U.R.), quando a impermeabilização era aplicada sobre a camada de isolamento.

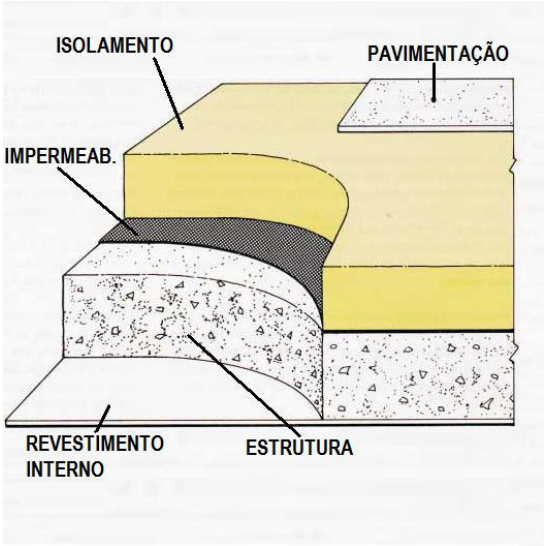


Figura 2-2 – Seqüência de camadas de uma cobertura *Up Side Down* - U.S.D. em que a membrana de impermeabilização é protegida pela camada de isolamento térmico (BRE,1986).

Em ambas as situações - U.S.D. ou B.U.R. - o isolamento térmico está sobre a laje estrutural, permitindo que a mesma permaneça com temperatura próxima à do interior da edificação. Por isto, o Digest 312 (BRE,1986) denomina o conjunto de "cobertura protegida do frio" (*warm-deck)* .

Há ainda outro esquema de camadas em que o isolamento térmico está junto ao forro (sob a laje estrutural que dá suporte à cobertura), sendo chamado pelo Digest 312 (BRE,1986) de "cobertura não protegida do frio" *(cold-deck)*. Nessa publicação afirma-se que dentre as várias possibilidades para posicionamento das camadas de uma cobertura plana, a U.S.D., B.U.R. e a cobertura não protegida do frio são as que apresentam condições técnicas satisfatórias de aplicação. Porém, acrescenta que nas décadas de 1970 e 1980, as coberturas que atingiram desempenho satisfatório na América do Norte e no norte da Europa, notadamente em países frios, utilizaram o isolamento térmico sobre a camada de impermeabilização (U.S.D.).

Segundo o Digest 312 (BRE,1986), uma cobertura do tipo U.S.D. (Figura 2-2), oferece um potencial de desempenho superior em relação às outras opções. A publicação destaca também que esta situação pode ser considerada, pela experiência acumulada, como a opção com menor risco de falha em relação às demais. Entre outras vantagens, os autores indicam que a membrana de impermeabilização estaria completamente protegida da ação do sol, evitando que se atinjam temperaturas extremas, o que, segundo Schild et al. (1978), poderia acarretar expansões lineares e tensões elevadas, principalmente quando a superfície de impermeabilização estiver desprotegida.

Segundo Picchi (1986), este tipo de cobertura tem sido cada vez mais utilizado em todos os países, pois dispensa o uso de barreiras de vapor e permite uso de impermeabilizações aderidas, que facilitam a localização de falhas de estanqueidade. Destaca, ainda, que esta opção de posicionar o isolamento térmico sobre a camada de impermeabilização foi possível devido ao desenvolvimento de novos materiais isolantes, menos absorventes, pois a umidade absorvida por eles pode diminuir a sua resistência térmica à metade.

Dada às vantagens da opção U.S.D. a sua seqüência de camadas servirá como modelo de referência para a caracterização das camadas das VHEC abordadas neste trabalho.

Para o Digest 312 (BRE,1986), a seqüência de camadas de uma cobertura U.S.D. envolve normalmente um revestimento superficial composto por materiais granulares ou por placas pré-moldadas, simplesmente apoiadas, suficientemente pesadas para evitar sua remoção por efeito de sucção de vento.

Além destas técnicas de revestimento superficial mencionadas pela publicação, há outras que merecem destaque, no caso das aplicações nacionais. São os revestimentos de argamassa de base cimentícia, formando uma camada definitiva para trânsito ou servindo de substrato para fixação de revestimentos pela técnica aderida. Nesta situação, é esperado um conjunto monolítico de camadas, acima da impermeabilização, formando-se placas com juntas de trabalho, para que se evitem falhas decorrentes de movimentos higrotérmicos a que estará sujeito este conjunto de camadas.

Contudo, nesta pesquisa será discutida, genericamente, a configuração não aderida de revestimento de pisos de cobertura, pois o piso elevado é um caso particular desta configuração, tanto quanto o revestimento flutuante sobre materiais granulares. Em ambas as situações, as peças pré-fabricadas de revestimento têm em comum a liberdade de movimento entre si e em relação à camada de apoio. Neste trabalho será adotada como configuração padrão de uma VHEC, o modelo de camadas apresentado na Figura 2-3.

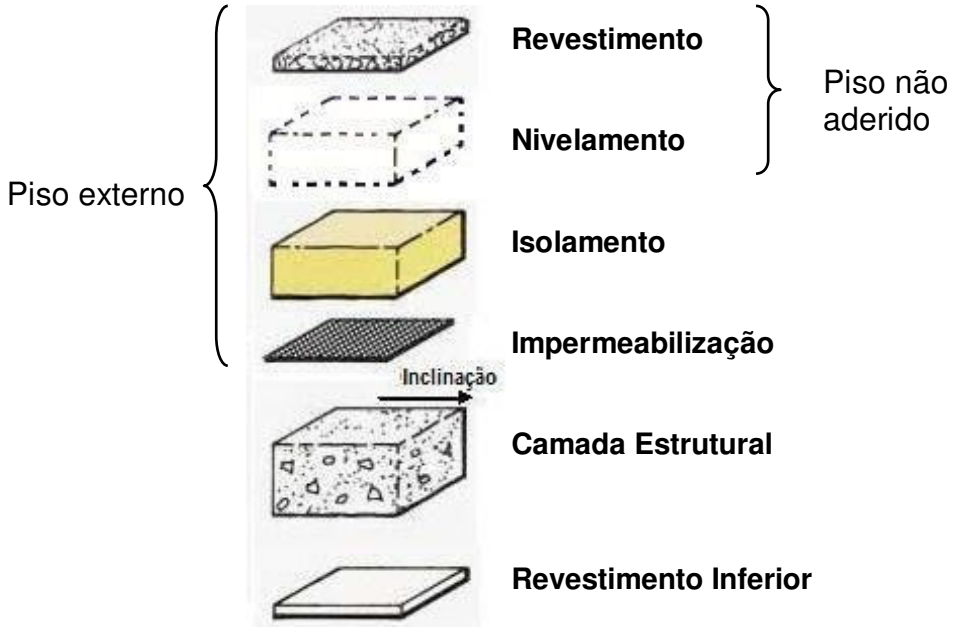


Figura 2-3 – Modelo proposto para caracterização das camadas da VHEC.

Utilizando o mesmo esquema proposto por Barros (1991) para descrever as funções das camadas da vedação horizontal interior de edifícios, as VHEC serão caracterizadas por três componentes básicos: o forro do pavimento inferior (aqui denominado de revestimento inferior), o componente estrutural de separação de dois pavimentos sucessivos (aqui denominado de camada estrutural) e o piso do pavimento superior (aqui denominado de piso externo).

Salienta-se que na configuração proposta para o piso externo (Figura 2-3) pode ainda ser inserida uma camada de regularização aplicada sobre a laje estrutural com o objetivo de proporcionar os caimentos necessários à impermeabilização, e que aqui não será tratada.

2.3.1 Camada de revestimento inferior

O revestimento inferior de uma vedação horizontal pode ser definido como a camada que proporciona à sua face inferior, uma superfície de acabamento. A aplicação deste revestimento pode envolver técnicas que resultem em camadas aderidas ou não aderidas.

Segundo o Construction Development (co-ordination) Committee (1976), esta camada deve ser suficientemente plana para apresentar aparência adequada às exigências dos usuários e também deve assegurar adequada distribuição da iluminação refletida em sua superfície.

O revestimento inferior cumpre a função de regularizar a superfície sobre a qual está aplicado, corrigindo imperfeições de nivelamento, planicidade e rugosidade superficial, além de servir como camada decorativa para um ambiente. Tem ainda a função de auxiliar na proteção da camada estrutural contra diversos agentes agressivos, tais como vapores, gases e umidade, que reduzem a vida útil da camada estrutural.

Além disto, em certos ambientes onde há necessidade da realização de instalações abaixo da camada estrutural, os revestimentos não-aderidos podem ser utilizados, na forma de forros falsos, como ponderou Barros (1991). Estes forros falsos podem também contribuir para o desempenho acústico das VHEC em relação ao isolamento a ruídos aéreos.

2.3.2 Camada estrutural

Esta camada da VHEC compõe o sistema estrutural do edifício, sendo usualmente denominada de laje. No Brasil, é constituída usualmente por concreto armado.

Como parte do sistema estrutural do edifício, segundo a ABNT NBR 15575 (2008), deve prover segurança de utilização aos usuários, sem perda de estabilidade e sem ruína ao se sujeitar à ação do peso próprio, sobrecargas de utilização, vento, entre outros, ao longo de sua vida útil de projeto.

Segundo o Digest 75 (CBD,1966), o projeto de uma VHEC acessível envolve procedimentos que devem levar em conta o carregamento proporcionado pela camada de revestimento e pelos efeitos do tráfego, como vibrações e impactos.

Segundo o Digest 67 (CBD,1965) a camada estrutural de uma vedação de cobertura deve ser projetada para suportar ou resistir todos os carregamentos aplicáveis à mesma, sem risco de colapso ou de falha estrutural, uma vez que é responsável pelo suporte de todas as demais camadas da cobertura. Portanto, movimentos estruturais excessivos, que possam prejudicar o desempenho das camadas devem ser evitados. Assim, onde grandes movimentações forem esperadas, deve-se prever juntas de movimentação.

Segundo esse mesmo documento, as movimentações e deformações podem ser decorrentes de retrações, deformações lentas, variações higrotérmicas, entre outras.

Mitidieri Filho (1998) lembra que o desempenho estrutural dos elementos e componentes de um edifício deve ser tal que ao longo de sua vida útil não deverão entrar em ruína e tampouco apresentar falhas que venham a prejudicar a sua durabilidade ou o atendimento aos níveis de satisfação exigidos por seus usuários.

Além de ser responsável pela estabilidade da vedação de cobertura e servir como apoio para aplicação de outras camadas, a camada estrutural deve auxiliar na adequada resistência à ignição, penetração e propagação de fogo a partir de construções vizinhas, não emitindo fumaça em excesso ou mesmo gases tóxicos por aquecimento ou combustão, definidos pelo Construction Development (co-ordination) Committee (1976), como requisitos de desempenho para as coberturas de forma geral.

2.3.3 Camada de impermeabilização

A camada de impermeabilização tem a função de impedir a penetração de água, de qualquer natureza, em ambientes internos. Emmitt e Gorse (2005) acrescentam que além desta função, a camada deve ser capaz de resistir a danos que venham a ser causados pela aplicação de contrapisos ou pela aplicação de acabamentos de piso sobre a mesma.

Segundo a pesquisa realizada na Alemanha por Schild et al. (1978), cerca de 20% das falhas de estanqueidade de uma cobertura decorrem de danos mecânicos à camada de impermeabilização, sendo comum que isto ocorra durante o período de construção.

A camada de impermeabilização pode ser executada com diversos tipos de materiais, definidos basicamente em função das condições de utilização e de exposição previstas, de custos envolvidos e em função da vida útil de projeto especificada para o sistema de impermeabilização.

A partir da norma brasileira que trata do tema, a ABNT NBR 9575 (2003), sintetiza-se as principais funções do sistema de impermeabilização:

- evitar a passagem indesejável de fluidos nas construções, pelas partes que requeiram estanqueidade;
- proteger as estruturas e os componentes construtivos, da ação de agentes agressivos presentes na atmosfera;
- proteger o meio ambiente de possíveis vazamentos ou contaminações;
- proporcionar conforto aos usuários, sendo-lhes garantida a salubridade física.

Para Watson (1979), quando a camada de impermeabilização estiver em contato direto com camada estrutural de uma vedação horizontal, deve ter a capacidade de acomodar qualquer movimento estrutural sem apresentar ruptura. Além disto, deve ter resistência à presença de vegetais e a agentes químicos da atmosfera, sendo capaz de resistir a ambientes úmidos por longos períodos de tempo.

Para o Digest 67 (CBD,1965), tendo em vista que a camada de impermeabilização é normalmente instalada sob superfícies de revestimento de alto valor, fazendo com que a mesma seja relativamente inacessível à manutenção, é necessário que todas as precauções tenham sido tomadas para que se previna o seu dano. Acrescenta-se

que esta relativa falta de acesso à manutenção está usualmente relacionada às técnicas de revestimento aderido.

Segundo ainda o Digest 67 (CBD,1965), a camada de impermeabilização irá desempenhar sua função de maneira mais satisfatória quando estiver protegida de agentes que lhe cause deterioração, o que pode se dar pelo uso de camada de proteção mecânica. Esta última camada foi definida por Picchi (1986), como sendo a camada sobrejacente à impermeabilização, com a finalidade de protegê-la da ação de agentes atmosféricos e de ações mecânicas.

No modelo de camadas proposto para caracterização das VHEC, ilustrado pela Figura 2-3, a proteção da impermeabilização tanto pode ser desempenhada pela camada de isolamento, quanto por outra camada que se interponha entre o isolamento e a impermeabilização.

2.3.4 Camada de isolamento termo-acústico

Picchi (1986) sugere que além da economia de energia para condicionamento de ar, que pode ser obtida pela utilização da camada de isolamento em coberturas, o conforto dos usuários e a estabilização da estrutura de cobertura serão favorecidos; pois, segundo o autor, as coberturas são os elementos mais solicitados termicamente no conjunto de vedações exteriores de um edifício.

Segundo Elder e Vandenberg (1977), a camada de isolamento térmico em uma cobertura tem a função de controlar o fluxo de calor através da sua superfície, minimizando os efeitos de temperaturas extremas. Os autores afirmam que as oscilações diárias e sazonais de temperatura do ar, o aquecimento por radiação solar e o resfriamento, podem originar alterações de temperatura, a ponto de se produzir variações dimensionais nos elementos de uma cobertura, as quais podem levar a rupturas das camadas que constituem a vedação horizontal, levando à degradação do sistema de cobertura.

Barros (1991) argumentou neste sentido ao afirmar que a camada de isolamento térmico seria essencial no caso de coberturas impermeabilizadas. Para a autora, as coberturas brasileiras, de um modo geral, estão sujeitas a elevadas temperaturas decorrentes da incidência de radiação solar, gerando sensíveis variações dimensionais no sistema de vedação horizontal. Segundo ela, isto poderia provocar

elevado grau de fissuração e conseqüente prejuízo à estanqueidade da vedação horizontal e provocar também a rápida deterioração dos materiais envolvidos e, por conseqüência, das condições de conforto e salubridade dos usuários.

Para o Digest 75 (CBD,1966), a posição relativa do isolamento térmico em uma cobertura é raramente significativa para o comportamento térmico de uma edificação (perda ou ganho de energia térmica), mas é extremamente importante na determinação da variação de temperatura a que estará sujeito cada elemento da cobertura.

Schild et al. (1978), após realizarem a sua pesquisa em país de clima frio, acrescentam que isolamentos térmicos calculados inadequadamente provêm baixa proteção térmica para o interior da edificação e aos seus componentes estruturais, ocasionando temperaturas baixas nas superfícies internas e a condensação da umidade do ar.

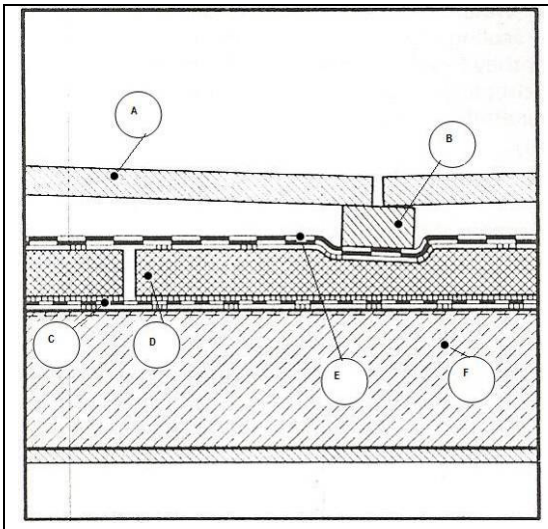
Emmitt e Gorse (2005) ampliam a discussão ao afirmarem que em vedações horizontais onde se utiliza camada com propriedade de isolamento térmico há também uma melhora nas suas propriedades de isolamento acústico, em função da descontinuidade entre a camada estrutural e a de acabamento.

Segundo Watson (1979), na maioria das coberturas planas de habitações residenciais e comerciais, a camada de isolamento térmico é constituída por placas rígidas dispostas acima da camada estrutural da vedação horizontal, podendo ser de fibra de madeira, poliestireno, poliuretano, fibras de vidro, entre outros.

Para o autor, o isolamento térmico proporcionado por esta camada será função, muito mais da independência entre as câmaras celulares que compõem o elemento, do que função do material que lhe constitui. Seeley (1986) afirma que o material constituinte da camada de isolamento térmico de uma cobertura do tipo U.S.D. deve ter baixa absorção de umidade para que não perca as suas propriedades isolantes, o que segundo Griffin e Fricklas (1996), aconteceria de maneira mais satisfatória com a utilização de poliestireno extrudado.

Schild et al. (1978) lembram que camadas flexíveis de isolamento térmico em coberturas acessíveis podem se deformar sob carregamento, resultando na quebra da superfície do piso e na ocorrência de desnivelamentos. Os autores afirmam que esta situação é mais provável ao serem utilizados revestimentos simplesmente

apoiados em bases, situação em que há concentração de esforços sobre a camada de isolamento (Figura 2-4).



A) Placa de piso de revestimento

B) Base de apoio do piso

C) Barreira de vapor

D) Isolamento térmico

E) Camada de impermeabilização

F) Camada estrutural

Figura 2-4 – Deformação da camada de isolamento térmico sob pisos pré-moldados dispostos sobre bases de apoio (Schild et al., 1978).

2.3.5 Camada de nivelamento

Além do isolamento térmico, a inspeção e a manutenção na camada de impermeabilização são facilitadas com a utilização de revestimentos não aderidos em duas alternativas usuais: na situação flutuante sobre berço de material granular e na situação elevada por apoios (piso elevado), sendo a última o foco desta pesquisa. Nas duas alternativas é necessária a utilização de uma camada com a função de nivelamento, a fim de se configurar uma superfície de circulação regular, segura e confortável.

No caso do piso elevado essa camada resulta da própria utilização de apoios de placa com altura regulável, os quais elevam a superfície de circulação e formam sob si um espaço de entrepiso, cujas funções principais são a de drenar a água de chuva e permitir a disposição de instalações diversas.

Além disto, em função da ventilação proporcionada pelas juntas do piso elevado, o espaço de entrepiso colabora com o isolamento térmico das coberturas.

2.3.6 Camada de revestimento (não-aderido)

Tendo em vista que a camada de revestimento está exposta durante todo o período de utilização do piso e em contato direto com os usuários, Barros (1991) ressalta sua importância no desempenho do conjunto da vedação horizontal, atribuindo-lhe como

funções principais, aquelas relacionadas à segurança do usuário, à proteção e à valorização da vedação horizontal.

O VTT (1969) acrescenta que a promoção da segurança aos usuários na utilização de vedações horizontais estaria ligada entre outros fatores, à resistência ao escorregamento proporcionada pelo seu revestimento.

No modelo proposto na Figura 2-3, a camada não-aderida de revestimento de piso assume as funções do revestimento das VHEC, por estar disposta em sua face mais externa e por proporcionar uma superfície de acabamento à mesma; o que, segundo a BSI BS 6100 (1992), definiria uma camada de revestimento.

Segundo Wolfe, Roberts e Russell (1973), o revestimento pode ser definido como a camada do piso sobre a qual caminham pessoas ou posicionam-se objetos, não sendo usualmente um componente estrutural. Contudo, no caso do revestimento de piso não-aderido aplicado na situação elevada, além das funções de revestimento, deverá assumir funções estruturais, dado que a integridade e estabilidade das placas são primordiais para a utilização segura do sistema.

Para o Digest 75 (CBD,1966), a superfície de uma VHEC acessível deve ser esteticamente agradável e capaz de resistir ao tráfego previsto, além de proteger a camada de impermeabilização contra possíveis danos, devendo ser durável diante das condições de exposição previstas, sem danificar a impermeabilização pelo seu comportamento. Além disto, a camada de revestimento deve ter um custo global compatível com as exigências econômicas do empreendimento.

O Digest 75 (CBD,1966) acrescenta que a longevidade da camada de revestimento de um piso de cobertura acessível será alcançada quando seus movimentos térmicos forem permitidos e quando for mantida seca o bastante para se evitarem danos pelo ciclo de congelamento.

Segundo Wolfe, Roberts e Russell (1973), a camada de revestimento de pisos tem influência nos custos globais de uma construção; pois, além dos custos diretos de aplicação, resultado das decisões quanto às exigências dos usuários em que estão presentes a diferenciação e valorização estética pretendida para os ambientes, devem-se considerar, ainda, os custos de manutenção e conservação envolvidos. Neste sentido, por exemplo, sua limpeza é responsável por uma parcela considerável do custo anual de operação de edifícios.

Quando não aderida, a camada de revestimento deve resistir aos esforços de sucção gerados pelo vento, protegendo a camada de impermeabilização da exposição ao sol e de agentes mecânicos, além de permitir evaporação de umidade absorvida por camadas da VHEC, como defende Watson (1979). Esse autor acrescenta que a instalação de placas de revestimento apoiadas sobre a camada de isolamento térmico é utilizada com estas finalidades. Para ele, estas placas formam uma excelente superfície que não pode ser movida pelo tráfego ou pelo vento, mas pode ser removida para inspeção do isolamento térmico.

Dada a importância que a camada de revestimento assume numa VHEC com piso elevado, e sendo este o tema desta pesquisa, tal camada será discutida em detalhes no capítulo que segue.

Numa configuração com sistema de piso elevado entende-se que as demais camadas que constituem a VHEC são complementares a tal sistema e, por isto, não serão consideradas nas discussões futuras acerca do piso elevado.

A título de introdução ao tema ilustra-se o piso elevado a partir da Figura 2-5 proposta pelo ICPI (2008). Trata-se de um sistema de piso em que as placas de revestimento têm seus vértices apoiados em pedestais usualmente plásticos, resultando em uma superfície nivelada que acomoda o desnível do substrato e que auxilia na drenagem de águas pluviais.

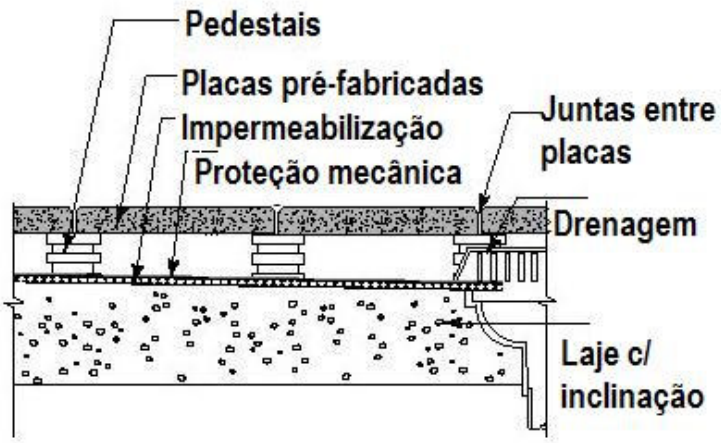


Figura 2-5 – Esquema de sistema de piso elevado, com placas de concreto apoiadas em pedestais plásticos (ICPI, 2008).

Como anteriormente mencionado, percebe-se pela ilustração que o piso elevado, além de promover uma superfície de acabamento e de circulação, por estar suspenso, deve assumir o desempenho estrutural do piso (camada acima do espaço

de entrepiso formado).

Para organizar discussões futuras acerca do tema, propõe-se um modelo para caracterização genérica do PELEX, inserido em uma VHEC, ilustrado pela Figura 2-6:

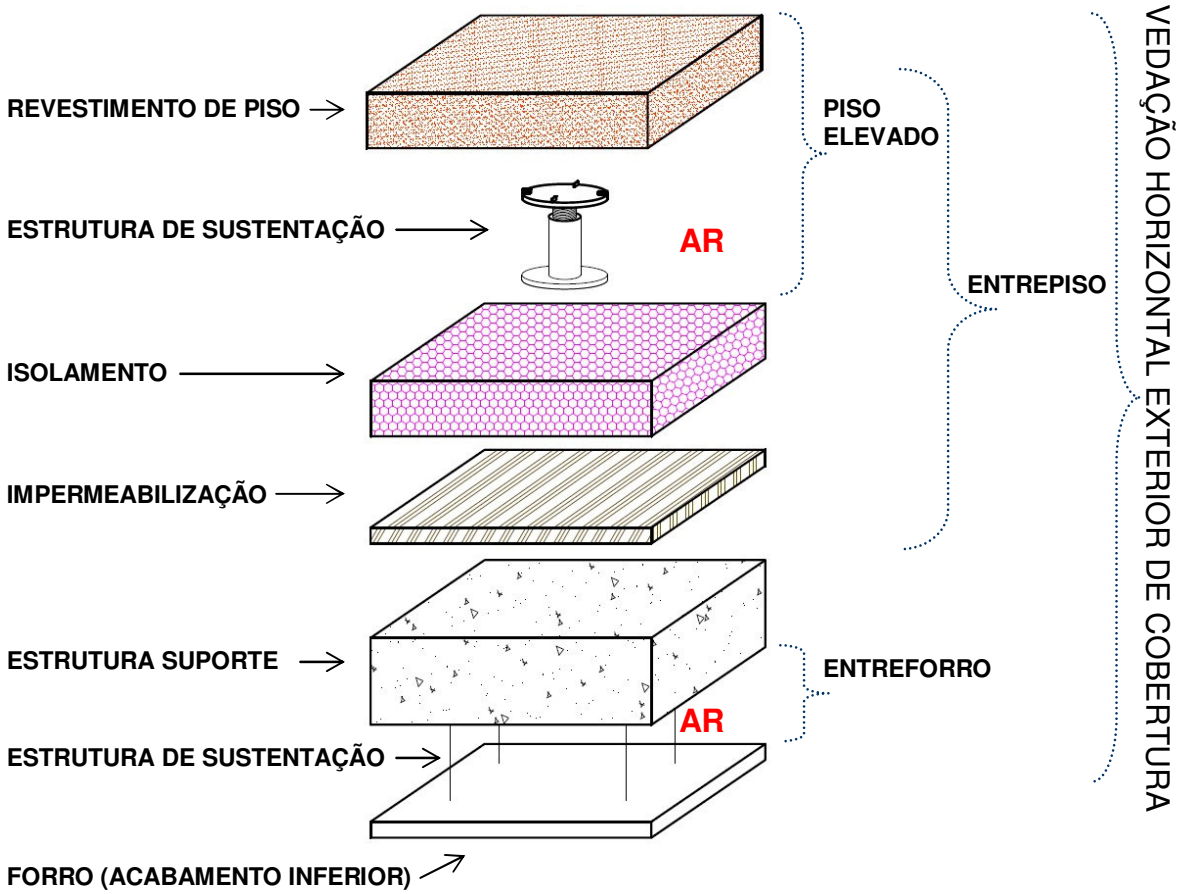


Figura 2-6 - Modelo proposto para caracterização das camadas do PELEX.

3 PISO ELEVADO COM APLICAÇÃO EXTERNA – PELEX

3.1 Histórico do desenvolvimento

Segundo o Digest 75 (CBD,1966), os altos custos de aquisição de terrenos e a tendência do aumento da densidade populacional nos centros urbanos levaram as coberturas das edificações a terem utilizações diversas. A utilidade destas áreas, sua beleza e o interesse que despertam no público, devido à utilização de jardins, de pavimentações com desenhos coloridos, de fontes e de piscinas foram responsáveis, naquela época, pela popularização de coberturas acessíveis do tipo ajardinadas (*roof gardens*) e do tipo terraço (*roof plazas*).

Neste sentido, com uma visão mais atual, MacElroy e Winterbottom (2000) afirmam que as coberturas acessíveis têm sido uma forma de ocupação usual em modernos edifícios comerciais e residenciais localizados em regiões altamente adensadas, proporcionando belos ambientes de contemplação, inclusive em espaços ao nível do térreo.

Gomes (1968) afirmava que as coberturas acessíveis do tipo terraço tinham sua aplicação recomendada em muitos casos. Isto ocorria por algumas razões, dentre as quais destaca que este tipo de cobertura recuperaria o espaço ocupado pela projeção do edifício e teria maior facilidade de adaptação às formas irregulares e recortadas de plantas do edifício em relação a uma cobertura com telhado tradicional (estrutura de madeira, forro e telhas).

Para esse autor as coberturas do tipo terraço de sua época, seriam fruto das possibilidades funcionais que o uso do concreto armado trouxe às construções.

Segundo Gomes (1968), em Lisboa, a evolução das soluções construtivas de cobertura, desacompanhada de estudo aprofundado, fez com que a solução de cobertura acessível tipo terraço, que havia começado a ser largamente utilizada em substituição ao telhado tradicional, perdesse prestígio, pois não se havia determinado as causas e as soluções para os problemas gerados.

Para Picchi (1986), os poucos anos de uso de coberturas em concreto armado, não só no Brasil, mas em todo o mundo, contrastam com os milhares de anos durante os quais o homem aperfeiçoou as coberturas do tipo telhado, caracterizadas pelo

revestimento descontínuo apoiado sobre uma estrutura leve. Para esse autor, as primeiras utilizações mundiais do concreto armado e de coberturas com este material remontariam ao final do século dezenove, considerando que no Brasil, a década de 1930, tenha sido o período em que se difundiu a utilização do concreto armado em edifícios.

Para se ter uma idéia da disseminação das coberturas acessíveis nas construções modernas, nos estudos realizados pelo Digest 89 (BRN,1973), acerca de coberturas do tipo PMR (*Protected Membrane Roof)*, cerca de cinqüenta por cento haviam sido concebidas para servirem à finalidade de coberturas acessíveis do tipo ajardinadas ou do tipo terraço.

Schild et al. (1978), ao discutirem a utilização de coberturas acessíveis do tipo terraço, coberturas planas ou sacadas, afirmam que tais áreas seriam provavelmente aquelas com maior número de falhas em construções residenciais. Tais falhas seriam decorrentes principalmente da inconformidade na aplicação dos materiais e da falta de entendimento acerca de suas propriedades e de seu desempenho potencial. Segundo os autores, esta situação ocorreu ao final da segunda-guerra, na fase de superaquecimento do mercado da construção.

No Digest 75 (CBD,1966), também se argumenta neste sentido, ao se afirmar que a minoria das coberturas acessíveis tipo terraço estavam atingindo um desempenho satisfatório, pois vazamentos e deterioração precoce de materiais de revestimento eram problemas comuns. Entretanto, nesta publicação afirmou-se que este tipo de cobertura poderia atingir um bom desempenho, desde que bem projetada, situação em que seria incrementada a aparência e vida útil da cobertura.

Ao longo da história de utilização das coberturas acessíveis do tipo terraço o conjunto de camadas de proteção da impermeabilização assumiu as funções de um revestimento de piso. Suas características estéticas estiveram compatíveis com a utilização pretendida, pela aplicação de revestimentos em placas cerâmicas, de rocha, cimentícias pigmentadas, entre outras.

Ao longo da sua utilização, a forma de aplicação dos revestimentos contemplou diferentes técnicas, algumas das quais ficaram marcadas pelo insucesso, o que acabou motivando estudos mais aprofundados a seu respeito. Tais estudos resultaram em soluções de revestimento de VHEC capazes de minimizar os riscos

de falha e com potencial de cumprir as funções que eram esperadas.

Lilley (1991) afirma que a utilização de argamassas para assentamento de placas de piso aderido acompanhou a antiga tradição do assentamento de pisos de pedra e de grandes placas de concreto. Entretanto, com a introdução de placas menores, o assentamento sobre berços de areia se tornou mais comum.

Ao se realizar o assentamento com emprego de argamassa, com o passar dos anos percebeu-se que cuidados específicos deveriam ser tomados, principalmente em países de clima frio, para se evitar a degradação da camada de assentamento.

Neste sentido, o Digest 75 (CBD,1966) havia afirmado que sistemas adequados de drenagem de coberturas acessíveis são essenciais, pois a camada de revestimento pode ser danificada ou deslocada por ação de água ou do gelo.

Lilley (1991) chama a atenção para este fato, ao recomendar cuidados com relação à confecção da argamassa para assentamento de placas de revestimento sujeitas a temperaturas baixas. Para o autor, estas argamassas devem ter baixa relação água/cimento, além de um elevado consumo de cimento. Acredita-se que esta recomendação esteja ligada à necessidade de baixa porosidade da argamassa de assentamento, para que se diminuam os danos por congelamento da água por ela absorvida.

Nos países de clima frio, onde houve uma utilização crescente da solução denominada de cobertura com membrana protegida (*protected membrana roof* – PMR ou *Up Side Down* - U.S.D), foram, por exemplo, desenvolvidas soluções de revestimento superficial não aderido na forma de placas flutuantes e de placas elevadas, para permitir que a parcela de água que ficasse retida sobre a impermeabilização pudesse ser drenada mais rapidamente sem provocar danos ao revestimento (GRIFFIN e FRICKLAS, 1996).

Segundo Griffin e Fricklas (1996), a adoção deste tipo de cobertura com membrana protegida, foi pioneiramente aplicada no Canadá, sendo que, em 1995, havia cerca de 50 mil coberturas com este conceito em operação naquele país e nos EUA; havia, ainda, milhares de aplicações na Europa, Ásia e Oriente Médio.

Nos países de clima frio as soluções de revestimento não aderido mencionadas seriam capazes de uma drenagem satisfatória, diferentemente de alguns tipos de

revestimento aderido, em que a dificuldade de drenagem poderia acarretar na sua desintegração devido aos ciclos de gelo e degelo.

Além da preocupação com a integridade da argamassa de assentamento de revestimentos, em temperaturas baixas, acrescenta-se que outros motivadores podem ter favorecido o desenvolvimento das soluções de revestimento não-aderido em placas flutuantes e posteriormente em placas elevadas, como por exemplo, a acessibilidade a instalações, a equipamentos e às camadas internas da vedação horizontal, potencialidades que foram reconhecidas por Griffin e Fricklas (1996) como aplicáveis às soluções não-aderidas.

Segundo MacElroy e Winterbottom (2000), atualmente, diversos elementos seriam comuns no revestimento de vedações horizontais exteriores de cobertura (VHEC), dentre eles, o que chamaram de “pisos com sistema de nivelamento” (*leveling system for the pavers*), entendido neste trabalho como “piso elevado”.

Para esses autores, o piso elevado é o revestimento de VHEC mais utilizado atualmente em relação ao flutuante (aplicado sobre berço de areia) e ao revestimento aderido (assentado sobre argamassa), o que já era afirmado por Griffin e Fricklas (1996) e foi recentemente confirmado em artigo do LES CAHIERS TECHNIQUES DU BÂTIMENT (2007b). A utilização de placas elevadas sobre apoios (piso elevado), que é objeto desta pesquisa, provavelmente teve motivadores específicos para seu desenvolvimento como revestimento das VHEC. Um deles seria a capacidade de proporcionar um sombreamento às demais camadas da vedação horizontal, ajudando-a a cumprir a função de prover conforto térmico aos usuários, possibilitada pela renovação de ar existente no espaço de entrepiso formado.

Além disto, se comparado às placas flutuantes sobre berços de material granular, a utilização de pisos elevados permite acesso e manutenção mais racionalizados a instalações e às camadas internas da vedação horizontal, além de uma drenagem mais rápida.

Outro ponto favorável à utilização dos pisos elevados em comparação às placas flutuantes é o de representarem uma sobrecarga menor às lajes, segundo Gomes (1968).

Outro motivador deve ter sido a possibilidade da passagem de diversas instalações

no espaço vazio formado sob o revestimento, como por exemplo, as hidráulicas de combate a incêndio, circuitos de iluminação de jardins e redes de telefonia, de maneira similar ao que ocorre com os pisos elevados em ambientes internos. Permitir a passagem de instalações e facilitar o acesso a elas aumenta a flexibilidade na utilização dos espaços com piso elevado externo, reduzindo as chances de obsolescência funcional destas áreas.

Ressalta-se que o conceito de sistemas de piso elevado é bastante antigo. Na antiga terma romana da cidade inglesa de Bath, os chamados *west baths* e *east baths* possuíam ambientes cujo aquecimento era proporcionado por insuflamento de ar aquecido sob uma camada de piso elevado. Estas placas eram suspensas por lajotas empilhadas, como ilustra a Figura 3-1.

Figura 3-1 – Ruínas do piso elevado por pilaretes da terma romana da cidade de Bath (Junho/2000).

Com outros objetivos e funções, um conjunto similar de elevação de placas de piso ocorreu nas primeiras aplicações de pisos elevados em coberturas tipo terraço as quais datam provavelmente da década de 1950.

Na versão inicial do Documento Técnico Unificado (D.T.U.) 43 do CSTB (1959), o piso elevado aparece como possibilidade de proteção à impermeabilização em coberturas acessíveis. Recomendação semelhante é feita na publicação Digest 75 (CBD,1966) e posteriormente na publicação portuguesa de Gomes (1968) e na publicação americana de Parise (1971), as quais ajudam a demonstrar a disseminação desta utilização.

Segundo MacElroy e Winterbottom (2000), nas primeiras aplicações do PELEX, as placas de revestimento de piso elevado tinham seus vértices apoiados em argamassa disposta diretamente sobre a camada de proteção da impermeabilização, formando um espaço de entrepiso. Os autores afirmam também que os apoios podiam ser constituídos, além da argamassa, por fragmentos de placas de pavimentação e que nestas situações seria possível o nivelamento da superfície do piso.

Para MacElroy e Winterbottom (2000) o antigo método de execução do PELEX, utilizando argamassa nos seus vértices, dificultava o processo de manutenção da impermeabilização por envolver retrabalho para refazer os apoios. Acrescentam que em regiões sujeitas a ciclos de gelo e degelo, havia a tendência de degradação deste apoio de argamassa. Para esses autores a evolução do assentamento de placas com elevação por pontos de argamassa resultou no sistema de pedestais atualmente utilizado para apoio de placas de piso elevado.

Na década de 1980 ainda podia ser observada a utilização de apoios de argamassa nos pisos elevados. Evidência deste uso pode ser encontrada no CSTC (1985), em que se admite que o apoio das placas de piso elevado pode se dar pelo uso de argamassa fresca, além da possibilidade de se utilizar pedestais pré-fabricados de materiais sintéticos.

Na década de 1990 o apoio de placas por elementos fixos ao substrato ainda podia ser observado. À época, Ruggiero e Rulita (1990) admitiam a sobreposição de tijolos de pavimentação como um tipo viável de sistema de apoio de placas.

Exemplos da aplicação de apoios fixos de placas (sem regulagem de altura - telescopagem) podem ser observados na Figura 3-2, Figura 3-3 e Figura 3-4.

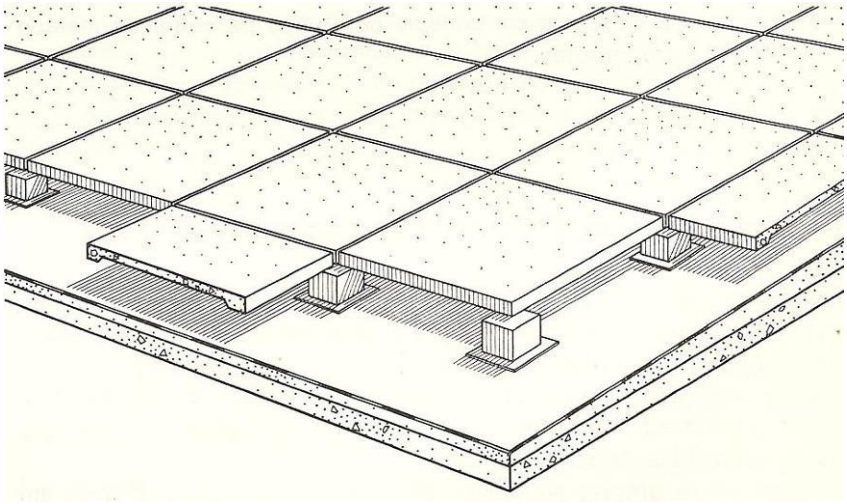


Figura 3-2 – Ilustração de uma cobertura de piso elevado com apoios fixos em elementos pré-fabricados (Gomes,1968).

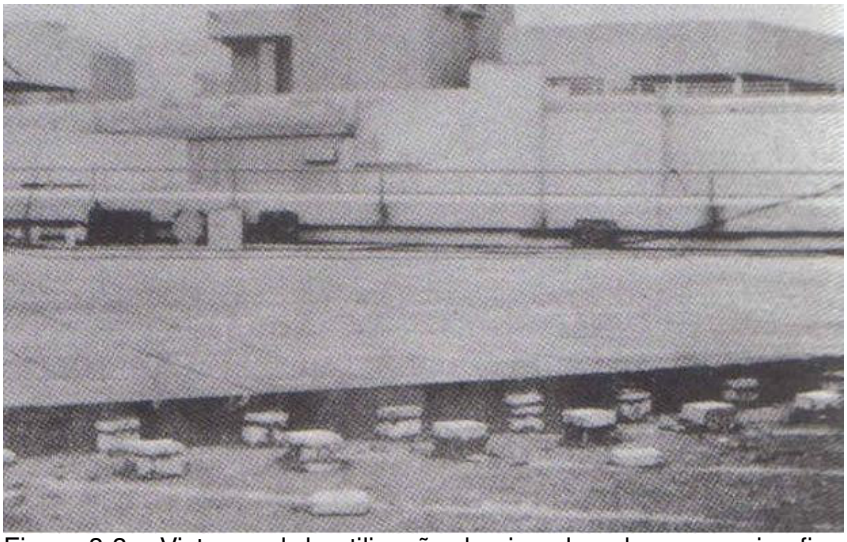


Figura 3-3 – Vista geral de utilização de piso elevado com apoios fixos em fragmentos de placas, na cobertura do New National Theatre – London (Edwards, 1975).

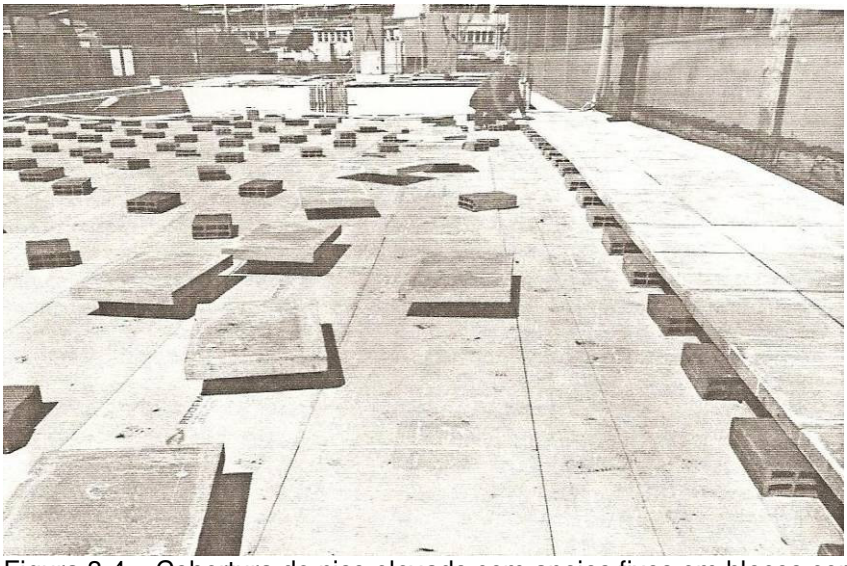


Figura 3-4 – Cobertura de piso elevado com apoios fixos em blocos cerâmicos (Lopes,1994).

Mais recentemente o sistema de apoios incorporou a possibilidade da regulagem de altura por telescopagem, o que até pouco tempo não era reconhecido por alguns pesquisadores, como pode ser observado em Ruggiero e Rulita (1990). Na época, afirmaram que para se criar uma superfície nivelada do piso elevado, a acomodação da declividade do substrato ocorreria com a utilização de diferentes alturas de apoios e com a utilização de sistemas de calços, sem indicar a possibilidade de regulagem dos apoios por telescopagem.

Contudo, outros pesquisadores contemporâneos a Ruggiero e Rulita (1990) mencionavam a telescopagem de apoios como uma realidade. Neste sentido o CSTC (1985) menciona que os apoios pré-fabricados são geralmente concebidos para permitir uma regulagem de altura.

Atualmente, a aplicação desta solução além de não estar mais restrita às coberturas ao nível do ático das edificações, sendo comum sua aplicação em sacadas e em coberturas junto ao térreo, encontra-se difundida por diversos países, incluindo o Brasil, aonde sua aplicação vem ocorrendo há alguns anos.

Exemplo da aplicação desta tecnologia pode ser constatado no Centro Empresarial de São Paulo, concluído em 1977, como ilustra a Figura 3-5. Naquela aplicação fez-se uso de placas de concreto aplicadas sobre apoios fixos, formando o espaço de entrepiso. Eram placas mais espessas e de maiores dimensões do que as atualmente utilizadas nos sistemas de piso elevado.

Figura 3-5 – Vista geral do conjunto de apoios fixos em blocos de concreto das placas do antigo piso elevado do Centro Empresarial de São Paulo. Fonte: Departamento de Manutenção – Centro Empresarial de São Paulo (2006).

Após passar por um processo de *retrofit* em 2006, o antigo piso elevado em placas de concreto foi totalmente substituído por um novo sistema de piso elevado, em placas de granito estruturado por tela de fibra de vidro no tardoz da placa, associado a apoios plásticos com regulagem de altura.

Salienta-se que uma das primeiras empresas construtoras a estudar a aplicação, em escala, do PELEX no Brasil foi a Encol. Por volta do final da década de 1980, segundo relato do engenheiro[4] que participou deste estudo, a aplicação do piso elevado restringiu-se a um único edifício, sem que tivesse ocorrido a disseminação pelas demais obras da referida empresa.

Outra referência que auxilia na construção do histórico da aplicação do PELEX no Brasil é a publicação de Picchi (1986), que menciona que o Instituto Brasileiro de Impermeabilização, pelo seu boletim técnico número 54[5], estabeleceu recomendações de execução de diversos tipos de proteção mecânica, dentre elas a chamada proteção mecânica do tipo sombreamento, entendida aqui como uma forma de aplicação do sistema de piso elevado.

Segundo Picchi (1986), esta proteção mecânica era composta de uma camada rígida de argamassa protetora da impermeabilização sobre a qual eram dispostos pilaretes de alvenaria de 10 x 10 cm com 30 cm de altura, distanciados em função das dimensões das placas que seriam assentadas sobre eles. Ele acrescenta que uma pequena fresta entre as placas deveria ser deixada para que o ar quente saísse e para que a água percolasse através da fresta, para então alcançar os ralos.

Esta situação ilustra a idéia que se tinha na época sobre as funções de um piso elevado e uma provável aplicação restrita às coberturas de edifícios ao nível do ático.

Desde então, a tecnologia de piso elevado vem sendo objeto de outras demandas, ocupando, como já mencionado, não só o nível do ático de edifícios, mas também grandes áreas de cobertura ao nível do térreo, em empreendimentos residenciais e comerciais brasileiros.

---

[4] FLAVIO AUGUSTO PICCHI. Mensagem recebida por: <mabernardes@uol.com.br > em 02 de Setembro de 2008.

[5] INSTITUTO BRASILEIRO DE IMPERMEABILIZAÇÃO – IBI. Boletim técnico informativo 54, v.8, Nov/Dez. 1983. 12p.

Um exemplo da disseminação da tecnologia de pisos elevados em áreas ao nível do térreo é ilustrado pela Figura 3-6, obtida durante o estudo de campo feito pelo autor. Trata-se de uma área que até pouco tempo atrás era exclusivamente revestida por sistemas de pisos aderidos nos edifícios residenciais brasileiros.

Pela figura se pode observar as áreas comuns do térreo de um edifício de alto padrão em região nobre de São Paulo, com a aplicação do PELEX há cerca de 9 anos, que ainda mantém um bom aspecto.

Figura 3-6 – Vista geral de utilização do piso elevado em placas de concreto, em condomínio de alto padrão de São Paulo, executado há cerca de 9 anos.

Durante o estudo de campo também foi possível observar a evolução do sistema de apoios de pisos elevados no Brasil. As primeiras aplicações possuíam apoios fixos de elementos pré-moldados, como observado no Centro Empresarial de São Paulo e como observado em uma obra residencial paulistana (Figura 3-7 (a) e (b)).

Figura 3-7 (a) e b) – (a) Detalhe do espaço de entrepiso de um piso elevado em condomínio de alto padrão; (b) Detalhe do apoio fixo em elementos pré-moldados de concreto. Empreendimento executado em São Paulo há cerca de 9 anos.

Em outra obra visitada foi possível reconhecer o que parece ser uma das primeiras

aplicações brasileiras que incorpora o conceito atual de telescopagem de apoios plásticos. Note-se, pela Figura 3-8, o artesanato envolvido no desenvolvimento da solução de apoios de placas deste empreendimento residencial com cerca de 9 anos. Os apoios são uma adaptação de componentes usualmente empregados em sistemas hidráulicos.

Figura 3-8 – Detalhe do espaço de entrepiso e do apoio de altura regulável formado pela adaptação de componentes de sistemas hidráulicos, de um piso elevado em placas de concreto em condomínio de alto padrão de São Paulo, executado há cerca de 9 anos.

As entrevistas com fornecedores da tecnologia também ajudaram a resgatar a história do PELEX no Brasil. Um dos entrevistados argumentou que sua empresa foi pioneira a oferecer o sistema completo de piso elevado com pedestais industrializados há cerca de 13 anos. Até então se empregavam pilaretes executados na obra. Naquela época, segundo ele, após trabalhar em um programa de re-impermeabilização de condomínios, chamou-lhe a atenção o excessivo desperdício envolvido no processo, já que era necessário remover e refazer toda a camada de revestimento de piso.

Após viajar para a Europa, conheceu o piso elevado, fazendo seu próprio desenvolvimento tecnológico, focando primeiramente numa solução com placas de concreto. Aboliu a idéia após convencer-se de que a potencial perda de cor das placas, a sua variação dimensional e seu ângulo de desenforma seriam pontos que desqualificavam a sua aplicação. Além disto, argumentou que, na época, não conseguiu desenvolver uma placa de concreto com resistência mecânica suficiente para uma utilização segura.

Partiu então para o desenvolvimento de uma solução em que empregava placas de granito estruturadas com tela de fibra de vidro no seu tardoz. As placas eram apoiadas em pedestais plásticos de produção própria. Transferiu seus conhecimentos acerca das placas de concreto para outro profissional que acabou adotando o concreto como solução e atualmente comercializa pisos elevados com este tipo de placa.

Outro fornecedor contatado informou que foi um dos pioneiros na aplicação de pisos elevados em placas de concreto no Brasil, tendo adquirido experiência numa empresa de pré-moldados estrangeira que fez uma aplicação no Brasil no final da década de 1990.

Atualmente, este pesquisador tem sido testemunha de inúmeras aplicações do PELEX em coberturas ao nível do ático e do térreo, utilizadas por grandes construtores e em diferentes padrões de empreendimentos, as quais empregam materiais e formas de aplicação distintas.

3.2 Descrição do sistema de piso elevado para áreas externas

Para a ASTM C 981 (2005), o sistema de piso elevado é considerado como uma forma de revestimento da camada de impermeabilização de áreas com circulação pública ao nível do térreo, que abrigam outras áreas da edificação. Neste sistema, o apoio de placas de rocha ou de concreto pré-fabricado ou de material cerâmico (*pré-fabricated masonry*) ocorre por meio de suportes chamados de pedestais. O espaço sob a camada de revestimento é deixado livre e a variação de altura deste espaço, decorrente da inclinação do substrato, é acomodada pelo ajuste da altura dos pedestais. Ainda segundo a norma ASTM C 981 (2005) as placas de revestimento têm entre si juntas abertas.

Outra publicação que além de ajudar na construção do histórico do PELEX, procura caracterizá-lo, é a de Gomes (1968), que considera o piso elevado como sendo "[...] *um revestimento de uma cobertura, constituído de placas pré-fabricadas assentadas em suportes emergentes, com juntas abertas, definindo um espaço de ar ventilado acima da impermeabilização* [...]" Segundo esse autor, as placas utilizadas eram normalmente de concreto armado, com acabamentos superficiais diversos, apoiadas em suportes isolados ou contínuos.

Conceito similar foi adotado pelo Digest 75 (CBD,1966) ao descrever o piso elevado

das VHEC.

Segundo Gomes (1968) ainda, os suportes isolados têm altura variável, de acordo com a inclinação da cobertura, dispostos quase sempre sob os vértices das placas, constituindo, cada um, o apoio de quatro placas contíguas. Para ele, o espaçamento entre suportes deve ser compatível com a resistência à flexão das placas e, sobretudo, com a capacidade de resistência a cargas concentradas que o material de impermeabilização pode suportar, sem, contudo, ter abordado o seu método de dimensionamento.

Por sua vez, MacElroy e Winterbottom (2000) mencionam que o sistema de piso elevado é composto por placas com alta resistência à compressão, suportadas exclusivamente por seus vértices, com formato quadrado ou retangular. Contudo, acredita-se que a elevada resistência à compressão não seja o parâmetro mais adequado para caracterizar o desempenho das placas de um piso elevado, como será discutido no capítulo voltado ao desempenho do sistema, em que se sugere, entre outros, critérios de resistência à flexão das placas.

Ruggiero e Rutila (1990) conceituaram o piso elevado, denominado por eles de sistema de pedestais (*pedestal system)*, como um sistema cuja superfície de revestimento permite drenagem por meio das juntas que se formam, sendo ”[...] *constituído de placas pré-fabricadas de concreto suportadas por pedestais independentes* [...]”.

Das referências consultadas, é possível depreender que as placas utilizadas como revestimento de piso elevado são intercambiáveis, apresentando uma dimensão padronizada. Na maioria das vezes, possuem largura e comprimento com a mesma medida.

Outra publicação que ajuda a caracterizar o piso elevado para aplicação externa é a AFNOR NF P 84-204-1-1 (2004). A norma considera que o piso elevado serve à proteção da impermeabilização ao mesmo tempo em que forma uma superfície de circulação.

O sistema de piso elevado externo, até aqui caracterizado, pode ser considerado como um revestimento de superfícies externas, cujos componentes (placas e suportes) podem se movimentar sem que haja restrição imposta pelas demais camadas que compõem uma vedação horizontal externa de cobertura (VHEC):

isolamento térmico, proteção mecânica, impermeabilização e laje.

Destaca-se que as placas de revestimento utilizadas nos pisos elevados devem ter resistência mecânica muito superior à das demais aplicações como revestimento de piso, seja aderido ou mesmo não-aderido, sobre berço de material granular. Nestas duas últimas situações, as placas estão integralmente apoiadas, o que diminui as exigências com relação à sua resistência à flexão e às cargas dinâmicas, reduzindo os seus custos de fabricação.

A exigência de elevada resistência mecânica acaba direcionando o uso de pisos elevados aos locais de menores solicitações e com trânsito exclusivo de pessoas.

A norma AFNOR FD P 84-204-3 (2004) – D.T.U. 43.1, que trata de sistemas de impermeabilização de coberturas acessíveis a pessoas, indica que cargas rolantes tais como as de carrinhos de supermercado, equipamentos de manutenção e de lavagem poderão acarretar danos ao piso elevado, acrescentando que este tipo de carregamento não foi considerado na elaboração da norma.

Segundo Chenaf et al. (2006), esta norma francesa utiliza como referência de desempenho para as placas de piso elevado, classes de resistência da norma AFNOR NF EN 1339 (2004) [6].

Entretanto, esses autores colocam em dúvida o fato da AFNOR FD P 84-204-3 (2004) não ter considerado o efeito de cargas rolantes para sua elaboração, uma vez que as classes de resistência da NF EN 1339 utilizadas como referência levaram em consideração o efeito de cargas dinâmicas.

Para Chenaf et al. (2006), as classes de resistência de placas de piso elevado utilizadas como referência pela AFNOR FD P 84-204-3 (2004):

> "Continuarão idênticas se a circulação sobre o piso for permitida para cadeiras de rodas: de fato, o dimensionamento é feito de modo a considerar a resistência a cargas dinâmicas (salto com os pés juntos sobre as placas) que as cadeiras de rodas não deveriam ultrapassar. (Chenaf et al., 2006, p.24)".

Por sua vez, o Building Stone Institute (2006) reconhece a limitação de tráfego sobre pisos elevados. Ao indicar três diferentes sistemas de aplicação de pisos elevados,

---

[6] ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION. **AFNOR NF EN 1339**: Dalles em béton – Prescriptions et méthodes d'essai, Paris, 2004.

destacou que nenhum deles seria capaz de suportar tráfego de veículos. Acrescenta que veículos operados manualmente, como carrinhos tipo plataforma e andaimes sobre rodas, por exemplo, poderiam ser utilizados desde que dentro da capacidade de carga do sistema instalado.

A ASTM C 981(2005) também defende que o piso elevado não é adequado para áreas sujeitas ao tráfego regular de veículos, enquanto o ICPI (2008) reforça que placas de piso de concreto utilizadas em circulações ao nível do térreo não têm o seu uso recomendado para trânsito de veículos. Nesta situação, o instituto entende que os esforços repetitivos de manobras e de frenagem de veículos acarretariam risco de quebra e de remonte das placas.

A limitação de cargas sobre o piso elevado é uma diretriz importante ao projetá-lo. Segundo um blog francês[7], em um dos trechos de piso elevado do *La Défense*, houve três ocorrências de ruptura de placas, ao longo de dois anos, em função da ação de cargas dinâmicas, como ilustrado na Figura 3-9:

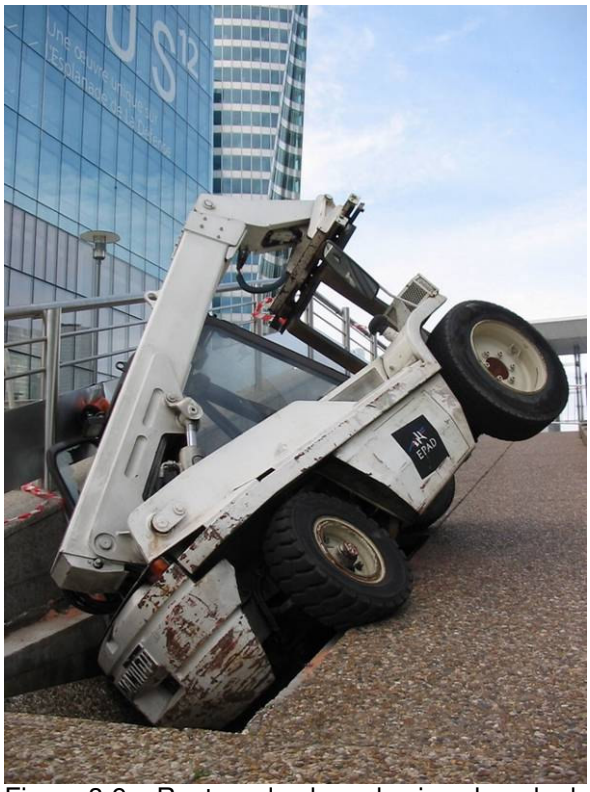


Figura 3-9 – Ruptura de placa de piso elevado do *La Défense* – Paris – (CHRISTOPHR GRÉBERT. **Blog: MonPuteaux**. Disponível em <http://www.monputeaux.com/2006/06/la_dfense_encor.html >. Acesso em 03 Maio 2008).

---

[7] CHRISTOPHR GRÉBERT. **Blog: MonPuteaux**. Disponível em <http://www.monputeaux.com/2006/06/la_dfense_encor.html >. Acesso em 03 Maio 2008.

Apesar das limitações de utilização do piso elevado em áreas sujeitas ao trânsito de veículos apresentadas até aqui por alguns autores, um artigo do LES CAHIERS TECHNIQUES DU BÂTIMENT (2007a) relata a experiência positiva com esta utilização, descrevendo um sistema especialmente concebido para tanto, que substituiu 26.000 m^2 de pavimentação do estacionamento localizado na cobertura ao nível do ático de um edifício parisiense. Este sistema é composto por placas 898 mm x 898 mm, não armadas, pré-moldadas de concreto com sistema a vácuo, apoiadas em elementos resilientes (suportes) de base alargada de 3 cm de espessura, dispostos sobre uma camada de poliestireno extrudado de alta densidade, com resistência igual ou superior à 700kPa (NF EN 826) [8]. A aplicação deste tipo de piso está ilustrada pela Figura 3-10:

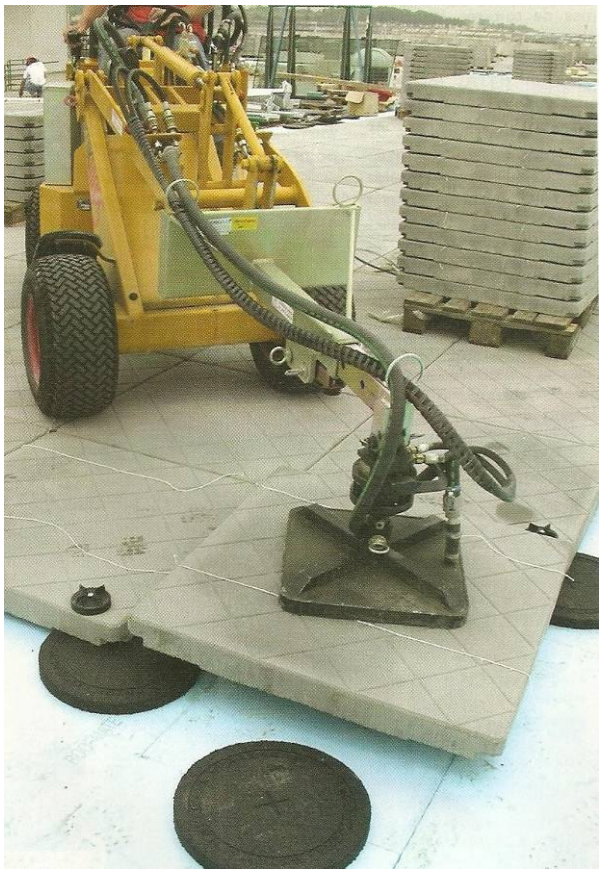


Figura 3-10 – Esquema de instalação de sistema de piso elevado para área de estacionamento. Constituído por placas de concreto pré-fabricado apoiadas em elementos resilientes dispostos sobre poliestireno extrudado (Sistema Pardak ®). Disponível em: Procédés isolants pour les toitures inversées. REVEU TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES CONSTRUCTIONS INDUSTRIELLES (RTB), n.239, p.35-42, Mars-Avril 2007.

[8] AFNOR NF EN 826 : Produits isolants thermiques destinés aux applications du bâtiment - Détermination du comportement en compression. Septembre 1996, 24p.

Segundo o LES CAHIERS TECHNIQUES DU BÂTIMENT (2007a), ao se referir ao sistema de piso elevado descrito anteriormente, menciona que:

> "Contrariamente aos pisos elevados utilizados para circulação de pedestres, o sistema utilizado deve resistir de forma durável aos esforços horizontais exercidos pelos veículos, particularmente na operação de frenagem, aceleração e mudança de direção...situações permanentes de um estacionamento. (LES CAHIERS TECHNIQUES DU BÂTIMENT, 2007, p.15)"

Demarque (2007) também menciona esta forma de utilização de piso elevado como opção para proteção de impermeabilização em áreas sujeitas ao trânsito de veículos.

Em função das particularidades envolvidas e dada a limitação que se impõe à pesquisa, nas discussões que seguem não será considerada a aplicação do sistema em áreas sujeitas ao trânsito de veículos. Este tema poderá ser utilizado em trabalhos futuros.

Outra publicação que trata do piso elevado para aplicação externa é a primeira versão da norma BSI BS 8217 (1994). Assim como a AFNOR NF P 84-204 -1 -1 (2004), ela também menciona em seu texto a possibilidade de se utilizar pisos elevados em coberturas acessíveis a pessoas; mas, para que isto ocorresse, as placas pré-fabricadas de concreto deveriam atender aos requisitos da norma BS 7263-1, substituída pela BSI BS EN 1339 (2003). Na versão atual da BSI BS 8217, publicada em 2005, segundo um gerente do departamento de construção do *British Standard Institution*[9], as placas de concreto, para serem utilizadas em pisos elevados em passeios e *decks* de cobertura, deverão ter a sua aplicabilidade confirmada pelo fabricante.

A partir do exposto até aqui, buscando-se uma uniformidade do conceito e para facilitar as discussões que serão realizadas ao longo deste trabalho, propõe-se uma conceituação para "sistema de piso elevado com aplicação externa", cuja abreviatura será adotada como "PELEX", como sendo:

> "Um sistema para revestimento de piso formado por placas modulares, industrializadas, assentadas com juntas abertas e uniformes sobre apoios contínuos ou isolados, resultando numa superfície regular para circulação exclusiva de pedestres e de pequenas cargas rolantes,

---

[9] BERNARD WILLIAMS. **BS EN 1339.** Mensagem recebida por: <mabernardes@uol.com.br > em 19 de Fevereiro de 2008.

e num espaço de entrepiso que pode ser utilizada para passagem de instalações e recolhimento de água".

Para ampliar o entendimento sobre o sistema de piso elevado com aplicação externa, na seqüência, será dada atenção às características de cada um de seus elementos, entendidos aqui como componentes funcionais cujas principais funções encontram-se reunidas na Tabela 3-1:

Tabela 3-1 – Componentes funcionais do PELEX e suas principais funções.

COMPONENTE	PRINCIPAIS FUNÇÕES
PLACAS	Formar superfície de circulação segura
	Incrementar o valor estético do ambiente
	Auxiliar na proteção mecânica da impermeabilização
	Sombrear lajes de cobertura
APOIOS	Dar sustentação e estabilidade à superfície de circulação
	Garantir espaçamento entre placas
	Regular nível da superfície
	Corrigir variações de cota e de inclinação do substrato
	Distribuir tensão sobre o substrato
JUNTAS	Conter perimetralmente o sistema
	Permitir a drenagem de água pluvial
	Permitir acomodação das movimentações de placa
	Permitir o arrefecimento do ar do entrepiso
	Permitir a evaporação de água do substrato

Além disto, serão discutidas as características da interface dos apoios com o substrato.

3.2.1 Placas

Há diversos materiais que podem ser utilizados para a fabricação de placas para o sistema de pisos elevados. Além do concreto, que é largamente empregado nesta situação (Figura 3-11, Figura 3-12 e Figura 3-13), encontram-se aplicações com placas de rocha, de madeira e cerâmica.

Figura 3-11 – Vista de empreendimento com placas pré-fabricadas de concreto aplicadas em pisos elevados de cobertura acessível. Appian Corporation. Disponível em: < http://www.appian.com >. Acesso em: 03 Jun. 2008.

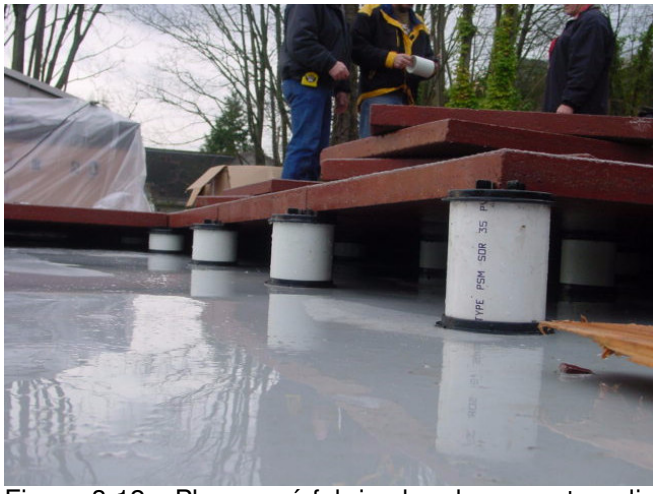


Figura 3-12 - Placas pré-fabricadas de concreto aplicadas em pisos elevados de cobertura. Appian Corporation. Disponível em: < http://www.appian.com >. Acesso em: 03 Jun. 2008.

Figura 3-13 - Placas pré-fabricadas de concreto aplicadas em pisos elevados de cobertura sobre poliestireno extrudado e camada de drenagem, acima da impermeabilização. ABBOTSFORD CONCRETE PRODUCTS. Disponível em: <http://www.pavingstones.com/>. Acesso em: 03 Jun. 2008.

Um exemplo de esquema de camadas de uma cobertura com aplicação de piso elevado com placas de madeira é ilustrado na Figura 3-14.

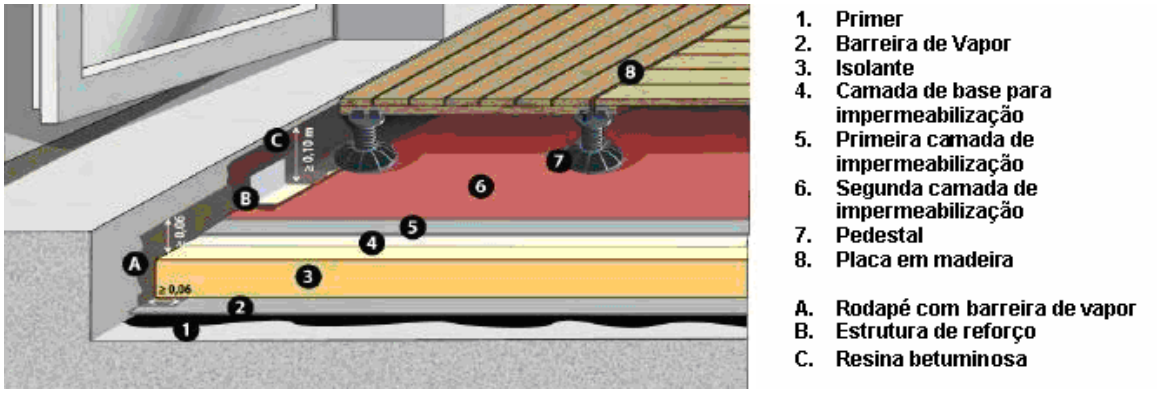


Figura 3-14 – Exemplo de esquema de camadas de uma cobertura, com aplicação de piso elevado com placas de madeira (Fonte: Chenaf et al., 2006).

Segundo Chenaf et al. (2006), as dimensões correntes das placas de concreto são 50 x 50 x 5cm - largura (l) x comprimento (c) x espessura (e).

Para o ICPI (2008), tais placas podem ter dimensão de 45 x 45 cm (l x c), a 91 x 91 cm (l x c); enquanto o CSTC (1985) sugere medida mínima de 40 x 40 x 4 cm (l x c x e), mas não fala em tamanhos máximos.

Para o CATED (1986), as placas de piso elevado são geralmente produzidas em concreto não armado de 4 a 5 cm de espessura.

Segundo o ICPI (2008), assim como acontece com os pisos intertravados, as placas

de concreto para pisos podem ser fabricadas com várias tonalidades, com agregados especiais e acabamentos superficiais, capazes de incrementar a sua aparência.

Ruggiero e Rulita (1990), preocupados com a durabilidade das placas, defendem algumas diretrizes para a produção do concreto e para a fabricação das placas, aqui sintetizadas:

- teor de ar incorporado ao concreto de 7 a 8%;
- baixa relação água/cimento (menor do que 0,45);
- adequada distribuição granulométrica de agregados, com baixa quantidade de areia para reduzir porosidade do concreto;
- adequado processo de cura (a vapor ou umedecimento contínuo por aproximadamente de 5 a 7 dias);
- placas com baixa absorção de água, menor que 5% em massa seca.

Para esses autores, a maior parte dos fabricantes de placas de piso utiliza misturas de baixa relação água/cimento que exigem técnicas de produção envolvendo prensas hidráulicas, levando a resistências da ordem de 48 MPa. Entretanto, as placas teriam baixo teor de ar incorporado, aumentando os riscos de deterioração por ciclos de gelo-degelo. Destaca-se, porém, que este aspecto não deve ser uma preocupação para as placas fabricadas no Brasil, em função do seu clima tropical.

No Brasil, acredita-se que a característica da placa a ser mais exigida deva ser a sua baixa permeabilidade, para que se possa garantir a sua durabilidade, tendo em vista que, atualmente, a grande maioria das placas aqui produzidas é armada com barras de aço, com pequeno cobrimento.

Quanto à armadura inserida na placa, destaca-se que, segundo a norma CSA A231.1 (2006), o reforço com aço não deve ser usado, a menos que a espessura de projeto das placas exceda 75mm. Esta norma recomenda ainda que as placas possam ser reforçadas com fibras adicionadas ao concreto.

Possivelmente a restrição na utilização de armação nas placas para pisos externos, proposta pela norma canadense, decorra das condições de exposição locais. Lá, ocorre um uso de sais para acelerar o processo de degelo da camada de neve que se deposita sobre as placas de piso. Com a utilização freqüente de sais, as armaduras das placas podem perder sua passividade entrando em processo de

corrosão e, por conseqüência, podem ter a sua durabilidade reduzida.

No Brasil, tendo em vista que as condições de exposição e de utilização de pisos elevados são bastante distintas daquelas observadas no Canadá, as recomendações com relação ao cobrimento e utilização de armadura devem ser diferentes, como será abordado no capítulo dedicado ao desempenho do sistema.

Além das aplicações de placas de concreto em pisos elevados, o CSTC (1985) menciona a possibilidade de utilização de placas de rocha, com espessura mínima de 4 cm e com dimensão mínima de 40 x 40 cm.
Recentemente, o Building Stone Institute (2006) confirmou a possibilidade de utilização de placas de rochas no sistema de pisos elevados, indicando que fossem de granito, com acabamento antiderrapante, sem contudo sugerir dimensões de placa que fossem adequadas para assegurar a estabilidade do sistema.

A opção por placas de granito em pisos elevados foi defendida por Hunderman e Gerns (ca.2000) durante a escolha do material que seria utilizado para a recuperação dos 7450 m^2 do piso de cobertura do *Kennedy Center for the performing arts*. Descartaram a opção de se utilizar placas de concreto em função de sua susceptibilidade aos danos por ciclos de gelo-degelo e ainda devido à sua tendência às deformações.
Segundo Hunderman e Gerns (ca.2000), as placas de granito utilizadas tiveram dimensões de 50 x 50 x 5,1 cm (l x c x e), com coeficiente de atrito de 0,6, ensaiado conforme o *Federal Register – Rules and Regulations* (1991) [10].

Embora a espessura das placas fosse de 5,1 cm, os autores mencionam que o tratamento térmico superficial (flameação) a que foram submetidas gerou microfissuras que diminuíram a sua altura útil resistente em cerca de 3,2mm. Esta situação fez com que se aumentasse o potencial de deterioração superficial das placas, por ciclos de gelo-degelo. Entretanto, a baixa porosidade do material escolhido minimizava este tipo de preocupação.

Além do concreto e do granito, o porcelanato também tem sido utilizado no piso elevado. Exemplo desta aplicação pode ser observado na Figura 3-15. Segundo o fabricante italiano que utiliza esta solução, as placas têm 40 x 40 x 1,4 cm (l x c x e).

---

[10] Federal Register: Rules and Regulations, vol.56, n. 144, Section A 4.5.1. General 1991, A5 p.

Segundo o seu site, esta empresa é líder mundial na fabricação de porcelanatos.

Figura 3-15 - Placas de piso elevado externo em porcelanato com acabamento superficial rugoso (40 x 40 x 1,4 cm – l x c x e) – GRANITI FIANDRE SPA. (Disponível em: <http://www.granitifiandre.com >. Acesso em: 03 Jun. 2008).

Apesar da dificuldade de se encontrar normas que tratem do sistema de pisos elevados, o ICPI (2008) traz regulamentações pertinentes às placas de concreto utilizadas neste sistema. O instituto afirma que no Canadá estas placas devem satisfazer aos requisitos de desempenho estabelecidos na norma CSA A231.1 (2006), tanto para pisos ao nível do térreo como para pisos ao nível do ático, inclusive na situação de pisos elevados. Esta norma destaca que "[...] *as especificações de instalação de placas pré-moldadas de concreto estão além do escopo da norma* [...]". A norma indica como métodos de instalação tipicamente utilizados, os berços de areia, de argamassa, de betume ou os pedestais (piso elevado).

A norma ressalta que a "[...] *a seleção e espessura do material da placa depende dos carregamentos, resistência do subleito, drenagem, condições ambientais, disponibilidade de materiais e práticas locais de construção* [...]".

O ICPI (2008) afirma que nos Estados Unidos não há norma para especificação de piso elevado em placas de concreto, havendo apenas a ASTM C 1491 (2003), uma norma para placas leves de concreto, de baixa resistência à flexão, utilizadas como sobrecarga para o isolamento térmico de impermeabilização de cobertura ao nível do ático. Segundo o ICPI (2008) os produtos que atendem a esta norma não devem ser objeto de trânsito freqüente de pedestres e nem devem ser colocados sobre

pedestais (piso elevado). Acrescenta que nunca devem estar sujeitas ao trânsito de veículos.

A informação da inexistência de norma ASTM foi confirmada por dois funcionários desta associação[11] [12] ao relatarem que não tinham conhecimento de norma aplicável ao piso elevado externo.

Entretanto, segundo a publicação do NCMA (ca.2002), estaria em fase de elaboração por parte da ASTM, um projeto de norma aplicável à fabricação de placas de piso de concreto para pavimentação de superfícies, sob o título: *Standard Specification for Precast Concrete Paving Slabs*, com o apoio do Interlocking Concrete Pavement Institute (ICPI).

O ICPI, por meio de seu diretor técnico[13] confirmou o auxílio no desenvolvimento daquela norma, disponibilizando, a este autor, o texto base em versão mais atualizada do que a indicada em NCMA (ca.2002), com a recomendação de que não fosse divulgada como uma norma ASTM nem como uma norma do ICPI, já que o texto estava ainda sob discussão. Esta versão mais atualizada (ICPI) juntamente com a versão apresentada pelo NCMA (ca.2002) podem ser encontradas no anexo A deste trabalho: "Projetos de norma para pisos elevados", sob a denominação de Anexo A1 e A2, respectivamente.

A versão do ICPI deixa claro que o projeto de norma ASTM pretende regulamentar o desempenho de placas de concreto, também para a situação em que forem aplicadas em pisos elevados, ao afirmar: "[…] *Métodos de assentamento de placas de piso incluem, mas não se limitam a areia, areia com cimento, areia com betume, argamassa, adesivos e pedestais* [...]".

A versão do projeto de norma ASTM indicada pelo NCMA (ca.2002) não menciona os métodos que podem ser utilizados para instalação das placas de concreto.

A versão do ICPI define o método de assentamento de placas com pedestais, como

---

[11] STEVE MAWN. **Online Help Desk Request.** Mensagem recebida por: <mabernardes@uol.com.br> 05 de Novembro de 2007.

[12] KEVIN SHANAHAN. **Research about pedestal paving for pedestrian traffic – outdoors**. Mensagem recebida por: <mabernardes@uol.com.br> 25 de Maio de 2007.

[13] DAVID SMITH, **TECH SPECS 14 – CSA A 231.1.** Mensagem recebida por: <mabernardes@uol.com.br> 05 de Novembro de 2007.

sendo:

> "O método de instalação de placas pré-moldadas de concreto, tipicamente usado para coberturas com circulação de pedestres (*pedestrian roof plaza decks*), onde cada placa é suportada em seus cantos por meio de pedestais de plástico, espuma ou de outro material, os quais elevam as placas de forma a que não tenham contato direto com os demais componentes da cobertura". (ICPI, 2007 - Anexo A1)

A versão do ICPI ressalva que os projetistas "[...] *deverão avaliar a compatibilidade dos métodos de instalação em cada aplicação* [...]".

Outro organismo que também declarou, através de um funcionário[14], não possuir normas específicas aplicáveis ao piso elevado externo foi o *Standards Australia*.

3.2.2 Apoios

Existem diversas possibilidades de realização de apoios no sistema de pisos elevados, destacando-se os pilaretes de concreto ou com blocos de alvenaria e os apoios pré-fabricados sintéticos. A ênfase deste trabalho será dada aos apoios pré-fabricados sintéticos, por terem uma aplicação preponderante nos países que fazem uso da tecnologia de piso elevado.

Neste trabalho será utilizado o termo "pedestal" para se referir aos apoios pré-fabricados sintéticos que possuam ou não a regulagem de altura de elevação.

A ASTM C 981 (2005) afirma que os pedestais são utilizados para apoiar áreas relativamente grandes de placas pré-moldadas de concreto, de rocha ou pré-fabricadas em cerâmica (*masonry*).

Atualmente existe um grande número de modelos de pedestais para pisos elevados em todo mundo. Além da diversidade de modelos, os materiais de que são produzidos os componentes também variam. Comumente estes materiais são polímeros, como por exemplo, polipropileno, polietileno, PVC, policarbonato (Figura 3-16) e o poliestireno expandido. Em função disto, é de se esperar um desempenho mecânico diferente para cada alternativa.

---

[14] NEVILLE CHEN. **Information about building code x Access floors.** Mensagem recebida por: <mabernardes@uol.com.br> 19 de Março de 2007.

Figura 3-16 – Pedestal de policarbonato transparente, resistente aos raios ultravioleta. (Fonte: Buzon Pedestal International S/A. Disponível em: < http://www.buzon-world.com/ >. Acesso em: 03 Jun. 2008).

Para o ICPI (2008), os pisos elevados utilizam freqüentemente apoios plásticos ou de fibra de vidro. Contudo, vários exemplos indicam que até pouco tempo atrás, o apoio de placas de piso elevado acontecia com muita freqüência, sem a utilização de pedestais.

Neste sentido, MacElroy e Winterbottom (2000) afirmam que em função da evolução dos apoios de piso elevado, alguns fornecedores acabaram substituindo os apoios de argamassa por pedestais em forma de blocos de poliestireno extrudado de alta resistência (60 PSI). Isto permitiu o ajustamento de nível do sistema, seja pelo corte ou pela colocação de complementos, o que foi recentemente confirmado pelo ICPI (2008), destacando que estes pedestais podem atingir cerca de 60 cm de altura.

MacElroy e Winterbottom (2000) relatam que a utilização de pedestais de blocos de poliestireno extrudado não conseguiu manter o nível da superfície dos pisos elevados durante a sua utilização, devido a cargas de impacto a que estiveram sujeitos, como por exemplo, cargas decorrentes de atividades de recreação com *skates*.

Esses autores destacam ainda que atualmente um grande número de modelos de

pedestais é oferecido no mercado e, ao relacionarem os principais modelos utilizados nos EUA, destacaram três alternativas: os modelos de PVC preenchidos com concreto (Figura 3-17), da empresa Appian Construction Inc., os de polipropileno da empresa Buzon Pedestal International S/A (Figura 3-18) e os de polipropileno da empresa Wausau Tile Inc. (Figura 3-19 e Figura 3-20).

Figura 3-17 – Pedestal com corpo central em PVC - SDR 35 de acordo com ASTM D-3034 e F-679, para alturas de 4cm até 56cm. Extremidades do pedestal em ABS. Appian Corporation. Disponível em: < http://www.appian.com >. Acesso em: 03 Jun. 2008.

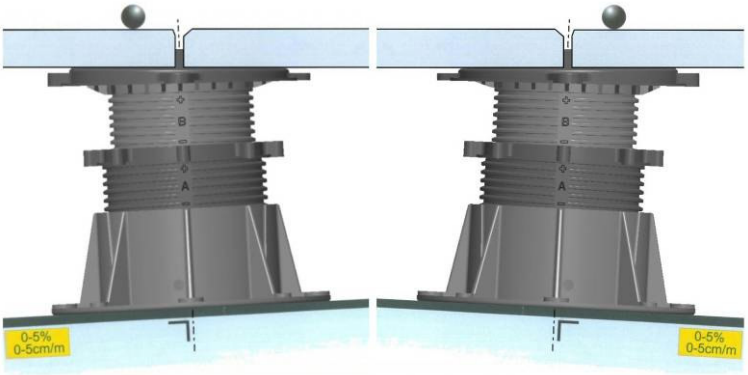


Figura 3-18 – Pedestal em polipropileno com articulação para acomodar desnível do substrato, para alturas de 1,7 cm a 62cm. Buzon Pedestal International S/A. Disponível em: <http://www.buzon-world.com/ >. Acesso em: 03 Jun. 2008.

Figura 3-19 – Pedestal em polipropileno para alturas de 5 a 53,5 cm com possibilidade de compensar a declividade do substrato pela rotação do tubo central próximo à base. Wausau Tile Inc. Disponível em: < www.wausautile.com/>. Acesso em: 03 Jun. 2008.

Figura 3-20 – Pedestal em polipropileno com módulos de extensão preenchidos com concreto para alturas de 5 a 14cm. Wausau Tile Inc. Disponível em: < www.wausautile.com/>. Acesso em: 03 Jun. 2008.

Note-se que conceitualmente os modelos da Wausau e da Appian são similares. Ambos têm altura regulável seja pelo corte do tubo central ou pela sobreposição de compensadores e, em algumas situações, requerem preenchimento dos tubos com concreto. Contudo, os modelos da Wausau podem ser montados de forma a compensar a declividade do substrato, diferentemente do modelo da Appian.

O modelo da Buzon, além de não requerer preenchimento com concreto, tem altura regulável por meio de telescopagem. Possui também a possibilidade de acomodar a declividade de até 5% do substrato, pela rotação da base de apoio das placas.

Destaca-se que no Brasil não há disponibilidade de pedestal com a função de acomodar a declividade do substrato por rotação da base de apoio.

Segundo MacElroy e Winterbottom (2000) os pedestais da Buzon acomodariam variações de altura do espaço de entrepiso de 2 cm a 91 cm. Acrescentam que o fabricante recomenda contraventamento dos pedestais com altura superior a 48 cm por meio de fios de aço, conforme ilustra a Figura 3-21, apesar de se ter localizado no material de divulgação da Buzon, aplicações com altura da ordem de 60 cm, sem contraventamento.

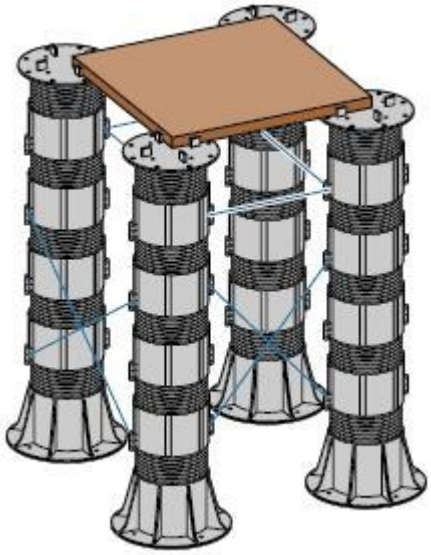


Figura 3-21 – Pedestais em polipropileno contraventados com fios de aço presos a abas perfuradas do corpo do pedestal. Buzon Pedestal International S/A. Disponível em: < http://www.buzon-world.com/ >. Acesso em: 03 Jun. 2008.

Nas aplicações com altura superior a 1m, em que foram utilizados pedestais da Buzon, pôde-se constatar um exemplo da presença de contraventamento (Figura 3-22). Contudo, o idealizador e fabricante[15] deste sistema de apoio informa que de todos os projetos da empresa, o único caso de aplicação contraventada teria sido este.

---

[15] LAURENT BUZON. **Research: Access floors- outdoor uses.** Mensagem recebida por: <mabernardes@uol.com.br> 22 de Outubro de 2008.

Figura 3-22 - Pedestais em polipropileno, com altura superior a 1m, contraventados com fitas de aço presas a abas perfuradas do corpo do pedestal em obra no Japão. (Foto cedida pela Buzon Pedestal International S/A ao autor).

Por sua vez, a Hanover Architectural Products é um fabricante de pedestais (Figura 3-23) que recomenda o seu contraventamento, quando aplicados com altura superior a 41 cm.

Figura 3-23 – Linha de pedestais em polietileno de alta densidade. Hanover Architectural Products - Disponível em: <www.hanoverpavers.com/>. Acesso em: 03 Jun. 2008.

Para o ICPI (2008), os pedestais com telescopagem têm a vantagem de envolver menos mão-de-obra de instalação em relação aos com sobreposição de compensadores, pois facilitam a acomodação de variações de cota do substrato.

Esta acomodação, muitas vezes, só é possível com a utilização de modelos de pedestais capazes de trabalhar com grandes variações de altura (Figura 3-24). Isto ocorre, por exemplo, em substratos com grandes dimensões em que há variações substanciais da sua cota devido à declividade até os pontos de captação de águas pluviais.

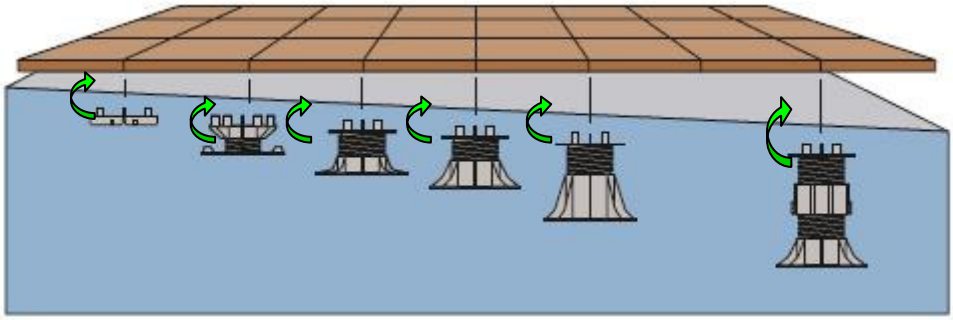


Figura 3-24 - Pedestais com diferentes alturas para acomodar as variações de cota do substrato em função da sua declividade até os ralos. ABBOTSFORD CONCRETE PRODUCTS. Disponível em: <http://www.pavingstones.com/>. Acesso em: 03 Jun. 2008.

O ICPI (2008) acrescenta que a fim de se formar um plano sem sobressaltos entre placas adjacentes pode-se utilizar pedestais com regulagem telescópica que facilitam o ajuste fino de nível, ou ainda, podem-se utilizar pedestais com regulagem de inclinação de base para compensar a declividade do substrato. O instituto acrescenta ainda que normalmente o ajuste fino depende da colocação de calços entre os vértices das placas de piso e os pedestais.

O Building Stone Institute (2006), ao tratar de pisos elevados com placas de rocha, indica exemplos de pedestais utilizados atualmente com a finalidade de permitir drenagem de água de chuva através do espaço de entrepiso formado pela elevação das placas, dentre os quais: das empresas Wausau Tile Inc (Figura 3-19), Envirospec Inc. (sistema *Pave – El*) (Figura 3-25) e Tremco Inc. (sistema TREM Proof King Pin Pedestals) (Figura 3-26):

Figura 3-25 - Pedestal - sistema *Pave – el* em polietileno de alta densidade. À esquerda esquema de montagem, à direita o detalhe do pedestal e do sistema de calço da ENVIROSPEC INC. Disponível em: <http://www.envirospecinc.com/ >. Acesso em: 03 Jun. 2008.

.

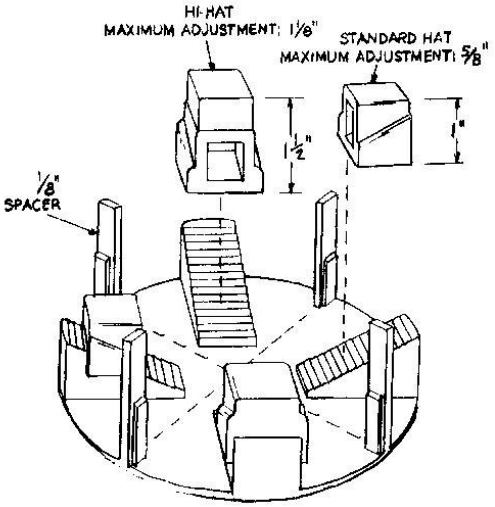


Figura 3-26 - Pedestal - sistema TREM Proof King Pin Pedestals. TREMCO INC. Disponível em: <http://www.buildingstoneinstitute.org/61241.html >. Acesso em: 03 Jun. 2008.

A AFNOR FD P 84-204-3 (2004) aborda pedestais que permitem uma regulagem de altura de 5 cm a 20 cm, ressaltando que a altura mínima possibilita um escoamento de água no espaço de entrepiso sem obstáculos, e que a altura máxima da regulagem do pedestal corresponde à limitação do risco em caso de ruptura acidental das placas.

Note-se que com os pedestais do sistema *Pave-el*, a sobrelevação das placas é da ordem de 2,5 cm, o que pode prejudicar a sua drenagem subsuperficial, caso não se adote uma camada com esta função além do espaço de entrepiso formado.

O CSTC (1985) também recomenda, entre as placas de piso e o substrato, uma

altura livre mínima de 5 cm; porém, com outra justificativa: permitir o acesso no caso de manutenção.

Embora haja a limitação de altura máxima para pedestais de pisos elevados externos na norma AFNOR FD P 84-204-3 (2004), Barret, Bertholon e Marie (1988) apresentam um exemplo francês de aplicação de pisos elevados, de grande altura de sobrelevação, suspensos por pilaretes, nos jardins de *La Défense* (Figura 3-27).

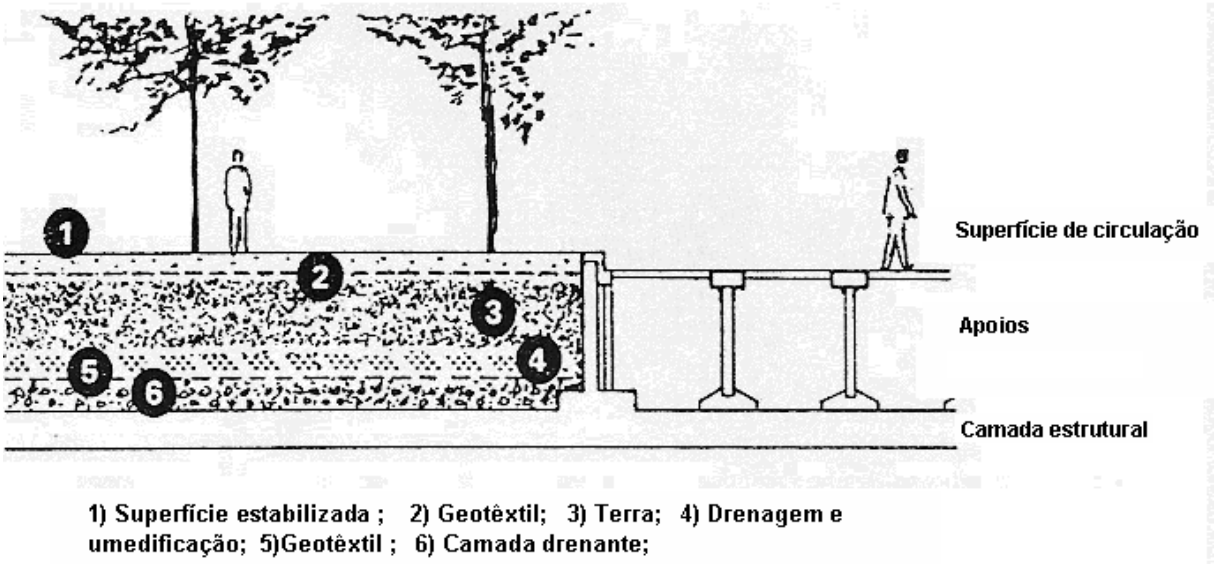


Figura 3-27 – Corte esquemático do passeio em piso elevado do *La Défense* – Paris – (Barret, Bertholon e Marie, 1988).

Isto demonstra que o conceito do piso elevado pode ser estendido a aplicações não previstas em norma, desde que haja um correto dimensionamento dos seus componentes, de acordo com as solicitações e condições de exposição previstas.

Outra norma francesa, a AFNOR NF P 84-204-1 (2001) regulamenta as características dos pedestais, a partir de critérios de resistência para os mesmos, considerando cargas excêntricas e concêntricas.

A Figura 3-28 ilustra o pedestal de um fabricante aprovado pelo *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment* (CSTB), segundo os critérios estabelecidos pelas normas francesas mencionadas, os quais serão abordados neste trabalho, na parte referente ao desempenho do sistema de pisos elevados.

Figura 3-28 - Pedestal com regulagem de altura em polipropileno do fabricante Soprema, aprovado pelo CSTB. Disponível em: <http://www.soprema.fr/>. Acesso em: 03 Jun. 2008.

Para que o sistema de pisos elevados tenha custo otimizado, comumente as empresas que o comercializam adotam placas cujas medidas demandam um menor número de pedestais, sem que isto resulte em solicitações elevadas à flexão nas placas, o que provavelmente aumentaria o custo de fabricação para incrementar a sua resistência mecânica.

Compare-se, por exemplo, a quantidade de pedestais necessários para pisos com placas de 50x50 cm (l x c) e de 60 x 60cm (l x c). Sem contar as perdas de instalação e sem contar as áreas de instalação perimetrais, onde normalmente há recortes e um maior consumo de pedestais, as placas de 50 x 50 cm demandariam pelo menos 4 pedestais a cada m^2, enquanto que as placas de 60 x 60 cm, apenas 2,8 pedestais a cada m^2. Com base em informações obtidas junto a uma das principais construtoras brasileiras, no caso das placas 50 x 50 cm, o custo dos pedestais representa cerca de 25% do custo do sistema aplicado, enquanto que no caso das placas de 60 x 60 cm, cerca de 30%.

3.2.3 Juntas

Segundo o ICPI (2008), a fim de assegurar a uniformidade das juntas entre as placas, espaçadores verticais são freqüentemente moldados nos próprios pedestais. Segundo o mesmo instituto, em pedestais de poliestireno extrudado, o espaçamento regular é obtido por meio de tiras de neoprene aderidas aos vértices das placas.

A ASTM C 981 (2005) recomenda que os espaçadores verticais entre as placas de piso elevado devam ser resilientes, capazes de absorver movimentações diferenciais entre placas, sem que haja a sua ruptura ou seu remonte. Parise (1971) também já havia mencionado esta exigência.

Além das juntas entre as placas, as juntas entre elas e uma vedação vertical também devem ser objeto de discussão.

Isto porque, para ter estabilidade, o PELEX depende de uma restrição perimetral de movimento, já que esforços laterais estarão atuando sobre a superfície do piso (trânsito de bicicletas, pessoas, vento, movimentações térmicas, entre outros).

Fabricantes como a Hanover Architectural Products[16] e a Appian Corporation [17] apresentam esta exigência de restrição em seus catálogos.

De acordo com as especificações técnicas da empresa Appian Corporation, por exemplo, o sistema de piso elevado deve:

> "ter restrição no perímetro da superfície de circulação. Movimentos acumulados acima de 3 mm levarão à perda de garantia do sistema. Parapeitos, divisórias de concreto e outras restrições perimetrais devem ser capazes de resistir a esforços laterais (incluindo sísmicos e de vento)". (Appian Corporation, Disponível em: < http://www.appian.com >. Acesso em: 03 Jun. 2008).

A Buzon Pedestal International S/A, de acordo com o SANDIA NATIONAL LABORATORIES (2002), apresenta recomendação semelhante.

A Wausau Tile Inc. também faz esta recomendação, em seu catálogo, indicando a interposição de um elemento resiliente na junta entre a placa e a vedação vertical (Figura 3-29).

---

[16] HANOVER ARCHITECTURAL PRODUCTS - Disponível em: <www.hanoverpavers.com/>. Acesso em: 03 Jun. 2008.
[17] APPIAN CORPORATION, Disponível em: < http://www.appian.com >. Acesso em: 03 Jun. 2008)

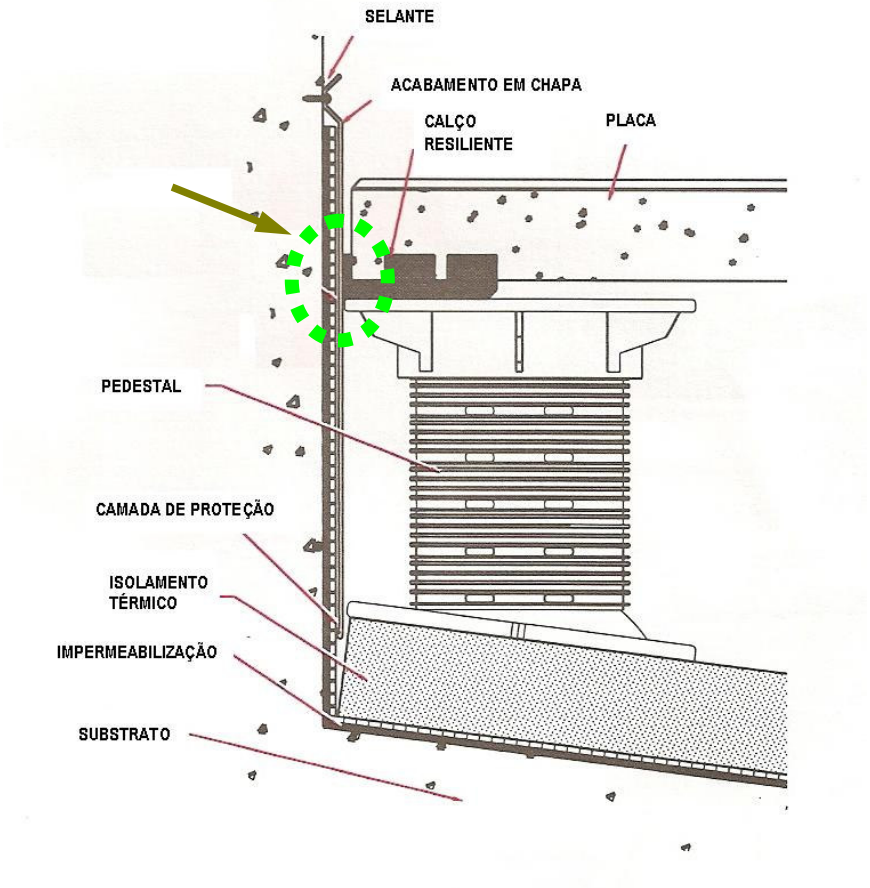


Figura 3-29 – Detalhe da restrição perimetral de um piso elevado, pela interposição de espaçador resiliente entre a placa e a vedação vertical. Catálogo da empresa Wausau Tile Inc (Informação pessoal).

3.2.4 Interface dos apoios com o substrato

A ASTM C 981 (2005) define que em projetos com previsão de instalação de pedestais diretamente sobre placas de proteção mecânica:

> "o projetista do sistema deve consultar o fabricante do sistema de impermeabilização e das placas de proteção e assegurar que os carregamentos impostos, nas condições de serviço, não trarão danos à impermeabilização nem à sua proteção". (ASTM C981 [2005]).

Esta norma recomenda que a deformação esperada por esforços de compressão deve ser analisada para evitar que as placas de proteção resultem numa superfície irregular. Em qualquer caso, estabelece que os pedestais não devem ser instalados diretamente sobre a camada de impermeabilização.

O Building Stone Institute (2006) também admite a aplicação dos pedestais diretamente sobre as placas de proteção mecânica ou mesmo de isolamento térmico

de alta densidade.

A AFNOR NF P 84-204-1 (2001), por sua vez, admite ser possível o apoio de pedestais diretamente sobre sistema de impermeabilização à base de asfalto, desde que esta seja do tipo “P” que, segundo a AFNOR NF P 84-204-1-1 (2004) é o tipo de impermeabilização que admite sobre si uma pressão máxima de 6 kPa. Para este caso a AFNOR NF P 84-204-1-1 (2004) recomenda ainda que o pedestal tenha uma área de base mínima de 300cm^2 para distribuir a tensão sobre a camada de impermeabilização.

Gomes (1968) já havia tratado do assunto tendo afirmado que apesar da utilização freqüente de apoios de base alargada, com a finalidade de diminuir a tensão transmitida à camada de impermeabilização, não convém que o sistema de pisos elevados se apóie sobre determinados tipos de impermeabilização que não sejam resistentes à punção. Esse autor recomenda a utilização de camada complementar de reforço da impermeabilização sob tais apoios.

O CSTC (1985) destaca que o limite para a tensão exercida pelos pedestais sobre a impermeabilização, depende das características mecânicas das camadas inferiores aos pedestais, que lhe dão suporte (camada de isolamento térmico ou camada de proteção mecânica em concreto, por exemplo), e das características da membrana de impermeabilização utilizada.

A norma ASTM C 981(2005) recomenda que nos casos em que os pedestais venham a ser instalados diretamente sobre a camada de isolamento (Figura 3-30), esta camada deverá ser produzida com poliestireno extrudado, especificação tipo 6 da ASTM C 578 (2007). Salienta, porém, que dependendo dos requisitos de desempenho estabelecidos, poderão ser utilizadas também, as especificações tipo 4, 5 ou 7, cujas características estão apresentadas na Tabela 3-2.

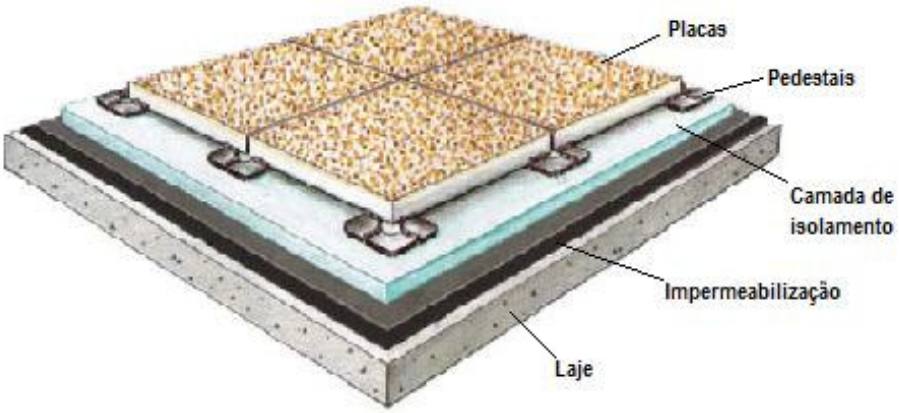


Figura 3-30 – Sistema de piso elevado com apoio de pedestal sobre camada de isolamento térmico – TILE TECH PAVERS - http://www.tiletechpavers.com/PaversDownload.html.

Tabela 3-2 – Tipos de isolamento térmico em poliestireno extrudado utilizados nas VHEC com sistema de piso elevado, segundo a ASTM C 981 (2005), com algumas de suas características, de acordo com a ASTM C 578 (2007).

Classificação de poliestireno extrudado	tipo			
	4	5	6	7
Resistência à compressão ou Esforço de compressão que cause uma deformação de 10% no material - (kPa) *	173	690	276	414
Resistência térmica por espessura de 2,54cm - temperatura média de 24 +- 1°C - ($K \cdot m^2/W$)	0,88	0,88	0,88	0,88
Absorção de água por imersão total - volume - (%)	0,3	0,3	0,3	0,3

* Menor valor entre eles

A ASTM C 981 (2005) acrescenta que:

> "devem ser considerados os possíveis efeitos danosos à membrana de impermeabilização e à placa de proteção, causados pela instalação inicial dos pedestais e também pelo tráfego subseqüente, veículos de emergência, ou por carregamentos laterais induzidos por variações térmicas, que sejam transmitidos aos pedestais pelas placas de piso". (ASTM C981 [2005]).

Na França, onde é bastante comum a utilização de pisos elevados externos sobre camada de isolamento em poliestireno extrudado, Demarque (2007) afirma que as resistências normalmente empregadas desta camada vão de 300 kPa até 700 kPa (em coberturas com acesso a veículos). Segundo esse autor, ainda, estas

resistências são definidas de acordo com a norma NF EN 826[18]. Demarque (2007) acrescenta que há outros tipos de materiais que podem ser utilizados na camada de isolamento de vedações horizontais externas de cobertura. Ele exemplifica com o caso de coberturas acessíveis a pessoas, em que defende se poder utilizar o poliestireno expandido de 100 kPa ou poliuretano de 150 kPa, sem contudo mencionar o tipo de revestimento que será utilizado (não aderido ou aderido).

O autor informa que em alguns países do sul da Europa e mesmo na França, há painéis isolantes pré-fabricados de poliestireno extrudado recobertos por camada de revestimento rígido para serem utilizados em terraços acessíveis a pessoas, dispostos inclusive sobre pedestais.

3.3 Categorias de pisos elevados

Cada vez mais os projetos de modernos edifícios têm incorporado uma diversidade de espaços que, em função das suas utilizações específicas, requerem propriedades e comportamentos particulares dos elementos construtivos frente às condições de exposição e de utilização previstas.

Embora as principais funções e exigências de desempenho do piso elevado permaneçam inalteradas nas possíveis aplicações em um edifício, os requisitos de desempenho em cada situação serão distintos, condicionando a seleção de alternativas tecnológicas disponíveis.

Por este motivo, para facilitar a discussão futura destes requisitos, propõe-se que as diversas aplicações de piso elevado externo, ligadas aos objetivos desta pesquisa, sejam classificadas segundo a intensidade de tráfego a que estão sujeitas, definindo-se quatro categorias para este elemento do edifício:

a) *Cobertura de acesso restrito e baixo trânsito de pessoas*: Área cujo acesso e trânsito de pessoas são esporádicos e reduzidos. Normalmente é utilizada para disposição de equipamentos de condicionamento de ar, aquecimento solar, instalação de antenas, entre outros. No espaço de entrepiso pode acomodar instalações hidráulicas e elétricas diversas. Acessível comumente para manutenção

---

[18] AFNOR NF EN 826 : Produits isolants thermiques destinés aux applications du bâtiment - Détermination du comportement en compression. Septembre 1996, 24p.

de equipamentos e da fachada do edifício. Apresenta camada de revestimento superficial de baixo valor estético.

b) *Cobertura de acesso contínuo e trânsito moderado de pessoas*: Área cujo trânsito de pessoas é freqüente, atingindo intensidade moderada. Normalmente é utilizada para atividades de lazer. Pode compreender *decks* de piscina, *play ground*, jardim, rampas, escadas, churrasqueira, área para condicionamento físico, entre outros. O contato do usuário com a superfície do piso pode ser feito sem calçado. No espaço de entrepiso pode acomodar instalações hidráulicas e elétricas diversas. Apresenta camada de revestimento superficial de alto valor estético.

c) *Cobertura de acesso contínuo e trânsito intenso de pessoas*: Área cujo trânsito de pessoas é freqüente e intenso, podendo receber circulação pública. Normalmente é utilizada como meio de acesso a outras áreas do empreendimento. Possui diversas interfaces, tais como fontes, jardins, pérgolas, bancos. Pode servir como rota de fuga, em caso de evacuação do edifício, e como acesso a pequenos veículos de emergência (ambulâncias) à entrada de edifícios recuados do alinhamento da rua. O contato com a superfície do piso é feito, comumente, com uso de calçados. No espaço de entrepiso pode acomodar instalações hidráulicas e elétricas diversas. Apresenta camada de revestimento superficial de médio a alto valor estético.

d) *Coberturas de acesso contínuo e trânsito de veículos*: Áreas sobre laje cuja função seja o trânsito e estacionamento de veículos de passeio, sujeito a tráfego intenso e pesado. Devem ser concebidas para resistir a esforços dinâmicos de frenagem, aceleração e mudança de direção de veículos. O espaço de entrepiso pode acomodar instalações diversas e tem altura reduzida. Apresenta revestimento superficial de médio valor agregado. Ressalta-se, como já mencionado, que esta aplicação requer estudos específicos não contemplados nesta pesquisa.

3.4 Benefícios potenciais da aplicação de piso elevado em áreas externas

Acredita-se que o desenvolvimento do sistema de pisos elevados esteja vinculado aos benefícios potenciais de sua utilização quando comparados aos revestimentos aderidos e não-aderidos flutuantes, os quais serão aqui discutidos.

Griffin e Fricklas (1996) afirmam que os revestimentos de piso elevado de uma VHEC têm, sobre os revestimentos flutuantes, a vantagem de promover uma drenagem mais rápida e eficiente. Além disso, permitem a ventilação e evaporação de áreas subsuperficiais e proporcionam acesso mais facilitado para manutenção e reparo de componentes abaixo da camada de revestimento.

Ruggiero e Rutila (1990) já tinham destacado a eficiência da drenagem proporcionada pelo sistema de piso elevado, quando trataram de sistemas de impermeabilização em vedações horizontais exteriores de cobertura ao nível do térreo. Eles afirmaram à época, que o sistema de pisos elevados proporcionava a superfície mais eficiente e funcional disponível no mercado. Para eles, as juntas entre as placas permitiam que a água fosse drenada rapidamente da superfície até a impermeabilização, eliminando a necessidade de drenagem superficial e prevenindo problemas associados ao congelamento de berços de apoio utilizados em outras técnicas de assentamento da camada de revestimento superficial. Estes mesmos argumentos também foram utilizados por Watson (1979) para destacar as vantagens desta tecnologia de revestimento.

A publicação que aborda o tema das proteções mecânicas de coberturas do LES CAHIERS TECHNIQUES DU BÂTIMENT (2007b) também considera o piso elevado como sendo uma proteção de impermeabilização com vantagens técnicas, estéticas e de utilização, sem contudo mencioná-las.

A ASTM C981 (2005) também registra a importância da drenagem eficiente para sistemas de pisos de cobertura. Nesta norma defende-se que a drenagem deve ser capaz de minimizar os ciclos de saturação do revestimento e de seu substrato, pois alguns materiais utilizados na camada de revestimento de piso absorvem umidade e podem se deteriorar quando submetidos a ciclos de congelamento. Para tanto, a drenagem deve ser eficiente ao nível da superfície do revestimento e ao nível da impermeabilização.

Quanto à drenagem superficial, esta norma relata o que chamou de revestimento de juntas fechadas, associado ao revestimento aderido, ou de juntas abertas, associado ao revestimento não-aderido. O primeiro deve ser projetado para permitir, pela sua inclinação, o rápido escoamento superficial da água, resultando em pequena infiltração. O segundo deve ser projetado para permitir que a água de chuva flua

rapidamente para o sistema de drenagem subsuperficial, o que é realizado corriqueiramente pelo piso elevado.

O Building Stone Institute (2006) lembra que, em regiões sujeitas à neve, as juntas entre as placas de piso elevado permitem que além das águas pluviais, a água do derretimento de neve também caminhe para o sistema de drenagem, o que também foi registrado na ASTM C981 (2005).

Pelos argumentos apresentados pode-se dizer que uma das principais justificativas que colaboraram para a disseminação da utilização de pisos elevados no mundo é a sua eficiente drenagem, que permite reduzir problemas decorrentes de congelamento de água absorvida por algumas camadas da VHEC.

No Brasil, apesar de não se ter usualmente temperaturas que justifiquem a preocupação com congelamento de camadas das vedações horizontais, a eficiente drenagem promovida pelo sistema de piso elevado traz outros benefícios que favorecem a sua utilização em coberturas acessíveis, como a sua planicidade e a ausência de poças d'água sobre a camada de revestimento.

Ainda com relação à drenagem da água de chuva de vedações de cobertura com piso elevado, a publicação do ICPI (2008) declarou que o espaço de entrepiso formado pode servir como um reservatório de água durante chuvas muito intensas.

Constatou-se que numa das aplicações estudadas por este autor, será utilizado este conceito para se reduzir os picos de vazão gerados por chuva em um empreendimento em São Paulo. A idéia da empresa é que o espaço de entrepiso funcione como reservatório de retardo de água pluvial (Figura 3-31). O projeto do sistema hidráulico do empreendimento prevê que a lâmina de água que deverá ficar retida durante a chuva será de cerca de 4 cm e deverá ser esgotada, aos poucos, com auxílio de registros acessíveis em trechos setorizados, operados pela equipe do condomínio.

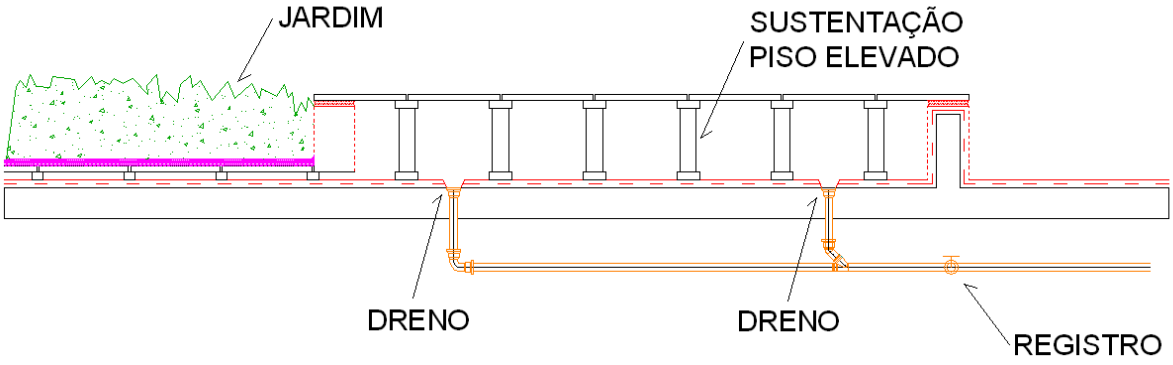


Figura 3-31 – Esquema proposto por empresa construtora para piso elevado cujo espaço de entrepiso funcionará como caixa de retardo de águas pluviais, em obra da cidade de São Paulo. Fonte: Construtora de grande porte da cidade de São Paulo.

Nas referências consultadas para o desenvolvimento deste trabalho não se encontrou registro sobre possíveis desvantagens desta forma de utilização do piso elevado. No entanto, acredita-se que esta situação requer cuidados específicos de projeto, operação e manutenção do sistema para que se evite a proliferação de insetos ou de outros microorganismos que poderiam prejudicar a salubridade da edificação. Tais cuidados vão desde se impedir o acúmulo de água e de matéria orgânica no espaço de entrepiso, por períodos prolongados, até, possivelmente, a realização de dedetizações regulares neste espaço.

Este conceito de retardar a água de chuva utilizando o PELEX foi abordado também por Bize (2001), ao considerar o retardo temporário das águas de chuva em coberturas, como uma forma de se compensar o impacto da impermeabilização do solo proporcionado pela urbanização de determinadas regiões.

Além da drenagem, há outros benefícios associados à utilização do sistema de piso não aderido, seja ele flutuante ou elevado. Neste sistema, Ruggiero e Rulita (1990) mencionam que remoções temporárias de piso são facilitadas. MacElroy e Winterbottom (2000) argumentam neste sentido, ao destacarem que a vantagem da utilização do revestimento de piso elevado em relação ao aderido seria a de facilitar a manutenção e o reparo do sistema de impermeabilização. Esta mesma vantagem havia sido defendida por Barret, Bertholon e Marie (1988) e foi confirmada recentemente pelo ICPI (2008) em que se afirma que o sistema de pisos elevados sobre pedestais permite rápida remoção dos seus componentes de revestimento

para reparos no sistema de impermeabilização e de drenagem. Após os reparos, os componentes podem ser reinstalados sem evidência da realização da sua movimentação. Além disto, essa publicação salienta que a substituição das placas de piso, quando danificadas, é simples.

Acrescenta-se que mesmo em relação ao revestimento não-aderido flutuante, a manutenção e o acesso às camadas inferiores de uma vedação com piso elevado é mais simples e expedita que para o revestimento aderido. Esta vantagem é também destacada por Hunderman e Gerns (ca.,2000) ao salientarem que o sistema de pisos elevados permite manutenção facilitada nas placas, no sistema de impermeabilização e no sistema de drenagem.

O Digest 75 (CBD,1966) já afirmava que as câmaras formadas com a utilização de pisos elevados podem ser espaçosas o suficiente para permitir tarefas de manutenção sem prejudicar a camada de revestimento.

A facilidade de manutenção da impermeabilização também foi um argumento para que o Headquarters - Department of the Army (1993) recomendasse a aplicação de pisos elevados em coberturas ao nível do térreo com circulação pública (*plazas)*.
Para se ter uma idéia da importância de se facilitar as manutenções em sistemas de impermeabilização, Brigand (1998) estimou gastos anuais de cerca de 200 milhões de francos (o equivalente a 2,6 milhões de dólares) com o reparo de problemas em sistemas de impermeabilização de coberturas acessíveis na França. No estudo, a grande maioria dos problemas de impermeabilização diz respeito a falhas de estanqueidade (95% das ocorrências).

Brigand (1998) faz ainda uma avaliação das principais ocorrências de falhas dos sistemas de impermeabilização de coberturas acessíveis às pessoas, sem especificar quais destes sistemas teriam utilizado a tecnologia de piso elevado. Na sua avaliação, 46% das manifestações patológicas decorrem de defeitos pontuais, situação em que se acredita que o sistema de pisos elevados leve grande vantagem em relação aos sistemas tradicionais de revestimento, pois facilita a detecção da falha e o seu reparo, reduzindo os custos envolvidos em manutenção.

A norma francesa AFNOR NF P 84-204 -1 (2001) é outra referência que indica benefícios potenciais da utilização do sistema de pisos elevados em coberturas acessíveis. Esta norma indica que a aplicação deste sistema, onde há circulação

exclusiva de pessoas, é interessante, pois permite uma superfície de circulação horizontal, com rápida drenagem da água de chuva. Além disto, a norma valoriza o acesso em nível aos ambientes externos proporcionado pela utilização do PELEX, a facilidade de desmontagem da camada de revestimento e a minimização do choque térmico da camada de impermeabilização.

Para Gomes (1968), a aplicação do piso elevado é recomendada nas coberturas quando se pretende favorecer o seu desempenho térmico, pois este sistema resulta num espaço de ar ventilado acima da impermeabilização que minimiza a sua temperatura superficial.

Para o autor, a atuação direta da radiação solar sobre a cobertura é eliminada com o sombreamento proporcionado pelo piso elevado. No seu lugar haverá outra radiação, numa temperatura mais baixa, proveniente da face inferior das placas às demais camadas da cobertura. O efeito desta radiação será reduzido em função do arrefecimento da face inferior da placa, pelo efeito do ar circulante (convecção) no espaço formado entre o piso elevado e a sua camada de apoio.

Acrescenta que a utilização de revestimentos com alto grau de reflexividade contribui para a proteção térmica de ambientes ao nível da cobertura.

O autor exemplifica o grau de proteção térmica que seria obtido com a utilização de placas de concreto como camada de revestimento de pisos de cobertura. Segundo ele, 70% da radiação solar seria absorvida pela placa que irradiaria cerca de 90% do calor absorvido, com uma eficiência protetora da ordem de 40%, pois apenas 60% da energia solar incidente no sistema seria transmitida para as demais camadas das VHEC. Nesta situação, seria decisiva a função de arrefecimento proporcionado pela circulação de ar sob a placa de revestimento.

Outro benefício que pode ser alcançado com a utilização do PELEX, registrado por Gomes (1968), é a menor sobrecarga nas VHEC, em função de se dispensar a utilização da camada de assentamento e de regularização para a aplicação do revestimento, principalmente quando se pretende utilizar uma superfície de circulação praticamente nivelada.

A menor sobrecarga em VHEC pode ainda ser obtida com o emprego de piso elevado como suporte da terra empregada em jardins e a conseqüente limitação da sua altura ao valor requerido para o desenvolvimento das espécies de plantas

previstas. Esta situação é particularmente importante em jardins contíguos e nivelados a *decks* de piscina, em que normalmente podem ser observadas alturas de terra superiores a 1m. Com a utilização de piso elevado, além da redução de sobrecarga do jardim, facilita-se a manutenção da camada de impermeabilização das jardineiras, pelo menor volume de terra a ser retirado nesta operação. Além disto, nesta situação, dificulta-se o contato de raízes com a camada de impermeabilização, reduzindo-se os riscos de degradação por este agente.

Ainda como benefício da utilização do PELEX, há a possibilidade de se utilizar o espaço de entrepiso para posicionamento de instalações diversas como, por exemplo, hidráulicas de combate a incêndio, alimentação de torneiras de jardim, circuitos de iluminação e desvios de águas pluviais em pisos de apartamento com área descoberta ao nível do ático. Este benefício, resultante do emprego deste sistema de piso, permite maior flexibilidade na utilização dos espaços, reduzindo o risco de obsolescência funcional dos edifícios.

Além disto, os pisos elevados conseguem acomodar de maneira mais racional, eventuais interferências que o substrato possa oferecer aos pisos, como por exemplo, a situação ilustrada pela Figura 3-32 (a) e (b) em que se tem uma variação expressiva da cota do substrato.

Figura 3-32 (a) e (b)– Aplicação de piso elevado externo em área com expressiva variação de cota do substrato. (a) Detalhe de transição de apoio do vértice de uma placa de piso elevado, utilizando-se perfil metálico; (b) Vista geral do espaço de entrepiso formado (Fotos cedidas ao autor pelo fabricante Buzon Pedestal International S/A).

3.5 Requisitos de desempenho do piso elevado para áreas externas

Para que sejam definidos os requisitos de desempenho do sistema de pisos elevados em áreas externas, antes, é preciso que suas funções sejam discutidas.

Uma importante função do PELEX é ser suporte para uma circulação segura e confortável de pedestres, com resistência mecânica compatível com os carregamentos de utilização, sob determinadas condições de exposição. Além desta, outras funções deverão ser cumpridas pelo PELEX, destacando-se as seguintes:

- prover uma superfície capaz de ampliar a noção do espaço ambiente, por meio da integração, em nível, de áreas externas e internas e por meio do embutimento de floreiras abaixo da superfície de circulação do piso;
- auxiliar no conforto térmico dos ambientes abrigados por uma VHEC;
- auxiliar na proteção mecânica da camada de impermeabilização e da camada de isolamento;
- reduzir a intensidade dos movimentos térmicos dos componentes de uma VHEC;
- reduzir a degradação da camada de impermeabilização por efeito de choques térmicos e por efeito da radiação solar;
- assegurar o rápido escoamento de água da superfície de circulação, além de facilitar a drenagem até as captações de águas pluviais, pelo espaço de entrepiso;
- minimizar as patologias comumente encontradas em pisos aderidos, como eflorescências e empoçamentos;
- facilitar o acesso às camadas de impermeabilização, drenagem e isolamento, para racionalizar o processo de manutenção;
- assegurar a intercambiabilidade das placas de revestimento e facilitar a sua substituição;
- permitir o embutimento de sistemas prediais de água, esgoto, energia, telefonia, entre outros, no espaço de entrepiso formado;
- auxiliar no desempenho acústico da VHEC;
- facilitar a alteração de leiaute de sistemas prediais.

Para que possam cumprir suas funções, os pisos elevados devem atender a uma série de requisitos de desempenho. Isto porque o PELEX, ao substituir algumas camadas das VHEC tradicionais (revestimento aderido) o faz assumindo parte dos seus requisitos de desempenho e, em particular, aqueles aplicáveis à camada de revestimento.

Assim, ponderando-se acerca dos requisitos de desempenho das diversas camadas de uma VHEC tradicional foi possível reconhecer quais destes seriam aplicáveis ao PELEX e explorá-los, a fim de subsidiar as futuras análises quanto aos critérios de desempenho a serem atendidos.

Os requisitos que se consideram aplicáveis ao PELEX e suas respectivas classes de exigências de desempenho foram reunidos na Tabela 3-3 e se encontram discutidos na seqüência.

Tabela 3-3 – Classes de exigências e requisitos de desempenho associados ao PELEX aplicado em VHEC[19].

Classes de exigências de desempenho para o PELEX	Principais requisitos de desempenho associados
Estabilidade	**Resistência estrutural (cargas verticais concentradas, distribuídas, sucção do vento, cargas horizontais x contenções perimetrais)** **Resistência estrutural aos impactos de corpos sólidos durante a utilização (corpo mole e duro)**
Segurança ao fogo	**Resistência ao fogo**
Segurança de utilização	**Segurança no contato** **Segurança na circulação (resistência ao escorregamento, planicidade, inclinação, entre outros)**
Conforto Higrotérmico	**Isolamento térmico**
Conforto acústico	**Isolamento aos ruídos aéreos e de impacto**
Conforto visual	**Aspecto superficial (fissuras, relevos, alinhamento das juntas, esquadro, entre outros)** **Cor**
Conforto tátil	**Sensação ao toque (rugosidade, dureza)**
Conforto Antropodinâmico	**Deformabilidade e folga entre elementos do sistema**
Higiene	**Probabilidade de sujar** **Facilidade de limpeza** **Resistência a micro-organismos**
Durabilidade	**Resistência à denteação** **Resistência ao desgaste por abrasão** **Resistência a agentes químicos** **Resistência aos agentes climáticos (ciclos de congelamento, variação de temperatura, umedecimento, raios ultra-violeta)** **Resistência à corrosão por agentes químicos presentes no ar** **Resistência a agentes biológicos**
Economia	**Manutenabilidade** **Custo global** **Economia de energia**

[19] Proposta deste autor, a partir das pesquisas realizadas

3.5.1 Estabilidade

O sistema de pisos elevados, em função de suas características e das condições de utilização, deve ser encarado como um elemento estrutural da vedação horizontal, cuja estabilidade e resistência são fundamentais para o cumprimento de todas as funções e estão intimamente ligadas à segurança de sua utilização.

Assim considerando, parte das recomendações apresentadas pela ABNT NBR 15575 (2008), no capítulo voltado ao desempenho estrutural do conjunto de camadas de pisos internos (vedações horizontais interiores), pode ser aproveitada para o PELEX.

Analisando-se as prescrições da norma, percebe-se que a resistência e a estabilidade da camada estrutural do piso interno são analisadas em função das combinações de ações características e possíveis de ocorrerem durante a vida útil do edifício. Elas se referem ao estado limite último (ruína) e de utilização, bem como à limitação das deformações verticais e ocorrência de falhas nos pisos. Apesar do enfoque da norma ser para a camada estrutural, acredita-se que alguns dos requisitos estabelecidos para a exigência de estabilidade e resistência desta camada das vedações horizontais interiores, podem ser aplicados ao PELEX, destacando-os:

- *estabilidade e resistência estrutural* – Não deve haver ruína ou deformação que coloque em risco a integridade física ou que provoque a sensação de insegurança quando um piso for submetido a carregamentos previstos em projeto;
- *limitação de deformações verticais* – O piso não deve apresentar deformações verticais, bem como a ocorrência de fissuras ou quaisquer falhas, acima de limites pré-estabelecidos;
- *resistência a impactos de corpo-mole e de corpo-duro* – O piso deve resistir aos impactos de corpo-mole e de corpo-duro previsíveis nas condições normais de serviço, sem apresentar ruína ou danos localizados, nem deformações excessivas e nem provocar a sensação de insegurança.
- *resistência a cargas verticais concentradas* – O piso deve resistir a cargas verticais concentradas previsíveis nas condições normais de serviço, sem apresentar ruína ou danos localizados, nem deformações excessivas.

O CSTC (1980) já havia utilizado esses conceitos de estado limite último e de

utilização para assegurar a estabilidade da estrutura de uma VHEC. Para isto, considerou além das cargas permanentes e de utilização (incluindo cargas de impacto de corpo mole e duro), aquelas decorrentes de efeitos térmicos e da ação do vento.

Apesar da estabilidade de um piso estar preponderantemente ligada ao desempenho da camada estrutural, o Construction Development (co-ordination) Committee (1974) lembra que o piso como um todo deve ser capaz de resistir a qualquer carregamento estático e dinâmico aplicável em sua utilização normal. Além disso, deve ser capaz de transmiti-los aos seus suportes, sem apresentar deformações e vibrações locais inaceitáveis. Segundo a publicação ainda, a deformação sob carregamento não deveria prejudicar o desempenho do piso ou de componentes adjacentes, inclusive quando este carregamento fosse decorrente de fixações de outros elementos.

A falta de estabilidade de um sistema de piso elevado deve ser avaliada com grande atenção e rigor; o que não ocorre para os demais sistemas disponíveis - flutuante ou aderido – pois, para estes, não se trata de um requisito crítico.

A falta de estabilidade de um sistema de piso elevado pode ocasionar graves acidentes pessoais em função da altura de queda a que o usuário fica sujeito e pela eventual exposição do corpo a partes contundentes, resultado da fragmentação das placas.

Talvez essas sejam as razões pelas quais alguns fabricantes internacionais recomendem o contraventamento de pedestais a partir de determinadas alturas, como já citado e ilustrado anteriormente.

3.5.2 Segurança ao fogo

Segundo o Construction Development (co-ordination) Committee (1974), em certas utilizações, ao serem especificados requisitos de desempenho para o piso ou para os seus componentes, relacionados à segurança contra o incêndio, algumas propriedades dos materiais deveriam ser observadas:

- combustibilidade;
- resistência ao fogo;
- estabilidade (ausência de colapso);

- integridade (resistência à passagem de chamas);
- isolamento térmico; e
- propagação de chama.

Esse organismo destaca, ainda, que um piso não deve ser construído de materiais que emitam fumaça excessiva ou gases tóxicos em extensão que agravem substancialmente os danos causados pelo sinistro, como resultado de seu sobreaquecimento ou de sua combustão.

Como o enfoque do trabalho é a aplicação externa do piso elevado, a segurança ao fogo assume uma importância relativamente menor, se comparada aos ambientes internos, nos quais se dispõe de um volume muito grande de materiais combustíveis.

Nos ambientes externos, os riscos de geração de um incêndio e as chances de propagação pelo sistema de piso elevado, são significativamente menores em relação aos pisos elevados internos.

Devido à baixa probabilidade de geração e à dificuldade de propagação de incêndios no PELEX, e ao elevado custo de fabricação de pedestais metálicos resistentes a intempéries, acredita-se que estes sejam os motivos para que, mundialmente, os pedestais aplicados no sistema PELEX, não tenham resistência ao fogo (pedestais plásticos), ao passo que no sistema de pisos elevados internos sejam feitos em material temporariamente resistente ao fogo (metal).

Contudo cabe uma reflexão sobre os efeitos de um foco de incêndio em instalações embutidas no espaço de entrepiso do PELEX e a conseqüente perda da capacidade de suporte dos pedestais afetados pelo fogo. Nesta situação, a evacuação utilizando a superfície do piso elevado externo seria insegura, o que não deve ser admitido, pelo menos em rotas de fuga.

Atenção especial deve ser dada aos riscos de incêndio oriundo de falhas nos circuitos elétricos e de eventuais instalações que conduzam gás no espaço de entrepiso, confinadas em algum tipo de enchimento.

3.5.3 Segurança de utilização

O estabelecimento de requisitos de desempenho relacionados à segurança na utilização de pisos pretende mitigar o risco de acidentes, principalmente daqueles relacionados com a queda dos usuários durante a sua circulação. Estes riscos

ocorrem, por exemplo, em função das características dos elementos que compõem os pisos, como irregularidades superficiais das placas de revestimento e a resistência insuficiente destas placas, que levem a sua ruptura em utilização normal.

Por sua vez Campante (1996) afirma que dentre os requisitos de desempenho de um revestimento de piso, um dos mais importantes seria a segurança proporcionada por este durante a utilização, pois influencia a forma com que os indivíduos fazem uso deste elemento, já que a velocidade de deslocamento, comprimento de passos e ângulo de contato entre os pés dos usuários e a superfície dependem da probabilidade de escorregamento associada a esta utilização.

Acrescenta que a segurança de um piso poderia ser definida em termos de sua capacidade de proporcionar utilização isenta de riscos à integridade física dos usuários.

Carani[20] (1992) apud Campante (1996, p.75) acrescenta que a segurança de um revestimento de piso envolveria diversos fatores, destacando: material utilizado na sua produção, a sua concepção e projeto, sua instalação e as operações de limpeza e de manutenção.

Sob este enfoque, a ABNT NBR 15575 (2008) procurou estabelecer três requisitos de desempenho relativos à segurança de utilização, destacando-se:

- *resistência ao escorregamento* – o piso deve ter características que tornem segura a circulação de usuários, evitando-se escorregamentos e quedas.
- *segurança na circulação* – o piso deve ter características tais que sejam prevenidas lesões em seus usuários, provocadas por quedas decorrentes de irregularidades localizadas, tais como ressaltos e frestas entre componentes do piso.
- *segurança no contato direto* - o piso deve ter características tais que sejam prevenidas lesões em seus usuários provocadas pelo contato direto de partes do corpo com a sua superfície. Essa norma afirma também que a superfície do piso não pode apresentar rugosidade excessiva ou arestas contundentes que tornem impraticável o apoio direto dos pés desnudos sobre o piso ou que possam ocasionar lesões. Além disto, a superfície do piso não poderá liberar,

---

[20] Carini, G. Safety of Ceramic Tile Floors: Slipperiness and Eveness. **Ceramica Acta,** v.4, n.1, p. 5-16, 1992.

em condições normais de uso, incluindo as atividades de limpeza, fragmentos perfurantes ou contundentes. No texto é ressaltado que o projeto de execução deve limitar a declividade na circulação em escadas e em rampas, adequando-as às dimensões de degraus e de patamares, além de introduzir guarda-corpos e corrimãos.

Essa norma brasileira estabeleceu que elementos, componentes, equipamentos e quaisquer acessórios ou partes da edificação não devem apresentar rugosidades, contundências, depressões ou outras irregularidades, que prejudiquem a realização das atividades do tipo caminhar, apoiar-se, limpar, brincar ou outras semelhantes.

Aplicando as recomendações dessa norma ao PELEX, tanto o desnível entre placas adjacentes como a largura das juntas entre elas são requisitos que devem ser considerados para permitir utilização segura da sua superfície de circulação.

Neste sentido, segundo a ASTM C 981 (2005), no sistema de pisos elevados externos, as placas devem estar dispostas de forma a manter uma distância máxima entre elas de 6,3mm, para evitar riscos no trânsito de pessoas.

Esta preocupação já estava presente em outras publicações da ASTM (*American Society of Testing and Materials*). Segundo Parise (1971), as juntas entre pisos elevados maiores do que 6,3mm se tornaram um risco para as usuárias de salto-alto.

Apesar da limitação da abertura das juntas em 6,3mm, alguns modelos de calçados femininos, com espessura de saltos da ordem de 5 mm, trariam risco na utilização dos pisos elevados.

Talvez seja por isto que, recentemente, o ICPI (2008) estabeleceu que para se evitar riscos na utilização dos pisos elevados, as juntas entre as placas não deveriam exceder 5 mm.

Outra publicação da ASTM, elaborada por Ruggiero e Rulita (1990), também destacou preocupação com as juntas entre as placas, ao registrar que a principal reclamação contra o sistema de pisos elevados é que a parte estreita de um salto alto pode ficar presa em uma junta.

Esta situação de risco orientou a definição da largura de juntas do piso elevado da cobertura do *Kennedy Center for the performing arts*. Hunderman e Gerns (ca.2000)

registram que nesta obra foi especificada uma largura máxima de 4,8mm.

Por sua vez, o Construction Development (co-ordination) Committee (1974), ao abordar a segurança de utilização de revestimentos de piso, registrou que tais revestimentos devem ter adequado coeficiente de atrito em relação ao tipo de calçado normalmente utilizado pelo pedestre, sem que haja risco de desequilíbrio do mesmo ou dificuldade de tráfego. Acrescenta que caberia ao fabricante estabelecer os efeitos do método de manutenção recomendado por ele, sobre o coeficiente de atrito do revestimento, que variará de acordo com o tipo de uso.

Segundo Campante (1996), provavelmente, a única maneira de se avaliar a segurança de um piso quanto à susceptibilidade de ocorrência de quedas, seria a mensuração do seu coeficiente de atrito estático ou dinâmico. O autor relata que nos EUA é mais comum utilizar, para esse fim, o coeficiente de atrito estático enquanto na Europa, particularmente na Inglaterra e na Alemanha, emprega-se o coeficiente de atrito dinâmico.

A avaliação do coeficiente de atrito estático é feita pela determinação da força requerida para que se inicie o escorregamento do calçado sobre uma superfície; enquanto a avaliação do coeficiente de atrito dinâmico envolveria, segundo Redfern, Bidanda[21] (1994) apud Campante (1996, p.153), um maior número de variáveis, tais como ângulo de contato (calçado x superfície), velocidade de movimento e carga vertical aplicada sobre o piso.

Para o Construction Development (co-ordination) Committee (1974), no caso de áreas de rampas e de escadas seria necessário um coeficiente de atrito superior àquele requerido por superfícies planas. Ainda em relação à segurança de utilização, essa publicação defende que ao haver transição de materiais de revestimento em nível, requisitos especiais deverão ser estabelecidos para se evitar que a alteração brusca de coeficientes de atrito reduza a segurança na utilização.

Destaca também o cuidado que se deve ter ao se avaliar a diminuição dos coeficientes de atrito de revestimentos sujeitos ao umedecimento ou à contaminação. Segundo Campante (1996), a contaminação é determinante das

---

[21] Redfern, M.S.; Bidanda, B. Slip resistance of the shoe-floor interface under biomechanically-relevant conditions. **Ergonomics**, v.37, n.3, p. 511-524, 1994.

situações mais perigosas de escorregamento, por resultar, na maior parte das vezes, na perda das propriedades antiderrapantes.

Com este pensamento, Campante (1996) afirma ser fundamental determinar como a presença de contaminação de uma superfície afeta o seu coeficiente de atrito, sendo que a maioria dos métodos que avaliam tal coeficiente, tanto estático, quanto dinâmico, considera a presença de alguns tipos de contaminantes, reconhecidamente críticos como: água, gelo e óleo.

Neste sentido, como forma de garantir a segurança de utilização do PELEX, as placas do piso elevado deverão ter superfícies de circulação que apresentem adequado coeficiente de atrito. Atualmente, isto já ocorre ao se utilizar placas de concreto com acabamento rústico ou placas de granito com acabamento apicoado ou flameado, por exemplo. Atenção especial deve ser dada à resistência ao escorregamento de placas de piso elevado com acabamento desempenado (liso), ou protegidas superficialmente com produtos que alteram seu coeficiente de atrito.

Neste sentido Hunt (2000) defende a resistência ao escorregamento das placas de rocha como requisito para sua utilização em pisos, acrescentando que a durabilidade dessas placas dependeria das condições climáticas, sendo função da sua resistência aos ciclos de congelamento, do seu coeficiente de saturação e de sua resistência à cristalização de sais. Em seu texto, o autor defende que rochas mais absorventes tenderão a possuir menor durabilidade e serão mais suceptíveis às sujidades e ao manchamento; em contrapartida, terão maior resistência ao escorregamento.

3.5.4 Conforto Higrotérmico

Segundo o Construction Development (co-ordination) Committee (1974), um piso que separe ambientes internos com aquecimento, de superfícies externas (piso pertencente à envoltória do edifício) deve ter capacidade de isolamento térmico suficiente para permitir que a temperatura dos ambientes internos seja mantida em níveis aceitáveis para os usuários e que previna a condensação em suas superfícies. Esta situação ocorre em regiões sujeitas a temperaturas baixas, onde é imperativa a utilização de sistema de aquecimento interno às edificações, para dar condições satisfatórias de habitabilidade.

A situação inversa, isto é, quando se busca nos ambientes internos, temperaturas mais baixas do que aquelas observadas em ambientes externos, também se requer propriedades de isolamento térmico dos pisos de cobertura. Exemplo disto são os requisitos de desempenho estabelecidos pela norma ABNT NBR 15575 (2008) para o isolamento térmico de coberturas ao nível do ático.

O Construction Development (co-ordination) Committee (1974) inclui outras questões nesta discussão, afirmando que as mudanças de temperatura podem provocar alterações dimensionais nos pisos, diminuição das propriedades de resistência, dureza, entre outros, dependendo do tipo de material utilizado.

Acrescenta que um piso não deve sofrer perda de desempenho como resultado de alterações de temperatura que ocorram durante o uso normal.

Com a utilização do sistema de piso elevado em uma cobertura admite-se um benefício ao conforto térmico dos ambientes abrigados, pelo sombreamento ventilado que proporciona. Além disto, como as placas têm certo grau de liberdade de movimentação na situação elevada, mudanças de temperatura ambiente não provocarão alteração nas suas propriedades a ponto de prejudicar o desempenho do sistema de piso elevado.

3.5.5 Conforto acústico

O conforto acústico proporcionado por vedações horizontais em uma edificação depende fundamentalmente de sua capacidade de atenuar ruídos de origem aérea e de impacto.

Na definição dos requisitos de desempenho acústico, além das expectativas dos usuários, devem ser consideradas as características da fonte emissora, principalmente a intensidade e a freqüência do ruído produzido.

A ABNT NBR 15575 (2008) procurou assegurar o conforto acústico dos usuários de edifícios habitacionais, pela prescrição do nível de isolamento acústico nas suas vedações exteriores. Para as coberturas, estabeleceu critérios mínimos de desempenho para o isolamento acústico aos ruídos aéreos e aos de impacto.

Para o CSTC (1980), uma vedação de cobertura deveria ser capaz de atenuar ruídos aéreos exteriores e, por isto, estabeleceu categorias de desempenho para este requisito. Além disto, procurou estabelecer níveis máximos de ruído de impacto

transmitidos através de pisos de cobertura tipo terraço acessível, considerando dois níveis: nível mínimo e nível de conforto.

O PELEX, em função de não estar vinculado à camada estrutural de uma VHEC e em função de utilizar apoios resilientes sob as placas, auxilia o conjunto da vedação a atender o requisito de conforto acústico, atenuando parte dos ruídos de impacto.

Por outro lado, em função das juntas entre placas, que caracterizam o sistema de piso elevado, espera-se que os ruídos aéreos sejam atenuados em grau extremamente limitado com a sua utilização.

3.5.6 Conforto visual

Segundo o Construction Development (co-ordination) Committee (1974), requisitos de desempenho para as camadas externas de uma vedação horizontal (revestimento superior ou inferior - forro) devem assegurar aparência satisfatória dos materiais aplicados, pela preservação de suas características. Para os autores, ao serem especificados critérios de desempenho para um piso, referentes, por exemplo, à planicidade, uniformidade superficial e rugosidade, deve-se ter como referência as condições de sua utilização.

Exemplificam com a necessidade de estabelecer limites para ondulações de acabamento superficial para evitar dificuldade de apoio de objetos, ou ainda para que se evite a formação de poças de água. Para os autores, a própria segurança na utilização acaba por limitar tais ondulações.

Ainda segundo esse mesmo organismo, os requisitos de desempenho referentes à planicidade e à uniformidade superficial devem considerar as deformações estruturais a que o subsistema piso estará sujeito.

Bring (1972) afirma que as deformações em construções são comuns após a instalação de pisos, resultado de deflexões, acomodações, movimentações higroscópicas, entre outros, tendo como conseqüência a variação da planicidade do piso ao longo do tempo.

Acrescenta-se que no caso do PELEX, a possibilidade de se utilizar pedestais com regulagem de altura, permite que se anulem os efeitos que a deformação da camada estrutural de uma VHEC tem sobre a planicidade do piso elevado.

Por outro lado, ao se adotarem placas de concreto como camada de revestimento do PELEX, principalmente de grandes dimensões (da ordem de 80 cm), o fenômeno da deformação (deformação lenta) poderá ter efeitos sensíveis sobre desempenho do sistema. Neste sentido poderão ser observados prejuízos estéticos na camada de revestimento do piso elevado, comprometendo além da exigência de conforto visual, a de segurança na utilização, devido à criação de ressaltos entre placas adjacentes. ou mesmo pelo empoçamento de água no centro da placa.

Bring (1972), no que diz respeito ao relevo da superfície, afirma que podem ser estabelecidos requisitos variados de desempenho tomando-se por base, por exemplo, a aparência, facilidade de limpeza e de manutenção, conforto, segurança e a durabilidade. Acrescenta que o relevo da superfície de um piso é normalmente influenciado pelas propriedades das suas camadas ou pela habilidade na sua instalação, além de ser alterada consideravelmente pelo uso.

Para a ABNT NBR 15575 (2008) a discussão do conforto visual de um piso inclui o valor atribuído pelos usuários de uma habitação ao ambiente construído, não se limitando a uma análise do cumprimento de requisitos funcionais, sendo este valor também influenciado pela percepção estética dos usuários. Nessa norma afirma-se que embora o julgamento estético tenha um componente subjetivo acentuado, existem algumas características que podem ser objetivamente avaliadas, como a regularidade e homogeneidade das superfícies de acabamento.

Embora o piso elevado pressuponha uma modularização das placas, para que esse requisito de desempenho seja atendido, as juntas entre tais placas devem ter largura uniforme, e devem apresentar alinhamento dentro de limites que não prejudiquem a estética desejada pelos usuários.

Além disto, o atendimento a este requisito depende da uniformidade de cor e de rugosidade da superfície das placas de revestimento do PELEX, bem como da ausência de defeitos superficiais, tais como fissuras ou lascados, aspectos estes considerados pela BSI BS EN 1339 (2003) para o desempenho de placas de pisos.

3.5.7 Conforto tátil

Segundo Bring (1972), a consideração de um piso como frio ou quente ao toque depende de uma série de fatores: clima, existência de sistema de aquecimento, grau

de umidade, tipo de utilização (caminhar, apoiar-se permanentemente, sentar-se), sistema de isolamento dos calçados, temperatura do ar, temperatura do piso, entre outros. Para o autor, o desempenho inadequado em relação a esta propriedade pode reduzir a vida útil do piso.

Para se tentar obter uma base de comparação para a avaliação do desempenho desta propriedade em pisos, Bring (1972) sugere a simulação das reações humanas na interação com o piso, por meio da medição da taxa de transferência de calor de um elemento padronizado para o piso.

Na publicação VTT (1969) também se abordou a questão, destacando-se que uma das funções do piso era prover conforto aos usuários no contato com o mesmo, pela sensação de calor ao toque ou ainda pela sensação de suavidade deste contato.

A sensação da temperatura ao toque não se apresenta como requisito importante para a maior parte das aplicações do piso elevado externo; exceção é feita aos *decks* de piscina e às coberturas de lazer onde há maior interação da superfície do corpo com o piso, pois são áreas em que as pessoas, muitas vezes, permanecem com os pés desnudos.

Da mesma forma, a suavidade no contato parece mais importante para estas mesmas áreas, para as quais o acabamento superficial rugoso das placas de revestimento ou mesmo desníveis entre elas, que evidenciem alguma quina, são indesejados.

3.5.8 Conforto Antropodinâmico

Segundo o CSTC (1980), um piso de cobertura acessível sob efeito do tráfego de pedestres deveria ter uma deformação limitada de maneira a assegurar, na sua utilização, o conforto antropodinâmico.

No caso do PELEX, em que se têm apoios dispostos nas extremidades das placas, o conforto antropodinâmico dependerá basicamente da rigidez das placas, da rigidez e estabilidade do sistema de apoio e das camadas que estão abaixo deste sistema de apoio.

Placas de espessura reduzida conjugadas a elevada distância entre apoios, tenderão a gerar desconforto aos usuários, em função de sua deformabilidade.

Além desta situação, a ausência de manutenção regular no PELEX (ajuste dos apoios) pode gerar situações de desconforto ao usuário, à medida que surjam folgas entre os elementos que lhe constituem.

Acrescenta-se que as rampas executadas em PELEX, de modo similar ao que ocorre com qualquer outro tipo de piso, deverão ter limitação de inclinação para assegurar conforto antropodinâmico, o que de maneira genérica foi mencionado pela ISO 6241 (1984).

3.5.9 Higiene

O piso de cobertura, em conjunto com os demais elementos do edifício, deve propiciar condições de salubridade satisfatórias para a sua utilização e para a utilização dos ambientes abrigados por esta vedação. O Construction Development (co-ordination) Committee (1974) afirma que requisitos específicos quanto a higiene são necessários para assegurar a adequada proteção dos pisos no que se refere ao ataque ou infestação de insetos ou microorganismos (fungos e bolores). Acredita-se que esta afirmativa esteja relacionada principalmente à possibilidade que se tem de proliferação de tais agentes infecciosos, tendo em vista as condições de umidade, temperatura e ventilação a que o conjunto do piso estará submetido.

O CSTC (1980) complementa afirmando que nas superfícies internas e externas dos pisos de cobertura deverão ser evitados o desenvolvimento e as emissões de substâncias insalubres ou nocivas (gases, poeira, bolores, fungos, entre outros).

No caso da utilização de pisos elevados, atenção especial deverá ser dada à manutenção regular do espaço de entrepiso formado, a fim de que seja evitado o acúmulo de detritos, e a conseqüente possibilidade de desenvolvimento de microrganismos, de pequenos insetos ou até mesmo de roedores.

Para tanto, inspeção e limpeza regulares do espaço de entrepiso deverão estar previstas no manual de uso e operação do edifício, como será visto no capítulo 5. Além da inspeção e manutenção regulares, outro ponto que deve ser observado para evitar ambientes insalubres é a ausência de água empoçada ou retida no espaço de entrepiso.

Com estas medidas, espera-se que não haja a proliferação de insetos e de pequenos animais, os quais poderiam se tornar vetores de transmissão de doenças,

como, por exemplo, a dengue.

A manutenção regular também é importante para assegurar condições adequadas de higiene das placas de piso elevado, uma vez que apresentam normalmente uma superfície rugosa, susceptível ao depósito de sujeira.

3.5.10 Durabilidade

Para a publicação Construction Development (co-ordination) Committee (1974) os requisitos para durabilidade do conjunto de piso podem ser estabelecidos a partir da definição de sua vida útil ou da de suas partes. Acrescenta que vida útil representa o período durante o qual os requisitos de desempenho são atendidos, desde que o piso esteja sujeito às condições de utilização previstas e tenha recebido a manutenção especificada.

Segundo o Construction Development (co-ordination) Committee (1974) cabe ao fabricante estabelecer antecipadamente o período de vida útil do seu sistema de piso e se necessário, deverá especificar ou recomendar o método de manutenção preventiva aplicável. Caberia ainda ao fabricante, quando a vida útil de uma parte do seu sistema de piso for inferior à do conjunto, a especificação do método de manutenção corretiva ou a especificação de como proceder a troca dessa parte.
No caso brasileiro, entende-se que, como os componentes dos sistemas de piso têm normalmente fornecedores diferentes, caberia aos mesmos, sob coordenação do empreendedor, estabelecer a especificação do processo de manutenção.
A ABNT NBR 15575 (2008), que auxilia na especificação da vida útil mínima de projeto para subsistemas construtivos, pode ter seus conceitos aplicados ao PELEX, apesar de não mencioná-lo. Tais conceitos subsidiam a proposta de vida útil de projeto para o PELEX constante no capítulo 5, que trata de parâmetros de contratação do sistema.

Ampliando a discussão sobre a questão, segundo o VTT (1969), cabe ao fabricante a especificação detalhada das propriedades dos materiais constituintes de um revestimento de piso para que se possa inferir acerca do seu processo de envelhecimento.

O Construction Development (co-ordination) Committee (1974) afirma que para a camada de revestimento de piso, a deterioração gradual de seu desempenho

acontece por efeito acumulativo de abrasão, riscos, mossas, fendas, impregnação de sujeira, alteração de cor, entre outros, até determinar o final de sua vida útil, por perda de desempenho. O critério para determinação do término da vida útil de um revestimento de piso está associado, segundo a publicação, à perda da aparência desejada, perda da segurança na utilização, dificuldade de limpeza, entre outros, dependendo das características do revestimento e das condições de uso e de manutenção.

Acrescenta que a avaliação de vida útil será normalmente o ponto chave na seleção de revestimentos de piso. Em qualquer caso, a especificação deverá considerar os requisitos de desempenho, estabelecendo critérios mínimos para aceitação e testes para a sua avaliação, além de considerar os custos de manutenção e de substituição.

Pelo exposto, reconhece-se que o cumprimento do requisito de desempenho de durabilidade depende de uma série de propriedades do sistema de piso. Algumas destas propriedades são discutidas a seguir, com base nas prescrições do Construction Development (co-ordination) Committee (1974), aqui sintetizadas.

a) Dureza

As camadas externas da vedação horizontal – no caso, o revestimento de piso - deveriam ser capazes de resistir, durante a utilização normal, a esforços estáticos e dinâmicos, sem sofrer qualquer penetração, ruptura, mossas ou outra deterioração prematura de seu desempenho. A aceitação de um nível de mossa residual dependerá do seu efeito sobre outras propriedades do revestimento, como, por exemplo, a aparência e a facilidade de limpeza. Estes aspectos haviam sido mencionados por Bring (1972), ao afirmar que a mossa em revestimentos de piso ocasiona alteração de sua rugosidade, limpabilidade e facilidade de manutenção. Acrescenta-se aqui que as mossas em revestimentos de piso podem comprometer também a segurança na utilização.

Quando se emprega o PELEX, é comum a utilização de processos de limpeza com máquinas de hidrojateamento de alta pressão; por isto, a dureza superficial das placas é fundamental para se evitar processos de desgaste.

b) Resistência ao desgaste superficial

A camada de revestimento deve ser capaz de resistir à abrasão resultante da circulação de pedestres ou de outro tráfego normalmente associado ao uso pretendido para o piso, durante a sua vida útil, sem que haja alterações inaceitáveis em sua aparência e sem que haja deterioração prematura de seu desempenho. A taxa de abrasão por circulação de pedestres é dependente da freqüência com que tal circulação ocorre e da quantidade de material abrasivo carregado pelos calçados, sendo determinantes na especificação de critérios de desempenho da camada de revestimento empregada nas entradas da edificação, próximas ao nível do térreo ou em ambientes com acesso secundário. Como as aplicações de piso elevado externo, principalmente em coberturas ao nível do térreo, estão associadas à circulação intensa de pedestres é de se esperar que o atendimento ao requisito de desgaste superficial seja fundamental para assegurar adequada durabilidade às placas de revestimento.

c) Resistência de revestimentos à degradação por ação da luz

Um revestimento de piso que estará exposto à radiação solar durante o seu uso não deve, em função desta exposição, sofrer qualquer alteração inaceitável de aparência, nem qualquer perda de capacidade física ou química que cause deterioração prematura de seu desempenho. Caberá ao fabricante fornecer evidências da resistência à degradação de seus produtos quando sujeitos à radiação solar.

Para Bring (1972), a perda de cor de revestimentos de piso é mais pronunciada em locais sujeitos à exposição da luz do sol, o que pode levar um ambiente com diferentes graus de exposição solar a apresentar falta de uniformidade no revestimento de piso, sendo um motivo relevante para determinar a sua troca. Observa, ainda, que a perda de cor de revestimentos de piso depende muito da qualidade do pigmento que o compõe e, como o pigmento de alta qualidade é normalmente caro, muitos produtores, para certas cores, optariam por pigmentos mais susceptíveis à descoloração. Acrescenta que são inaceitáveis os pigmentos com baixa resistência à descoloração. Esta situação de degradação por ação da luz é particularmente preocupante no caso do PELEX com placas de concreto pigmentadas. A estabilidade da sua cor depende fundamentalmente da qualidade e da proporção do pigmento utilizado. Já para placas de rocha, devido à sua

estabilidade química frente à exposição solar, a preocupação com a alteração de cor do piso seria desprezível.

d) Resistência a alterações físico-químicas de pisos ocasionadas pelo contato com a água

Qualquer parte de um piso sujeita à umidade regular durante o seu uso pretendido (incluindo as operações normais de limpeza), ou ainda aplicada em ambientes com umidade elevada por períodos prolongados de tempo, deve ser capaz de resistir aos efeitos destas exposições sem prejuízos permanentes ao seu desempenho, cabendo ao fabricante adotar medidas específicas ou orientar aos demais para que as adotem a fim de assegurar o atendimento aos requisitos mencionados anteriormente.

A ABNT NBR 15575 (2008) reconhece a importância desta propriedade ao considerar a água como principal agente de degradação de diversos materiais que constituem uma edificação, podendo ser proveniente do solo, da atmosfera, de sistemas construtivos ou de processos de limpeza. Afirma-se nesta norma que o adequado controle da umidade em um edifício habitacional ou em parte dele é a chave para o controle de muitas manifestações patológicas que abreviam a vida útil dos mesmos, reduzindo o valor de uso e de troca de uma habitação.

Nesta norma defende-se também que os pisos em áreas molháveis devem resistir à exposição à água, sem apresentar alterações em suas propriedades que comprometam o seu uso, tais como fissuras, empolamentos, destacamentos, descolamentos, delaminações, eflorescências, desagregação superficial, entre outros.

Com a utilização do PELEX, devido à técnica de elevação do revestimento, não são esperados problemas de eflorescência no contato com a água.

Dentre os tipos usuais de placas de piso elevado, as de madeira e as de concreto armado são mais suceptíveis à degradação no contato com a água. No caso das placas de concreto armado, a degradação seria fruto da corrosão da armadura em função da relação entre o cobrimento e a permeabilidade do concreto. Já as placas em madeira teriam degradação associada à susceptibilidade ao ataque de micro-organismos, o que poderá ser minimizado em função da proteção que venham a receber. Para placas em granito ou cerâmicas, a degradação pelo contato com a

água seria bastante reduzida.

e) Resistência ao ataque químico

Um revestimento de piso deve ser capaz de resistir aos efeitos de agentes químicos que tomem contato regular com a sua superfície durante o uso normal, sem sofrer permanente descaracterização. A possibilidade e a duração de contato com agentes químicos agressivos dependem da natureza do ambiente de utilização.

Para o CSTC (1980), a resistência a agentes químicos, normalmente presentes na atmosfera, interfere na durabilidade de sistemas de construção que têm contato com o meio externo, como é o caso das VHEC, sujeitas entre outros, ao ácido sulfúrico e nítrico proveniente de chuvas ácidas.

Na utilização de placas de piso elevado de concreto com estruturação em barras de aço, a preocupação com a sua resistência aos agentes ácidos da atmosfera deve ser aumentada para que se evitem processos corrosivos durante a vida útil de projeto.

Além da resistência aos agentes químicos da atmosfera, a aplicação do sistema de piso elevado no Brasil exige outros cuidados, devendo-se estabelecer e controlar o processo de manutenção e conservação deste sistema. Usualmente, as manutenções das edificações no país não são realizadas na periodicidade necessária e nem com os produtos mais adequados. Exemplo disto é a utilização freqüente de ácido na limpeza de revestimentos das VHEC.

3.5.11 Economia

Para o VTT (1969), o aspecto econômico dos pisos é baseado nos custos do seu fornecimento, de sua manutenção e em sua durabilidade. Caso utilizem-se os métodos adequados de manutenção, os custos envolvidos nesta operação deveriam ser pequenos e não deveriam aumentar no decorrer do tempo.

Segundo a Wolfe, Roberts e Russell (1973), uma vez que uma parcela considerável dos custos de manutenção advém da limpeza, do acabamento e da troca de revestimentos, seria importante aplicar o conceito de ciclo de vida no processo de escolha de revestimentos de piso. Para eles, o custo da camada decorativa do piso, durante o seu ciclo de vida, pode ser considerado como a soma do custo de aquisição mais o custo de operação, manutenção, reparo, troca e melhoria.

O conceito de ciclo de vida é fundamental para se poder comparar adequadamente o desempenho econômico de alternativas construtivas.

O custo inicial de um piso elevado, se comparado a alternativas aderidas de revestimento de piso em VHEC, é normalmente superior, para um mesmo tipo de material de revestimento. Contudo, imaginando-se que a camada de impermeabilização desta VHEC atinja o limite da vida útil em cerca de 10 anos, que é pelo menos, a metade da vida útil de um revestimento de piso, é de se esperar um custo global menor para a solução de piso elevado.

Além disto, o custo das manutenções preventivas regulares de camadas inferiores de uma VHEC seria menor no caso do piso elevado, devido à facilidade de acesso que proporciona; isto é um item valorizado dentro do conceito de sustentabilidade.

O VTT (1969) havia apresentado parte deste conceito, ao afirmar que a função econômica dos pisos é afetada por diversos elementos, dentre os mais importantes cita o potencial de se tornarem sujos e a sua facilidade de limpeza. Ressaltam que alguns tipos de revestimentos de piso têm naturalmente manutenção mais difícil, particularmente aqueles com superfícies porosas, quimicamente ativas ou de superfície macroscópica irregular, o que parece caracterizar um revestimento tipo *fulget* das placas de piso elevado.

Afirma-se ainda nessa publicação, que além da influência das características dos próprios revestimentos, fatores externos podem tornar a limpeza do piso mais difícil, resultando no aumento de custos de manutenção ao longo do tempo.

Outro ponto que está intimamente ligado ao desempenho econômico de um piso, e que merece especial atenção, é o seu custo ambiental, isto é o grau do impacto da opção por um determinado sistema de piso.

Neste sentido, destaca-se o conteúdo da ABNT NBR 15575 (2008) que, de modo geral, recomenda que os empreendimentos e sua infra-estrutura devam ser projetados, construídos e mantidos de modo a minimizar as alterações no ambiente; e, para isto, recomenda que eles sejam construídos mediante exploração e consumo racionalizado de recursos naturais, objetivando a menor degradação ambiental, menor consumo de água, de energia e de matérias primas, o que seria aplicável também aos sistemas de pisos.

Na medida das possibilidades, entendidas aqui como sendo o equilíbrio dos aspectos ambientais, econômicos e sociais, dever-se-ia privilegiar os materiais que causassem menor impacto ambiental, nas fases de exploração dos recursos naturais, utilização e disposição após o término de sua vida útil, subsidiados por conceitos de ciclo de vida de produtos.

Ao que parece, tendo em vista a possibilidade de se desmontar e remontar o sistema de pisos elevados para a realização de manutenções regulares em camadas inferiores da VHEC, os custos ambientais e econômicos destas manutenções seriam muito menores se comparados aos sistemas aderidos de revestimento.

Como foi explorado até aqui, há uma série de requisitos de desempenho associados à utilização de pisos elevados externos. Eles são condicionantes da escolha de alternativas tecnológicas, podendo ser mais ou menos críticos em função da natureza da aplicação. Basicamente isto ocorre porque entre as possíveis aplicações de PELEX, há diferenças de freqüência de utilização, de tráfego, na forma de interação com outros subsistemas, além de diferenças de extensão de aplicação. Assim, os efeitos decorrentes de falhas ou de baixo desempenho, também podem variar de intensidade entre as diferentes tipologias de aplicação.

Tome-se o exemplo do risco admissível para quebra de placas elevadas com intensa circulação de pessoas em um *deck* de piscina, com mais de 1 m de altura, e o risco admissível para quebra de placas elevadas em 10 cm, aplicadas em *"cobertura de acesso restrito e baixo trânsito de pessoas"*. Em ambos os casos, embora a estabilidade seja importante, no primeiro caso pode-se dizer que é fundamental, o que provavelmente determinaria características mecânicas superiores para este sistema de piso elevado.

Outro exemplo seria a diferença de importância do conforto higrotérmico e acústico proporcionado por uma "*cobertura de acesso contínuo e trânsito intenso de pessoas*" ao nível do térreo e por uma "*cobertura de acesso contínuo e trânsito moderado de pessoas*", ao nível do ático. No primeiro caso, os ambientes abrigados são normalmente garagens e para eles não se requer, usualmente, desempenho elevado nestes requisitos. No segundo caso, estes requisitos deverão ser atendidos por um nível superior de desempenho uma vez que as áreas cobertas abrigam normalmente, ambientes de permanência prolongada, como, por exemplo, salas

comerciais e residências, e influenciarão o conforto do usuário e o consumo de energia para condicionamento de ar.

A Tabela 3-4 contém informações que procuram indicar o grau de importância relativa de requisitos de desempenho nas categorias de aplicação do PELEX definidas neste trabalho. As informações reunidas nesta tabela devem ser avaliadas e validadas em cada projeto, tendo em vista as suas especificidades.

Tabela 3-4: Exemplo de avaliação de requisitos de desempenho do PELEX em diferentes categoriais de aplicação, segundo seu grau de importância relativa: 5 – Fundamental, 4 – Muito importante, 3 – Importante, 2 – Pouco importante, 1 – Sem importância .

REQUISITOS	CATEGORIAS DE APLICAÇÃO DO PELEX			
	COBERTURA DE ACESSO RESTRITO	COBERTURA DE ACESSO CONTÍNUO		
	AO NÍVEL DO ÁTICO	ÁREA DE LAZER AO NÍVEL DO ÁTICO	ÁREA DE LAZER AO NÍVEL DO TÉRREO	ACESSO AO EDIFÍCIO AO NÍVEL DO TÉRREO
ESTABILIDADE	3	5	5	5
SEGURANÇA AO FOGO	2	4	4	5 (*) e 4 (**)
SEGURANÇA DE UTILIZAÇÃO	3	5	5	5
CONFORTO HIGROTÉRMICO	3	3	1	1
CONFORTO ACÚSTICO	1	5	1	1
CONFORTO VISUAL	1	5	5	4
CONFORTO TATIL	1	5	5	4
CONFORTO ANTROPODINÂMICO	2	5	5	5
HIGIENE	3	5	5	5
DURABILIDADE	3	3	3	5
ECONOMIA DE ENERGIA	4	3	1	1
CUSTO GLOBAL REDUZIDO	3	3	3	5

(*) Rota de fuga ; (**) Demais áreas

3.6 Critérios e ensaios de desempenho do piso elevado para áreas externas

3.6.1 Parâmetros internacionais e nacionais

Nos diversos países em que se buscou informações sobre o PELEX, apesar de o piso elevado ser aplicado em situações com utilização similar, percebeu-se que os critérios de desempenho prescritos em referenciais técnicos, diferiam entre si.

O mesmo aconteceu ao se avaliar as características mecânicas indicadas nos catálogos de fabricantes de diferentes países. Pôde-se observar uma diversidade de características e de níveis de desempenho entre eles.

De modo geral, fazendo-se um paralelo com os critérios de desempenho dos pisos

elevados internos, percebe-se uma menor abrangência da prescrição de critérios de desempenho relativos ao PELEX.

A CEN EN 12825 (2001), que especifica características e requisitos de desempenho de pisos elevados cuja utilização principal se dá em ambientes internos, indica, por exemplo, a necessidade de se avaliar, dependendo da aplicação, o desempenho com base em:

- desvios dimensionais;
- proteção contra corrosão de componentes;
- aderência do revestimento superficial (*peel resistance of floor covering*);
- reação ao fogo;
- resistência ao fogo;
- condutividade elétrica;
- risco de choque elétrico;
- condutividade térmica;
- isolamento acústico;
- carga de ruptura;
- deflexões máximas das placas sujeitas a cargas de trabalho;
- capacidade de carga de pedestais;
- deformação permanente após carregamento;
- absorção de impacto de corpo duro;e
- absorção de impacto de corpo mole.

Com relação ao PELEX, ao se observar as normas francesas AFNOR NF P 84-204-1 (2001), AFNOR NF P 84-204-1-1 (2004), AFNOR FD P 84-204-3 (2004) e AFNOR NF 187 (2006) e a canadense CSA A231.1 (2006), constata-se que os principais critérios de desempenho do sistema estão baseados em:

- desvios dimensionais;
- características visuais (cor, rugosidade e aspecto);
- resistência a agentes climáticos (absorção de água);
- resistência à abrasão;
- resistência ao escorregamento;
- resistência aos ciclos de congelamento e descongelamento com sais;
- características dos materiais utilizados na fabricação das placas;

- carregamentos estáticos: resistência à flexão e limites para carga de ruptura;
- capacidade de carga de pedestais.

Chama a atenção o fato de que a grande maioria das informações encontradas não tratou do desempenho do piso elevado externo quando submetido a esforços dinâmicos, apesar de ser uma solicitação provável ao se imaginar a queda de objetos sobre a superfície do piso ou mesmo a queda de pessoas, da mesma maneira como ocorre com os pisos elevados internos.

Mitidieri Filho (1988) já havia defendido critérios de desempenho para cargas dinâmicas em pisos acessíveis de cobertura. Para o autor, os impactos de corpo mole e de corpo duro "[...] *correspondem aos choques acidentais gerados pela própria utilização da edificação* [...]".

A ABNT NBR 15575 (2008) acrescenta que "[...] *A resistência aos impactos de corpo-mole e corpo-duro, passíveis de ocorrerem durante a vida útil do edifício, pode ser traduzida pela energia de impacto a ser aplicada em pisos*. [...]". Ao definir critérios de desempenho para este requisito em pisos internos, esta norma acrescenta que "[...] *os impactos com maiores energias referem-se ao estado limite último, e os de menores energias referem-se aos estados limites de serviço* [...]".

Esta norma estabelece critérios de desempenho para impactos em pisos internos (Tabela 3-5 e Tabela 3-6), válidos para o caso de pisos que não tenham sido calculados pela ABNT NBR 6118 (2003)[22].

---

[22] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento, Rio de Janeiro, 2003.

Tabela 3-5– Energias de impacto de corpo-mole segundo a ABNT NBR 15575 (2008).

ENERGIA DE IMPACTO DE CORPO MOLE (J)	CRITÉRIO DE DESEMPENHO
720	Não ocorrência de ruína; são admitidas falhas localizadas (fissuras, destacamentos e outras)
480	Não ocorrência de ruína; são admitidas falhas localizadas (fissuras, destacamentos e outras)
360	Não ocorrência de falhas.
240	Não ocorrência de falhas. Limitação de deslocamento vertical
120	Não ocorrência de falhas.

OBSERVAÇÃO: Impactos de um corpo com massa de 40 kg

Tabela 3-6– Energias de impacto de corpo-duro segundo a ABNT NBR 15575 (2008).

ENERGIA DE IMPACTO DE CORPO DURO (J)	CRITÉRIO DE DESEMPENHO
5	Não ocorrência de falhas nem mossas com qualquer profundidade
30	Não ocorrência de ruína e traspassamento. Admitidas falhas superficiais como mossas, fissuras e desagregações.

OBSERVAÇÃO: Impacto de esferas maciças de aço de 1 kg (impactos de 10-30J) e 0,5 kg (impactos até 5 J).

Acrescenta-se que a ABNT NBR 15575 (2008) não estabelece a forma dos corpos impactantes e, portanto, não determina a sua área de contato no momento do impacto. Acredita-se que a falta desta definição pode levar a discrepâncias na avaliação do requisito de desempenho associado.

Para Mitidieri Filho (1988), nos ensaios de impacto de corpo duro e mole, não devem ocorrer repiques das massas lançadas contra as superfícies.

Como bem ponderou a ABNT NBR 15575 (2008), os ensaios de resistência ao impacto de corpo mole e duro devem utilizar corpo-de-prova que represente "[...] *fielmente as condições executivas da obra, inclusive tipos de apoio/vinculações.* [...]", o que foi adotado como premissa nas recomendações do capítulo 5.

Embora nessa norma brasileira sejam estabelecidos critérios para desempenho de piso interno, entende-se que os mesmos podem ser igualmente aplicados aos pisos externos de coberturas de edifícios, principalmente no que diz respeito às energias de impacto de corpo mole, que simulam a queda de uma pessoa, cuja energia de

impacto gerada independe da localização do piso (interno ou externo).

O CSTC (1980) recomenda uma resistência mínima de impacto de corpo mole de 900 J para uma cobertura acessível, a fim de garantir a sua estabilidade. Segundo a publicação, esta energia simula a queda de uma pessoa e procura evitar que uma cobertura acessível seja traspassada pelo impacto, além de evitar que se fragmente a ponto de ferir os usuários. Segundo a publicação ainda, a resistência mínima ao impacto de corpo mole, sem a ocorrência de danos à superfície de um piso de cobertura acessível seria 400J. Para estes ensaios, a publicação recomenda a utilização de saco de areia com 50 kg de 40cm de diâmetro, cujo lançamento admite-se que seja feito sobre o centro do piso.

Mitidieri Filho (1998) restringe a ocorrência de falhas em um piso de cobertura acessível em função de energias de impacto de corpo mole ligeiramente maiores, sendo: 480 J, sem que haja maiores danos e deformações, e 960J sem que haja ruína, admitindo falhas localizadas.

O Property Services Agency (PSA) - MOB PF2 PS/SPU (1992) e mais recentemente a publicação CEN EN 12825 (2001) utilizaram como critério de desempenho para pisos elevados internos, uma resistência ao impacto de corpo mole de 400 J, sem a ocorrência de quebra ou colapso da placa, valor idêntico ao do CSTC (1980). O ensaio consiste em lançar um saco de couro com 30 cm de diâmetro, preenchido com areia, totalizando 40 kg, de uma altura de 100 cm. São dois lançamentos sobre o piso na situação elevada. O primeiro sobre o centro da placa e o segundo no alinhamento do centro da borda da placa, com contato integral da base do saco de areia. A etapa do ensaio correspondente ao impacto sobre o centro da placa é ilustrada pela Figura 3-33.

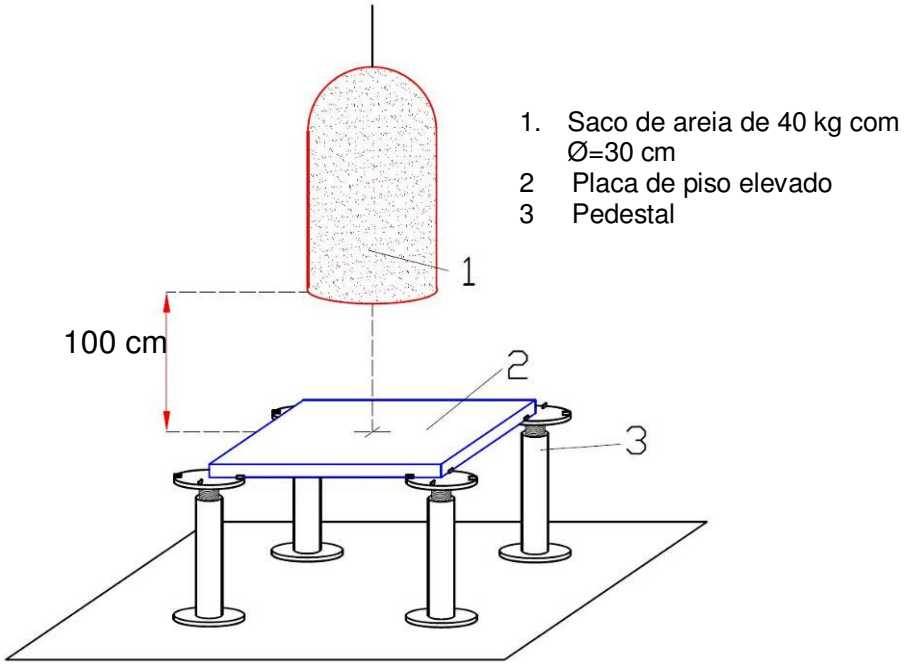


Figura 3-33 – Esquema de uma etapa do ensaio de impacto de corpo mole, sobre o centro da placa, com altura de queda de 100 cm, segundo a CEN EN 12825 (2001).

Destaca-se que as referências anteriores, o CSTC (1980) e CEN EN 12825 (2001), serão utilizadas, neste trabalho, para formular as recomendações de desempenho referentes ao impacto de corpo mole em pisos elevados externos. Para tanto se admite um lançamento de saco de areia para verificação de falhas localizadas e outro para verificação de traspassamento e ruína, utilizando-se placas distintas, tendo o saco de areia as características definidas pelo CSTC (1980).

Com relação à resistência mínima de impacto de corpo duro em uma cobertura acessível, o CSTC (1980) adota, para garantir a sua estabilidade e integridade, o valor de 50 J (impacto de corpo duro de 5 kg lançado a 1 m), sem contudo indicar a quantidade de impactos.

O IPT[23] (1981) apud Mitidieri Filho (1988, p.84, p.93) estabeleceu como critérios de desempenho para impactos de corpo duro em pisos de coberturas acessíveis:

- impactos com energia de 5J (massa = 0,5 kg lançada a 1 m de altura) não podem causar mossa maior ou igual a 1 mm;

[23] INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Divisão de edificações. **Avaliação de desempenho de habitações térreas unifamiliares.** Vol. 1 , Segurança Estrutural. São Paulo, 1981.

- impactos com energia de 10J (massa = 0,5 kg lançada a 2 m de altura) não podem causar fissuras com extensão superior a 30 mm;
- impactos com energia de 30J (massa = 1,5kg lançada a 2m de altura) não devem traspassar o piso.

O Property Services Agency (PSA) - MOB PF2 PS/SPU (1992) e a CEN EN 12825 (2001) utilizam como critério de desempenho para pisos elevados internos, uma resistência ao impacto de corpo duro de 27 J, sem a ocorrência de qualquer espécie de dano à placa. O ensaio previsto por ambos é bastante similar. O Property Services Agency (PSA) - MOB PF2 PS/SPU (1992) define 4 lançamentos de um cilindro metálico de extremidade hemisférica de 50 mm de diâmetro, com 4,5 kg, de uma altura de 600 mm. O primeiro lançamento dever ser feito sobre o centro da placa, o segundo sobre o eixo de uma das bordas, o terceiro sobre o eixo de uma borda adjacente e o último na diagonal da placa, afastado 50 mm da quina (todos sobre uma mesma placa). A CEN EN 12825 (2001) define com o mesmo aparato de testes (Figura 3-34), um lançamento a menos, totalizando três: o primeiro sobre o centro da placa, o segundo sobre o eixo de uma das bordas e o terceiro sobre alguma região da placa reconhecidamente frágil.

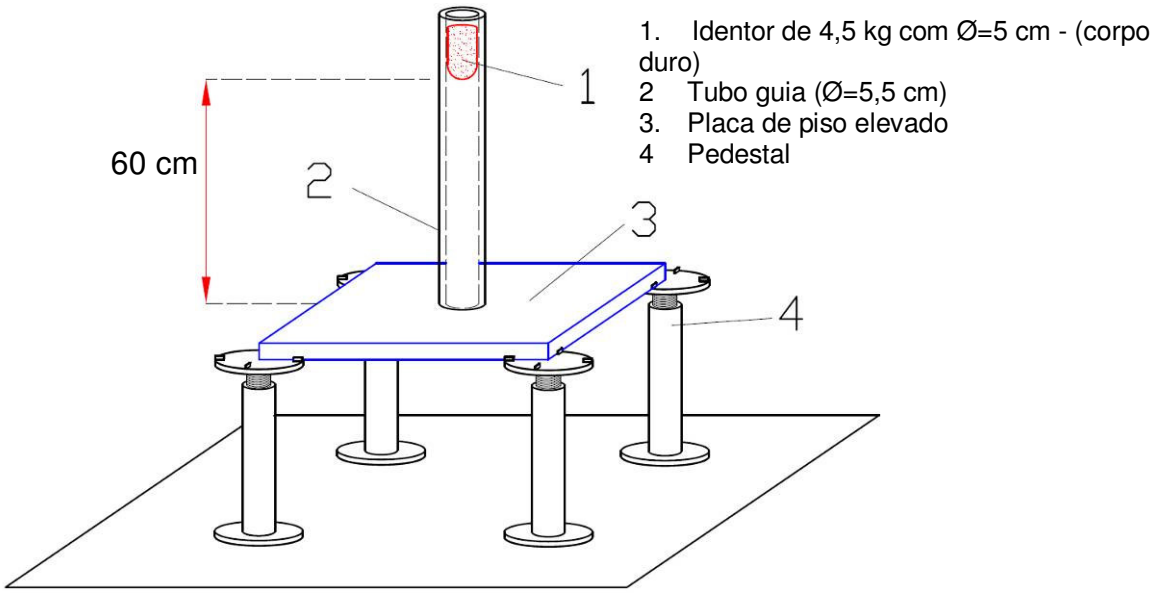


Figura 3-34 – Esquema de ensaio de impacto de corpo duro, com altura de queda de 60 cm, segundo a CEN EN 12825 (2001).

Quando se quer avaliar situações limites de utilização para impactos de corpo duro, acredita-se que a recomendação da CEN EN 12825 (2001) de se repetir impactos de mesma intensidade, em diferentes pontos da placa, faz mais sentido do que a recomendação da ABNT NBR 12050 (1991) de realizar impactos com energia crescente no centro de uma mesma placa. Isto porque, ao longo da vida útil do PELEX, são esperados impactos esporádicos de corpo duro sobre a superfície do piso, com intensidades equivalentes. A metodologia da CEN EN 12825 (2001) traz ainda o benefício de permitir que a avaliação se dê nos pontos mais frágeis da placa de piso elevado (bordas, centro e canto).

Desta forma, como metodologia proposta para avaliação de resistência ao impacto de corpo duro com energias que simulem choques esporádicos, sugere-se neste trabalho, aquela proposta pelo CEN EN 12825 (2001).

Por outro lado, utilizando o mesmo aparato descrito pela CEN EN 12825 (2001), o teste com lançamento único no centro de uma placa apresenta-se como mais apropriado em avaliações de impacto de corpo duro que simulem situações excepcionais (estado limite último), em que se queira prevenir o traspassamento.

Além de critérios relacionados a esforços dinâmicos, mostra-se igualmente importante abordar outros critérios que estejam ligados ao comportamento do PELEX submetido a carregamentos estáticos. Neste sentido, o comportamento do sistema de piso elevado submetido à flexão assume destaque, dado à sua característica de sustentação pelas extremidades (vértices). Com este enfoque, entende-se que as placas do PELEX devem resistir a esforços que lhe submetam à flexão, provenientes de sua utilização normal.

Entendendo a relevância do assunto, a AFNOR NF 187 (2006) estabeleceu classes de resistência de placas de concreto (inclusive para a situação elevada) submetidas à flexão, as quais são utilizadas por fabricantes europeus para referenciar o desempenho de seus produtos, independentemente do material que lhes constitua.

Exemplo disto é encontrado em uma das publicações do LES CAHIERS TECHNIQUES DU BÂTIMENT (2007b) que traz as resistências de placas de madeira e de rocha reconstituída de alguns fabricantes europeus, classificadas de acordo com a AFNOR NF 187 (2006).

As duas classes de resistência de placa indicadas por esta norma francesa para

utilização em pisos elevados sujeitos exclusivamente ao trânsito de pessoas são apresentadas na Tabela 3-7:

Tabela 3-7– As duas classes de resistência de placa indicadas pela AFNOR NF 187 (2006) para pisos elevados sujeitos exclusivamente ao trânsito de pessoas.

	CLASSES DE UTILIZAÇÃO PARA O PELEX	PROPRIEDADES		CLASSIFICAÇÃO
		Carga característica de ruptura	Resistência característica à flexão	
ACESSO EXCLUSIVO DE PEDESTRES	Uso moderado sobre pequena área (exemplo: terraço privativo) e altura de pedestais de até 15 cm	7kN	4 MPa	T 7
	Uso coletivo ou público	11 kN	4 MPa	T 11

Para utilizações atípicas de piso elevado, a AFNOR NF 187 (2006) cita três outras classes de resistência que podem receber, após dimensionamento do sistema, cargas eventuais de veículos leves e em baixa velocidade: Classes U14, U25 e U30. As classes têm respectivamente cargas de ruptura à flexão de 14 kN, 25 kN e 30 kN.

A metodologia utilizada pela AFNOR NF 187 (2006) para ensaio de flexão das placas de piso elevado pode ser encontrada na BSI BS EN 1339 (2003), exceção ao tempo sugerido de imersão prévia das placas. A primeira adota imersão prévia por 2 horas, enquanto a segunda, por 24 horas.

Metodologia de ensaio similar é adotada na CSA A231.1 (2006), cujo ensaio é ilustrado pela Figura 3-35.

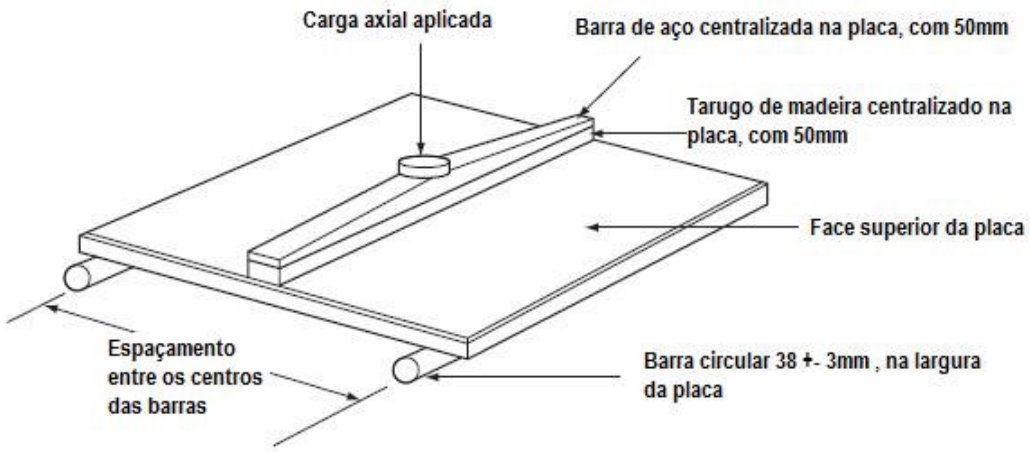


Figura 3-35– Esquema de ensaio de flexão de placas para piso, conforme CSA A231.1 (2006).

Para este ensaio, a norma CSA A231.1 (2006) prescreve que o espaçamento entre os centros das barras circulares deve ser de 0,25 m, caso a placa ensaiada tenha largura máxima de 0,5 m. Para placas com dimensão maior do que 0,5 m, limitadas à 1 m, prescreve espaçamento de 0,3 m entre as barras circulares.

Presume-se que este ensaio, cujo espaçamento de barras pode ser considerado limitado, tenha sido idealizado pensando-se numa aplicação não-aderida sobre leito de material granular, situação em que a placa de piso terá sustentação completa ou no mínimo parcial, não havendo trechos extensos sem sustentação.

No esquema de ensaio proposto pela BSI BS EN 1339 (2003) as barras circulares têm 20 ± 1 mm de diâmetro, afastadas 25 mm da borda da placa, desde que o espaçamento entre as barras fique maior do que três vezes a espessura da placa. Caso contrário, as barras circulares têm afastamento da borda da placa igual à metade da sua espessura.

Em ambas as metodologias a obtenção da resistência à flexão ocorre empregando-se a fórmula (3-1):

$$R = (3*P*l) / (2*b*d^2) \qquad \textbf{Fórmula (3-1)}$$

Onde:

R – Resistência à flexão da placa, MPa

P – Carga de ruptura, N

l – Espaçamento entre as barras circulares, mm

b – Largura da placa ao longo da linha de fratura, mm

d – Espessura da placa, mm

Ao se analisar o critério de desempenho recomendado pela AFNOR NF 187 (2006), indicado na Tabela 3-7, para a resistência à flexão, ressalta-se que ele não deve ser utilizado isoladamente na avaliação das placas.

Tome-se o exemplo de placas com a mesma resistência característica à flexão de 4 MPa, com medidas de, por exemplo, 600 mm x 600 mm (largura x comprimento), fabricadas para a classe de utilização "*de uso coletivo*", com espessuras de 40mm e de 62mm. Considerando-se para o ensaio de flexão prescrito pela BSI BS EN 1339 (2003), um espaçamento de barras circulares de 550 mm (cada uma afastada 25 mm da borda adjacente) e a largura da placa na linha de fratura igual a 600mm; seriam necessárias as seguintes cargas para levar as placas à ruptura por flexão, de acordo com a Fórmula (3-1): 4655 N e 11183 N, respectivamente para placas com espessura de 40 mm e com espessura de 62 mm.

Supondo-se que efetivamente estas cargas de ruptura fossem observadas nos ensaios, apesar das placas atenderem ao critério de resistência à flexão, somente as placas mais espessas estariam aprovadas para utilização em pisos elevados, já que elas teriam superado a carga de ruptura mínima de 11000N estabelecida pela AFNOR NF 187 (2006).

Assim, no capítulo 5, além da resistência característica da placa à flexão, será também adotado, como critério de desempenho, a carga característica de ruptura da placa, baseando-se para isto no ensaio retratado anteriormente. A disposição das barras circulares neste ensaio, próxima à borda das placas, faz com que seja gerada tensão na flexão que simula aquela que pode ser observada no piso elevado, já que ele tem como característica, o apoio pelas extremidades.

Há ainda outros parâmetros igualmente importantes relacionados ao desempenho das placas de piso elevado. Quando as placas de piso são de concreto armado, um destes parâmetros é a relação água : cimento utilizada, a qual está intimamente ligada à durabilidade destas placas.

Neste sentido ponderou Campos (2002) afirmando que mesmo as armaduras sendo

constituídas de ou sendo protegidas por materiais resistentes à corrosão, a qualidade da pasta cimentícia de um microconcreto armado é essencial para impedir processos deletérios que possam comprometer-lhe a durabilidade.

Por sua vez Mehta e Monteiro (1994) consideram a estanqueidade e a impermeabilidade os principais fatores determinantes da durabilidade de um concreto, indicando, para tanto, a impermeabilidade da pasta como uma característica altamente apreciada. Acrescentam que a impermeabilidade é função do tamanho e da continuidade de poros de uma pasta cimentícia, e que em pastas com relação água : cimento mais baixa ou com grau de hidratação maior (sujeitas a processo de cura), a porosidade total diminui.

A ABNT NBR 11173 (1990), que trata de estruturas delgadas produzidas com argamassa armada, prescreve, para assegurar reduzida porosidade à argamassa e durabilidade a tais estruturas, uma relação água : cimento de no máximo 0,45.

Segundo Campos (2002), atualmente, com o emprego de superplastificantes, essa relação pode ser sensivelmente diminuída, incrementando o desempenho dos elementos em argamassa armada.

Acredita-se que situação similar de majoração de desempenho quanto à durabilidade ocorreria ao se utilizar relações água : cimento reduzidas, da ordem de 0,45, nos concretos para placas de piso elevado. Além disto, lembra-se que a durabilidade do concreto está intimamente ligada ao adequado processo de cura.

Com relação ainda à durabilidade, segundo a AFNOR NF 187 (2006), para auxiliar na resistência aos agentes climáticos, as placas de piso elevado em concreto devem ter absorção máxima de 6%, valor também adotado como referência pela CSA A231.1 (2006). Esta última norma justifica a adoção deste critério como forma de reduzir os efeitos de ciclos de gelo-degelo, o que pode ser considerado excepcional no Brasil. Independentemente da exposição a ciclos de gelo-degelo, salienta-se que concretos mais porosos normalmente são mais susceptíveis a sujidades e a manchamentos, caso não sejam adequadamente protegidos por produtos específicos. Além disto, acredita-se que concretos mais porosos sejam também mais susceptíveis à deterioração química pelo contato com a água de chuva.

Este pesquisador não teve acesso a referências que pudessem comprovar se a absorção máxima de 6%, nas condições de utilização e de exposição nacionais,

seria suficiente para assegurar adequada durabilidade às placas de concreto armado. Desta forma, a absorção não será utilizada como critério de desempenho neste trabalho e ficará como recomendação para estudo futuro.

Por outro lado, para as condições de exposição nacionais acredita-se que um dos principais parâmetros vinculados à durabilidade das placas de concreto armado seja a sua permeabilidade. Como já mencionado ela depende diretamente da cura e da relação água : cimento do concreto, itens sobre os quais serão feitas recomendações no capítulo 5.

Com relação à resistência à abrasão de placas de concreto para pisos (inclusive na situação elevada), a AFNOR NF 187 (2006) abordou o assunto. Como critério de desempenho para abrasão, essa norma limita em 23 mm o desgaste de uma superfície de piso submetida ao ensaio da AFNOR NF EN 1339 (2004)[24], anexo G. Contudo, ao propor este limite, a norma está se referindo a aplicações de pisos " [...] *destinadas principalmente a zonas de circulação acessíveis a veículos de modo contínuo ou ocasional* [...]" (AFNOR NF 187 [2006] – p.12).

Como o piso elevado, objeto desta pesquisa, não tem essas características de tráfego, o parâmetro sugerido pela AFNOR NF 187 (2006) não será adotado como recomendação, cabendo a realização de pesquisa futura com placas nacionais destinadas ao PELEX, em relação aos outros três níveis de resistência de abrasão previstos pela AFNOR NF EN 1339 (2004).

Com relação ao critério de desempenho ligado à estabilidade dos pedestais destaca-se que os mesmos deverão ser dimensionados em função das condições de utilização, incluindo-se cargas acidentais e peso próprio do sistema.

A AFNOR NF P 84-204-1 (2001) prescreve a resistência mínima de pedestais na situação de carregamento axial, uniformemente distribuído por toda a seção do pedestal; e excêntrico, aplicado em ¼ da seção, adotando respectivamente 5,0 kN e 2,5 kN.

Menciona-se que estes valores estão associados ao menor risco de utilização, já

---

[24] ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION. **AFNOR NF EN 1339**: Dalles em béton – Prescriptions et méthodes d'essai, Paris, 2004.

que as alturas de pedestais são limitadas na França em 20 cm, situação bem diferente da nacional, e que deve ser levada em consideração ao se recomendar critérios de desempenho brasileiros.

Com relação às características geométricas do pedestal, as quais interferem diretamente na estabilidade do sistema, a AFNOR NF P 84-204-1-2 (2004) recomenda uma seção mínima de 100 cm² da sua face superior. Entende-se que esta área mínima serve ao propósito de evitar a concentração de esforços nos vértices das placas, além de trazer estabilidade ao sistema.

Esta mesma norma francesa recomenda uma área mínima de base do pedestal de 300 cm². Ambas as medidas serão adotadas como referência neste trabalho.

3.6.2 Ensaios de desempenho de placas de concreto para piso elevado no Brasil

Este pesquisador teve oportunidade de acompanhar cinco ensaios de flexão com placas de concreto de diferentes fabricantes brasileiros e com diferentes características, conforme ilustrado na Figura 3-36 (a) e (b).

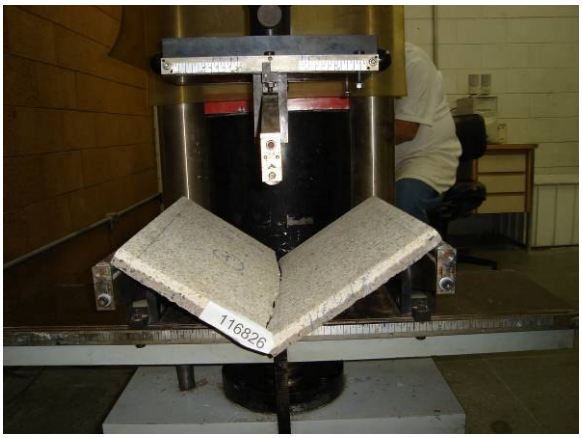


Figura 3-36 (a) e (b) – Ensaio de flexão de placas de concreto nacionais para piso. (a) Preparação do ensaio; (b) Ruptura da placa (09/11/2008).

Nestes ensaios foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 3-8:

Tabela 3-8 – Resultados de ensaios de flexão de placas de concreto nacionais para piso.

FABRICANTE	PLACAS	ARMAÇÃO METÁLICA	TIPO DE APLICAÇÃO PREVISTA	PROPRIEDADES	
				Carga de ruptura	Resistência à flexão
F 1	500 x 500 x 26 mm	sim: desconhecida	aderido/flutuante	2,34 kN	4,7 Mpa
	500 x 500 x 26 mm	sim: desconhecida	aderido/flutuante	2,15 kN	4,3 Mpa
F 2	500 x 500 x 26 mm	não	aderido/flutuante	3,95 kN	7,9 Mpa
	500 x 500 x 26 mm	não	aderido/flutuante	3,21 kN	6,4 Mpa
F3	500 x 500 x 38 mm	sim: Tela Ø=4,2mm cada 10cm	elevado	13,22 kN	12,4 MPa

Note-se que caso fosse adotado como critério de desempenho a resistência à flexão do CSA A231.1 (2006), de 4,5 MPa , de forma isolada, teríamos provavelmente situações totalmente inseguras no piso elevado, ao serem utilizadas placas de 500 x 500 x 26 mm de concreto, com carga de ruptura da ordem de 2,15 kN, valor significativamente inferior a 7 kN, estabelecido como mínimo pela AFNOR NF 187 (2006), para pisos elevados. Assim, somente a placa do fornecedor F3, destinada ao piso elevado, atenderia aos critérios de desempenho indicados por essa norma francesa. Acredita-se que exatamente por isto as demais placas não sejam destinadas a esta utilização.

Informa-se que não houve ensaios de desempenho com placas sem armadura do fabricante F3. Contudo, acredita-se que o desempenho atingido pela placa armada só foi possível, provavelmente, por se ter adotado armadura em tela metálica, constituída por fios de aproximadamente Ø 4,2mm a cada 10 cm, sugerida após discussões no comitê da norma brasileira de placas de concreto para piso elevado.

Com relação ao requisito de desempenho de resistência a impactos, este autor teve acesso a ensaios de impacto de corpo mole e duro em placas de concreto para piso elevado externo de alguns fabricantes brasileiros. Restrito àquelas amostras de placa, as resistências de impacto de corpo mole são inferiores aos valores preconizados pela ABNT NBR 15575 (2008) para pisos internos.

Tais ensaios de impacto de corpo mole foram realizados segundo metodologia da CEN EN 12825 (2001), com corpo de prova de 40 kg (saco de couro com areia). Neste ensaio, uma das placas rompeu com 80 cm de altura de queda, isto é, com cerca de 320 J (Figura 3-37(a)). Note-se que a área de contato do apoio (Ø~75 mm) com os vértices da placa é menor do que aquela encontrada nas aplicações usuais

(Figura 3-37(b)), resultando em concentração de esforços e quebra da placa nesta região. A armação desta placa acabou definindo os planos de ruptura (Figura 3-37(c)).

Figura 3-37 (a), (b) e (c) – (a) Ensaio de impacto de corpo-mole de 40 kg em placa de concreto armado para piso elevado com altura de queda de 80cm – (320 J); (b) Ruptura de canto da placa no ensaio de corpo mole em função de concentração de esforços determinada pela redução da área de contato com o apoio; (c) Planos de ruptura no alinhamento da armadura da placa. Metodologia de ensaio da CEN EN 12825 (2001).

Outra placa de concreto submetida ao mesmo ensaio (Figura 3-38(a)), tinha a peculiaridade de não estar armada. Entrou em ruína com lançamento de 1m, não atingindo os 400J de resistência preconizados pela CEN EN 12825 (2001), com ruptura frágil (Figura 3-38 (b)).

Figura 3-38 (a) e (b) – (a) Ensaio de impacto de corpo-mole de 40 kg em placa de concreto não-armado para piso elevado com altura de queda de cerca de 100 cm – (400 J); (b) Ruptura frágil da placa de concreto não-armado para piso elevado em ensaio de impacto de corpo mole (400J). Metodologia de ensaio da CEN EN 12825 (2001).

Destaca-se que a ruptura frágil não deve ser admitida para as placas de pisos elevados, a menos que sua resistência ao impacto seja significativamente maior do que a das placas que rompem com aviso. Esta recomendação é feita no sentido de se obter um coeficiente de segurança maior, que afaste o risco de quebra deste tipo de placa com cargas de serviço e com cargas que simulem o estado limite de utilização. Esta situação requer estudos específicos que extrapolam o objeto deste trabalho.

Tendo em vista que as energias de ruptura observadas de 320 J e 400 J são inferiores ao limite mínimo de 480 J prescrito pela ABNT NBR 15575 (2008) para que não haja ruína de um piso interno, atenção deve ser dada à formulação de critérios de desempenho de placas para piso elevado externo.

Por sua vez, nos ensaios de impacto de corpo-duro com os quais este autor teve contato, as placas de alguns fabricantes atingiram resultados satisfatórios se comparados com os critérios da ABNT NBR 15575 (2008). Contudo, a metodologia utilizada para o ensaio de impacto de corpo duro foi a prescrita pela ABNT NBR

12050 (1991) (Figura 3-39 (a) e (b)), com impactos únicos de uma esfera de aço de 10 kg, a partir de alturas variando em intervalos de 10 cm, diferentemente da ABNT NBR 15575 (2008) que prescreve esfera de 1kg, com 10 impactos em cada uma das energias avaliadas (10, 20 e 30 J)

Figura 3-39 (a) e (b) – (a) Ensaio de impacto de corpo duro de acordo com a ABNT NBR 12050 (1991), com esfera de aço de 10 kg, em placa de concreto armado; (b) Placa de concreto armado rompida pelo ensaio de impacto de corpo duro, segundo a ABNT NBR 12050 (1991).

As placas de concreto de dois fabricantes: placa armada (Figura 3-40) – 600 x 600 x 40mm e outra não armada de 495 x 495 x 40mm, ensaiadas segundo a metodologia da ABNT NBR 12050 (1991), apresentaram uma mesma resistência ao impacto de 40 J; porém, com a diferença de que a placa não armada foi traspassada, enquanto a placa armada, após apresentar quebra, permaneceu sem fragmentar-se.

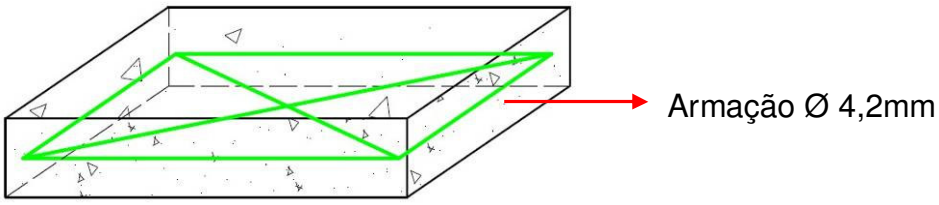


Figura 3-40 – Esquema de armação de placa de concreto ensaiada ao impacto de corpo duro com esfera de aço de 10 kg.

Já a placa de granito estruturado com resina epoxídica com cerca de 550 x 550 x 20mm, ao ser submetida ao impacto de corpo duro de 10 kg, segundo a metodologia

da ABNT NBR 12050 (1991), rompeu apenas quando a altura de queda superou 1,50m (150J).

Com relação a ensaios de pedestais de um dos principais fabricantes brasileiros, se obteve resultados que indicaram resistência de 12 kN, após carregamento de toda superfície em alturas de ensaio que variaram de 15 a 60 cm. O valor obtido é consideravelmente superior ao de 5 kN, recomendado pela AFNOR NF P 84-204-1-2 (2004).

Outro fabricante nacional que atende boa parte das aplicações de piso elevado em granito, informou resistência de ruptura da ordem de 18 kN.

3.7 Referenciais de desempenho sustentável relacionados à utilização do PELEX

Segundo o ICPI (2007) o aumento dos custos para obtenção de energia e de materiais tem incentivado a conservação de recursos naturais desde a fase de projeto até a fase de execução de obras.

O piso elevado externo é uma tecnologia que se apresenta como alternativa de revestimento com potencial de racionalizar a aplicação de recursos naturais, como será destacado a seguir.

Para isto, tomar-se-ão como balizadores, alguns requisitos de desempenho ambiental de referenciais internacionalmente conhecidos: LEED ® (*Leadership in Energy and Environmental Design*), desenvolvido pelo USGBC (*U.S. Green Building Council*) e o AQUA (adaptação do original francês: *Referentiel Technique de Certification "Bâtiments Tertiaires – Démarche* – HQE ®"), elaborado pelo Certivéa, organismo do grupo CSTB (*Centre Scientifique et Technique du Bâtiment*).

Observando os vários objetivos e critérios do LEED ®, o ICPI (2007) relata como é possível atingi-los com auxílio dos pisos segmentados, ou seja, aqueles formados por componentes manuseáveis de pavimentação, como os classificou Lilley (1991). O ICPI (2007) indica que o piso segmentado a que se refere tem aplicação não-aderida e inclui os pisos intertravados, pisos permeáveis, pisos de concreto que recebam parcialmente vegetação e placas pré-fabricadas de concreto, sendo este último bastante utilizado no PELEX. Assim, acredita-se que o piso elevado pode

atender, em certa medida, os mesmos requisitos ambientais dos demais pisos segmentados não-aderidos, desde que haja efetivo controle da água pluvial recolhida em seu entrepiso.

Com a utilização de pisos segmentados não-aderidos, o ICPI (2007) explica como é possível obter créditos para o LEED ® nos itens referentes à gestão de águas pluviais e nos itens referentes ao tema de ilhas de calor. Na gestão de águas pluviais, segundo o Instituto, se deve evitar vazões de pico geradas na rede pública, por exemplo, por meio da redução da área impermeável do empreendimento. Entende-se que além dos pisos não-aderidos aplicados sobre leito de material granular, o piso elevado pode atender a este requisito desde que a água recolhida no entrepiso fique retida temporariamente, com os cuidados já mencionados neste trabalho. Além disto, há a possibilidade desta água retida ser reutilizada, por exemplo, em descargas de bacias sanitárias após tratamento e controle adequados. Contudo esta possibilidade deve ser objeto de estudos aprofundados antes de ser adotada, avaliando-se sobretudo as dificuldades de gestão futura do sistema e aspectos sanitários envolvidos, como por exemplo os riscos de transmissão de doenças e de contaminação dos usuários.

O ICPI (2007) acrescenta que placas de concreto para piso com adequado índice de refletância podem minimizar o efeito de ilhas de calor evitando que se criem ambientes cuja superfície de piso irradie grandes quantidades de energia térmica. O instituto menciona que a utilização de cimento branco e de agregados claros na superfície do piso em concreto aumenta a sua refletância.

Acrescenta-se que existem placas de revestimento em granito, de tonalidade clara, que podem também ser utilizadas para este propósito.

Outro ponto que parece favorável ao desempenho ambiental de construções com a utilização de pisos segmentados, igualmente favorável na aplicação de pisos elevados, é a facilidade de separar e reaproveitar, ao término da vida útil do piso, os materiais aplicados. Exemplo disto é a possibilidade de se reciclar as placas de concreto de piso, transformando-as em agregados para pavimentação, como ponderou o ICPI (2007) ou ainda a possibilidade de reciclar os pedestais plásticos.

Em breve, segundo o ICPI (2007), o conceito de análise de ciclo de vida deve estar incorporado ao LEED ®. Isto deverá ampliar ainda mais o reconhecimento dos

benefícios ambientais da utilização do piso elevado, já que com ele os custos de manutenção em camadas intermediárias das VHEC são menores ao se comparar aos custos envolvidos nesta mesma atividade em pisos aderidos.

Em relação ao referencial AQUA, percebe-se em FCAV (2007) uma preocupação com os impactos no ambiente nas diversas fases de vida de um empreendimento (realização, uso e operação, adaptação e desconstrução). Ele se apóia no que chamou de Sistema de Gestão do Empreendimento (SGE), para avaliar o sistema de gestão ambiental implementado pelo empreendedor, bem como se apóia no que classificou de referencial da Qualidade Ambiental do Edifício (QAE), para avaliar o desempenho arquitetônico e técnico da construção.

O referencial de Qualidade Ambiental do Edifício (QAE) está baseado em 4 grandes grupos de desempenho: eco-construção, gestão, conforto e saúde.

No quesito eco-construção, o piso elevado pode ser considerado como um método construtivo que facilita a adaptabilidade da construção frente às evoluções futuras prováveis, diminuindo a chance de obsolescência funcional do empreendimento, ao permitir, por exemplo, a passagem de instalações diversas no seu entrepiso e alterações de leiaute em ambientes externos. Desta forma, segundo o FCAV (2007), processos construtivos que contribuem para a adaptabilidade da construção conduzem a uma evolução com menores impactos ambientais.

Além disto, o referencial de origem francesa valoriza a desmontabilidade e a separabilidade dos produtos da obra acabada, o que é alcançado com a utilização do PELEX.

Este referencial valoriza ainda escolhas construtivas que facilitem a conservação da construção o que se reconhece na utilização do piso elevado, em função de permitir o acesso fácil a instalações do entrepiso, ao sistema de isolamento térmico e ao sistema de impermeabilização.

Já no quesito eco-gestão, no tocante ao consumo de energia, a utilização do PELEX nas coberturas de edifícios, por criar um sombreamento ventilado e se revestido por placas de cores claras, reduzirá a demanda por condicionamento de ar no edifício, o que é um dos critérios de desempenho ambiental estabelecidos pelo referencial.

A gestão da água é outro item avaliado no quesito de eco-gestão. O FCAV (2007)

indica que “[...] *a gestão de águas pluviais no terreno possibilita uma ação em escala micro-urbana que visa limitar o escoamento de águas pluviais a fim de prevenir o risco de inundação e reduzir a poluição difusa* [...]” (FCAV, 2007 – p.103). Neste item, o PELEX tem potencial para reduzir vazões de pico de chuvas, por meio de retenção temporária da água infiltrada pela sua superfície, desde que haja adequada gestão deste processo como já mencionado.

Além disto, esta água retida pode servir a usos não potáveis em um empreendimento. Para tanto, o FCAV (2007) menciona que devem ser analisados aspectos de custo e benefício, além de aspectos ligados ao risco sanitário desta utilização confrontado com a competência técnica da operação do sistema.

4 ESTUDO DE CAMPO

4.1 Introdução

Um dos objetivos deste estudo de campo foi a verificação, em caráter amostral, do estado da arte do PELEX em aplicações brasileiras, registrando as suas principais características, para então avaliá-las, tomando por base a revisão bibliográfica.

Além disto, procurou-se identificar a percepção dos usuários com relação ao PELEX e também as diretrizes envolvidas na comercialização deste sistema no Brasil.

Para isto, foram visitados 12 empreendimentos com aplicação do PELEX (Tabela 4-1), sendo 6 deles com os pisos em utilização - empreendimentos de E1 a E6 e os demais com os pisos em execução - empreendimentos de E7 a E12.

Tabela 4-1 - Informações dos empreendimentos visitados.

Empreend.	Torres	Tipologia	Padrão	Data de finalização	Bairro	Construtora	Fornecedor	Placa
E1	7	Comercial	Alto	1977	Santo Amaro	C1	F1/F2	Granito
E2	2	Residencial	Alto	2000	Moema	C2	F3	Concreto
E3	1	Residencial	Alto	2002	Moema	C2	F4	Concreto
E4	1	Comercial	Alto	2004	Jardim Paulista	C3	F5	Granito
E5	2	Residencial	Alto	2006	Pinheiros	C4	F4	Concreto
E6	2	Residencial	Alto	2006	Vila Nova Conceição	C5	F4	Concreto
E7	1	Residencial	Médio	2007	Vila Nova Conceição	C5	F4	Concreto
E8	1	Comercial	Alto	2007	Pinheiros	C6	F1	Granito
E9	2	Residencial	Médio	2007	Jardim da Saúde	C7	F5	Concreto
E10	1	Residencial	Alto	2008	Pompéia	C8	F4	Concreto
E11	6	Residencial	Alto	2008	Chácara Sto Antônio	C9	F1/F6	Granito / concreto
E12	1	Residencial	Alto	2008	Morumbi	C10	F7	Concreto

As visitas aos empreendimentos em execução foram dirigidas a pontos específicos da aplicação do piso elevado, por meio do roteiro do “APÊNDICE D1 – Roteiro de visita aos empreendimentos com PELEX”. Procurou-se por meio dele, evidenciar os procedimentos e materiais envolvidos na instalação, o padrão da obra, bem como os critérios de controle da qualidade utilizados.

Já nos empreendimentos em utilização, procurou-se evidenciar o estado de conservação do sistema de piso, a técnica utilizada, e, principalmente, identificar a visão dos usuários na utilização do PELEX.

Para isto, utilizou-se o questionário do “APÊNDICE D2 – Entrevista com usuário”, no empreendimento visitado com maior tempo de utilização de piso elevado e com maior extensão de aplicação, o empreendimento E1. Destaca-se que este empreendimento é assistido regularmente por uma equipe de manutenção e conservação profissional, com amplo registro de informações a respeito da utilização do PELEX, o que torna consistente a sua escolha para aplicação do questionário. Após decidir-se por este empreendimento e conhecer suas características principais, por meio de contato prévio, foi possível aprimorar o questionário que seria inicialmente aplicado, adequando-o ao perfil do entrevistado e ao perfil do empreendimento.

Ao longo do estudo de campo, também foram entrevistados dois fornecedores do sistema de pisos elevados, de acordo com o questionário do “APÊNDICE D3 – Entrevista com fornecedor”, os quais subsidiaram a identificação do estado da arte das aplicações nacionais, além de permitir uma visão dos principais parâmetros envolvidos na fabricação, comercialização e instalação dos componentes envolvidos nesta tecnologia. Os fornecedores entrevistados possuem características indicadas na Tabela 4-2.

Além das entrevistas, foi visitada a fábrica de placas do fornecedor F7 com o objetivo de verificar a técnica de fabricação e o controle da qualidade envolvido.

Tabela 4-2 – Perfil de empresas fornecedoras do sistema de piso elevado completo (materiais e aplicação) que foram pesquisadas.

Empresa	Início das atividades	Data entrevista	Instalações nos últimos 12 meses (m2)	Já instalados (m2)	Número de obras em andamento	Principal nicho de mercado	Tipo de placa	Garantia
F1	1992	set/07	15000	300000	6	Grandes construtoras - São Paulo	Granito	Até 10 anos
F7	2006	dez/07	8000	-	6	Construtoras - médio padrão - São Paulo	Concreto	5 anos

Um ponto de destaque das entrevistas com os fornecedores foi a constatação de que os construtores, em sua grande maioria, não fazem exigências de desempenho aos fabricantes no ato da contratação da tecnologia, restringindo-se a discutir aspectos ligados ao acabamento e à largura de juntas entre as peças.

A fim de facilitar a discussão das características do PELEX evidenciadas neste estudo de campo, elas serão reunidas nos mesmos grupos utilizados no capítulo 3 para descrever o sistema: Placas, Apoios, Juntas e Interface dos apoios com o substrato.

Além das características do PELEX, foram registrados os benefícios potenciais da aplicação do piso elevado na visão dos usuários e fornecedores, que são complementados pela visão de um construtor, que foi entrevistado utilizando-se o questionário do "APÊNDICE D4 – Entrevista com construtor".

Por fim, este capítulo traz, para algumas obras visitadas, uma análise crítica, enfatizando os pontos passíveis de melhoria na aplicação do PELEX, através de um controle mais efetivo da qualidade.

4.2 Caracterização do piso elevado para áreas externas, em aplicações nacionais

4.2.1 Placas

Durante as visitas, percebeu-se um maior número de aplicações realizadas em placas de concreto armado (9 aplicações) em relação às de granito; (4 aplicações).

Acredita-se que a maior freqüência de utilização de placas de concreto se deve, provavelmente, às diferenças de custo desta aplicação em relação àquela com placas de granito.

Para ilustrar esta diferença de custos, compara-se, por exemplo, a aplicação de pisos elevados em placas de concreto com acabamento do tipo *fulget* com a aplicação em granito, de padrão simples (Tabela 4-3). A tabela contém os valores de uma cotação com duas das principais empresas aplicadoras desta tecnologia em São Paulo, utilizando-se pedestais para uma elevação de 50 cm. Ressalta-se que a diferença entre as opções depende quase que exclusivamente do tipo de granito utilizado.

Tabela 4-3 - Comparação de custos de aplicação de pisos elevados em granito e em concreto – Fonte: Construtora C8 - data base: Janeiro/08.

	Material	Custo / m2 (aplicado com acessórios)
Granito - placas 60 x 60 x 2 cm	Branco Arabesco Flameado	R$ 157,48
	Amarelo Florença Jateado	R$ 176,49
	Amarelo Brasília Flameado	R$ 196,92
Concreto - placas 60 x 60 x 4cm	Acabamento tipo Fulget	R$ 120,70

Além do tipo de granito especificado, influenciam ainda no custo de aplicação, as medidas das placas. Segundo o fornecedor F1 de placas de granito, as perdas em sua produção seriam menores, com reflexos positivos no custo de fornecimento, caso fossem definidas placas de 55 x 55 cm ao invés de placas de 60 x 60 cm, já que as suas chapas de rocha vêm com medidas de 2,85 m x 1,85m. Com este tamanho de chapa, pensando-se numa modulação de 55 x 55 cm, é possível aproveitar cerca de 5% a mais de sua área em relação à modulação de 60 x 60 cm, o que compensa financeiramente o acréscimo de cerca de 0,5 pedestal por m^2 ao se utilizar a modulação 55 x 55 cm.

Tanto as placas em granito quanto as de concreto, na maioria absoluta dos empreendimentos visitados, apresentava algum tipo de reforço estrutural, o qual evita que uma eventual ruptura seja frágil.

No caso das placas de concreto o reforço usual é feito com barras de aço, o que também poderia ser obtido com outros materiais, após estudos aprofundados, como por exemplo, fibras sintéticas.

Na condição de participante do comitê brasileiro responsável pelo projeto de norma de placas de concreto para pisos externos (incluindo os elevados), ao longo do desenvolvimento deste trabalho, este autor tem argumentado com especialistas que também participam do comitê para que nesta futura norma sejam prescritas recomendações com relação ao cobrimento da armadura (quando esta for de aço); isto para assegurar a durabilidade das placas. Este autor tem defendido, em função das espessuras das placas brasileiras serem atualmente da ordem de 4 cm (placas

60x60cm) e possuírem usualmente armadura em aço sem tratamento anticorrosivo, que nesta situação, utilize-se concreto de baixa permeabilidade. Nesta situação defende também a adoção de concretos tratados superficialmente com produtos específicos ou a utilização de tratamento anticorrosivo do aço.

No caso das placas de granito utilizadas no empreendimento E8, o reforço das placas ocorreu com a utilização de telas de fibra de vidro aplicadas com resina epoxídica, conforme ilustra a Figura 4-1.

Figura 4-1 – Estruturação da face inferior de placas de granito com resina epoxídica e tela de fibra de vidro no empreendimento E8 (22/06/07).

Durante a visita, esta placa foi submetida a diversos impactos de corpo duro, chegando à ruptura, sem fragmentação.

Identificou-se neste estudo de campo que as placas de concreto aplicadas nos empreendimentos visitados haviam sido produzidas, basicamente, através de dois métodos: pré-moldagem em concreto armado com utilização de fôrmas plásticas ou metálicas (Figura 4-2) e produção em pistas, empregando-se concreto aditivado com fibras de polipropileno, com posterior corte de placas (Figura 4-3, Figura 4-4 e Figura 4-5), conforme identificado na visita realizada por este autor à fábrica do fornecedor F7.

Figura 4-2 – Fôrmas metálicas para pré-moldagem de placas de concreto de piso elevado. Fonte: Fornecedor F4 do estudo de caso.

Figura 4-3 – Pista de produção de placas de concreto serradas para piso elevado, estruturadas com fibras de polipropileno – Corte de placas. Fornecedor F7. (06/12/07).

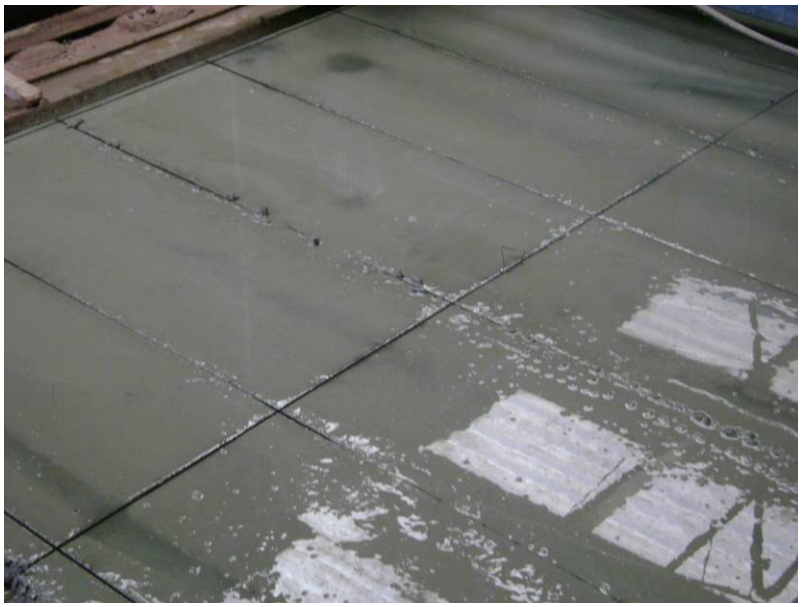


Figura 4-4 – Pista de produção de placas de concreto serradas para piso elevado, estruturadas com fibras de polipropileno – Após o corte de placas. Fornecedor F7. (06/12/07).

Figura 4-5 – Vista geral das pistas de produção de placas de concreto serradas para piso elevado, estruturadas com fibras de polipropileno. Fornecedor F7. (06/12/07).

Neste estudo de campo foi possível identificar também o estado do piso elevado no empreendimento E1, que utiliza o PELEX há mais de trinta anos.

O gestor do departamento de manutenções deste empreendimento, há pelo menos 12 anos nesta função, salienta que o antigo piso elevado era formado por placas de concreto armado apoiadas em suportes de bloco com cerca de 30 cm de altura. Com esta característica atingiu cerca de trinta anos de utilização, até ser recentemente substituído por outro sistema de piso elevado composto por placas de granito e pedestais plásticos.

Ele relatou que as deformações sofridas pelas placas ao longo dos anos (Figura 4-6) e a dificuldade de nivelar o sistema através dos apoios em blocos, gerava desnivelamento entre as placas e aberturas de juntas, em proporções que prejudicavam a segurança na utilização do piso.

Figura 4-6 – Deformações das placas do antigo piso elevado de empreendimento comercial na cidade de São Paulo – E1. Fonte: Departamento de Manutenção, Operação de Utilidades e Obras deste empreendimento – (2006).

Note-se a diferença do grau de desgaste superficial das placas na situação abrigada – superfície lisa (Figura 4-6) e na situação exposta a intempéries – superfície desgastada (Figura 4-7).

Figura 4-7 – Desgaste superficial acentuado e aberturas excessivas das juntas entre placas do antigo piso elevado de empreendimento comercial na cidade de São Paulo - E1, exposto a intempéries. Fonte: Departamento de Manutenção, Operação de Utilidades e Obras deste empreendimento.

Outro ponto que também prejudicava a utilização deste piso era o desconforto antropodinâmico ao se caminhar em placas sob o efeito “gangorra”.

O gestor do departamento de manutenções lembra também que as antigas placas de concreto eram extremamente pesadas para um manuseio seguro, com dimensões de 1,25 x 1,25m, espessura estimada de 6 cm, e com peso também estimado de cerca de 180 kg.

Segundo esse gestor ainda, durante o processo de manutenção ocorria a substituição de placas de piso devido à quebra ou ao seu desgaste superficial e ainda devido à oxidação da sua armadura estruturante.

As placas moldadas em substituição, por apresentarem variação de aspecto em relação às antigas, prejudicavam o padrão estético do piso.

Destaca, ainda, que as antigas placas apresentavam desgaste superficial diferenciado em áreas sujeitas às mesmas condições de exposição e de utilização, indicando provavelmente uma variação das condições ou das técnicas ou dos materiais envolvidos no processo produtivo das placas.

Para ele, a operação do novo sistema de piso elevado com placas de granito aplicado há cerca de 2 anos, havia reduzido a zero o número de reclamações e

qualquer espécie de acidente.

O novo sistema é composto de placas de granito de 0,625 x 0,625 x 0,02 m (para manter uma modulação múltipla da anterior de 1,25 x 1,25m), estruturadas com fibra de vidro e resina, protegidas superficialmente com produto hidrofugante. Estas placas de granito são consideradas como de manuseio muito mais simples do que as anteriores, o que pôde ser confirmado na visita realizada por este autor (Figura 4-8).

Figura 4-8 – Simulação de manutenção no novo piso elevado em granito do empreendimento comercial E1, na cidade de São Paulo (28/04/08).

A título de conservação das placas, foi informado que o novo piso passaria por uma lavagem da superfície e provável reaplicação da resina hidrofugante. Esta aplicação parece necessária tendo em vista que em áreas sujeitas ao tráfego e a sujidades mais intensas, mesmo sendo objeto de limpeza regular, apresenta certa degradação estética (Figura 4-9). Provavelmente esta aplicação de hidrofugante minimizaria os manchamentos das placas, apesar de se reconhecer que parte das manchas só seria impedida com o uso consciente do piso, evitando-se o depósito de goma de mascar, pontas de cigarro entre outros detritos sobre a sua superfície.

Figura 4-9 – Trecho localizado de piso elevado em granito de empreendimento comercial na cidade de São Paulo E1, com pequenas manchas (28/04/08).

Com relação ao desempenho das placas, na falta de critérios para o PELEX, o representante da empresa F1 declarou que utiliza as normas brasileiras de piso elevado interno, para estabelecer as características mecânicas de sua placa, incluindo critérios para o ensaio dinâmico de impacto de corpo duro.

Por sua vez, o representante da F7 informou que os parâmetros de fabricação das placas eram a resistência à compressão e uma resistência à flexão de 4 MPa, não havendo critérios de desempenho mecânico relacionados a cargas dinâmicas.

4.2.2 Apoios

O gestor do departamento de manutenções do empreendimento E1 salienta que durante o período de utilização do antigo piso elevado havia grande dificuldade de reposicionar as placas de revestimento, após qualquer tipo de manutenção, dada a impossibilidade de se regular os níveis dos apoios. Explica, ainda, que como as placas eram extremamente pesadas, durante o seu reposicionamento, havia certa degradação dos apoios. Isto prejudicava o nivelamento, alinhamento e apoio simultâneo dos quatro vértices das placas.

A Figura 4-10 e Figura 4-11 ilustram os antigos apoios em blocos de concreto.

Figura 4-10 – Apoio fixo em blocos de concreto das placas do antigo piso elevado de empreendimento comercial na cidade de São Paulo - E1. Fonte: Departamento de Manutenção, Operação de Utilidades e Obras deste empreendimento – (2006).

Figura 4-11 – Vista geral do conjunto de apoios fixos em blocos de concreto das placas do antigo piso elevado de empreendimento comercial na cidade de São Paulo - E1. Fonte: Departamento de Manutenção, Operação de Utilidades e Obras deste empreendimento – (2006).

Em relação aos apoios do novo sistema de pisos elevados, após cerca de 2 anos de utilização, necessita um ajuste e regulagem em seus pedestais para eliminar pequenas folgas que se criaram ao longo do tempo, segundo o gestor de

manutenções do empreendimento; muito embora, pessoalmente, não se tenha percebido esta ocorrência nos trechos percorridos.

O que se confirmou, entretanto, foi a sensação de se caminhar sobre um material resiliente, tal como havia relatado o entrevistado. Esta sensação parece estar ligada à deformabilidade da placa que é esbelta (placa de 2 cm), além de ter seus vértices apoiados sobre um calço de cortiça emborrachada.

Uma constatação deste estudo de caso foi que os apoios das placas de piso elevado em alguns empreendimentos visitados (E2, E3, E8, E9, E11 e E12), apresentaram tipologias bastante variadas, além de diferentes alturas de instalação, como indica a Figura 4-12.

Figura 4-12– Diferenças de tipos de apoio de pisos elevados nos empreendimentos visitados: E2,E3,E8, E9, E11 e E12.

Os pedestais pré-fabricados em material plástico, com regulagem de altura, foram aqueles que visualmente conseguiram acomodar melhor as variações de cota e de planicidade do substrato, sem a necessidade de adaptações, conferindo à aplicação, um sentido de organização, além de apresentarem maior regularidade de prumo.

Nas entrevistas com os fornecedores, identificou-se uma diferença de conceito em relação ao tipo de apoio utilizado em grandes elevações (acima de 1m), em *decks* de piscina, por exemplo. O fabricante F1 acredita que é possível aplicar o PELEX com pedestais de polipropileno de grande altura, como já fizeram em um projeto com cerca de 1,60m. Já o fabricante F7 defendeu a utilização de pedestais para elevações de até 0,5m. Quando a altura exigida supera esta medida, recomenda:

- de 0,5m a 1,0m – apoio em pilaretes de meio bloco de concreto;
- acima de 1,0m – apoio em pórticos (pilaretes de blocos de concreto e vigotas pré-moldadas de concreto – (Figura 4-12), para facilitar o acesso e mobilidade de pessoas sob o piso nestas condições.

Este último fabricante defendeu ainda a utilização de pedestais industrializados, já que ao trabalhar com peças de PVC comum para instalações de esgoto, de diâmetro de 100 mm, preenchidas com concreto em obra, deparou-se com baixa produtividade.

4.2.3 Juntas

No empreendimento E1, segundo o seu gerente de manutenção, há relatos de acidentes na utilização do antigo piso elevado, devido às aberturas de juntas da ordem de centímetro (Figura 4-7), que ocasionaram queda de usuárias com saltos altos, e queda de usuários ao tropeçarem nos ressaltos formados entre placas.

Durante o estudo de campo, constatou-se nos diferentes sistemas de piso elevado, uma variação da abertura das juntas, dependendo da técnica de instalação e de modo especial, do processo de produção das placas.

No caso das placas de concreto, o método de produção com fôrmas de laterais inclinadas que permitem a sua desenforma pode resultar em juntas maiores entre as placas, se comparado com as produzidas pelo método de pistas de concretagem com juntas serradas, admitindo-se a mesma precisão dimensional nos dois métodos de produção.

Ressalta-se que as juntas excessivas poderiam ser evitadas, como é feito em outros países, com a realização de rebaixos nas arestas inferiores das placas, para permitir o encaixe do espaçador dos pedestais (Figura 4-13).

Figura 4-13 – Rebaixos nas arestas inferiores das placas de piso elevado para encaixe do espaçador dos pedestais, para reduzir o tamanho das juntas entre placas. (Imagem cedida pela BUZON Pedestal International S.A. ao autor).

As juntas excessivas poderiam também ser evitadas caso se utilizasse o processo de produção tradicional de outros países, como ocorre, por exemplo, no Canadá e nos Estados Unidos, onde as placas para piso elevado são produzidas com prensas hidráulicas, resultando em peças de elevada precisão dimensional e menor ângulo de desenforma.

Nas visitas às obras também foi possível constatar que as menores juntas e as mais regulares entre as placas, estavam associadas ao piso elevado com placas de granito serrado, com juntas da ordem de 3 mm, como indica a Figura 4-14 e Figura 4-15:

Figura 4-14 – Juntas entre placas de granito de piso elevado, da ordem de 3 mm, empreendimento E8 (22/06/07).

Figura 4-15 – Juntas entre placas de granito de piso elevado no empreendimento E8, da ordem de 3 mm, determinada pelos espaçadores do pedestal, indicados na figura (22/06/07).

Em alguns casos de pisos elevados com placas de concreto, juntas da ordem de centímetro foram detectadas, como ilustra a Figura 4-16.

Figura 4-16 – Abertura entre placas de concreto de piso elevado, da ordem de centímetro, empreendimento E10 (24/07/08).

Além de prejudicarem a estética do piso, como anteriormente salientado, juntas excessivas entre as placas podem configurar situações de risco aos usuários de saltos estreitos.

A abertura entre as placas não está associada somente à técnica de produção (moldagem ou corte) e à precisão de sua instalação, depende também das tolerâncias às variações dimensionais admitidas pelo fabricante e pelo contratante.

Esta discussão tem sido polêmica no comitê que discute o projeto de norma de placas de concreto para PELEX. Neste comitê, apenas um fabricante utiliza o método de placas serradas de concreto, o que tem dificultado o consenso pelo estabelecimento de juntas reduzidas entre as placas do piso elevado, da ordem de 5 mm, como estabelecem as recomendações internacionais já apresentadas.

Isto se deve às dificuldades de se obter fôrmas padronizadas, com elevada precisão dimensional. Deve-se também à dificuldade de se trabalhar com ângulos de desenforma reduzidos ou de realizar os encaixes apresentados na Figura 4-13.

Atualmente, a junta entre placas adjacentes prevista no projeto de norma para o PELEX está definida em 7 mm, somatório do espaçador do pedestal de cerca 3 mm, mais o valor referente à inclinação das bordas de 2 mm/4 cm (ângulo de

desenforma) como ilustra a Figura 4-17 e a Figura 4-18.

Figura 4-17 – Chanfro resultante do ângulo de desenforma de placa de concreto pré-fabricada produzida com fôrma metálica (18/02/09).

Figura 4-18 – Junta formada entre placas de concreto pré-fabricadas com fôrma metálica, instaladas no empreendimento E10 (30/04/08).

Salienta-se que a largura atual da junta, proposta no projeto de norma, não oferece plena segurança de circulação a determinados usuários, já que há no mercado alguns tipos de sapato femininos de saltos mais estreitos do que a referida medida de junta.

Neste estudo de campo foi identificada a preocupação com as juntas perimetrais das

áreas com aplicação de piso elevado. Em três empresas aplicadoras distintas constatou-se o cuidado em restringir perimetralmente o sistema de pisos elevados, a fim de evitar que cargas horizontais pudessem desestabilizá-lo (Figura 4-19, Figura 4-20, Figura 4-21 e Figura 4-22).

Figura 4-19 – Travamento perimetral do piso elevado fixando as placas de contorno à mureta de jardim. (Fornecedor F5 – empreendimento E9) – (11/09/07).

Figura 4-20 – Travamento perimetral do piso elevado fixando as placas de contorno à mureta de jardim, com contenção lateral. (Fornecedor F6 – empreendimento E11) – (29/06/07).

Figura 4-21 – Travamento perimetral do piso elevado por meio de juntas secas entre as placas de contorno (apoiadas em pedestal) e o elemento vertical que limita perimetralmente o sistema. (Fornecedor F1 – empreendimento E8) – (22/06/07).

Figura 4-22– Travamento perimetral do piso elevado por meio de juntas secas entre as placas de contorno (apoiadas em pedestal) e o elemento vertical que limita perimetralmente o sistema. (Fornecedor F1) – (11/11/08).

Esta preocupação em travar o perímetro do sistema foi percebida também durante a

fase de execução, onde contraventamentos provisórios estavam sendo executados, no empreendimento E10, como ilustra a Figura 4-23.

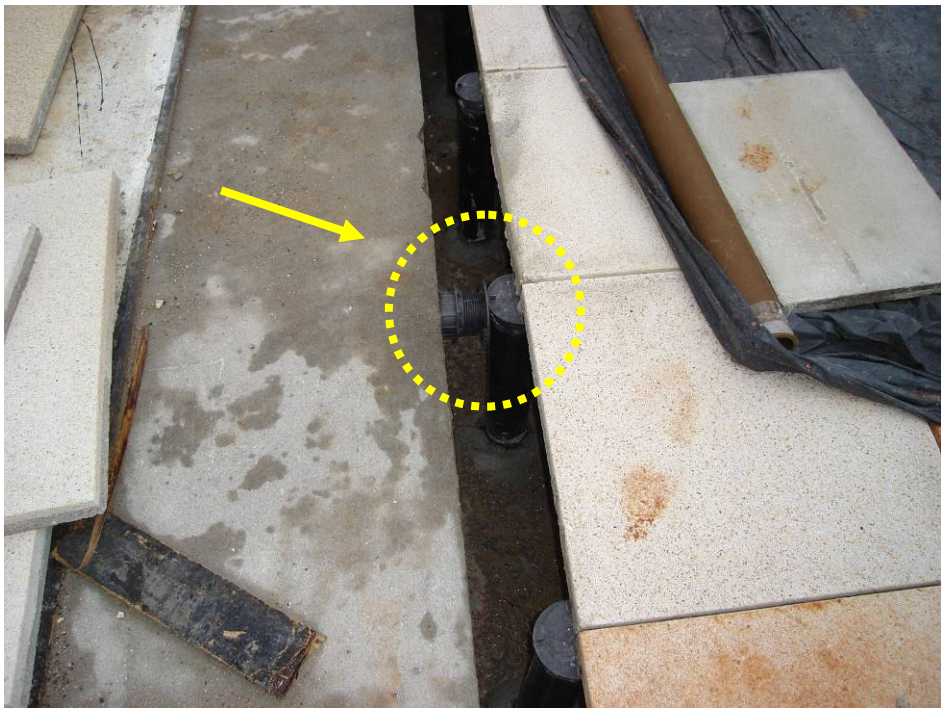


Figura 4-23 – Travamento perimetral provisório do piso elevado durante a sua execução (Fornecedor F4) – 30/04/08.

4.2.4 Interface dos apoios com o substrato

Além dos tipos de pedestais e da técnica de fabricação de placas, outro ponto que diferenciava os fabricantes foi sua orientação com relação à proteção mecânica da camada de impermeabilização.

O fornecedor F7 defendeu a aplicação do PELEX sobre uma camada de proteção mecânica. Já o fornecedor F1 afirmou que sua empresa poderia aplicar o pedestal diretamente sobre a manta, apesar desta prática não ter boa aceitação pelo mercado consumidor.

Neste ponto vale destacar que numa situação não protegida, pode haver uma degradação acelerada das mantas. Picchi (1986), ao tratar da degradação de materiais betuminosos, afirma que as mudanças que lhes ocorre quando expostos a intempéries são bastante complexas, envolvendo vários fenômenos, tais como a evaporação de seus constituintes voláteis, a oxidação e o efeito da umidade sobre seus elementos.

Estes conceitos devem ter norteado a AFNOR NF P 84-204-1 (2001) que

estabeleceu dois tipos distintos de manta sob pisos elevados: situação com e sem proteção mecânica.

Diante do exposto, fica claro que a utilização de pedestais aplicados diretamente sobre as mantas usualmente aplicadas no Brasil requer estudos prévios, considerando o desempenho nesta situação particular, o que extrapola o objeto desta pesquisa.

4.3 Benefícios potenciais da aplicação de piso elevado em áreas externas

Pelas entrevistas, pôde-se depreender que a visão dos empresários fornecedores com relação aos benefícios da utilização do PELEX foi bastante convergente. Enfatizaram que a racionalidade proporcionada por esta tecnologia seria um dos principais motivadores do seu negócio. Para eles, esta racionalização ocorria em relação às manutenções na camada de impermeabilização, sem geração de resíduos, com o completo reaproveitamento dos componentes do piso elevado.

Relataram ainda outros benefícios, destacando-se: a melhora do nível de conforto térmico e acústico das coberturas do edifício; a possibilidade de utilização do espaço de entrepiso para passagem de instalações diversas; simplificação das fôrmas ao nível do térreo (sem variações de cota de superfície); a melhora da estética dos ambientes com a sensação de torná-los mais amplos (pois as floreiras ficam embutidas); a eliminação dos problemas de empoçamento na superfície de pisos e a eliminação de patologias tais como: eflorescências; fissuras em muretas e problemas de rejuntamento de revestimentos de piso.

No empreendimento E8 constatou-se a efetividade de alguns dos benefícios citados. Havia, por exemplo, instalações embutidas no espaço de entrepiso. (Figura 4-24).

Figura 4-24 – Instalações embutidas no espaço de entrepiso do PELEX do empreendimento E8 - (22/06/07).

Em outro empreendimento (E1) chamou a atenção o fato de que, desde a época da conclusão das obras, em 1977, a impermeabilização não havia sido substituída, tendo recebido apenas manutenções localizadas. Esta situação não permitiu que se fizesse uma avaliação dos benefícios com a racionalização do processo de substituição desta impermeabilização, que a princípio seria esperado por conta da presença do piso elevado.

Segundo se pode levantar, há cerca de 8 anos, um estudo realizado pelo departamento responsável pelas manutenções do empreendimento, indicou que a substituição da impermeabilização completa do térreo (sob piso elevado e nos jardins), consumiria algo próximo a 3,5 milhões de reais. Na época, decidiu-se pela substituição parcial, em trechos estimados de 600 a 800 m^2/ano, o que tem consumido algo próximo a 135 mil reais por ano, nos últimos 6 anos.

Estas manutenções vêm ocorrendo preponderantemente nas áreas de jardim, já que estas são muito mais extensas do que as áreas de piso e, portanto, têm uma chance maior de conter trechos com falha de desempenho.

Foi relatado que após cerca de trinta anos de utilização do antigo piso elevado decidiu-se pela sua substituição, por ter atingido o limite de vida útil. Acredita-se que caso este mesmo piso tivesse sido executado de outra forma (material, técnica de

fabricação e de aplicação), sua substituição, por completo, poderia ter sido postergada. O piso elevado tal como aplicado apresentava sinais de envelhecimento, empenamento, exposição de armadura, desnivelamento e desalinhamento, prejudicando o cumprimento das funções do sistema de pisos elevados.

Acredita-se que a logística desta substituição tenha sido facilitada, de forma significativa, pela presença do piso elevado, capaz de ser desmontado e transportado em partes, para fora do empreendimento. Da mesma maneira a nova instalação de piso elevado também deve ter se beneficiado do transporte racionalizado de seus componentes com massas menores, compatíveis com um edifício em utilização.

Identificou-se que durante a utilização do antigo sistema de piso elevado neste empreendimento, um importante benefício da utilização do PELEX não era efetivo: o acesso facilitado ao espaço de entrepiso. Ao longo da utilização do antigo piso foi relatado, por exemplo, que em função da dificuldade de remoção das placas de revestimento, não havia sido feita limpeza do entrepiso. Este entrepiso já contava com resíduos da época da obra misturados com brita, formando uma camada que tornava extremamente difícil a localização e a manutenção dos ralos (Figura 4-25).

Figura 4-25 – Retirada de materiais do espaço de entrepiso do antigo piso elevado de empreendimento comercial na cidade de São Paulo - E1. Fonte: Departamento de Manutenção, Operação de Utilidades e Obras deste empreendimento. (2006)

Acredita-se que em função da dificuldade de operação e conservação do antigo piso elevado tinha-se, no empreendimento, uma percepção depreciada em relação ao PELEX. Este foi um dos motivos pelo qual, durante o processo de escolha do sistema de piso substituto, foi analisada a possibilidade de se utilizar o sistema aderido. Segundo o gestor responsável pelo estudo, a opção pelo piso aderido foi descartada por envolver variáveis de difícil previsão que poderiam prejudicar o comportamento de outros sistemas, como, por exemplo, a sobrecarga resultante sobre a laje. Além disto, o sistema aderido foi descartado pela dificuldade logística de transportar os materiais necessários para o enchimento do antigo espaço de entrepiso.

Na visão desse gestor, o PELEX só teria sentido no empreendimento, se o entrepiso fosse intensamente utilizado para passagem de instalações, ressaltando que não

entendia o porquê da escolha pelo piso elevado na fase de construção.

Para ele seria insignificante o benefício proporcionado pelo PELEX na racionalização da manutenção do sistema de impermeabilização do empreendimento já que as áreas de jardim eram muito maiores do que as áreas de piso. Ele argumentou que o piso elevado deve ter uma justificativa econômica para ser aplicado, impactando positivamente ou no custo inicial ou no de operação, o que não conseguiu vislumbrar.

Somente reconhece a aplicabilidade do PELEX caso sua utilização facilite as manutenções, entendendo que, com este piso, as intervenções gerariam menos resíduos e, por conseqüência, seria reduzido o impacto ambiental.

O novo piso elevado do empreendimento dispõe de pedestais de altura regulável, tendo sido um dos determinantes para a escolha do fornecedor do novo sistema. Além disto, a padronização de tonalidade, alinhamento de juntas, precisão geométrica das peças, o fato de ser uma solução industrializada e as reduzidas aberturas de juntas proporcionadas pelo sistema acabaram determinando esta escolha. A aplicação do novo sistema se encontra ilustrado: Figura 4-26, Figura 4-27, Figura 4-28 e Figura 4-29.

Figura 4-26 – Execução do novo piso elevado em granito de empreendimento comercial na cidade de São Paulo - E1. Fonte: Departamento de Manutenção, Operação de Utilidades e Obras deste empreendimento (2007).

Figura 4-27 - Vista geral do novo piso elevado em granito de empreendimento comercial na cidade de São Paulo - E1 (28/04/08).

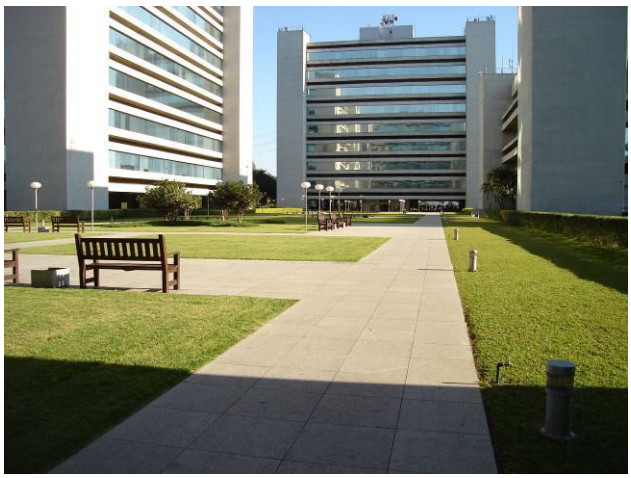


Figura 4-28 - Vista geral do novo piso elevado em granito de empreendimento comercial na cidade de São Paulo - E1 (28/04/08).

Figura 4-29 – Espaço de entrepiso do novo piso elevado em granito de empreendimento comercial na cidade de São Paulo - E1 (28/04/08).

4.4 Controle da qualidade nas obras visitadas

Durante as visitas aos empreendimentos com PELEX, observou-se algumas inadequações na aplicação, as quais se acredita que possam prejudicar o desempenho e a durabilidade do sistema. Acredita-se também que estas inadequações não foram detectadas pela equipe de administração da obra durante o seu processo de controle da qualidade, possivelmente porque não se tenha requisitos e critérios previamente estabelecidos para tal.

Nestas visitas constatou-se, entre outros, a exposição de armadura após o corte de placas de concreto armado (empreendimento E6), aberturas excessivas das juntas entre as placas após o assentamento, da ordem de 1 cm (empreendimento E3) e excessivo desnível entre placas adjacentes (empreendimento E11), conforme ilustram, respectivamente, a Figura 4-30, a Figura 4-31 e a Figura 4-32.

Figura 4-30 - Exposição e oxidação de armadura de placa de piso elevado, após o seu corte – empreendimento E6.

Figura 4-31 – Abertura entre placas de piso elevado, da ordem de centímetro – empreendimento E3.

Figura 4-32 – Excessivo desnível entre placas adjacentes de piso elevado - empreendimento E11 (29/06/07).

Além destas inadequações, outros pontos passíveis de melhoria foram detectados por meio de fotos fornecidas por aplicadores da tecnologia.

A situação mais crítica foi o início da oxidação das armaduras que estruturavam

placas de concreto, devido ao possível cobrimento insuficiente, quer seja pela sua espessura, quer seja pela porosidade do concreto que cobria as armaduras. Em ambos os casos, como normalmente não há um controle adequado sobre os processos de limpeza e de manutenção dos edifícios, a oxidação pode ser potencializada ou mesmo iniciada por estas situações. A Figura 4-33 e a Figura 4-34 ilustram estas ocorrências.

Figura 4-33 – Exposição de armadura em placa de piso elevado, empreendimento E3.

Figura 4-34 – Placas de piso elevado “fotografando” a armação. (Fonte: Fornecedor F1) (2005)

Com relação aos apoios de placas, em uma das visitas a obras em execução

(empreendimento E10), percebeu-se a situação de ajuste artesanal e impreciso das alturas de pedestais, pelo corte com serra mármore, como ilustra a Figura 4-35.

Figura 4-35 – Ajuste de alturas de pedestais por corte de tubos com serra mármore, no empreendimento E10 (30/04/08).

Esta situação se traduzia também em baixa produtividade, obrigando com grande freqüência que os instaladores procurassem peças com altura aproximada e as ajustassem por corte. O ajuste ocorria em conseqüência da variação de nível da proteção mecânica.

A imprecisão do corte pode ter conseqüências indesejáveis em relação ao conforto e à segurança de utilização do piso. O corte impreciso resulta em pequenas saliências nas extremidades dos tubos dos pedestais funcionando como pontos de concentração de esforços. No empreendimento E10, a concentração de esforços gerou a ruptura do anel responsável pelo ajuste de altura de dois pedestais já instalados, durante o trânsito de pessoas. Além disto, nestas regiões de concentração de esforços, é possível que, ao longo do tempo, haja esmagamento da borda do tubo, que, mesmo sendo da ordem de milímetro, poderá gerar o efeito “gangorra” no apoio das placas.

A Figura 4-36 ilustra as saliências mencionadas.

Figura 4-36 – Saliências na extremidade do tubo de pedestal, após ajuste de sua altura por corte, com serra mármore, no empreendimento E10 (30/04/08).

Além das conseqüências imediatas, o corte irregular dos pedestais pode ter efeito de médio a longo prazo sobre a estabilidade do sistema. A concentração de esforços, a freqüência e intensidade de utilização e as características do pedestal (forma, técnica de produção, composição, entre outros) podem levar a situações de fadiga.

A fim de respaldar essa afirmação, realizou-se ensaio com o corpo do pedestal cortado irregularmente na obra visitada (E10) e que havia gerado a ruptura do anel responsável pelo ajuste de altura do pedestal, durante a utilização de pedestres.

No ensaio de compressão, realizado com auxílio de uma prensa com velocidade de carregamento de 100N/s, em duas amostras distintas de corpos de pedestal, substituindo-se os anéis responsáveis pelo ajuste de altura do sistema, os quais estavam danificados, as amostras atingiram resistências de ruptura à compressão da ordem de 8000 N. Este valor é muito superior às cargas de utilização com pedestres que havia levado à sua ruptura. Esta situação indica que embora cortado irregularmente, o tubo do pedestal resistia a uma carga, com curto tempo de aplicação, bastante superior àquela que havia gerado ruptura do conjunto, reforçando o argumento da ruptura por fadiga.

Daí a importância de se especificar e instalar corretamente os pedestais pré-fabricados em material plástico. Adequadamente concebidos e aplicados, apresentam vantagens em relação a outros tipos de apoio, já que permitem

manutenções programadas de maneira mais racional. Esta situação de racionalização de manutenções já não pode ser obtida, em mesmo grau, quando são utilizados apoios em blocos ou pedestais fixos (chumbados) ou pedestais de altura não regulável.

4.5 Caracterização do processo de decisão pela tecnologia

O construtor, reconhecido como o maior contratante desta tecnologia no Brasil, foi objeto desta última parte do estudo de campo. Ela foi dedicada ao entendimento dos principais benefícios percebidos pelo mesmo com a adoção do PELEX e também para se verificar quais seriam as suas principais exigências no ato da contratação da tecnologia.

Segundo o diretor técnico de uma construtora de São Paulo[25], os principais benefícios da utilização do PELEX estavam associados à racionalização do processo de manutenção da impermeabilização, à possibilidade de passagem de instalações diversas no entrepiso e à sensação de ampliação do espaço com a possibilidade do embutimento de jardins.

Com relação às exigências para contratação, em função da participação ativa deste autor no processo de definição das exigências que seriam impostas por aquela construtora, foram estabelecidos diversos critérios mínimos de desempenho, os quais encontraram certa resistência dos fornecedores, além da dificuldade de se conseguir que os mesmos pudessem ser assegurados.

Tais critérios envolvem resistências mecânicas de pedestais e de placas, especificações de relação a/c para o concreto das placas, cobrimento mínimo da armadura, tamanhos máximos de junta, desníveis máximos admissíveis entre placas, dentre outros.

Estes critérios fazem parte das recomendações relacionadas no capítulo 5.

---

[25] Entrevista realizada pelo autor em 20/10/2008

4.6 Considerações sobre o estudo de campo

É preciso que se destaque que diversas exigências de usuários não estão sendo asseguradas com os atuais critérios de desempenho utilizados na comercialização nacional do PELEX, embora o método já tenha mais de trinta anos de aplicação no Brasil e em consideráveis áreas. Apenas o fornecedor F1, como ilustrou a Tabela 4-2, teria sido responsável pela aplicação de cerca de 300 mil m^2 deste sistema.

Há que se perguntar quantas situações de desempenho insuficiente deverão ter ocorrido neste período, a ponto de prejudicar a adoção mais sistemática desta tecnologia.

Contrariamente ao que parece ser uma tendência do mercado em não especificar critérios de desempenho para contratação do PELEX, segundo o gestor de manutenções responsável pelo empreendimento E1, o processo de definição do fornecedor do novo PELEX foi acompanhado de ampla pesquisa, por parte do corpo técnico do departamento. Além disto foram feitas aplicações em forma de protótipo, onde se pôde por exemplo, evidenciar as dimensões das aberturas de juntas das placas de concreto avaliadas. Este processo denota uma preocupação bastante pertinente com relação ao desempenho do sistema de pisos elevados na fase de contratação que se espera possa ser adotada por todas as empresas construtoras que vierem a fazer uso do sistema.

Analisando-se a utilização do PELEX no empreendimento E1 também se reconhece uma diferença de postura com relação aos empreendimentos residenciais: nos empreendimentos comerciais há um processo sistematizado de manutenção que favorece a durabilidade do piso, o que usualmente não é encontrado nos edifícios residenciais.

Pelas visitas realizadas aos empreendimentos em que o PELEX estava sendo aplicado, pôde-se observar que algumas construtoras estavam transferindo a responsabilidade pelo controle da qualidade da aplicação às empresas contratadas e que não possuíam procedimentos de aplicação e gestão desta atividade. Esta situação é distinta do que ocorre, normalmente, com a maioria dos serviços executados em obra em que as construtoras dispõem de procedimentos específicos de execução e controle.

Esta situação é preocupante já que a aplicação da tecnologia sem o seu controle pode acarretar em desvios que prejudicarão o seu desempenho e, no futuro, a própria percepção dos usuários em relação à tecnologia, como já ocorreu no Brasil com outras inovações tecnológicas.

Esta situação é preocupante também, pois alimenta o desenvolvimento de fornecedores sem compromisso com a qualidade e sem as devidas preocupações com o desempenho do PELEX.

Urge a regulamentação do setor, pelo estabelecimento de critérios de desempenho suficientes para resguardar as exigências dos usuários, impedindo que haja inadequada concepção, especificação ou aplicação da tecnologia de pisos elevados.

Atualmente, é raro encontrar empresas que comercializem a tecnologia na forma de sistema, isto é, que ofereçam além dos materiais e da montagem do PELEX, o projeto de produção com interfaces estudadas, que permitam adequado planejamento da aplicação. Além disto, é bastante comum adaptações durante a aplicação do sistema, por ausência de determinados componentes, como, por exemplo, pedestais que consigam acompanhar a declividade do substrato em rampas de pedestres.

5 RECOMENDAÇÕES PARA O PROCESSO DE PRODUÇÃO DE PISO ELEVADO PARA ÁREAS EXTERNAS DE EDIFÍCIOS

Após terem sido reunidos e discutidos os principais requisitos e critérios de desempenho pertinentes ao PELEX, e ter-se apresentado a forma como esta tecnologia vem sendo comercializada e aplicada no Brasil, neste capítulo são propostas algumas recomendações referentes ao seu processo de produção compreendendo as etapas de projeto, contratação, execução, uso e manutenção.

As recomendações apresentadas neste capítulo procuram assegurar que as principais exigências dos usuários sejam atendidas quando do emprego da tecnologia, embora estejam longe de esgotar o assunto.

Destaca-se que as metodologias de ensaio e os parâmetros de desempenho aqui sugeridos são conseqüência do levantamento do estado da arte da tecnologia realizado pelo autor. A generalização de seu emprego deverá ser precedida de pesquisas científicas e de avaliações mais aprofundadas envolvendo ensaios específicos. Destaca-se, ainda que mesmo após a realização de pesquisas científicas que possam confirmar a aplicabilidade dos parâmetros sugeridos neste trabalho, a figura do projetista do sistema é imprescindível. Ele é essencial para o sucesso da aplicação da tecnologia à medida que avalia a suficiência e adequabilidade de critérios de desempenho diante da especificidade de cada projeto.

Defende-se que o meio técnico se mobilize para formar e desenvolver projetistas do sistema de piso elevado externo a fim de que concebam aplicações seguras, que potencializem os benefícios esperados na utilização deste sistema. Ao mesmo tempo, com o desenvolvimento e formação de projetistas, espera-se que eles tenham plena condição de assumir a responsabilidade técnica pelo projeto do sistema.

5.1 Recomendações para a etapa de projeto

5.1.1 Recomendações para definição de vida útil de projeto

Tomando-se os conceitos da norma de desempenho ABNT NBR 15575 (2008), o

efeito do desempenho insuficiente do subsistema, o grau de facilidade de manutenção e reparação, além do custo de correção de falha, pode-se especificar uma vida útil mínima de projeto para aplicações usuais do PELEX.

De forma geral, sob o enfoque dessa norma, o piso elevado é reconhecido neste trabalho como sendo um sistema:

- cuja falha incorre em risco de ferir o usuário;
- substituível - tem vida útil mais curta do que o edifício e tem substituição fácil e previsível na etapa de projeto;e
- apresenta custo de manutenção intermediário-superior (próximo ao inicial).

Embora não haja na referida norma, um tempo sugerido para vida útil mínima de sistemas com esta combinação de características percebe-se nessa norma que: quanto mais impactante for o efeito da falha na saúde do usuário e; quanto mais difícil for a manutenção do sistema e; quanto maior o custo envolvido na manutenção e reparação, maior o tempo sugerido para a vida útil de projeto.

Assim, em função da manutenabilidade e do custo da manutenção do PELEX, isolando-se o efeito da falha, poder-se-ia admitir uma vida útil mínima de 8 anos (1/5 da vida útil mínima do edifício - 40 anos).

Porém, ao se considerar o significativo efeito da falha do PELEX na saúde do usuário, a vida útil mínima de projeto deveria ser maior. Isto porque se acredita que componentes essenciais para assegurar a saúde dos usuários, não deveriam depender de substituição freqüente, sob pena desta substituição não ocorrer na época necessária por falha no processo de gestão do empreendimento. Com este raciocínio, a vida útil mínima de projeto do PELEX deveria ser de pelo menos 13 anos (1/3 da vida útil do edifício).

Contudo, neste trabalho, defende-se que o PELEX tenha como parâmetro inicial de vida útil de projeto um tempo superior, sendo igual à metade da vida útil mínima de projeto do edifício, isto é, 20 anos. Isto se justifica porque o PELEX é um sistema de piso que atualmente apresenta um custo inicial mais elevado do que sistemas aderidos equivalentes. Ele se mostra mais econômico, ao longo do tempo, a medida que não seja danificado quando da substituição da camada de impermeabilização da VHEC sobre a qual está aplicado, diferentemente do que ocorre com pisos aderidos,

removidos e descartados nesta situação.

Ao longo de um período de 20 anos espera-se, usualmente, pelo menos uma substituição completa da camada de impermeabilização. Nesta situação, o piso elevado racionalizará sensivelmente o processo de substituição da camada de impermeabilização. Entretanto, é razoável admitir pisos elevados com vida útil de projeto menor, dependendo da categoria de aplicação e desde que seja de conhecimento do usuário final.

Prova de que a vida útil mínima de 20 anos para o PELEX é coerente e potencialmente realizável, pode ser observada em BREAM (2002)[26] apud ICPI (2007, p.4). Nessa citação, afirma-se que um pavimento em placas pré-fabricadas de concreto tem um intervalo médio de substituição de 40 anos, e de 60 anos quando as placas são de rocha.

Além das placas, a vida útil de projeto do PELEX depende do comportamento dos apoios, os quais, em função de serem facilmente substituídos e em função de representarem atualmente cerca de 25% do custo do piso elevado, poderiam ser admitidos com vida útil menor do que das placas.

A larga experiência e domínio sobre o processo de fabricação de elementos à base de polímeros e a identificação de aplicações de PELEX com apoios poliméricos íntegros, com cerca de nove anos de utilização, indicam que é possível desenvolver tais elementos para atingir minimamente 10 anos de vida útil de projeto.

Contudo, acredita-se que seja razoável definir a vida útil dos pedestais para que no mínimo superem, com segurança, a vida útil da camada de impermeabilização, a fim de que haja possibilidade de uma substituição conjunta.

Diante do exposto sugere-se uma vida útil de projeto de 20 anos para as placas de piso elevado e uma vida útil de projeto para os pedestais, no mínimo superior àquela definida para a camada de impermeabilização. Sugere-se ainda que a empresa contratante do sistema avalie técnica e economicamente a utilização de apoios mais resistentes, com vida útil superior à sugerida, o que não será abordado neste trabalho, por extrapolar o seu objetivo.

---

[26] BREAM – The Green Guide to Specification, Oxford Brookes University and The Building Research Establishment, Blackwell Publishing Inc., Malden, Massachusetts, 2002.

5.1.2 Recomendações para a etapa de projeto de produção

Para que o PELEX tenha comportamento adequado, alguns detalhes construtivos deverão ser observados pelo projetista. Sem estes detalhes não há condições de uma integração satisfatória com os demais subsistemas do edifício.

Estes detalhes permitem que as interfaces com demais subsistemas sejam resolvidas com soluções de engenharia, concebidas e realizadas segundo atividades de projeto e de gestão. Quer-se com isto chamar a atenção para a necessidade de se evitar sistemas parciais de produto, por demandarem soluções e adaptações em campo cuja eficácia está limitada ao conhecimento de profissionais que, muitas vezes, não são especialistas no assunto ou que não têm uma visão sistêmica da aplicação.

Assim, o sistema de piso elevado e suas interfaces devem incorporar elementos com características que permitam uma utilização segura do piso, economicamente viável e durável. Como exemplo destas características tem-se: a articulação dos pedestais para acomodar inclinações de substrato em rampas; concepção de apoios estáveis em elevações de grande altura; telescopagem de pedestais; isolamentos térmicos com características mecânicas compatíveis com a aplicação; sistemas de calços resilientes para placas; e placas de piso resistentes à agressividade do meio em que estão inseridas.

Sob este enfoque, o projetista do sistema deverá estar atento às interfaces com outros elementos e subsistemas, indicando as condições necessárias para que se implante o PELEX.

A norma francesa AFNOR NF P 84-204 -1 (2001), por exemplo, chama a atenção para a dificuldade da adaptação do PELEX a áreas cuja geometria envolva curvas ou ângulos agudos, podendo resultar em problemas de estabilidade e de estética.

Com relação à adaptação do PELEX a sobrelevações de geometria curva ou em ângulos agudos, cabe ao projetista paginar uma aplicação verificando eventuais interferências entre os apoios, e entre eles e a própria sobrelevação. A título de exemplo, a Figura 5-1 ilustra um *deck* de piscina de borda curva com aplicação de piso elevado, em que se observa a dificuldade de apoio de algumas placas.

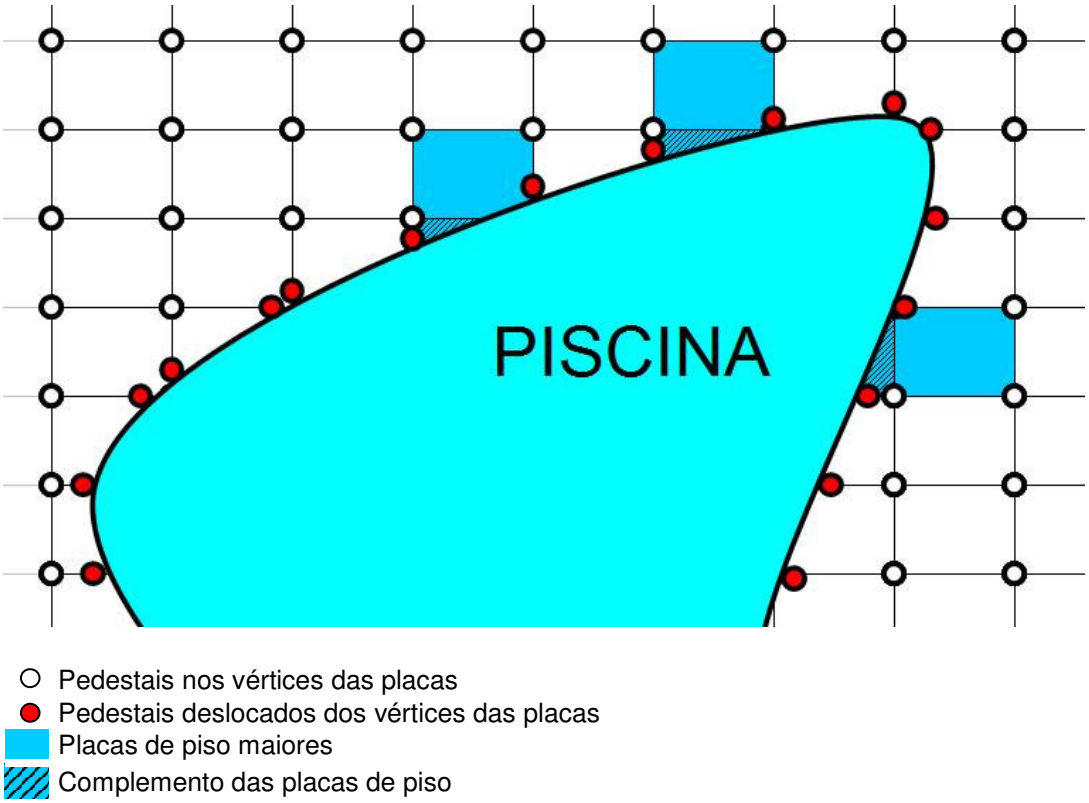


Figura 5-1– Exemplo de paginação de piso elevado em *deck* de piscina com borda curva. Piso elevado com diversos pedestais deslocados e 03 placas com tamanho maior do que o padrão previsto originalmente em projeto.

Na situação anteriormente ilustrada, nota-se que alguns pedestais, identificados na legenda como “pedestais deslocados”, tiveram sua posição alterada para evitar interferência com a borda da piscina e com apoios próximos. Isto ocorreu também para configurar um sistema de apoio estável em que não houvesse trechos da placa em balanço.

Esta situação de interação do PELEX com a geometria curva de sobrelevações pode ser enfrentada também com a execução de uma alvenaria contornando tal sobrelevação, servindo de apoio perimetral às placas.

Em qualquer das situações: deslocamento de pedestais ou execução de alvenaria de contorno poderá haver a necessidade de se aumentar o tamanho de certas placas, para se evitar placas de dimensões reduzidas, cujo apoio estável normalmente acarreta interferência entre os pedestais. Exemplo de placa em tamanho estendido pode ser visto na Figura 5-2 e Figura 5-3.

Figura 5-2– Exemplo de distribuição de placas do piso elevado com contenção em geometria curva, em que há placa com tamanho estendido (maior do que o padrão previamente definido em projeto) e ajustado no local - empreendimento E8 - (22/06/07).

Figura 5-3 – Exemplo de distribuição de placas do piso elevado com contenção em geometria curva, em que há placa com tamanho estendido (maior do que o padrão previamente definido em projeto) e ajustado no local - empreendimento E8 - (22/06/07).

Salienta-se que com a utilização de placas maiores do que a modulação previamente definida, podem ser necessários apoios intermediários adicionais para evitar o aumento da tensão na flexão.

Ao se prever a utilização de placas maiores do que as usualmente empregadas, o

projetista deverá estar atento para que o seu peso permita uma instalação e substituição por processos manuais seguros, e que não prejudiquem a saúde do trabalhador. De outro modo, à medida que sejam especificadas placas cujo peso determine a utilização de técnicas mecanizadas de manipulação, estas deverão ser avaliadas do ponto de vista técnico e econômico, considerando ainda o efeito no uso e manutenção futuros.

Como regra geral, imaginando-se a remoção de placas de piso elevado por processo manual, empregando-se um único funcionário, sugere-se que a massa máxima destas placas seja de 40 kg, que equivale ao das placas de concreto armado usualmente comercializadas no Brasil, com dimensão de aproximadamente 60 x 60 x 4 cm (largura x comprimento x espessura).

Além da interferência com sobrelevações de geometria curva, a interferência dos apoios do PELEX com sobrelevações de geometria retilínea deve ser considerada pelo projetista. Exemplo disto pode ser observado na Figura 5-4, Figura 5-5 e Figura 5-6 (a) e (b), em que a proximidade dos pedestais com elementos verticais que limitam perimetralmente o sistema, dificulta a sua instalação. Para esta situação, durante o desenvolvimento do projeto, pode-se estudar junto ao fabricante dos apoios, o corte das abas da base dos pedestais para permitir a instalação e a operação estável.

Figura 5-4– Exemplo de aplicação de piso elevado com dificuldade de posicionamento de pedestais, em função da proximidade com elementos verticais que limitam perimetralmente o sistema, nos pontos indicados na figura. (Imagem cedida pela BUZON Pedestal International S.A. ao autor).

Figura 5-5 – Indicação de corte de abas de base de pedestais (2, 3 e 4) para impedir a sua sobreposição e para impedir a interferência com elementos verticais que limitam perimetralmente o sistema. Note-se que o pedestal 1 está desalinhado do pedestal 3 para impedir a sobreposição deste último com o pedestal 4. (Imagem cedida pela BUZON Pedestal International S.A. ao autor).

Figura 5-6 (a) e (b) – (a) Instalação de piso elevado após deslocamento e corte de abas de base de dois pedestais próximos a elemento que limita o sistema perimetralmente; (b) Instalação de piso elevado após corte de abas de base de pedestais próximos a elementos que limitam perimetralmente o sistema. (Imagens cedidas pela BUZON Pedestal International S.A. ao autor).

Outra interferência que deve ser considerada na etapa de projeto é a aquela que pode ocorrer com instalações eventualmente embutidas no espaço de entrepiso. Neste sentido, a paginação do piso deve compatibilizar os apoios com tais instalações, e, caso necessário, poderá ser previsto um apoio de transição, como ilustrado pela Figura 5-7.

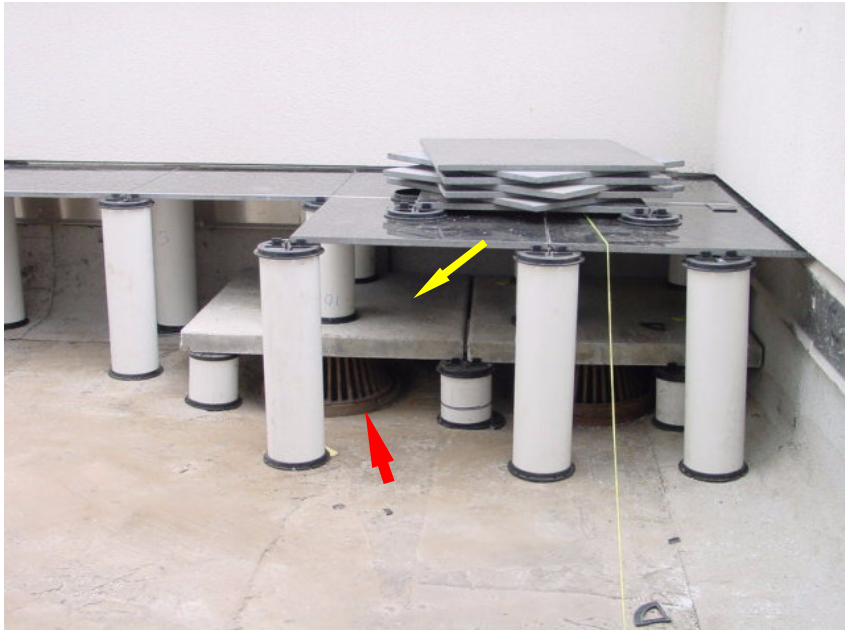


Figura 5-7 – Indicada pela seta superior, uma transição de apoios de piso elevado para desvio de grelhas de captação de águas pluviais (seta inferior). APPIAN CORPORATION. Disponível em: < http://www.appian.com >. Acesso em: 03 Jun. 2008.

Recomenda-se que no projeto, as placas sobre as captações de águas pluviais (placas de inspeção) estejam hachuradas a fim de facilitar a sua identificação nos processos de manutenção por parte do usuário final. Recomenda-se também que o executor do sistema torne esta placa de inspeção visualmente identificável, realizando na mesma, por exemplo, um pequeno furo,que a transpasse, como sugeriu a AFNOR NF P 84-204-1-1 (2004), o que deve ser também uma orientação de projeto.

Ainda com relação à interface com instalações eventualmente embutidas no espaço de entrepiso, as de gás merecem destaque.

Mesmo que projetadas para estarem confinadas, adverte-se que as instalações de gás somente deverão estar dispostas no espaço de entrepiso caso a concessionária local e o corpo de bombeiros tenham avaliado e aprovado esta aplicação. Para isto deverão ser especificadas todas as medidas necessárias para garantir a segurança destas instalações, sem riscos de explosão ou incêndio. Vale lembrar que se ocorrer falha na execução do confinamento da instalação, poderá resultar em vazamento de gás no espaço de entrepiso. E, nos casos em que se utilize o GLP (gás liquefeito de petróleo), este poderá se acumular em ramais de águas pluviais, canaletas e outros elementos que formem câmaras, elevando os riscos de combustão e de explosão.

O projetista responsável pela especificação do PELEX deve estar atento a estes detalhes e discutir com demais projetistas, a forma de utilização do espaço de entrepiso, devendo considerar os riscos e reflexos de um foco de incêndio no PELEX e nos demais sistemas e instalações.

Com este enfoque, espera-se que o projetista especifique um sistema de piso elevado que garanta a segurança dos usuários nas rotas de fuga sujeitas a focos de incêndio, utilizando, por exemplo, pedestais auto-extinguíveis, temporariamente resistentes ao fogo e que não emitam gases tóxicos durante a sua combustão.

Além disto, o projetista deverá ponderar acerca da utilização de placas de madeira em grandes áreas de PELEX, avaliando junto ao corpo de bombeiros, os dispositivos necessários para controlar e eliminar eventuais focos de incêndio de forma segura e rápida.

Para que se tenha segurança de utilização, em qualquer situação, ressalta-se ainda que o piso elevado deve estar confinado perimetralmente, a fim de que se mantenha a estabilidade do sistema.

Caso haja confinamento do piso por elementos emergentes (acima do nível do piso), pode-se seguir as orientações contidas no item de recomendações para as juntas deste capítulo. Caso contrário, este confinamento poderá ocorrer pela fixação das placas perimetrais a uma superfície estável que lhes sirva de apoio, como, por exemplo, uma mureta em alvenaria ou concreto.

Recomenda-se também que se indiquem em projeto e se especifiquem as placas e apoios que requeiram cuidados especiais de fabricação e ou instalação. Como exemplos, têm-se: as placas com medida maior do que aquela padronizada para a obra e que necessitem de apoios adicionais ou estruturação complementar; placas que serão cortadas no local e que devem receber passivação da armadura metálica que eventualmente lhes estruture; placas com acabamentos boleados; placas que receberão embutimento de luminárias de piso; placas em madeira instaladas em áreas sujeitas à sucção de vento e que devam ter sistemas de fixação auxiliares (Figura 5-8 (a) e (b)); apoios que tenham resistência temporária ao fogo; apoios que necessitem de maior rigidez, como aqueles com altura superior a 60 cm.

Figura 5-8 (a) e (b) – Exemplo de sistema de fixação de placas em madeira de piso elevado, instaladas em áreas sujeitas à sucção de vento. A fixação da placa ilustrada na figura (a) é feita através de parafuso e arruelas metálicas. A fixação da placa ilustrada pela figura (b) é feita através de perfil metálico dobrado. Em ambos os casos, os elementos de fixação estão encaixados em ranhura na base da placa, conforme indicado. (Imagens cedidas pela BUZON Pedestal International S.A. ao autor).

Com relação aos apoios com altura superior a 60 cm e até aproximadamente 1 m, além de se indicar em projeto uma área mínima de base de 300 cm², recomenda-se ao projetista que observe as recomendações feitas a seguir, a fim de evitar situações de instabilidade potencial.

No Brasil, as aplicações de pisos elevados em *decks* de piscina são um exemplo de utilização de apoios de grande altura, chegando a medidas próximas a 1,30 m. Neste tipo de aplicação, recomenda-se que o projetista adote apoios em pilaretes de blocos de concreto com interior grauteado. Associado a estes pilaretes, pode-se utilizar vigas pré-moldadas para formação de pórticos que facilitarão o trânsito de pessoas pelo espaço de entrepiso em atividades de manutenção ou inspeção (Figura 5-9 (a) e (b)). Note-se que esta situação de apoio fixo prejudicará, em certa medida, a substituição da camada de impermeabilização ao término de sua vida útil.

Figura 5-9 (a) e (b) – Piso elevado com cerca de 1,20 m de altura em *deck* de piscina com a utilização de pilaretes de blocos de concreto grauteados e vigas pré-moldadas de concreto, formando pórticos (a) Vista geral do espaço de entrepiso, com corredor de circulação de cerca de 1,1m; (b) Detalhe do apoio das vigas pré-moldadas de concreto sobre os pilaretes de blocos de concreto grauteados (empreendimento E12).

Outra possibilidade para esta situação é a utilização de placas de piso maiores dos que as usuais de 60 x 60 cm, a fim de que afastamento dos apoios facilite o acesso ao espaço de entrepiso. Neste caso recomenda-se, para dar estabilidade ao conjunto, que estes apoios sejam concebidos para que tenham seu interior preenchido com argamassa, base alargada de no mínimo Ø=200 mm, além de:

- base do apoio conectada ao tubo central do pedestal por rosca, ou por outro dispositivo, a fim de criar um vínculo que reduza a possibilidade de rotação do tubo central em relação à base;
- base do apoio rígida, reforçada, por exemplo, por abas, com o objetivo de reduzir a possibilidade de rotação do tubo central em relação à base por conta de deformação da peça.

A Figura 5-10 ilustra um exemplo de pedestal com estas características, do fabricante Buzon Pedestal International S/A.

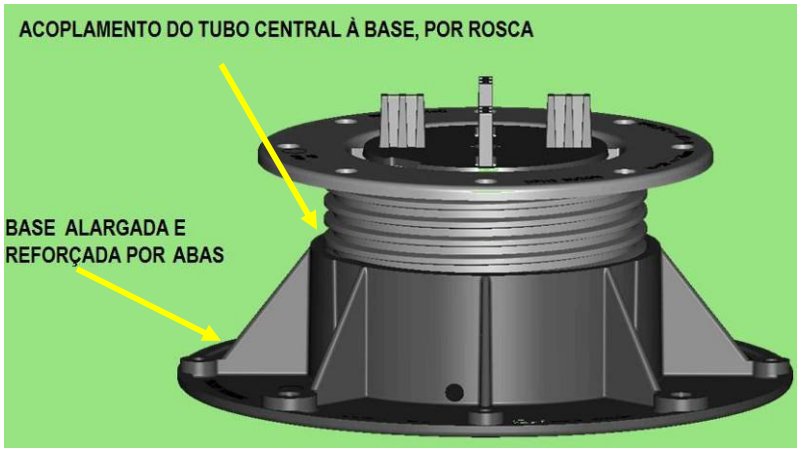


Figura 5-10– Pedestal da Buzon Pedestal International S/A, com base de Ø=200 mm, acoplada por rosca e reforçada por abas – (Imagem cedida pelo fabricante ao autor).

Com o mesmo objetivo de proporcionar suporte estável, o projeto poderia adotar também, para situações de grande elevação, um sistema de apoio composto por uma base alargada de concreto, na forma de paralelepípedo (Figura 5-11) ou tronco de pirâmide. Nesta situação, o projeto deverá prever um inserte metálico na parte superior da base, possibilitando o engastamento do tubo central preenchido com argamassa fluída (Figura 5-12). Sugere-se que esta base alargada tenha lados de dimensão superior a 20 cm.

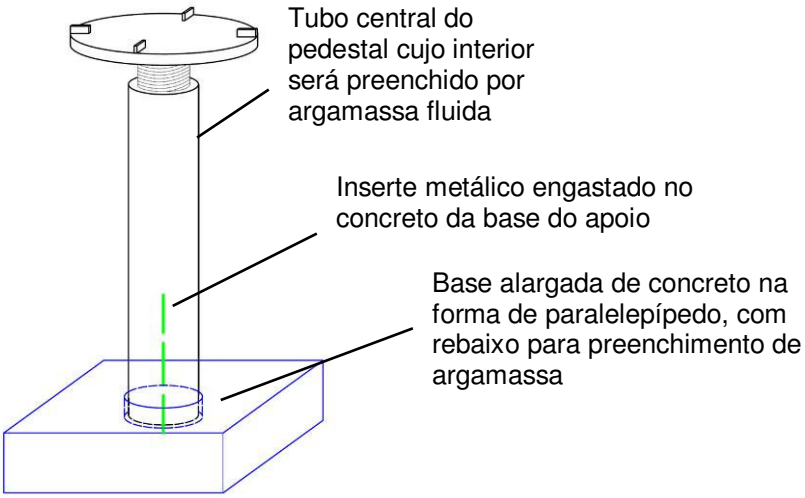


Figura 5-11– Exemplo de apoio para elevações de piso superiores a 1m, composto por base alargada de concreto (menor lado com dimensão superior a 20 cm), na forma de paralelepípedo, com rebaixo e inserte metálico para engastamento do tubo central preenchido com argamassa fluída.

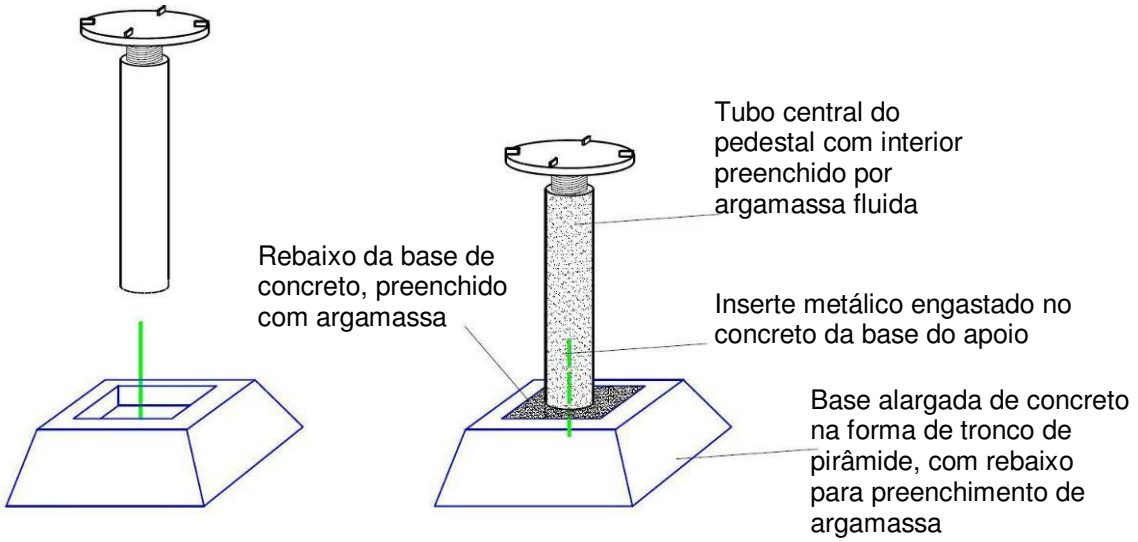


Figura 5-12 – Exemplo de apoio para elevações de piso superiores a 1m, composto por base alargada de concreto (menor lado com dimensão superior a 20 cm), na forma de tronco de pirâmide, com rebaixo e inserte metálico, associado a tubo central com o interior preenchido por argamassa fluída.

Nas situações anteriormente descritas, estão sendo privilegiadas aplicações com maior rigidez; pois, uma falha acidental traz maior risco ao usuário do sistema em relação a aplicações de menor elevação. Estas aplicações mais robustas justificam-se ainda pelo menor risco de alteração de prumo de apoios, na eventualidade do trânsito de pessoas pelo espaço de entrepiso.

Algumas outras peculiaridades do PELEX devem ser consideradas na etapa de projeto. Por exemplo, nas aplicações destinadas a *decks* de piscina, o acesso à casa de equipamentos (bombas, filtros, entre outros) deve ser estudado.

Neste caso, sugere-se que a casa de equipamentos esteja localizada sob a laje que dá suporte ao PELEX, acessível pelo subsolo da edificação. Caso contrário, tendo em vista que o alçapão de piso é normalmente revestido com o mesmo material que pavimenta o *deck*, o manuseio deste alçapão se torna difícil pelo peso que assume. Além disto, a casa de equipamentos ficaria normalmente umedecida pela água infiltrada pelo alçapão e pelas juntas de piso, podendo oxidar os componentes metálicos das bombas e reduzir a sua vida útil.

Ilustra-se pela Figura 5-13, um exemplo de acesso à casa de equipamentos pelo subsolo da edificação.

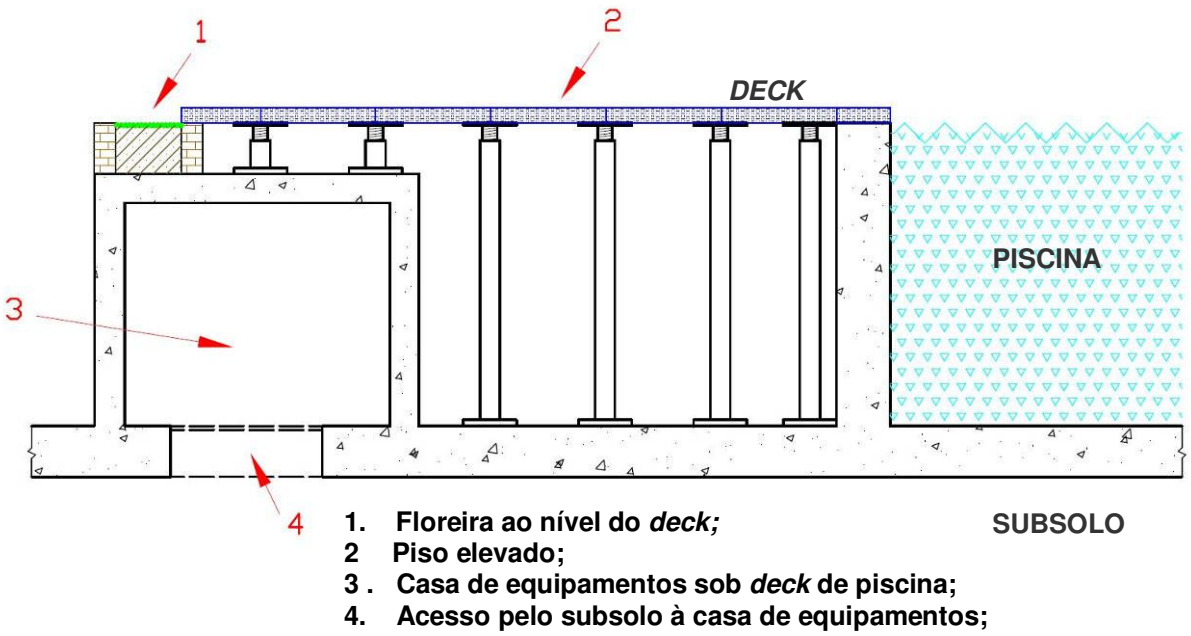


Figura 5-13 – Exemplo de esquema de acesso pelo subsolo, à casa de equipamentos sob *deck* de piscina com piso elevado.

Com relação à utilização do sistema de pisos elevados sob enchimentos de terra em jardim, requer-se cuidado especial do projetista na especificação do tipo (dimensões, forma de estruturação e material constituinte) e resistência mecânica das placas.

Nesta situação de utilização, em função da necessidade de se assegurar adequada durabilidade ao sistema e em virtude da dificuldade de se realizarem inspeções periódicas, recomenda-se que as placas deste piso sejam em rocha, por exemplo, ardósia ou em concreto estruturado com fibras não metálicas. Busca-se, com isto que as placas resistam aos esforços solicitantes e à agressividade do meio, sem a necessidade de inspeção durante o período de vida útil estabelecida em projeto.

Ainda com relação aos detalhes de projeto de produção, a interface dos apoios do PELEX com o substrato deve ser avaliada pelo projetista.

Como será ressaltado no item referente às recomendações para contratação do PELEX, a instalação dos apoios diretamente sobre a camada de impermeabilização deve ser evitada. Contudo poderá ser realizada desde que o projetista do sistema de impermeabilização a aprove, após verificar se a área de contato dos apoios com o sistema de impermeabilização é suficiente para evitar que a pressão exercida sobre qualquer um de seus constituintes ultrapasse o valor de resistência admissível.

Nesta verificação ainda, deve ser dada atenção às cargas de punção e ao aumento

de agressividade das condições de exposição do sistema de impermeabilização, a fim de que se impeça a redução de vida útil de projeto por evaporação de constituintes voláteis, oxidação dos constituintes da impermeabilização ou outro tipo de deterioração.

Caso o projetista aprove a instalação dos apoios sobre a camada impermeabilização, deverá ser prevista uma camada de dessolidarização na interface, além de meios para se evitar o trânsito de pessoas não envolvidas na aplicação do sistema de impermeabilização na sua fase de execução, sob pena de comprometer a estanqueidade do sistema.

A instalação de apoios do PELEX sobre camada de isolamento térmico apresenta-se como uma opção interessante ao sistema convencional em que se utiliza uma camada de argamassa de proteção mecânica como substrato.

Nesta situação, recomenda-se que o projetista, após avaliar a sua aplicabilidade, especifique a utilização de poliestireno extrudado com resistência mínima 276 kPa, como recomenda a ASTM C 981 (2005), devendo ser verificada de acordo com a metodologia da ASTM C 578 (2007). Note-se que este valor é muito próximo de 300 kPa, indicado por Demarque (2007) como mínimo para esta aplicação.

Caso se utilizem outros materiais para isolamento térmico e que sirvam como apoio direto do PELEX, como por exemplo poliestireno expandido, e poliuretano, sugere-se a especificação de resistência mecânica equivalente ao anteriormente proposto (276 kPa).

Além das questões já apresentadas, o projetista deverá planejar a execução do sistema, estabelecendo a seqüência e a forma de montagem do PELEX, evitando adaptações e decisões no canteiro de obras. A seqüência de montagem parte de um vértice em que cruzam perpendicularmente duas fileiras de piso como indicado pela Figura 5-14 (a) e (b).

Figura 5-14 (a) e (b) – Exemplos de seqüência de montagem de piso elevado a partir de um vértice (cruzamento de duas fileiras perpendiculares) que não coincide com algum canto da área de aplicação (a) e outro que coincide (b). (Imagens cedidas pela BUZON Pedestal International S.A. ao autor)

O projeto de produção deve também auxiliar na etapa de planejamento de execução do PELEX , ao adotar meios para que se evitem danos ao mesmo em decorrência da realização de outras atividades na fase de obras. Como se trata de uma aplicação consideravelmente rápida e que não interfere na realização de outras etapas da obra, recomenda-se que o PELEX seja planejado para ser instalado após, pelo menos, a colocação de terra nas jardineiras e de maneira ideal, após o plantio do jardim.

No projeto ainda, para evitar prejuízo estético à superfície do piso, recomenda-se a previsão de aplicação de uma camada protetora (hidro-óleo repelente) para placas de piso cuja superfície tenha baixa resistência ao manchamento, realizada preferencialmente antes da instalação. O projeto deverá especificar uma manutenção periódica, com freqüência compatível com a durabilidade do produto utilizado.

5.2 Recomendações para a etapa de contratação

Para facilitar o entendimento e a aplicação dos conceitos deste item, as recomendações para contratação do PELEX foram separadas de acordo com os mesmos elementos que ajudaram a caracterizá-lo: Placas, apoios, juntas e interface dos apoios com o substrato. Estas recomendações poderão ser utilizadas também na contratação de projetos, servindo como referência inicial.

Salienta-se que as recomendações dizem respeito ao sistema de piso elevado com trânsito exclusivo de pedestres e de pequenas cargas rolantes como bicicletas e cadeirantes.

5.2.1 Placas

O desempenho das placas de piso elevado assume papel fundamental para que os requisitos de desempenho apresentados neste trabalho sejam atendidos, uma vez que suas propriedades estão intimamente ligadas à segurança e à estabilidade do sistema de piso elevado.

Sob este enfoque, na seqüência apresentam-se algumas recomendações para os principais critérios de desempenho pertinentes às placas de piso elevado: resistência e carga de ruptura de placas submetidas à flexão; impacto de corpo mole e impacto de corpo duro, além de recomendações referentes à relação a/c, estruturação de placa e pigmentação. São sugeridas ainda tolerâncias para as dimensões das placas.

As recomendações estão embasadas nas discussões do capítulo 3, no item referente aos critérios de desempenho de placas.

5.2.1.1 Propriedades

Resistência característica à flexão e carga característica de ruptura de placas submetidas à flexão

Independentemente do tipo de material constituinte das placas, como critério de desempenho para a resistência característica à flexão e para carga característica de ruptura de placas submetidas à flexão foram adotados os parâmetros da AFNOR NF 187 (2006), referentes à classe de placa de concreto T11, que se caracteriza por uma utilização coletiva ou pública, sem limitar a altura de elevação, conforme Tabela 5-1.

A metodologia de ensaio recomendada para a verificação dos critérios de desempenho é aquela prevista na BSI BS EN 1339 (2003).

Tabela 5-1– Recomendações para fabricação de placas de PELEX.

PLACA									
Resist. à flexão (MPa)	Carga de ruptura à flexão (kN)	Impacto de corpo mole - (J)		Impacto de corpo duro - (J)		Concreto	Estruturação		Pigmento
		Falhas superficiais admissíveis	*Sem traspasse*	*Falhas superficiais admissíveis*	*Sem traspasse*		Placas de concreto	Placas de granito	
4	*11*	*400*	*900*	*30*	*50*	*- a/c ≤ 0,45 - cura 7 dias*	- 1 cm² /m por direção - Malha * - Tela galvaniz.	Resina epoxídica e tela de fibra de vidro	Óxidos minerais

*** Malha com abertura inferior a duas vezes a espessura da placa**

A opção por critérios desta norma se justifica pelo amplo histórico de aplicação de PELEX na França, sem notícias de comprometimento da segurança na utilização.

Para pisos elevados da categoria aqui denominada de *"cobertura de acesso contínuo e trânsito intenso de pessoas"*, nos trechos em que houver a possibilidade de acesso excepcional de pequenos veículos de emergência, o critério de resistência à flexão deve ser mais conservador. Deve-se levar em consideração o efeito dinâmico do carregamento, não só sobre a placa, mas também sobre todo o sistema, avaliando a sua estabilidade, o que extrapola o objeto desta pesquisa.

Para esta categoria de PELEX, nos trechos em que houver a possibilidade de acesso excepcional de pequenos veículos de emergência, recomenda-se um dimensionamento específico. Para este caso, com base na AFNOR NF 187 (2006), recomenda-se que não se adote placa com resistência à flexão inferior a 14 kN (classe U14), verificando-se a necessidade de se trabalhar com classes de resistência maiores, equivalentes às classes U25 e U30, preconizadas também por esta norma francesa, com as resistências de 25 kN e 30 kN respectivamente.

Impacto de corpo mole

Com relação à avaliação de impacto de corpo mole, conforme Tabela 5-1, sugere-se os valores de 900 J do CSTC (1980) e de 400 J da CEN EN 12825 (2001), respectivamente como resistência mínima da placa ao traspassamento e como resistência mínima da placa a fim de que não lhe ocorram danos acentuados; são admitidas falhas superficiais, tais como fissuras e destacamentos.

Para avaliar, em cada aplicação específica, a resistência mínima da placa ao impacto de corpo mole, recomenda-se a metodologia de ensaio do CSTC (1980). Ela

consiste em lançar, uma única vez, no centro de uma placa de piso, com o sistema montado em situação semelhante à prevista em projeto, um saco de couro preenchido com areia, de diâmetro de base de 40 cm, de 50 kg, de uma altura de 80 cm (400J de energia de impacto). São aceitas falhas superficiais localizadas na placa, tais como fissuras e destacamentos, após ser visualmente inspecionada.

Note-se que o valor de 400 J recomendado resulta em energia ligeiramente superior aos 360 J estabelecidos pela ABNT NBR 15575 (2008) para pisos internos em que não se aceita a ocorrência de falhas.

Para avaliação da resistência da placa ao traspassamento por um único impacto de corpo mole que simule uma situação de impacto excepcional (estado limite último), recomenda-se que seja utilizada outra placa do mesmo lote de produção. Nesta situação deve-se modificar a altura de queda do saco de areia para 180 cm (900J de energia de impacto), não sendo aceita a ocorrência de traspassamento da placa ou ruína (perda de estabilidade do sistema). Contudo, serão admitidas falhas localizadas (trincas e destacamentos) que não sejam capazes de resultar em ferimento do usuário.

Note-se que o valor de 900 J recomendado como critério resulta em energia de impacto superior ao estabelecido pela ABNT NBR 15575 (2008) para que não ocorra ruína de sistemas de pisos internos (720J), e ligeiramente inferior a 960 J, estabelecido como critério por esta norma para o sistema de piso interno com desempenho superior.

Para a realização desses ensaios deverá ser utilizada uma amostra mínima contendo 6 corpos de prova para lotes de aplicação de até 500m²: três corpos de prova para impacto de 400 J e três para impacto de 900J. Em áreas superiores a 500 m², recomenda-se que o tamanho das amostras seja definido em função do tipo de processo produtivo e do grau de controle da qualidade que o fabricante adota. Processos mais artesanais de fabricação, com controle não rigoroso da qualidade demandarão amostras maiores. A título de referência para estes casos, além dos 6 corpos de prova da amostra mínima, sugere-se, pelo menos, a coleta e ensaio de mais 4 corpos de prova a cada 500m²: 2 corpos de prova para impacto de 400 J e outros dois para impacto de 900J .

Recomenda-se que os ensaios se iniciem pela verificação da resistência ao impacto

de 900J, para, no caso de serem verificadas apenas falhas superficiais localizadas na placa, dispensar-se a realização do ensaio com 400J.

Caso alguma amostra coletada de determinado lote de aplicação não atenda aos critérios definidos neste trabalho, recomenda-se que sejam repetidos os ensaios para o lote em questão, não sendo admitidas novas falhas no desempenho.

Impacto de corpo duro

Quanto à avaliação de impacto de corpo duro, sugere-se o valor de 50 J - estabelecido pelo CSTC (1980) - como resistência mínima da placa ao traspassamento, ruína ou perda de estabilidade do sistema, e de 30 J - estabelecido pela ABNT NBR 15575 (2008) - como resistência mínima da placa a fim de que não lhe ocorram danos acentuados, conforme Tabela 5-1.

A avaliação da resistência mínima da placa ao impacto de corpo-duro, na condição de que não lhe ocorra dano acentuado, deve seguir a metodologia recomendada pela CEN EN 12825 (2001), com altura de lançamento de 700 mm, gerando três impactos de aproximadamente 30 J numa mesma placa. O primeiro deverá ser sobre o centro, o segundo sobre o eixo de uma das bordas e o terceiro sobre qualquer outra região da placa em que se suponha maior fragilidade. Neste ensaio são admitidas falhas superficiais tais como mossas, fissuras e desagregações.

Para tanto, a placa ensaiada deverá estar em situação que retrate a aplicação prevista em projeto.

No caso da avaliação da resistência de uma placa ao traspassamento por um impacto de corpo duro que simule uma situação excepcional (estado limite último), recomenda-se que seja utilizada outra placa do mesmo lote de produção, e que seja utilizado o mesmo aparato sugerido pela CEN EN 12825 (2001). Neste caso, o ensaio deve ser realizado com altura de queda do identor (corpo duro impactante) de 110 cm, sendo, porém, lançado uma única vez sobre o centro da placa, gerando um impacto de aproximadamente 50 J. Neste ensaio não deve ser aceita a ocorrência de traspassamento da placa ou ruína (perda de estabilidade do sistema), sendo admitidas falhas localizadas (trincas e destacamentos), desde que não sejam capazes de resultar em ferimento do usuário. Para tanto, a placa ensaiada deverá

estar em situação que retrate a aplicação prevista em projeto.

Para a realização desses ensaios deverá ser utilizada uma amostra mínima contendo 6 corpos de prova para lotes de aplicação de até 500m²: três corpos de prova para impacto de 30 J e três para impacto de 50 J. Em áreas superiores a 500 m², recomenda-se que o tamanho das amostras seja definido em função do tipo de processo produtivo e do grau de controle da qualidade que o fabricante adota. Processos mais artesanais de fabricação, com controle não rigoroso da qualidade demandarão amostras maiores. A título de referência para estes casos, além dos 6 corpos de prova da amostra mínima, sugere-se, pelo menos, a coleta e ensaio de mais 4 corpos de prova a cada 500m²: 2 corpos de prova para impacto de 30 J e outros dois para impacto de 50 J .

Caso alguma amostra coletada de determinado lote de aplicação não atenda aos critérios definidos neste trabalho, recomenda-se que sejam repetidos os ensaios para o lote em questão, não sendo admitidas novas falhas no desempenho.

5.2.1.2 Características dos componentes

Relação água/ cimento e cura

No caso das placas de concreto para piso elevado com aplicação externa, recomenda-se o emprego de um concreto com uma relação máxima de água : cimento de 0,45. Esta recomendação é feita com base nas considerações do capítulo 3 referentes à ABNT NBR 11173 (1990) e na recomendação feita por Ruggiero e Rulita (1990) e poderá ser aprimorada a partir de pesquisa mais específica.

Ao lado de uma adequada relação água : cimento, a cura exerce papel fundamental na durabilidade do concreto. Portanto, recomenda-se a cura, preferencialmente por um período de 7 dias, como também recomendaram Ruggiero e Rulita (1990). Pode-se aceitar um período menor, caso se utilize alguma técnica eficaz de aceleração de cura, como por exemplo, a cura a vapor.

Ressalta-se que o tipo de cura deverá ser estudado para que não cause o manchamento de placas de concreto, principalmente de placas de concreto colorido.

Estruturação da placa

Para que se tenha segurança de utilização em relação a rupturas bruscas (frágeis) e para que se proporcione adequada resistência à flexão, recomenda-se a utilização de armaduras em telas eletrosoldadas galvanizadas em placas de concreto. Nos casos em que a armadura não seja galvanizada, o fabricante deverá empregar outro tipo de proteção que assegure a vida útil de projeto. Esta recomendação poderá ser alterada a partir de resultados de pesquisa que indiquem materiais alternativos ao aço para estruturação de placas de concreto para piso elevado.

A armadura em tela está sendo recomendada já que armaduras com barras corridas, normalmente pressupõem a utilização de arame recozido para sua montagem, o que pode servir como veículo de despassivação do concreto à medida que as pontas deste arame estejam sujeitas a cobrimentos menores.

Ressalta-se que a armadura das placas de concreto deverá ser dimensionada por um projetista, sendo recomendado o consumo mínimo de 1 cm^2/ m em cada direção, com espaçamento entre as barras limitado em duas vezes a espessura da placa[27], conforme Tabela 5-1. Esta armadura deverá ser posicionada de forma a apresentar um cobrimento mínimo de 2 cm.

Esta recomendação é proposta como um parâmetro inicial e deverá ser objeto de avaliações futuras aprofundadas, para que venha a ser adotada como referência.

Para as placas de rocha, adota-se a recomendação do Building Stone Institute (2006) que indicou que os pisos elevados devem adotar placas de granito, com acabamento antiderrapante. Recomenda-se que além de serem granito, as placas trabalhem com estruturação em seu tardoz, a fim de que se evitem rupturas bruscas do componente. Um exemplo disto seria a utilização de resina epoxídica estruturada por telas de fibra de vidro.

Não se recomenda outros tipos de rocha para confecção de placas de piso elevado até que sejam realizados avaliações aprofundadas e ensaios específicos que levem em consideração os critérios de desempenho mecânico apresentados neste trabalho. Independentemente do tipo de rocha, sugere-se a estruturação do tardoz

---

[27] Estes parâmetros foram defendidos pelo projetista, especialista em cálculo estrutural, que vem auxiliando os trabalhos da norma brasileira de placas de concreto, ao tratar da situação de placas de concreto para piso elevado.

das placas de rocha, a menos que algum especialista assegure, em cada lote de extração, a impossibilidade de ruptura brusca das placas de rocha submetidas às condições de exposição e de utilização previstas em projeto.

Desta forma, sejam placas de concreto ou de rocha, ou ainda em material cerâmico ou madeira, a avaliação do tipo de estruturação das placas deve incluir os ensaios mencionados anteriormente neste capítulo, referentes às cargas dinâmicas de impacto e também ensaio referente à flexão.

Pigmentação das placas de concreto

Os pigmentos necessários para a fabricação de placas de concreto colorido deverão ser constituídos por óxidos minerais (Tabela 5-1) e deverão atender a ASTM C 979 (2005), como indica a CSA A231.1 (2006).

Esta recomendação de se adotar uma norma americana como referência para os pigmentos vem do fato dos EUA terem larga experiência na fabricação de pavimentos em concreto colorido e do fato de não se ter localizado norma brasileira que trate da estabilidade de cor de pigmentos utilizados em concretos coloridos.

Tolerâncias dimensionais

Como tolerâncias dimensionais para fabricação de placas sugerem-se os valores estabelecidos pela AFNOR NF EN 1339 (2004)[28], reproduzidos pela AFNOR NF 187 (2006), conforme Tabela 5-2.

---

[28] ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION. **AFNOR NF EN 1339**: Dalles em béton – Prescriptions et méthodes d'essai, Paris, 2004.

Tabela 5-2– Desvios dimensionais admitidos para placas de piso pré-fabricadas de concreto (inclusive para piso elevado), segundo a AFNOR NF 187 (2006).

CARACTERÍSTICA	TOLERÂNCIA
LARGURA e COMPRIMENTO	Placas de largura ou comprimento ≤600mm: ± 2 mm
	Placas de largura ou comprimento >600mm: ± 3 mm
ESPESSURA	± 3 mm
DIFERENÇA ENTRE DUAS MEDIDAS DE LARGURA, COMPRIMENTO e ESPESSURA DE UMA MESMA PLACA	≤ 3 mm
DESVIO MÁXIMO DE PLANICIDADE	Placas de 400mm: 2 mm (convexidade)// 1,5 mm (concavidade)
	Placas de 500mm: 2,5 mm (convexidade)// 1,5 mm (concavidade)
	Placas de 800mm: 4 mm (convexidade)// 2,5 mm (concavidade)
DIFERENÇA DE MEDIDA ENTRE DIAGONAIS	≤ 3 mm (placas de até 850mm)

Na contratação de serviço de instalação de pisos elevados, recomenda-se que se adote tolerâncias dimensionais de acordo com a recomendação da AFNOR NF P 84-204-1 (2001), reproduzidas a seguir:

planicidade : Flecha máxima de 5 mm verificada com régua de 2 m, já considerando a tolerância de fabricação da placa;

alinhamento de juntas: Desvio máximo de 5 mm, verificado com régua de 2 m, já considerando a tolerância de fabricação da placa;

desnível entre placas adjacentes: Função da tolerância admitida na fabricação das placas (variação de espessura de ± 3 mm), limitando portanto o desnível em 6 mm.

Recomenda-se também que em contrato, o fabricante especifique o processo de manutenção e de limpeza das placas do sistema de piso elevado, bem como a periodicidade de realização desta limpeza, a fim de se manter a superfície dos pisos com aspecto satisfatório ao longo da vida útil prevista em projeto.

Recomenda-se por fim que no ato da contratação do PELEX, seja prevista a compra de material de reposição (placas, pedestais e apoios resilientes) para permitir a manutenção preventiva por parte do usuário, de forma a preservar as características originais do sistema.

5.2.2 Apoios

Da mesma forma como ocorre com as placas, o adequado desempenho dos apoios é fundamental para que o sistema de piso elevado atenda às exigências dos usuários deste sistema, principalmente no tocante à segurança de utilização.

Neste item são propostos os critérios de desempenho ligados à estabilidade do sistema: limite para carga de ruptura na compressão axial e compressão excêntrica, além de recomendações gerais para a especificação das características deste componente.

5.2.2.1 Propriedades

Em qualquer situação recomenda-se que a carga de ruptura mínima dos pedestais, na sua altura de utilização, respeite os valores da Tabela 5-3, segundo ensaio de carregamento excêntrico sobre 1/4 do pedestal e ensaio de carga uniformemente distribuída sobre toda a superfície do pedestal.

Tabela 5-3 – Recomendações para fabricação de pedestais.

APOIO					
Carga de ruptura por compressão - (kN)		**Seção mínima - (cm²)**		**Fogo**	
Uniforme - Toda seção	**Uniforme - 1/4 da seção**	**Face superior**	**Base**	**Resistência temporária em rota de fuga - (h)**	**Propagação de chama**
10	***5***	***100***	***300***	***1***	***Auto-extinguíveis***

Partindo-se do princípio que o processo de fabricação dos apoios será adequadamente controlado e que, portanto, haverá pequena variação nos resultados de desempenho mecânico deste componente, adotou-se um coeficiente de segurança igual a 2 para se definir as resistências mínimas de compressão axial e excêntrica.

Estas resistências mínimas são superiores àquelas recomendadas pela AFNOR NF P 84-204-1-2 (2004), respectivamente: 5 kN e 2,5 kN, em que os pedestais têm altura reduzida, limitada a 20 cm.

Além de se basear no maior risco de utilização deste componente, já que no Brasil têm-se alturas significativamente superiores às francesas, a recomendação deste trabalho se baseia também nas informações recebidas pela comissão de norma de placas de concreto vindas do engenheiro especialista em cálculo que auxilia nos trabalhos. As informações dão conta de que em edifícios comerciais e públicos, o piso elevado, para efeito de cálculo, estaria sujeito a um carregamento de utilização estático de 4 kN/m2. Em edifícios residenciais, sujeito a um carregamento de utilização estático de 2,5 kN/m².

Estes valores de carregamento são compatíveis com aqueles apresentados pela AFNOR NF P 84-204-1-1 (2004) para terraços de cobertura acessíveis ao público, em que se especifica um carregamento de utilização entre 2,5 kN/m² e 6 kN/m².

Para o dimensionamento do sistema de piso elevado, o referido especialista em cálculo recomenda que se considerem efeitos dinâmicos sobre o sistema (por exemplo, impactos) pela majoração de 30% do carregamento estático de utilização. Recomenda ainda uma majoração complementar de 40% para fazer frente a condições adversas.

Tendo em mente estas recomendações, imaginando-se placas de concreto para piso elevado da ordem de 75 x 75 x 5 cm e um coeficiente de segurança para os pedestais igual a dois, os carregamentos previstos seriam os apresentados na Tabela 5-4:

Tabela 5-4 – Previsão de carregamento de apoios de piso elevado com placas de concreto de 75 x 75 x 5 cm.

TIPOLOGIA	PESO PRÓPRIO - N/m²	CARGA DE UTILIZAÇÃO - N/m²	CARGA DE UTILIZAÇÃO MAJORADA - N/m²	CARREGAM. TOTAL - N/m²	PEDESTAIS/ m²	CARGA POR PEDESTAL (N)	CAPACIDADE DO PEDESTAL (coef.seg.=2) (N)
Edifício Residencial	1250	2500	4550	5800	1,7778	3263	6525
Edifício Comercial	1250	4000	7280	8530	1,7778	4798	9596

Por se acreditar que não haveria redução significativa de custo ao se adotar, para edifícios residenciais, pedestais com resistências menores, o critério de desempenho recomendado baseou-se na capacidade de carga necessária às aplicações comerciais e de acesso público, que utilizem placas com a configuração anteriormente mencionada.

Recomenda-se, ainda que nas situações em que haja carregamentos diferentes dos apresentados ou que pressuponham maior ou menor risco de falha, os pedestais sejam dimensionados pelos projetistas que deverão adotar coeficientes de segurança apropriados a cada caso.

O critério adotado para a resistência mínima do pedestal, quando submetido a carregamento excêntrico (1/4 da seção), procura manter a mesma proporcionalidade indicada pela AFNOR NF P 84-204-1-2 (2004) em relação à resistência do pedestal submetido à carga uniformemente distribuída, por toda seção.

Ressalta-se que no caso de necessidade de previsão de acesso e trânsito de veículos de emergência sobre o sistema piso elevado externo, o sistema deverá ser dimensionado para atender a estas exigências, não sendo aplicados os critérios e recomendações deste trabalho.

5.2.2.2 Características do componente

Neste trabalho recomenda-se que os apoios sejam preferencialmente pré-fabricados, com regulagem de altura e que incorporem espaçadores verticais para delimitar as juntas entre placas.

Para acompanhar a declividade de substratos com inclinação superior a 3%, recomenda-se que os apoios tenham base articulável para acomodar esta inclinação, equivalente ao modelo da empresa Buzon ilustrado na Figura 3-18.

Em qualquer situação, recomenda-se a utilização de calços (apoio em material resiliente) entre a placa de piso elevado e a parte superior do apoio que lhe sustenta. Os calços têm a finalidade de acomodar pequenas irregularidades da placa e distribuir as tensões sobre os pedestais, além de contribuir para que o ruído de impacto na utilização do PELEX seja reduzido.

No contrato referente à instalação de piso elevado deve-se especificar que serão aceitos apenas apoios dispostos com variação máxima de prumo de 2%, limitando o desaprumo em 1,0cm.

Deve também ser especificado que os apoios tenham altura mínima de 5 cm, para permitir o adequado escoamento de águas pluviais, como defende AFNOR NF P 84-204-1 (2001).

Propõe-se as dimensões mínimas para a base do apoio e para a base de sustentação da placa, tendo como referência a AFNOR FD P 84-204-3 (2004), recomendando-se, respectivamente, uma área mínima de 300 cm² e de 100 cm². Estas medidas serão adotadas como referência neste trabalho para aplicações com altura da ordem de 60 cm, conforme Tabela 5-3. Para apoios de altura superior, valem as recomendações indicadas no item referente ao projeto de produção do PELEX.

Além de aplicações de altura próxima a 1m, outra aplicação que requer características específicas dos apoios é aquela com pisos elevados em rotas de fuga. Nesta situação, os apoios deverão ter características que lhes confiram resistência temporária ao fogo (por pelo menos 1 hora), que impeçam a emissão de gases tóxicos e a propagação de fogo (Tabela 5-3).

Em qualquer situação recomenda-se que os apoios sejam auto-extinguíveis, isto é, não propaguem fogo.

Com relação à durabilidade do apoio recomenda-se que, durante o período de vida útil previsto em projeto, ele se mantenha íntegro e estável. Não deverá apresentar folga irreversível entre seus componentes, para que não prejudique a estabilidade do sistema ou comprometa o conforto antropodinâmico.

5.2.3 Juntas

Recomenda-se que se adote como dimensão máxima de junta entre as placas, o valor de 5 mm, baseada na AFNOR NF P 84-204-1-1 (2004) e no ICPI (2008). Esta recomendação pretende trazer mais segurança na utilização da superfície do piso por parte de usuários com saltos estreitos. Busca-se também minimizar os riscos de crianças se ferirem ao tentar introduzir os dedos nestas aberturas.

Quanto às juntas entre as placas e os elementos que contenham perimetralmente o sistema de pisos elevados (muros, muretas, bordas de pisos aderidos, elementos estruturais), recomenda-se que sejam executadas de modo a que se garanta a estabilidade do sistema por efeito de confinamento.

Este confinamento pode ocorrer através de junta “seca” (da ordem de 2mm) entre os elementos que contém perimetralmente o sistema e as placas adjacentes.

O confinamento pode ocorrer também com juntas maiores, da ordem de 3 a 10 mm,

como sugerido pela AFNOR NF P 84-204-1-1 (2004). Neste caso, recomenda-se a interposição de um elemento resiliente nas juntas destas placas perimetrais com os elementos que lhe confinam, como ilustrou a Figura 3-29.

5.2.4 Interface dos apoios com o substrato

Reitera-se que a instalação de pisos elevados sobre camadas de impermeabilização sem proteção mecânica deve ser evitada. A disposição de apoios diretamente sobre a camada de impermeabilização somente deverá ser feita caso o projetista responsável pelo sistema de impermeabilização garanta que a vida útil e o desempenho dessa camada estejam assegurados durante o período especificado pela ABNT NBR 15575 (2008).

Para a situação usual brasileira, em que o substrato de apoio do PELEX é a camada de argamassa de proteção mecânica, recomenda-se que ela tenha sido realizada com juntas que permitam a sua movimentação higrotérmica. Quando este cuidado não é observado é possível que, ainda na fase de obras, ocorram empenamentos na camada e a redução de sua capacidade de servir futuramente como apoio para o sistema de piso elevado.

5.3 Recomendações para uso e operação do PELEX

Neste item estão reunidas algumas informações referentes à utilização e manutenção do piso elevado externo, como forma de orientar os usuários, principalmente, em relação a aspectos de preservação e operação do sistema.

Recomenda-se que estas informações façam parte do manual de uso e operação do empreendimento. Elas foram divididas em seções para facilitar o seu entendimento.

5.3.1 Processo de limpeza

A fim de se evitar o ataque químico dos elementos do sistema, nas formulações dos produtos utilizados para limpeza das placas não devem ser utilizados ácidos ou outros elementos agressivos. Produtos ácidos podem causar manchamento e deterioração da superfície do piso, além da corrosão da armadura de placas de concreto armado.

Esta limpeza pode ser feita com auxílio de máquina de hidrojateamento de baixa

pressão (cerca de 900 PSI), com jato em leque aberto. No caso de utilização de placas de concreto com superfície rugosa a limpeza de conservação por hidrojateamento poderá causar um desgaste superficial heterogêneo nas superfícies, em função da própria variabilidade do processo de produção das placas. Esta situação pode prejudicar a estética do PELEX. Para reduzir os impactos do processo de lavagem, sugere-se que sua freqüência seja minimizada. Isto pode ser obtido, por exemplo, mantendo-se a superfície das placas regularmente protegida por produto com característica hidro-óleo repelente, que não forme filme e nem deixe a superfície escorregadia, a fim de torná-la mais resistente a incrustações, a manchamentos e a outras sujidades.

Em áreas sujeitas a utilizações mais intensas, onde existe maior probabilidade de manchamento, como, por exemplo, área contígua a churrasqueiras, recomenda-se que se utilize produtos mais resistentes para proteção superficial.

5.3.2 Inspeção periódica

Há a necessidade de o condomínio efetuar ajustes periódicos nos apoios de placas, evitando folgas entre os componentes e a perda do conforto antropodinâmico. Neste sentido a AFNOR NF P 84-204 -1 (2001) considera o piso elevado como susceptível a ligeiras folgas nos apoios das placas, passíveis de correção com a manutenção.

Recomenda-se também uma avaliação trimestral das condições de salubridade do espaço de entrepiso. Caso se observe alguma situação favorável ao desenvolvimento de mosquitos, baratas, entre outros, caberá uma limpeza e dedetização no local, em período não superior a 6 meses, como sugerem SINDUSCON-SP e SECOVI-SP (2003). Segundo a AFNOR NF P 84-204 -1 (2001), a necessidade de manutenção freqüente do espaço de entrepiso é uma imposição decorrente da passagem de detritos pelas aberturas entre placas, que irão se acumular no entrepiso. Acrescenta-se que esta necessidade de manutenção é igualmente aplicável aos *decks* tradicionalmente revestidos com réguas de madeira, cujo espaçamento usual é igual ou superior ao observado entre as placas do PELEX.

Com periodicidade semestral, recomenda-se uma verificação das captações de

águas pluviais sob a superfície do PELEX, avaliando-se a capacidade de escoamento e eventuais obstruções, deixando-as livres de detritos.

Outra verificação que deve ser realizada, porém anualmente, é a de espessuras de juntas entre placas, de modo a mantê-las com cerca de 5 mm, a fim de se evitarem acidentes com usuários de salto estreito.

Além disto, a verificação periódica da estabilidade do sistema é fundamental. Ao longo da utilização do edifício, por diferentes motivos, alguns trechos do piso poderão ser retirados e reinstalados. Há casos de manutenções localizadas de impermeabilização, desobstrução de ralos no espaço do entrepiso, limpeza do entrepiso, entre outros. Estes eventos podem gerar situações de risco à estabilidade do sistema à medida que desaprumem um pedestal, principalmente quando este for de grande altura e não tenha a rigidez recomendada anteriormente para este caso, como observado na Figura 5-15.

Figura 5-15 – Vista do espaço de entrepiso de um PELEX em *deck* de piscina onde se observa um pedestal de cerca de 1,20m fora de prumo e em situação de instabilidade – empreendimento E9 (11/09/2007).

Desta forma, cabe ao usuário contratar empresas habilitadas para movimentar os componentes do PELEX e, fazendo uso de profissional habilitado, avaliar rotineiramente a estabilidade do sistema, por inspeção visual do espaço de entrepiso.

A verificação periódica da integridade das armaduras das placas de concreto armado também deve ser realizada. Embora haja recomendações neste trabalho que pretendem minimizar as chances de serem fornecidas placas armadas com resistência inadequada à corrosão, a inspeção visual periódica das placas, a cada pelo menos 1 ano, é aqui considerada como uma boa prática que incorre em pequeno investimento. Caso haja indícios de corrosão de armadura, manifestada na forma de desagregação do concreto que a envolva, ou por mapeamento da armadura na superfície da placa, recomenda-se que sejam feitos ensaios capazes de identificar a extensão da deterioração e a susceptibilidade do concreto à mesma. Nestes ensaios, pode-se avaliar, por exemplo, a profundidade da frente de carbonatação do concreto e a espessura do cobrimento residual.

5.3.3 Intervenções

Nas intervenções não deverão ser substituídos componentes sem a consulta e aprovação prévias do projetista, da empresa executora ou de especialista, para que não haja descaracterização do sistema originalmente instalado.

Em qualquer intervenção, recomenda-se a utilização de dispositivos adequados para retirada das placas. Tais dispositivos são produzidos usualmente com elementos metálicos e permitem a movimentação das placas conforme ilustrado pela Figura 4-8. Ressalta-se que os funcionários responsáveis pela movimentação das placas devem utilizar luvas e calçados de segurança, além de manter a área sob manutenção, devidamente sinalizada e isolada.

Parte das recomendações anteriores já havia sido proposta pelo CSFE (2006). Este organismo fez ainda outras recomendações ao usuário de sistemas de piso elevado franceses, utilizados em terraços privativos, que foram reunidas no item referente às “limitações de utilização”.

5.3.4 Limitações de utilização

Como qualquer sistema construtivo, o PELEX tem limitações de utilização. Cabe ao

empreendedor informá-las aos usuários.

Neste sentido, durante a utilização do piso elevado, recomenda-se que o usuário tome ciência de que ele não deve:

- fixar qualquer elemento nas juntas do piso;

- fazer fogo diretamente sobre o piso. No caso de churrasqueiras deve-se instalar modelos com pés e interpor uma camada isolada para recolhimento de brasas;

- lançar no piso pontas de cigarro incandescentes que possam passar pelas suas juntas;

- utilizar produtos agressivos ao sistema de pisos nem ao sistema de recolhimento de águas pluviais, como, por exemplo, solventes, óleos, gasolina, entre outros;

- instalar elementos com carga permanente superior ao estabelecido em projeto;

- realizar qualquer alteração no revestimento do piso elevado sem o parecer de um especialista.

Ao analisar um sistema francês de impermeabilização, que utiliza o PELEX como revestimento, o CSTB (2007) confirmou a maioria dessas recomendações acrescentando que não se deve permitir a instalação de jardineiras móveis em coberturas com sistema de piso elevado.

Além de jardineiras móveis, deve ficar claro ao usuário que o PELEX não pode receber outras cargas rolantes, exceção àquelas decorrentes de trânsito de cadeirantes, bicicletas, malas com rodízios e outras cargas de pequena intensidade. Assim, o sistema, tal como descrito neste trabalho, não deve receber trânsito de veículos motorizados, mesmo se tratando de motocicletas, sob pena de não suportar os esforços dinâmicos, já que o mesmo não foi dimensionado para esta utilização.

Além das cargas rolantes, há outros carregamentos que, caso não estejam previstos em projeto, não podem ser aplicados sobre o PELEX, como por exemplo aqueles provenientes de: bancos pesados (esculpidos em rocha, por exemplo), brinquedos infantis (escorregadores, balanços, gira-gira, tanques de areia, entre outros), churrasqueiras, camada de terra, trechos de alvenaria e esculturas. Estes carregamentos podem gerar situações inseguras de utilização e acarretar na perda de garantia do sistema.

O usuário precisa estar ciente também de que os impactos sobre a superfície das placas devem ser minimizados. As placas podem ser danificadas e quebradas, em decorrência de impactos, por exemplo, de saltos sobre o piso com *skates*, saltos de pessoas sobre o piso a partir de muros, muretas e bancos.

Em manutenções nos jardins, recomenda-se proteger a superfície dos pisos elevados com plásticos, evitando que se sujem e que a terra penetre pelas juntas das placas, o que poderia levar ao entupimento de ralos.

Outra recomendação diz respeito às cargas de utilização. Após o dimensionamento das placas e do sistema de apoios, o empreendedor deverá comunicar ao usuário, os limites para as cargas de utilização previstas no projeto do PELEX.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 Principais resultados alcançados

Frente aos objetivos propostos neste trabalho: sistematizar as informações pertinentes à tecnologia construtiva de piso elevado para áreas externas de edifícios, por meio do estabelecimento do seu estado da arte e propor um conjunto de parâmetros e de especificações técnicas a fim de subsidiar a seleção de alternativas tecnológicas, a elaboração de projetos e a execução de piso elevado para áreas externas, pode-se afirmar que este trabalho logrou êxito.

A partir de uma extensa revisão bibliográfica e de contatos com fabricantes e com organismos regulamentadores internacionais e nacionais, foi possível identificar diversas referências que ajudaram a estabelecer o estado da arte da tecnologia. Por meio disto, foi possível criar um banco de informações sobre a tecnologia, acessível pelos *links* disponíveis nos anexos do trabalho, contendo os principais fabricantes e palavras-chave para buscas futuras, além da lista de organismos consultados.

Nesta pesquisa também foi possível resgatar parte do histórico de utilização do piso elevado no Brasil e no mundo, permitindo com que se entendam os principais motivadores da sua difusão.

No estudo de campo foi possível identificar a situação preocupante da comercialização da tecnologia no Brasil, pautada, na maioria das vezes, por aplicações de sistemas cujo desempenho potencial é desconhecido do construtor e do próprio fornecedor, com alguns resultados insatisfatórios, inclusive em termos de segurança de utilização.

Esta pesquisa permitiu ainda que fossem localizadas normas e publicações técnicas internacionais que indicaram critérios de desempenho para o piso elevado externo, e que serviram como embasamento para as recomendações deste trabalho, fundamentais para se começar a alterar as condições pelas quais atualmente se comercializam os sistemas de piso elevado no Brasil.

Neste sentido, as recomendações sintetizadas no capítulo 5 procuram oferecer ao meio técnico nacional condições básicas para se projetar, contratar e operar um sistema de piso elevado externo, de modo a que as principais exigências dos usuários sejam atendidas.

As informações identificadas nesta pesquisa e a participação deste pesquisador no processo de desenvolvimento do projeto de norma brasileiro que trata de critérios de desempenho de placas de concreto para pisos elevados foram relevantes para que o projeto adotasse, entre outros, referências internacionais de resistência à flexão, resistência a impactos, critério de abertura de junta e características de pigmentos utilizados em placas de concreto armado.

6.2 Trabalhos futuros

Os critérios de desempenho adotados como recomendação neste trabalho basearam-se em referências, na maioria das vezes internacionais, as quais precisam ser objeto de pesquisas e de ensaios que retratem a realidade brasileira para serem validados. Será preciso enfocar principalmente os esforços dinâmicos (impactos) e a resistência à flexão, já que as aplicações nacionais têm, em alguns casos, altura bastante superior àquelas internacionalmente observadas.

Outros critérios não abordados neste trabalho merecem ser pesquisados, como a resistência à abrasão e a resistência ao escorregamento, lembrando que placas de concreto para pisos têm resistência ao escorregamento satisfatória desde que sua superfície não tenha sido polida, conforme indica a BSI BS EN 1339 (2003).

A durabilidade das placas de piso elevado em concreto armado também merece uma investigação aprofundada que avalie a suficiência de se adotar uma baixa relação água : cimento como forma de assegurá-la. Para isto sugere-se que se estabeleça um método de avaliação direto e acelerado.

Ainda tratando do tema durabilidade, a resistência ao manchamento das placas e sua relação com a porosidade e com a absorção de água precisa ser melhor compreendida. Isto porque os critérios internacionais disponíveis para limitar a absorção estão provavelmente ligados ao fenômeno do congelamento e não ligados à susceptibilidade das placas à sujeira.

Da mesma maneira recomenda-se que seja investigado o grau e a forma de passivação de armaduras de placas de concreto armado para assegurar durabilidade ao sistema em função das condições de exposição previstas em projeto.

O estudo de estruturação das placas de concreto, pela substituição do aço por fibras longas sintéticas será também oportuno.

Além do concreto, a utilização de outros materiais para a confecção de placas de piso elevado deve ser objeto de pesquisa mais aprofundada, em que se estude tecnologias capazes de tornar a aplicação segura e economicamente viável. Placas cerâmicas, de madeira e de rocha reconstituída são exemplos de materiais que deveriam ser pesquisados. Além disto, as aplicações de rocha natural também dependem de estudos complementares, principalmente no que diz respeito à técnica de estruturação das placas.

O estudo de aplicações de piso elevado em áreas de estacionamento se mostra promissor, tendo em vista as potencialidades que o sistema traz em termos de racionalização de manutenção de grandes áreas, por exemplo, em *shopping centers*.

Outro item que merece estudo específico é a avaliação da salubridade do espaço de entrepiso e a sua relação eventual com proliferação de vetores de doenças.

Por fim, os detalhes de projeto do piso elevado devem ser complementados e estudados com maior profundidade para que se proponham técnicas e materiais para execução de rampas, escadas, trechos que sirvam como rota de fuga e que dependam de pedestais com características resistentes ao fogo, áreas de acesso a pequenos veículos de emergência, aplicações sobre juntas de dilatação, entre outros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 578**: standard specification for rigid, cellular polystyrene thermal insulation. Pennsylvania, 2007. 6p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 979**: standard specification for pigments for integrally colored concrete. Pennsylvania, 2005. 5p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 981**: standard guide for design of built-Up bituminous membrane waterproofing systems for building decks. Pennsylvania, 2005. 18p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 1491**: standard specification for concrete roof pavers1. Pennsylvania, 2003. 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9050**: acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro, 2004. 97p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9575**: impermeabilização - seleção e projeto. Rio de Janeiro, 2003. 12p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11173**: projeto e execução de argamassa armada. Rio de Janeiro, 1990. 10p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12050**: pisos elevados – determinação da resistência ao impacto de corpo duro. Rio de Janeiro, 1991. 2p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575** - edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - desempenho. Parte 1-6. Rio de Janeiro, 2008. 251p.

ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION / CENTRE D'ÉTUDES ET DE RECHERCHES DE L'INDUSTRIE DU BÉTON. **AFNOR NF 187.** dalles de voirie et toiture en béton. Paris, 2006. 77p.

ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION. **AFNOR NF P 84-204-1(D.T.U. 43.1):** travaux d'étanchéité des toitures-terrasses avec éléments porteurs en maçonnerie - partie 1: cahier des clauses techniques - Paris, 2001.127p.

ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION. **AFNOR NF P 84-204-1-1 (D.T.U. 43.1):** étanchéité des toitures-terrasses et toitures inclinées avec éléments porteurs en maçonnerie en climat de plaine - partie 1-1: cahier des clauses techniques. Paris, 2004. 128p.

ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION. **AFNOR NF P 84-204-1-2 (D.T.U. 43.1):** travaux de bâtiment - étanchéité des toitures-terrasses et toitures inclinées avec éléments porteurs en maçonnerie en climat de plaine - partie 1-2 : critères généraux de choix des matériaux (CGM). Paris, 2004.17p.

ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION. **AFNOR FD P 84-204-3 (D.T.U. 43.1):** étanchéité des toitures-terrasses et toitures inclinées avec éléments porteurs en maçonnerie en climat de plaine - partie 3: guide à l'intention du maître d'ouvrage. Paris, 2004. 22p.

BARROS, M. M. S. B. **Tecnologia de produção de contrapisos para edifícios habitacionais e comerciais.** 1991. 265p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

BARROS, M. M. S. B. **Metodologia para implantação de tecnologia construtiva racionalizada na produção de edifícios**. 1996. 422p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

BARRET, J., BERTHOLON, P. MARIÉ, X. **Terrasses Jardins.** Syros Alternatives, p.46-54. 1988.

BIZE, B. Isolation inversée sur toiture terrasse à rétention déau. **CSTB Maganize**, n.135, p.26-28, Mai./Jun., 2001.

BRIGAND, S. La sinistralité des toitures-terrasses. **CSTB Magazine**, n.114 , p.48-51, Mai, 1998.

BRING, C. Performance requirements for floors. **NBS Special Publication,** Pennsylvania, v.1, n.361, p.601-623, March 1972. Performance Concept in Buildings RILEM-ASTM-CIB Symposium, May 1972.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS 6100:** building and civil engineering terms. London, 1987 – Amendment 1992, 12 p.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS 8217:** code of practice for built-up felt roofing. London, 1994, 32 p.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS EN 1339:** concrete paving flags - requirements and test methods. London, 2003, 80 p.

BUILDING STONE INSTITUTE (BSI), Recommended Practices. 2006. Disponível em: <http://www.buildingstoneinstitute.org/tech_practices.html>. Acesso em: 21 Abril 2007.

BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT DIGEST. **Flat roof design: the technical options.** Garston, n.312, Aug. 1986. 8p.

BUILDING RESEARCH NOTE. **Protected membrane roofs in Canada – Results of a survey.** Ottawa: Division of Building Research – National Research Council, n.89, Oct.1973. 6p.

CAMPANTE, E.F. **O conceito de antiderrapante e o desempenho de pisos cerâmicos.** 1986. 295 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

CAMPOS, P.E.F. **Da argamassa armada ao microconcreto de alto desempenho: perspectivas de desenvolvimento para a pré-fabricação leve.** 2002. 208 p. Tese

(Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo.

CANADIAN BUILDING DIGEST. **Fundamentals of roof design.** Ottawa: Division of Building Research – National Research Council, n.67, Jul. 1965. 4p.

CANADIAN BUILDING DIGEST. **Roof terraces.** Ottawa: Division of Building Research – National Research Council, n.75, Mar. 1966. 4p.

CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION. **A231.1:** precast concrete paving slabs. Mississauga, 2006, 18p.

CENTRE D'ASSITANCE TECHNIQUE ET DE DOCUMENTATION (CATED). **Isolation, étanchéité des toitures-terrasses.** Documentation française du bâtiment. Publications du Moniteur,Paris, p.43-44, 1986.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHINIQUE DU BÂTIMENT. **Document Technique Unifié 43.** cahier des charges applicable aux travaux d'étanchéité des toitures – terrasses et des toitures inclinées, Cahier du CSTB, Paris, n.41, p.60, 1959.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHINIQUE DU BÂTIMENT. **Document Technique d'Application - référence Avis Technique 5/05-1840*01 (Additif à l'Avis Technique 5/05-1840),** Paris, Avril 2007, disponível em : <http://www.texsa.com/fr/docs/Atec_5-05-1840_Add.pdf >. Acesso em : 23 Novembro 2008.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHINIQUE DE LA CONSTRUCTION (CSTC). **Toiture.** Guide des performances du bâtiment, Bruxelles, v.3, p.47, 1980.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHINIQUE DE LA CONSTRUCTION (CSTC). **Les Balcons-Terrasses: Exigences relatives au support et à l'étanchéité – Régles de pose des carrelages et dallages.** Note d' ínformation technique, Bruxelles, Septembre-Octobre, p.28, 1985.

CHAMBRE SYNDICALE FRANÇAISE DE L´ÉTANCHEITE (CSFE). **Notice d'utilisation pour une terrasse accessible privative avec dalles sur plots**. Mai 2006. Disponível em: http://www.etancheite.com/public/media/publications/Notice_Dalle_sur_plots.pdf. Acesso em: 23 Novembro 2008.

CHENAF, M., et al. Accessibilité des espaces extérieures privatifs en habitat collectif neuf. CSTB. Décembre 2006. Disponível em: <http://www.cstb.fr/fileadmin/documents/webzines/accessibilite/Accessibilite-des-espaces-privatifs-en-habitat-collectif-neuf.pdf >. Acesso em: 06 Maio 2008.

CONSTRUCTION DEVELOPMENT (CO-ORDINATION) COMMITTEE. **Performance requirements for floors**. Technical Note, London, n.5, 44p., May 1974.

CONSTRUCTION DEVELOPMENT (CO-ORDINATION) COMMITTEE. **Performance requirements for roofs**. Technical Note, London, n.6, 32p., November 1976.

DEMARQUE, A. Procédés isolants pour les toitures inversées. **Revue Technique du Batiment et des Constructions Industrielles (RTB)**, n.239, p.35-42, Mars-Avril 2007.

EDWARDS, R.M. Roofing Systems. In**:** ANNUAL MEETING – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 78., Jun.1975, Montreal. D.E.Brotherson. p.13-26. ASTM special technical publication 603.

ELDER, A.J.; VANDENBERG, M. **Construcción:** manuales AJ. Madrid: H. Blume, 1977. p.280-341.

EMMITT, S.; GORSE, C.A. **Barry´s introduction to construction of buildings.** Oxford: Blackwell Publishing Ltd/estate of Robin Barry, 2005. p.81-123, chapter 4.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). **EN 12825:** Raised access floors. Brussels, 2001, 36 p.

FCAV - FUNDAÇÃO CARLOS ALBERTO VANZOLINI e CERTIVÉA. **AQUA - Referencial técnico de certificação - Edifícios do setor de serviços: Escritórios e Edifícios escolares.** Versão 0, São Paulo, p.241, Outubro 2007.

GOMES, R.J. **Coberturas em terraço.** Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil - LNEC, 1968 (Informação técnica – Edifícios – ITE 01).

GRIFFIN, C.W.; FRICKLAS, R.L. **Manual of low-slope roof systems.** 3rd edition: New York: McGraw-Hill, 1996. p. 373-403, chapter 15.

HEADQUARTERS, DEPARTMENT OF THE ARMY, Technical Manual TM 5-805-14 – Roofing and Waterproofing, May 1993. Disponível em: <http://www.usace.army.mil/publications/armytm/tm5-805-14/entire.pdf >. Acesso em: 02 Maio 2008.

HUNDERMAN, H., GERNS, E. Renovation of the roof terrace plaza at the Kennedy Center for the performing arts. Disponível em: <http://www.unesco.org/archi2000/pdf/gerns.pdf >. Acesso em: 06 de Maio 2008.

HUNT, B.J. Conservation of stone flooring, ancient and modern. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON DETERIORATION AND CONSERVATION OF STONE – PROCEEDING, 9 , 2000, Venice. Elsevier. p.83-90

ICPI - INTERLOCKING CONCRETE PAVEMENT INSTITUTE . **Achieving LEED ® credits with segmental pavement.** ICPI Tech Spec 16, 2005. Revised in February 2007. Disponível em: < http://www.icpi.org/techspecs/index.cfm?id=13&tech=16 >. Acesso em: 14 de Novembro 2008.

ICPI - INTERLOCKING CONCRETE PAVEMENT INSTITUTE . **Concrete paving units for roof decks.** ICPI Tech Spec 14, 2002. Revised in April 2008. Disponível

em: <http://www.icpi.org/techspecs/index.cfm?id=33&tech=14 >. Acesso em: 02 Maio 2008.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 6241**: performance standards in building – principles for their preparation and factors to be considered. Geneve, 1984.10p.

LES CAHIERS TECHNIQUES DU BÂTIMENT, (Coproducteur) ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE PARIS-VAL DE SEINE. Toiture parking : des dalles sur plots remplacent un béton épaufré, n.267, p.14-16, Février 2007a.

LES CAHIERS TECHNIQUES DU BÂTIMENT. (Coproducteur) ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE PARIS-VAL DE SEINE. Couverture: les protections de terrasses accessibles. n.272, p.69-73, Septembre 2007b.

LILLEY, A. A. **A handbook of segmental paving.** London: Chapman & Hall, 1991. p. 195-224, chapter 8.

LOPES, J.M.G. **Revestimentos de impermeabilização de coberturas em terraço.** Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil - LNEC, 1994 (Informação técnica – Edifícios – ITE 34).

MacELROY, W.P.; WINTERBOTTOM, D. Up on a pedestal. **Landscape Architecture,** n.79**,**p.66-69; p.78-80, Jan. 2000.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** São Paulo: Pini, 1994. p.17-42, capítulo 2 .

MITIDIERI FILHO, C.V. **Avaliação de desempenho de sistemas construtivos inovadores destinados a habitações térreas unifamiliares – Desempenho estrutural.** 1988. 202 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

MITIDIERI FILHO, C.V. **Avaliação de desempenho de componentes e elementos construtivos inovadores destinados a habitações – Proposições específicas à avaliação do desempenho estrutural.** 1998. 218 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

NATIONAL CONCRETE MASONRY ASSOCIATION (NCMA), Project No. 02-268, Evaluation of Paver Slab Flexural Strength Testing. Disponível em: <http://www.ncma.org/research/reports/MR20.pdf >. Acesso em: 06 Maio 2008.

PARISE, C.J. Architectural considerations in plaza membrane waterproofing systems. **Materials Research and Standards ,** v.11, n.5, p. 19-22, May, 1971.

PICCHI, F.A. **Impermeabilização de coberturas**. São Paulo: PINI/Instituto Brasileiro de Impermeabilização, 1986. 219p.

PROPERTY SERVICES AGENCY – PSA - **MOB PF2 PS/SPU:** Method of Building performance specification for platform (raised access) floors, London, 1992, 92p.

RUGGIERO,S.S.; RUTILA, D.A. Principles of design and installation of building deck waterproofing. In: **Building deck waterproofing.** Philadelphia: Laura E. Gish, 1990. ASTM Special Technical Publication: 1084, p.5-28.

SANDIA NATIONAL LABORATORIES. Special Specification – Section 07765S - Roof pavers and ballast materials, December 9, 2002. Disponível em: <http://www.sandia.gov/engstds/ConstSpecs/Special/MESA/MicroFab/Division07/07765S.pdf02/05/2008 >. Acesso em: 21 Abril 2007.

SCHILD, E. et al. **Structural failure in residential building**: flat roofs, roof terraces, balconies. London: Crosby Lockwood Staples Frogmore, 1978. 186p. (v.1).

SINDUSCON-SP, SECOVI-SP. **Manual das áreas comuns – Programa de Manutenção Preventiva.** São Paulo: 2003. 82p.

SEELEY, I.H. **Building technology.** 3rd edition [S.I.]: Macmillan, 1986. p. 89-135, chapter 6.

SOUZA, R. **A contribuição do conceito de desempenho para a avaliação do edifício e suas partes:** aplicação às janelas de uso habitacional. 1983. 181p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

THE STATE INSTITUTE FOR TECHNICAL RESEARCH (VALTION TEKNILLLINEN TUTKIMUSLAITOS - VTT). **Qualitative performance analysis of floors.** Helsinki, 1969

WATSON, J.A. **Roofing systems.** Virginia: Reston Publishing Company, 1979. 346p.

WOLFE,W.C.; ROBERTS,R.E.; RUSSELL,M. Durability and maintenance as related to the selection of flooring. **NBS Technical Note,** Washington: National Bureau of Standards, Aug. 1973, n.783, 25p.

YIN,R.K.; Estudo de caso: planejamento e métodos. Porto Alegre: Bookman, 2001. 205p.

APÊNDICE A - LISTA DE PALAVRAS-CHAVE

Português

Piso elevado

Italiano

Pavimenti sopraelevati per esterno

Alemão

Doppelböden

Doppelboden für Außenbereiche

Francês

Dalles sur plots – Piso elevado externo sobre pedestais

Planchers surélevés – piso elevado interno

Plots – Pedestais externos

Dalles – Placas

Balcons -Terrasses - Sacadas

Protection dure des toitures-terrasses – Proteção mecânica de coberturas acessíveis

Toitures-terrasses – Coberturas acessíveis

Terrasses accessibles – Coberturas acessíveis

Inglês

Piso elevado interno: Elevated floor; platform floor; raised floor; access floor; raised access floors

Piso elevado externo: Precast concrete pavers open joint; concrete paver deck; pedestal paver; pedestal paving system; (pedestrian) roof plaza decks; raised floors for exteriors; pedestal system; open joint system, pedestal-set paving slabs;

Pedestais – Pedestals; supports; pads

Placa / placas de concreto - Slabs; wearing course panels; precast concrete paving slabs; stone slabs; paving flags

Espanhol

Suelo técnico y suelo elevado

APÊNDICE B – *WEB SITES* CONSULTADOS DE EMPRESAS

Empresa	Site	Aplicação	Características
EIFFELGRES	http://www.eiffelgres.com/applications/raised-floors.php/lang=en	Interna	Desde 2001 Produz 5 milhões de m^2/ano Empresa Italiana
TOPFLOOR	http://www.topfloor.it/accessori.html	Interna	Desde 1986 3 milhões de m^2 instalados Empresa Italiana
IRIS FABBRICA DE MARMI E GRANITI	http://www.irisfmg.com/eng/floating-floors.asp	Interna	Divisão de piso elevado: criada em 1998 Empresa Italiana
DENCO	http://www.denco-technologies.com/	Interna	Desde de 1972 Empresa Francesa
GAMMA	http://www.gamma-industries.com/	Interna	Desde de 1977 Uma das empresas líderes da França Empresa Francesa
COMEY	http://www.planchers-comey.fr/bureautique2.htm	Interna	Desde de 1973 300 mil m2 instalados Empresa Francesa
MERO-SCHMIDLIN	http://www.merouk.co.uk/raisedfloor/default.htm	Interna	Desde a década de 60 Empresa Alemã
LINDNER	http://us.lindner.ag/literature_floor_us.Lindner?ActiveID=6653	Interna	Desde 1987 45% do m*arket share* da Alemanha Empresa Alemã
TASMAN	http://www.tasmanaccessfloors.com.au/home.htm	Interna	Desde a década de 80 Uma das empresas líderes da Austrália Empresa Australiana
KINGSPAN	http://www.kingspanaccessfloors.co.uk/uk/literature/index.htm?get_lit2.asp	Interna	Desde 1972 Uma das empresas líderes mundiais Empresa Irlandesa
TATE	http://www.tateaccessfloors.com/literature.html	Interna	Desde 1963 Empresa líder nos EUA Subsidiária da Kingspan
INTEC SPA	http://www.intecsopraelevati.com/engl/company/2003_2.html	Interna e externa	Desde 1990 Produz 400 mil de m^2/ano Empresa Italiana
GRANITIFIANDRI	http://www.granitifiandre.com/fiandre/raisedHome.html?sezione=02&lang=ENG	Interna e externa	Desde 1961 Líder mundial no segmento de " italian porcelain floor" Empresa Italiana
WAUSAU	http://www.wausautile.com/index.cfm/choice/terrapaving/page/Installations/id/42	Interna e externa	Desde 1953 Empresa Americana
WESTILE	http://www.westile.com	Interna e externa	Desde 1981 Empresa Americana
TILE TECH PAVERS	http://www.tiletechpavers.com/PaverSpecs.pdf	Interna e externa	Empresa Americana
HYDROTECHUSA	http://www.hydrotechusa.com/ultimate-assembly.htm	Externa	Desde 1977 Empresa Americana
HANOVER	http://www.hanoverpavers.com/index_commercial.html	Externa	Desde 1971 Empresa Americana
ABBOTSFORD	www.pavingstones.com	Externa	Desde 1989 Empresa Canadense
SOPREMA	http://www.soprema.fr/FR/etancheite_toitures_terrasses_cpp.php?PAGEID=580&lang=FR&unid=169D1B9D52CAC269C1256E4A0052ADE5	Externa	Desde 1908 Empresa Francesa
MEPLE	http://www.meple.com/meple-prescri-fiche-procede.php?reference_procede=TAPI/1/1/1/02	Externa	Desde 1839 Empresa Francesa
APPIAN	http://www.appianwaysystem.com/v2/	Externa	Desde 1984 Empresa: Americana
NISSHIN KOGYO	http://www.pf-system.jp/	Externa	Empresa Japonesa representante da Buzon
ZOONTJENS	http://www.zoontjensroofdeck.co.uk/main.htm	Externa para veículos	Empresa Inglesa
BUZON	http://www.buzon-world.com/Default.asp	Externa - (pedestais)	Desde 1982 Líder europeu de fabricação de pedestais Empresa Belga
ROOFBLOK	http://www.roofblok.com/plaza.htm	Externa - (pedestais)	Desde 1980 Empresa Americana
AXTER	http://www.axter.fr/	Externa - (pedestais)	Desde a década de 1970 Foco em sistemas de impermeabilização Empresa Francesa

APÊNDICE C – ORGANISMOS CONSULTADOS

- ✓ The Access Flooring Association
- ✓ North American Association of Floor Covering Distributors
- ✓ FCICA – Floor Covering Installation Contractors Association
- ✓ AIA - American Institute of Architects
- ✓ BSI – Building Stone Institute
- ✓ National Roof Deck Contractors Association
- ✓ ICC - International Code Council
- ✓ ASTM – International Technical Committee Operations
- ✓ CISCA - Ceilings and Interior Systems Construction Association
- ✓ BSI – British Standards Institution
- ✓ AS – Australian Standards
- ✓ RCI – Institute of Roofing , waterproofing and building envelope professionals
- ✓ Sandia National Laboratories
- ✓ CSTB - Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
- ✓ ICPI - Interlocking Concrete Pavement Institute
- ✓ LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil
- ✓ FRA - Flat Roofing Alliance
- ✓ NRCA - National Roofing Contractors Association
- ✓ CBSC - California Building Standards Comission
- ✓ NSSGA –National stone, sand & gravel association
- ✓ NIST - National Institute of Standards and Technology
- ✓ VTT - Technical Research Centre of Finland
- ✓ National Conference of States on Building Codes and Standards

APÊNDICE D1 – ROTEIRO DE VISITA AOS EMPREENDIMENTOS COM PELEX

ROTEIRO DE VISITAS AOS EMPREENDIMENTOS COM PELEX

DADOS DA OBRA VISITADA

Data da visita	
Construtora	
Nome e cargo da pessoa que acompanhou a visita	
Nome do empreendimento	
Características do empreedimento	☐ Edifício residencial ☐ Edifício de escritórios ☐ Outro (especificar)
Porte da obra	
Padrão da obra	☐ Alto padrão ☐ Médio Padrão ☐ Padrão econômico

TECNOLOGIA DE PISO ELEVADO COM APLICAÇÃO EXTERNA

Existe algum projeto de produção de aplicação da tecnologia? (pode ser consultado ?)	
Evidencia-se algum procedimento de controle de produção? Como seria?	
Que tipo de pedestal está sendo utilizado na aplicação ? (material e altura)	
Sobre qual material é instalado o pedestal ?	
Quais os prazos para execução / produtividades esperadas e tamanho / número de equipes?	
Como é feito o ajuste de nível sobre substratos com caimento?	
Como são executados os detalhes construtivos: escadas rampas, interfaces (com floreiras, bordas de piscina, espelhos d'água, superfícies não retilíneas), playground entre outros	
Que tipo de placa é utilizada na aplicação?	☐ Rocha com reforço (tipo , espessura e dimensões) ☐ Rocha sem reforço (tipo, espessura e dimensões) ☐ Pré-moldada em concreto com armação (tipo, espessura e dimensões) ☐ Pré-moldada em concreto sem armação e com fibras (tipo, espessura e dimensões) ☐ Cerâmica (tipo, espessura e dimensão)

APÊNDICE D2 – ENTREVISTA COM USUÁRIO

ENTREVISTA COM USUÁRIO

DADOS DO EMPREENDIMENTO

Data da entrevista
Empreendimento (o nome pode ser divulgado ?)
Nome da pessoa entrevistada
Telefone / Fax
E-mail
Constituição do condomínio
Área de piso elevado m²

TECNOLOGIA DE PISO ELEVADO COM APLICAÇÃO EXTERNA

Desde quando há piso elevado no empreendimento ?
Descrever o sistema utilizado - materiais
Há quanto tempo trabalha na gestão do Departamento de manutenções e utilidades ?
Qual a sua impressão sobre o desempenho do antigo sistema de pisos elevados com placas de concreto? (acidentes com quebras de placas, acidentes com saltos altos x abertura de juntas entre as placas, manchamento superficial, exposição de armaduras das placas, empenamentos, acúmulo de sujeira no entrepiso, dificuldade de troca de placas, etc)?
Por que o sistema de pisos elevados foi substituído pelo sistema elevado com placas de granito?
Quais os pontos fortes e fracos que enxerga no sistema de pisos elevados?
Houve a troca da camada de impermeabilização das lajes com o piso elevado de concreto e a posterior recomposição do piso elevado em placas de concreto? Foi um evento facilitado pela presença do piso elevado?
Caso pudesse interferir nas definições de um projeto, optaria pela solução de pisos elevados?

APÊNDICE D3 – ENTREVISTA COM FORNECEDOR

ENTREVISTA COM FORNECEDOR

DADOS DA EMPRESA

Data da entrevista
Empresa (o nome pode ser divulgado ?)
Nome da pessoa entrevistada e cargo
Telefone / Fax
E-mail
Ano de fundação da empresa
Instalações do último ano em m²
Número de obras em andamento com aplicação da tecnologia
Principais nichos de mercado
Regões de atuação

TECNOLOGIA DE PISO ELEVADO COM APLICAÇÃO EXTERNA

Desde quando a empresa oferece a tecnologia ?	
Como a tecnologia é oferecida ?	□ Completo com instalação □ Parcial (componentes)
Quantos metros quadrados já foram aplicados pela empresa?	
Por que a empresa começou a comercializar esta tecnologia? (elementos motivadores)	
Quais são os parâmetros de desempenho que norteiam a fabricação / instalação ? Por que ?	
Quais as vantagens deste tipo de aplicação?	
Quais as limitações da tecnologia?	
Existe algum procedimento de produção ? Caso não exista como se pretende realizar os serviços - descrição	
Existe algum procedimento de controle de qualidade de execução utilizado pela empresa para esta tecnologia? Caso não exista, como é realizado o controle ?	
Há histórico de problemas desta aplicação? Quais as principais ?	
Quais os requisitos para fornecimento de materiais e para instalação do piso elevado externo que são normalmente exigidos pelos clientes?	
Quais os requisitos para entrega solicitados pela empresa ao cliente (contratante) ? - áreas para estoque, tipo de transporte, áreas mínimas liberadas, entre outros	
Quais os detalhes construtivos que você avalia como fundamentais para aplicação da tecnologia?	
Existe alguma norma ou código de prática que tenha sido utilizada pela empresa para parametrização da fabricação e instalação da tecnologia ?	
Como é feito o controle de qualidade de produção de componentes ?	
Que tipo de pedestal a empresa recomenda ? (material e altura) Por quê?	
Existe alguma especificação para o substrato que receberá o pedestal ?	
Como será feito o ajuste de nível sobre substratos com caimento?	
Quais as garantias oferecidas ?	
Qual a produtividade da instalação ? Qual é o tamanho de equipe e tipo de oficial ?	
Como são executados os detalhes construtivos: escadas rampas, interfaces (com floreiras, bordas de piscina, espelhos d'água, superfícies não retilíneas), playground entre outros ?	
Que tipo de placa é utilizada na aplicação da tecnologia?	□ Rocha com reforço (tipo , espessura e dimensões) □ Rocha sem reforço (tipo, espessura e dimensões) □ Pré-moldada em concreto com armação em tela (tipo, espessura e dimensões) □ Pré-moldada em concreto sem armação e com fibras (tipo, espessura e dimensões) □ Cerâmica (tipo, espessura e dimensão)

APÊNDICE D4 – ENTREVISTA COM CONSTRUTOR

QUESTIONAMENTO AO RESPONSÁVEL PELA DEFINIÇÃO DA TECNOLOGIA DENTRO DA CONSTRUTORA

1) Quais foram os principais elementos motivadores da escolha / especificação da tecnologia do PELEX em projetos da construtora, em substituição à solução convencional?
2) Em que medida as expectativas com relação à tecnologia de pisos elevados foram alcançadas?
3) Quais os principais critérios técnicos que são exigidos de uma empresa fornecedora do sistema de pisos elevados?

ANEXO A1 - PROJETOS DE NORMA PARA PISOS ELEVADOS (ASTM - VERSÃO ICPI)

ASTM Designation: C XXXX- 8/27/07 DRAFT ITEM 4c

Standard Specification for Precast Concrete Paving Slabs [1]

1. Scope

1.1 This specification covers the requirements for precast concrete rectangular or square paving slabs manufactured for construction of pedestrian pavement and roof plaza deck applications for commercial and municipal projects. Methods of manufacture include molding low-slump (dry cast) or high-slump (wet cast) concrete.

Note- Setting methods for paving slabs include but are not limited to sand, sand–cement, sand-bitumen, mortar, adhesives and pedestals. Specifiers should evaluate compatibility of setting methods for a particular application. Specifiers are cautioned to evaluate loading requirements for paving slabs subject to vehicular traffic.

1.2 When particular features are desired, such as mass classification, higher flexural strength, surface textures, finish, color, or other special features, such properties should be specified by the purchaser. However, local sellers should be consulted as to availability of units having the desired features.

1.3 The values stated in SI units are to be regarded as the standard.

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*

C 33 Specification for Concrete Aggregates [2]

C 150 Specification for Portland Cement [3]

C 207 Specification for Hydrated Lime for Masonry Purposes [3]

C 260 Specification for Air-Entraining Admixtures for Concrete[2]

---

[1] This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee C-27 on Precast Concrete Products and is the direct responsibility of Subcommittee C27.20 on Architectural and Structural Products.

[2] *Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 04.02.

[3] *Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 04.01.

C 331 Specification for Lightweight Aggregates for Concrete Masonry Units[2]

C 494 Specification for Chemical Admixtures for Concrete[2]

C 595/C 585M Specification for Blended Hydraulic Cements[3]

C 618 Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete[2]

C 979 Specification for Pigments of Integrally Colored Concrete[2]

C 989 Specification for Ground Granulated Blast-Furnace Slag for Use in Concrete and Mortars[2]

C 1157 Performance Specification for Blended Hydraulic Cement[3]

C 1213 Terminology Relating to Precast Concrete Products[5]

C 1240 Specification for Silica Fume for Use in Hydraulic-Cement Concrete and Mortar[5]

D 3665 Standard Practice for Random Sampling of Construction[4]

3. Materials

3.1 *Cementitious Materials* shall conform to the following applicable ASTM specifications:
3.1.1 *Portland Cements* - Specification C 150.
3.1.2 *Blended Cements* - Specification C 595/C 595 M, Types IS or IP.
3.1.3 *Hydrated Lime, Type S* - Specification C 207.
3.1.4 *Fly Ash* - Specification C 618.
3.1.5 *Ground Slag* - Specification C 989.
3.1.6 *Silica Fume* - Specification C 1240.
3.2 *Aggregates* shall conform to the following ASTM specifications, except that grading requirements shall not necessarily apply:
3.2.1 *Normal Density* - Specification C 33.
3.2.2 *Lightweight* - Specification C 331.
3.3 *Chemical Admixtures* shall conform to the following applicable ASTM specifications:
3.3.1 *Air-entraining Admixtures* - Specification C 260.
3.3.2 *Water-reducing, Retarding, and Accelerating Admixtures* - Specification C 494.
3.3.3 *Pigments for Integrally Colored Concrete* - Specification C 979.
3.4 *Other Constituents* - Integral water repellents, fibers, and other materials for which no ASTM standards exist shall be previously established as suitable for use in concrete or shall be shown by test or experience not to be detrimental to the concrete.

4. Terminology

---

4 *Annual Book of ASTM Standards,* Vol. 04.03.

5 *Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 04.05.

4.1 *Architectural finish* – A surface modified by mechanical means such as blasting, hammering, polishing, tumbling, washing or other methods.

4.2 *Bitumen-set paving slabs* – A method of precast concrete paving slab installation where paving units are placed on an adhesive that binds each unit to a thin sand-asphalt bedding layer, typically no greater than 25 mm (1 in.) thick.

4.3 *Pedestal-set paving slabs* – A method of precast concrete paving slab installation typically used for pedestrian roof plaza decks where each slab is supported on its corners with plastic, foam or other pedestal materials. These supporting materials elevate the slabs so they are not in direct contact with roof materials.

5. Physical Requirements

5.1 Units shall have an exposed face area greater than 0.065 m^2 (101 $in.^2$) and their overall length divided by thickness shall be greater than 4. The minimum thickness shall be 30 mm (1.2 in.). The maximum length and width dimensions shall be ~~915 mm (36 in.)~~ 1220 mm (48 in) See Fig. 1.

5.2 Concrete units covered by this specification shall be made from lightweight or normal weight aggregates or mixed lightweight and normal weight aggregates.

5.3 *Flexural Strength* - At the time of delivery to the work site, the average flexural strength of the test specimens shall be 4.5 MPa (650 psi) with no individual unit less than 4.0 MPa (580 psi) as determined in 7.3.

5.4 *Resistance to Scaling* - The manufacturer shall satisfy the purchaser using one of the following methods based on the anticipated exposure of the slabs:

(a) No freeze-thaw exposure: no scaling test required.

(b) Freeze-thaw exposure with no use of deicing salts: Proven field performance in a similar application for a minimum of three years.

(c) Freeze-thaw exposure with use of deicing salts: The average loss of mass of three test specimens shall not be greater than:

(i) 300 g/m^2 of the total inundated surface of each paving slab after 28 cycles of freezing and thawing; or

(ii) 800 g/m^2 of the total inundated surface of each paving slab after 49 cycles of freezing and thawing. Specimens with an architectural finish shall not have an average loss of mass greater than:

(i) 500 g/m^2 of the total inundated area of each paving slab after 28 cycles of freezing and thawing; or

(ii) 1,200 g/m^2 of the total inundated surface of each paving slab after 49 cycles of freezing and thawing. Tests shall be conducted in accordance with Section 7.4 on representative units not more than 12 months prior to delivery of units.

5.5 *Dimensional Tolerances* – For bitumen-set and pedestal set paving slab applications, dimensions and concave or convex warpage shall not differ from those agreed upon by the purchaser and the supplier by more than the following amounts:

a) length, width and height: ±1.5 mm (0.06 in.).

b) concave or convex warpage in one dimension: up to 2.0 mm (0.08 in);

5.5.1 For all other applications, dimensions and concave or convex warpage shall not differ from those agreed upon by the purchaser and the supplier by more than the following amounts:

a) length and width: -1.0 mm to +2.0 mm (0.04 in. to 0.08 in.)
b) height: ±3 mm (0.12 in.).
c) concave or convex warpage in one dimension: up to 450 mm (18 in.), 2.0 mm (0.08 in); or over 450 mm (18 in.), 3.0 mm (0.12 in.).

5.5.2 Dimensions are based on manufacturer's drawings for the particular shape identified. Dimensional testing shall be conducted on the same paving slabs used for flexural strength testing. Samples shall meet tolerances prior to the application of architectural finishes.

6. Visual Inspection

6.1 All units shall be sound and free of defects that would interfere with the proper placing of the units or impair the strength or performance of the construction. Minor cracks incidental to the usual methods of manufacture or minor chipping resulting from customary methods of handling in shipment and delivery shall not be deemed grounds for rejection.

7. Sampling and Testing

7.1 The purchaser or his authorized representative shall be accorded proper facilities to inspect and sample the units at the place of manufacture from the lots ready for delivery.

7.2 Twelve paving slabs shall be randomly sampled from different packages according to ASTM D 3665.

7.2.1 One set of six paving slabs shall be checked for dimensional variations. Three samples from the six shall be tested for flexural strength and, when required, three shall be tested for resistance to scaling. The remaining six slabs shall be cured with the first, labeled with the date of manufacture and retained either at the place of manufacture or at the testing facility until such time as the test results from the first set of specimens become available.

7.2.2 After sampling, all specimens shall be cured in a moist chamber, or submerged for 28 ±1 days as specified in 7.2.3. Moist curing shall be followed by air curing for a minimum of three to a maximum of seven days at 23 ±2º C (73 ±3º F) at a minimum 40% relative humidity before start of the test procedures.

7.2.3 Moist curing shall be carried out in a moist chamber (cabinet or room) which shall maintain a controlled air temperature of 23 ±2º C (73 ±3º F) and a relative humidity of 90%. Alternatively, the specimens shall be stored, submerged in a saturated lime solution which shall be maintained at a temperature of 23 ±2º C (73 ±3º F).

7.3 *Flexural strength* - Tests shall be conducted on full-size specimens in accordance with following procedure:

7.3.1 Each specimen shall span two steel supporting rollers each 38 mm ±3 mm (1.5 in. ±0.12 in.) in diameter. See Fig. 2. The span length (spacing of the rollers) shall be 200 mm (8 in.) for units having a maximum length of 250 mm (10 in.). The span length of the rollers shall be 250 mm (10 in.) for units having a length between 250 mm (10 in.) and 500 mm (20 in.). The span length shall be 300 mm (12 in.) for units having a length of greater than 500 mm (20 in.). A pivot shall be required at the center of one of the rollers to counteract any twisting in the slab during the test. The rollers shall be level in all directions and shall support the slab throughout its entire width during testing. The load shall be applied axially through a spherical seating in the testing machine without inducing torsion on the specimen. A 50 mm (2 in.) wide by a minimum 50 mm (2 in.) thick steel platen and a hardwood fillet 50 mm (2 in.) wide shall be placed under the spherical seating and parallel to the bearers. Both shall be centered in span of the slab and extend the entire width of the slab.

7.3.2 Each specimen shall be tested with the wearing surface facing upwards in the testing machine. The load shall be uniformly applied without shock starting from zero to a rate not exceeding 18 N (4 lbf) per second for each 100 mm (4 in.) of width tested until the specimen fails. The accuracy of the applied load shall be ±2%.

7.3.3 Calculation of flexural strength - Flexural (transverse) strength of a concrete paving slab shall be defined by the following formula:

$$R = \frac{3\,Pl}{2\,bd^2}$$

where;

R = flexural strength, MPa (psi)

P = failing load, N (lb)

l = span length between rollers, mm (in.)

b = width of the slab along the fracture, mm (in.)

d = thickness of the slab, mm (in.)

7.3.4 Flexural strength tests shall be performed at least once every 40,000 m^2 (400,000 ft^2) of slabs produced or every three months or when a change occurs in manufacturing process, curing method, mixture proportions, cement, aggregate, admixtures, or other material.

7.4 *Scaling test* – This covers the apparatus, specimen preparation and testing method for determining the scaling resistance of the surface of paving slab specimens to freezing and thawing when ponded with a 3% sodium chloride solution. Tests shall be conducted on whole specimens.

7.4.1 Apparatus

7.4.1.1 The freeze-thaw chamber shall consist of a cabinet or cold room capable of maintaining a minimum air temperature of -15 ±3º C (5 ±3º F) within 1 hour of introduction of the specimens. It shall be capable of maintaining thawing temperature not exceeding 30º C (86º F).

7.4.1.2 A balance capable of weighing 500g within an accuracy of ±0.1 g shall be used for measuring the mass of the fine spalled material.

7.4.1.2 A drying oven for the fine spalled material shall have air circulation that achieves a minimum water evaporation rate of 25g/hour.

7.4.1.2 80 µm filter paper shall be dried in the drying oven for at least 17 hours at 105 ±5º prior to its use. After oven drying, the filter paper shall be immediately transferred to a desiccator, cooled to room temperature, and its mass determined to the nearest 0.1 g.

7.4.2 Specimen preparation and testing

7.4.2.1 For test specimens with a length or width larger than 300 mm (12 in.), cut each test specimen to a 300 mm (12 in.) length and 300 mm (12 in.) width. Cut specimens with a diamond-tipped circular saw blade. At least two sides of the test specimen shall remain uncut. After curing per 7.2, the specimens shall be brushed clean with stiff- bristled brush, and all burrs and chards removed with a carborundum stone.

7.4.2.2 An impermeable dike shall be applied around each specimen such that the wearing surface is enclosed within the dike. See Figure 3. Completely seal the bottom and sides of each paving slab such that no water or saline solution can exit.

7.4.2.3 Fill the space inside the dike with a solution consisting of 3 g of anhydrous calcium chloride per 100 mL of tap water having a temperature of 15 C ±3º (65 ±5º F). The level of the solution shall be 5 ±1 mm (3/16 ± 1/16 in.) above the surface of the specimen. Maintain this level of solution throughout the test. Each dike shall be covered immediately to prevent evaporation of the solution and shall remain covered at all times except for measuring material loss and for replenishment of the solution.

The specimens with solution shall be left for 24 ±1 hours with in a room having a temperature of 15 C ±3º (65 ±5º F).

7.4.2.4 Following the 24 hour period, the specimens shall be subject to continuous freeze-thaw cycles, one cycle completed every 24 hours. Each cycle shall consist of 16 ±1 hours of freezing followed by 8 ±1 hours of thawing. Specimen temperature shall conform to -15 ±3º C (5 ±4º F) for the last 2 hours of the freezing cycle and a minimum of 5º C (40 º F) for the last 1 hour of the thawing cycle. Specimen temperature shall be recorded with a temperature probe inside one specimen.

7.4.2.5 The specimens shall be positioned and supported in a freeze-thaw chamber that allows air circulation under, around of over the specimen surfaces. The specimens shall be subjected to continuous freeze-thaw cycles. The temperature in the chamber and the specimen shall be recorded every 15 minutes. If a freezing period can not commence, the specimens shall remain in a thawed condition until freeze-thaw cycles can be resumed. If continuous 24 hour cycles can not be maintained for any reason, then this shall be noted in the report.

7.4.4 After 28, and 49 (if necessary) cycles, all surfaces of the specimens shall be washed with deionized water to remove all loose particles. These particles and spalled material collected at the bottom of the containers shall be washed, filtered using 80 µm filter paper, and dried at 105° C ±3° (220° ±3° F) to a constant mass. This residue shall be defined as mass loss, and expressed in grams. The residue shall be cumulatively weighed after 28 and 49 (if necessary) cycles. A new solution of 3 g of anhydrous sodium chloride per 100 mL of water shall be used following each determination of loss of mass.

7.4.5 The loss of mass shall be calculated in grams per square meter of surface area within the dike to the nearest 0.1 g/m^2.

7.4.6 Complete 28 freeze-thaw cycles unless the surface of the test specimens have disintegrated or lost more than 300 g/m² (or 500 g/m^2 for specimens with architectural finishes). If the loss of mass exceeds 300 g/m^2 (or 500 g/m^2), the test shall continue until 49 freeze-thaw cycles have_been completed. If losses exceed 800 g/m^2 (or 1,200 g/m^2 for specimens with architectural finishes), or disintegration necessitates termination of testing prematurely, the loss of mass shall be determined and added to the previously lost mass.

7.4.7 Scaling tests shall be performed at least once every 80,000 m^2 (800,000 ft^2) of production or every six months or when a change occurs in manufacturing process, curing method, mixture proportions, cement, aggregate, admixtures, or other material.

8. Rejection

8.1 If a sample fails to conform to the specified requirements, the seller shall be permitted to remove units from the shipment. A new sample shall be selected by the purchaser from remaining units from the shipment and tested at the expense of the seller. If the second sample meets the specified requirements, the remaining portion of the shipment represented by the sample meets the specified requirements. If the second sample fails to meet the specified requirements, the remaining portion of the shipment represented by the sample fails to meet the specified requirements.

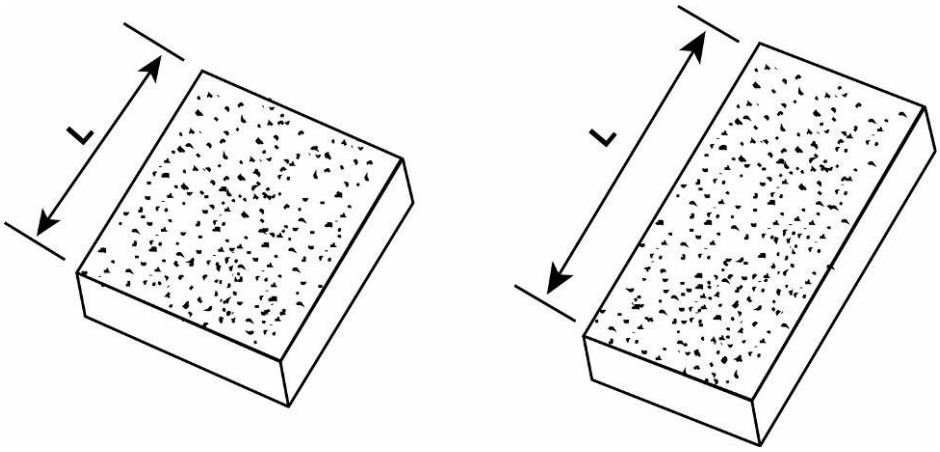


Figure 1
Overall Length

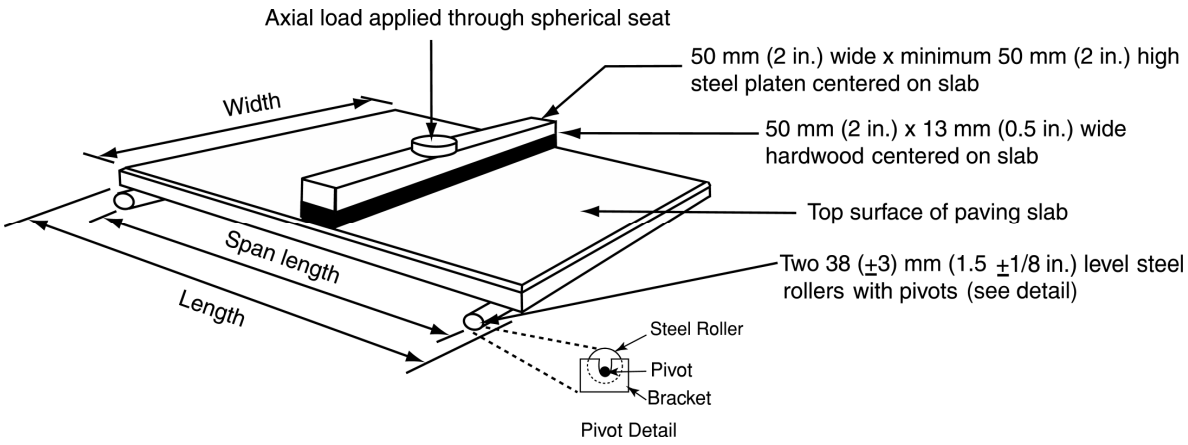


Figure 2
Flexural (Transverse) Strength Test

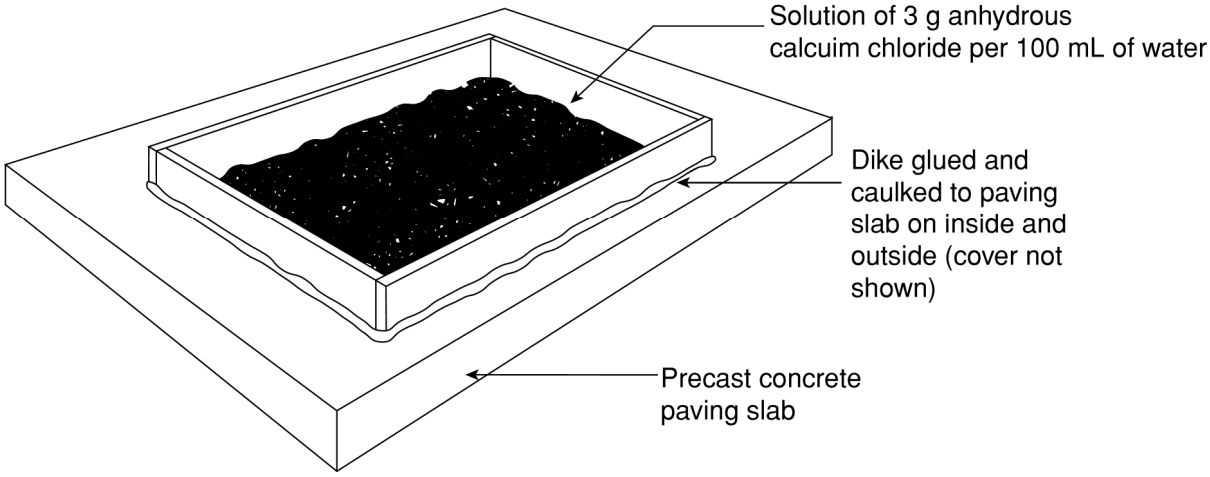


Figure 3 - Scaling Resistance Test

ANEXO A2 - PROJETOS DE NORMA PARA PISOS ELEVADOS (ASTM - VERSÃO NCMA)

ASTM Designation: C XXXX - XX 7/01 DRAFT #5

Standard Specification for Precast Concrete Paving Slabs[1]

1. Scope

1.1 This specification covers the requirements for precast concrete paving slabs manufactured for the construction of paved surfaces. Methods of manufacture include molding low-slump (dry cast) or high-slump (wet cast) concrete.
Note-Specifiers are cautioned to evaluate loading requirements for vehicular traffic.
1.2 When particular features are desired, such as mass classification, higher flexural strength, surface textures, finish, color, or other special features, such properties should be specified by the purchaser. However, local sellers should be consulted as to availability of units having the desired features.
1.3 The values stated in SI units are to be regarded as the standard.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

C 33 Specification for Concrete Aggregates[2]

C 150 Specification for Portland Cement[3]

C 207 Specification for Hydrated Lime for Masonry Purposes[3]

C 260 Specification for Air-Entraining Admixtures for Concrete[2]

C 331 Specification for Lightweight Aggregates for Concrete Masonry Units[2]

C 494 Specification for Chemical Admixtures for Concrete[2]

C 595/C 585M Specification for Blended Hydraulic Cements[3]

C 618 Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete[2]

C 672 Test Method for Scaling Resistance of Concrete Surfaces Exposed to Deicing Chemicals[2]

C 979 Specification for Pigments of Integrally Colored Concrete[2]

---

[1] This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee C-27 on Precast Concrete Products and is the direct responsibility of Subcommittee C27.20 on Architectural and Structural Products.

[2] Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.02.

[3] Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.01.

[4] Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.03.

[5] Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.05.

C 989 Specification for Ground Granulated Blast-Furnace Slag for Use in Concrete and Mortars[2]

C 1157 Performance Specification for Blended Hydraulic Cement[3]

C 1213 Terminology Relating to Precast Concrete Products[5]

C 1240 Specification for Silica Fume for Use in Hydraulic-Cement Concrete and Mortar[5]

D 3665 Standard Practice for Random Sampling of Construction[4]

3. Materials

3.1 Cementitious Materials shall conform to the following applicable ASTM specifications:
3.1.1 Portland Cements - Specification C 150.
3.1.2 Blended Cements - Specification C 595/C 595 M, Types IS or IP.
3.1.3 Hydrated Lime, Type S - Specification C 207.
3.1.4 Fly Ash - Specification C 618.
3.1.5 Ground Slag - Specification C 989.
3.1.6 Silica Fume - Specification C 1240.
3.2 Aggregates shall conform to the following ASTM specifications, except that grading requirements shall not necessarily apply:
3.2.1 Normal Density - Specification C 33.
3.2.2 Lightweight - Specification C 331.
3.3 Chemical Admixtures shall conform to the following applicable ASTM specifications:
3.3.1 Air-entraining Admixtures - Specification C 260.
3.3.2 Water-reducing, Retarding, and Accelerating Admixtures - Specification C 494.
3.3.3 Pigments for Integrally Colored Concrete - Specification C 979.
3.4 Other Constituents - Integral water repellents, fibers, and other materials for which no ASTM standards exist shall be previously established as suitable for use in concrete or shall be shown by test or experience not to be detrimental to the concrete.

4. Terminology

4.1 Architectural finish – A surface modified by mechanical means such as blasting, hammering, polishing, tumbling, washing or other methods.

5. Physical Requirements

5.1 Units shall have an exposed face area greater than 0.065 m2 (101 in.2) and their overall length divided by thickness shall be greater than 4. The minimum thickness shall be 30 mm (1.2 in.). The maximum length and width dimensions shall be 915 mm (36 in.) See Fig. 1.

5.2 Concrete units covered by this specification shall be made from lightweight or normal weight aggregates or mixed lightweight and normal weight aggregates.

5.3 Flexural Strength - At the time of delivery to the work site, the average flexural strength of the test specimens shall be 4.5 MPa (650 psi) with no individual unit less than 4.0 MPa (580 psi) as determined in 7.3.
5.4 Resistance to Scaling - The manufacturer shall satisfy the purchaser using one of the following methods based on the anticipated exposure of the slabs:
(a) No freeze-thaw exposure: no scaling test required.
(b) Freeze-thaw exposure with no use of deicing salts: Proven field performance in a similar application for a minimum of three years.

(c) Freeze-thaw exposure with use o f deicing salts: The average loss of mass of three test specimens shall not be greater than:

(i) 300 g/m^2 of the total inundated surface of each paving slab after 28 cycles of freezing and thawing; or

(ii) 800 g/m^2 of the total inundated surface of each paving slab after 49 cycles of freezing and thawing. Specimens with an architectural finish, ~~except polished surfaces~~, shall not have an average loss of mass greater than: (i) 500 g/m^2 of the total inundated area of each paving slab after 28 cycles of freezing and thawing; or

(ii) 1,200 g/m^2 of the total inundated surface of each paving slab after 49 cycles of freezing and thawing.

Tests shall be conducted in accordance with Section 7.4 on representative units not more than 12 months prior to delivery of units.

5.5 Dimensional Tolerances – Dimensions and concave or convex warpage shall not differ from those agreed upon by the purchaser and the supplier by more than the following amounts:

a) length or width: -1.0 mm to +2.0 mm (0.04 in. to 0.08 in.).

b) height: ±3 mm (0.12 in.).

c) concave or convex warpage in one dimension: up to 450 mm (18 in.), 2.0 mm (0.08 in); or over 450 mm (18 in.), 3.0 mm (0.12 in.).

5.5.1 Dimensions are based on manufacturer's drawings for the particular shape identified. Dimensional testing shall be conducted on the same paving slabs used for flexural strength testing. Samples shall meet tolerances prior to the application of architectural finishes.

6. Visual Inspection

6.1 All units shall be sound and free of defects that would interfere with the proper placing of the units or impair the strength or performance of the construction. Minor cracks incidental to the usual methods of manufacture or minor chipping resulting from customary methods of handling in shipment and delivery shall not be deemed grounds for rejection.

7. Sampling and Testing

7.1 The purchaser or his authorized representative shall be accorded proper facilities to inspect and sample the units at the place of manufacture from the lots ready for delivery.

7.2 Twelve paving slabs shall be randomly sampled from different packages according to ASTM D 3665.

7.2.1 One set of six paving slabs shall be checked for dimensional variations. Three samples from the six shall be tested for flexural strength and, when required, three shall be tested for resistance to scaling. The remaining six slabs shall be cured with

the first, labeled with the date of manufacture and retained either at the place of manufacture or at the testing facility until such time as the test results from the first set of specimens become available.

7.3 Flexural strength - Tests shall be conducted on full-size specimens in accordance with following procedure:

7.3.1 Each specimen shall span two steel supporting rollers each 38 mm ±3 mm (1.5 in. ±0.12 in.) in diameter. See Fig. 2. The span length (spacing of the rollers) shall be 200 mm (8 in.) for units having a maximum length of 250 mm (10 in.). The span length of the rollers shall be 250 mm (10 in.) for units having a length between 250 mm (10 in.) and 500 mm (20 in.). The span length shall be 300 mm (12 in.) for units having a length of greater than 500 mm (20 in.). A pivot shall be required at the center of one of the rollers to counteract any twisting in the slab during the test. The rollers shall be level in all directions and shall support the slab throughout its entire width during testing. The load shall be applied axially through a spherical seating in the testing machine without inducing torsion on the specimen. A 50 mm (2 in.) wide by a minimum 50 mm (2 in.) thick steel platen and a hardwood fillet 50 mm (2 in.) wide shall be placed under the spherical seating and parallel to the bearers. Both shall be centered in span of the slab and extend the entire width of the slab.

7.3.2 Each specimen shall be tested with the wearing surface facing upwards in the testing machine. The load shall be uniformly applied without shock starting from zero to a rate not exceeding 18 N (4 lbf) per second for each 100 mm (4 in.) of width tested until the specimen fails. The accuracy of the applied load shall be ±2%.

7.3.3 Calculation of flexural strength - Flexural (transverse) strength of a concrete paving slab shall be defined by the following formula:

$$R = \frac{3\,Pl}{2\,bd^2}$$

where;

R = flexural strength, MPa (psi)

P = failing load, N (lb)

l = span length between rollers, mm (in.)

b = width of the slab along the fracture, mm (in.)

d = thickness of the slab, mm (in.)

7.3.4 Flexural strength tests shall be performed at least once every ~~80,000~~ 40,000 m^2 (~~800,000~~ 400,000 ft^2) of slabs produced or every ~~six~~ three months or when a change occurs in manufacturing process, curing method, mixture proportions, cement, aggregate, admixtures, or other material.

7.4 Scaling test – Prepare and test slabs in accordance with ASTM C 672, Sections 7 through 9, with the following modifications:

7.4.1 The solution shall have 3 g of anhydrous calcium chloride per 100 mL of water.

7.4.2 The dike shall be covered to prevent evaporation of the solution.

7.4.3 The lowest temperature of the specimen for the freezing cycle shall be –15° ±3° C (5° ±3° F).

7.4.4 After 28, and 49 (if necessary) cycles, all surfaces of the specimens shall be washed with deionized water to remove all loose particles. These particles and spalled material collected at the bottom of the containers shall be washed, filtered using an 80 µm filter paper, and dried at 105° C ±3° (220° ±3° F) to a constant mass. This residue shall be defined as mass loss, and expressed in grams. The residue shall be cumulatively weighed after 28 and 49 (if necessary) cycles. A new solution of 3 g of anhydrous calcium chloride per 100 mL of water shall be used following each determination of loss of mass.

7.4.5 The loss of mass shall be calculated in grams per square meter of surface area within the dike to the nearest 0.1 g/m2.

7.4.6 Complete 28 freeze-thaw cycles unless the surface of the test specimens have disintegrated or lost more than 300 g/m² (or 500 g/m2 for specimens with architectural finishes). If the loss of mass exceeds 300 g/m2 (or 500 g/m2), the test shall continue until 49 freeze-thaw cycles have been completed. If losses exceed 800 g/m2 (or 1,200 g/m2 for specimens with architectural finishes), or disintegration necessitates termination of testing prematurely, the loss of mass shall be determined and added to the previously lost mass.

7.4.7 Scaling tests shall be performed at least once every 40,000 m^2 (400,000 ft^2) of production or every si~~x~~ three months or when a change occurs in manufacturing process, curing method, mixture proportions, cement, aggregate, admixtures, or other material.

8. Rejection

8.1 If a sample fails to conform to the specified requirements, the seller shall be permitted to remove units from the shipment. A new sample shall be selected by the purchaser from remaining units from the shipment and tested at the expense of the seller. If the second sample meets the specified requirements, the remaining portion of the shipment represented by the sample meets the specified requirements. If the second sample fails to meet the specified requirements, the remaining portion of the shipment represented by the sample fails to meet the specified requirements.

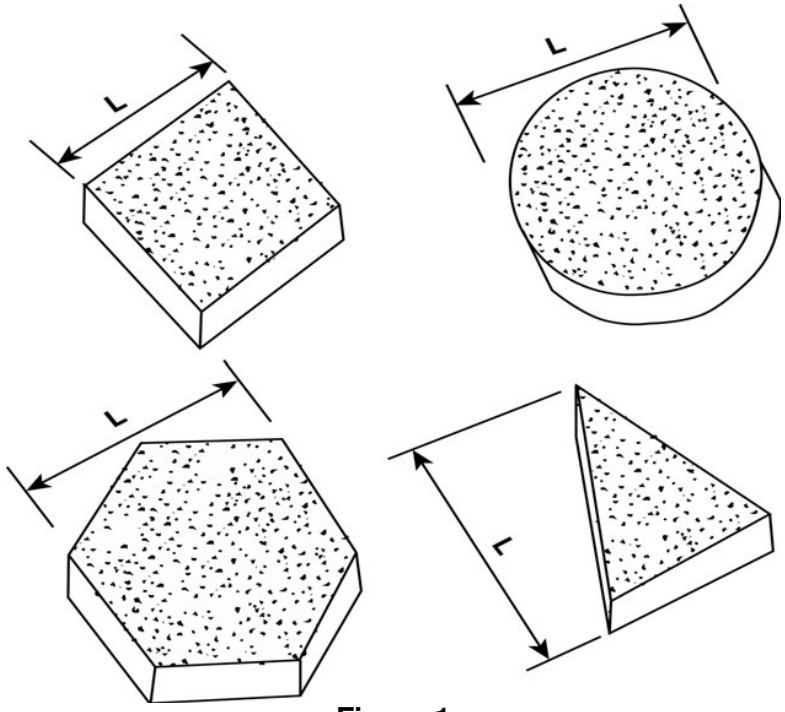


Figure 1
Overall Length

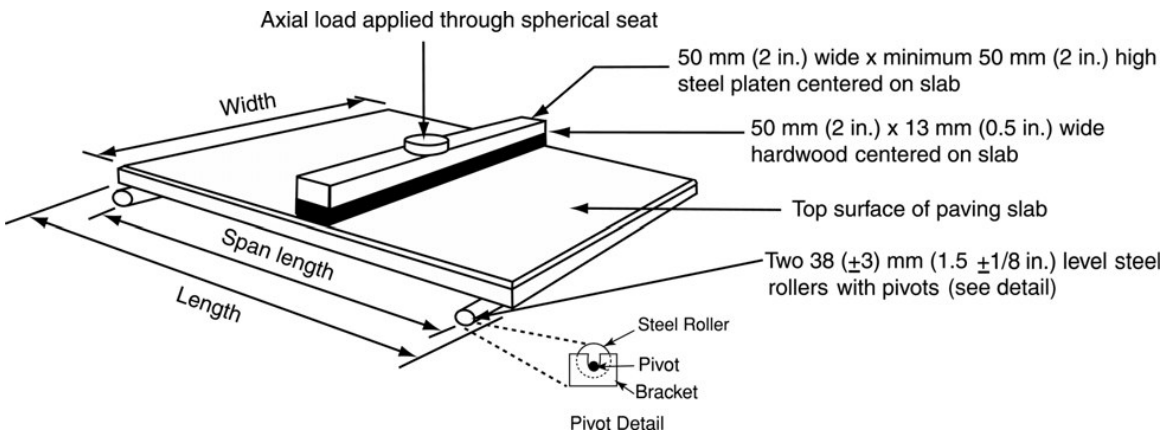


Figure 2 Flexural (Transverse) Strength Test

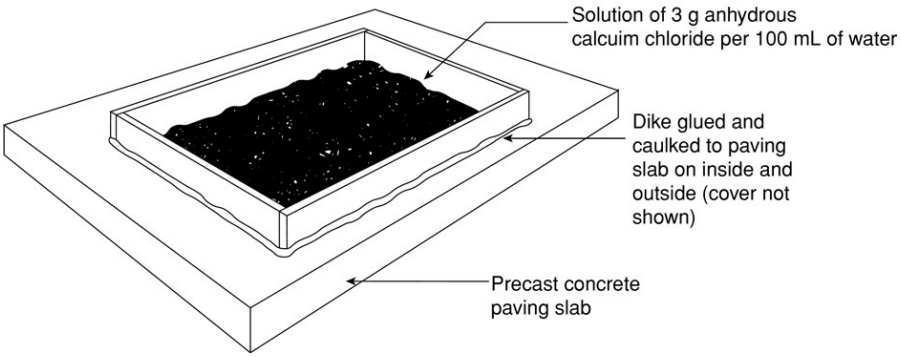


Figure 3

Scaling Resistance Test