

PAVIMENTO INTERTRAVADO

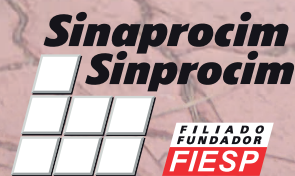
MANUAL DE DESEMPENHO



Associação
Brasileira de
Cimento Portland



ASSOCIAÇÃO
BlocoBrasil





Manual de Desempenho

SISTEMA DE PISO

COM PEÇAS DE CONCRETO

PAVIMENTO INTERTRAVADO

1ª Edição

ABCP

Associação Brasileira de Cimento Portland

BlocoBrasil

Associação Brasileira da Indústria de Blocos de Concreto

SINAPROCIM

Sindicato Nacional da Indústria de Produtos de Cimento

Elaboração e Coordenação Técnica

Engº. Cláudio Oliveira Silva

Execução dos Ensaios

Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP

Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT

Revisão

Engª. Isabela da Silva Gasques

Engº. Paulo Sérgio Grossi

Diagramação e ilustrações

Mari Ângela dos Santos Costella - Upplay Comunicação e Marketing Digital

Silva, Cláudio Oliveira

Sistema de piso com peças de concreto [livro eletrônico] : pavimento intertravado : manual de desempenho / Cláudio Oliveira Silva. -- 1. ed. -- São Paulo, SP : Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP : Associação Brasileira da Indústria de Blocos de Concreto - BlocoBrasil, 2022.

PDF

Bibliografia.

ISBN 978-85-87024-86-2

1. Blocos de concreto 2. Desempenho 3. Pavimentos de concreto I. Título.

22-121957 CDD-625.8

CDD-625.8

Agosto/2022

Sumário

1) SISTEMA DE PAVIMENTO INTERTRAVADO	6
2) DESEMPENHO ESTRUTURAL	7
2.1) Dimensionamento Estrutural do Pavimento Intertravado	7
2.2) Requisitos Gerais	8
2.3) Peças de concreto danificadas	8
2.4) Depressões	8
2.5) Contenções laterais danificadas	9
2.6) Excesso de largura da junta	9
2.7) Escalonamento	9
2.8) Elevações	10
2.9) Fluência horizontal	10
2.10) Perda do material de rejuntamento ou Bombeamento	10
2.11) Falta de peças de concreto	10
2.12) Remendo	11
2.13) Trilha de roda	11
2.14) Limitações de deslocamentos verticais	11
2.15) Cargas verticais concentradas	11
2.16) Resistência aos impactos de corpo duro	12
2.17) Resistência ao impacto de corpo mole	13
3) SEGURANÇA AO FOGO	13
4) SEGURANÇA NO USO E OPERAÇÃO	14



4.1) Coeficiente de atrito da camada de revestimento	14
4.2) Desníveis do pavimento	16
4.3) Frestas na camada de revestimento do pavimento	16
4.4) Segurança no contato direto	16
4.5) Arestas contundentes	16
5) ESTANQUEIDADE	16
6) DESEMPENHO TÉRMICO	17
7) DESEMPENHO ACÚSTICO	18
8) DESEMPENHO LUMÍNICO	20
9) DURABILIDADE	21
9.1) Resistência à umidade do sistema de pisos de áreas molhadas e molháveis	21
9.2) Resistência ao ataque químico dos sistemas de pisos	22
9.3) Resistência ao desgaste em uso	23
10) MANUTENIBILIDADE	24
11) SAÚDE, HIGIENE E QUALIDADE DO AR	25
12) FUNCIONALIDADE E ACESSIBILIDADE	26
13) CONFORTO TÁTIL, VISUAL E ANTROPODINÂMICO	26
13.1) Homogeneidade quanto à planicidade da camada de acabamento do sistema de piso	26
14) ADEQUAÇÃO AMBIENTAL	27
15) CONSIDERAÇÕES FINAIS	27

Manual de Desempenho

Sistema de Piso com Peças de Concreto Pavimento Intertravado

Este manual de desempenho para pavimentos intertravados tem como referência a norma **ABNT NBR 15575** parte 3, que estabelece os requisitos e critérios de desempenho aplicados ao sistema de pisos de uma edificação habitacional, sendo complementado para abranger o uso mais generalizado do pavimento intertravado.

Desse modo, esse manual pode ser utilizado para avaliar o desempenho do pavimento intertravado aplicados em pavimentos de ruas urbanas, vias vicinais, portos, aeroportos, estacionamentos, pátios, áreas de armazenamento, passeios públicos e outras utilizações desse versátil sistema de pavimentação.

Os resultados apresentados nesse manual devem ser utilizados como referência e não substituem a necessidade de avaliação dos requisitos do sistema de pavimentação em casos específicos, devendo ser utilizado como um guia informativo referente aos diversos requisitos que um sistema de pavimentação deve atender.

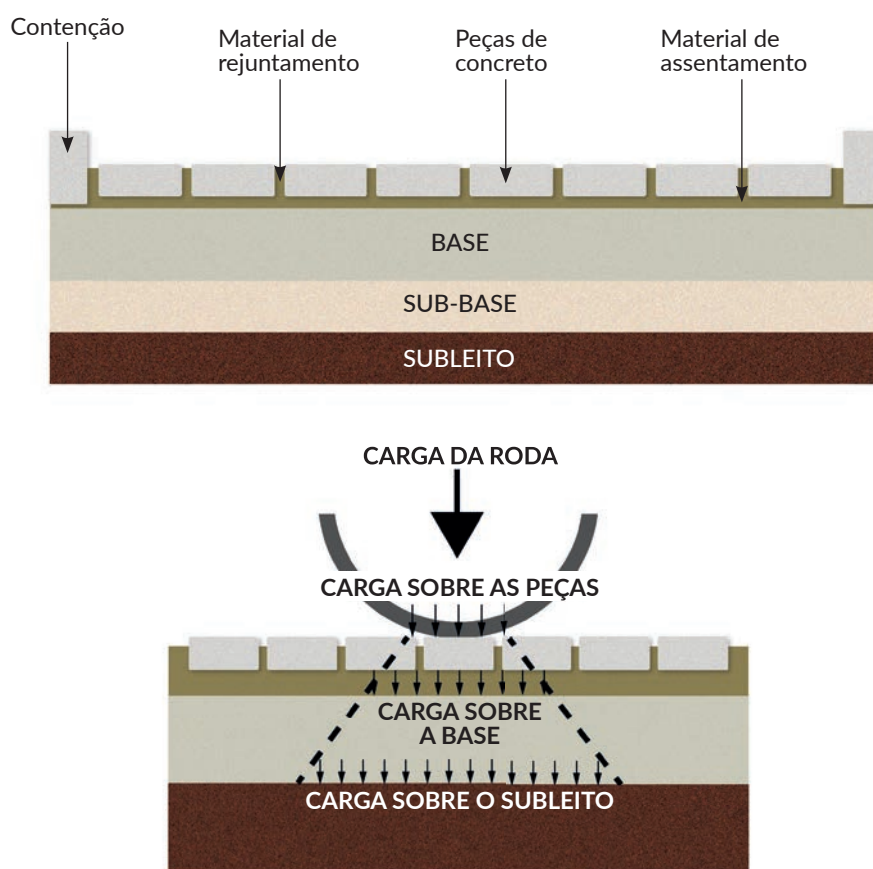
1) SISTEMA DE PAVIMENTO INTERTRAVADO

O sistema de pavimento executado com uso de pavimento intertravado, conforme a norma **ABNT NBR 15953**¹, consiste em um pavimento flexível cuja estrutura é composta por uma camada de base (ou base e sub-base), seguida por camada de revestimento constituída por peças de concreto sobrepostas em uma camada de assentamento e cujas juntas entre as peças são preenchidas por material de rejuntamento e o intertravamento do sistema é proporcionado pela contenção. Numa edificação, o sistema de piso, também engloba parte das estruturas horizontais da edificação, ou seja, as lajes.

Portanto, o foco desse manual, quando relacionado à uma edificação, estará relacionado apenas os requisitos relativos aos pisos não atrelados à sua estrutura, aqui chamados de pavimentos.

A norma de desempenho **ABNT NBR 15575-3**² estabelece requisitos para o sistema de pisos em edificações e que nesse manual foram adaptados e complementados considerando além do uso da pavimentação intertravada em outros tipos de pavimentação, considerando o tráfego de veículos, pedestres e armazenamento de cargas.

Figura 1 – Estrutura básica do Pavimento Intertravado e Diagrama de distribuição de cargas



¹ Associação Brasileira de Normas Técnica. ABNT. NBR 15953. Pavimento intertravado com peças de concreto Execução. Rio de Janeiro, 2011.

² Associação Brasileira de Normas Técnica. ABNT. NBR 15575. Edificações habitacionais - Desempenho Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos. Rio de Janeiro, 2021.



2) DESEMPENHO ESTRUTURAL

O desempenho estrutural de qualquer pavimento, depende principalmente do correto dimensionamento de sua estrutura, levando-se em consideração as condições de exposição e tipologia de tráfego.

A seguir são apresentados os requisitos que devem ser atendidos pelo pavimento intertravado de modo a cumprir o desempenho estrutural requerido pelo usuário.

2.1) Dimensionamento Estrutural do Pavimento Intertravado

O pavimento intertravado, sob a ação do tráfego, tende gradualmente a acumular deformações semelhantes ao que ocorre com um pavimento flexíveis de asfalto. No entanto, a quantidade e taxa de acúmulo de deformação das camadas de um pavimento intertravado tende a ser menor do que as observadas em pavimentos de asfalto de espessura semelhante (CMA, 2004³).

Os métodos disponíveis para projetar um pavimento intertravado podem ser divididos nas seguintes categorias:

- Conceito de espessura equivalente com asfalto
- Método baseado na experiência (catálogo)
- Métodos de dimensionamento baseados em pesquisa
- Métodos de projeto mecanicista

Alguns dos principais métodos utilizados para dimensionamento de pavimentos intertravados são apresentados a seguir:

- *American Society of Civil Engineers Transportation & Development Institute Standard. ASCE 58-10. Structural Design of Interlocking Concrete Pavement for Municipal Streets and Roadways.*

Esse método se aplica a áreas pavimentadas sujeitas a cargas de até 10 milhões de passagens de eixo equivalente de 80 kN com uma velocidade do veículo de até 70 km/h. A metodologia é adotada pelo **Interlocking Concrete Pavement Institute – ICPI** e está descrito no **Tech Spec 4⁴**.

- *British Standards Institution. BSI. BS 7533-2. Pavements Constructed with Clay, Natural Stone or Concrete Pavers - Part 2: Guide for the Structural Design of Lightly Trafficked Pavements Constructed of Clay Pavers or Precast Concrete Paving Blocks.*

A norma britânica fornece orientação sobre o projeto de pavimentos de tráfego leve para todas as áreas pavimentadas sujeitas ao tráfego de carga de até 11.000 kg. Aplica-se esse método em áreas com até 0,5 msa (milhões de eixo padrão) que inclui ruas sem saída, calçadas, estacionamentos, ruas de pouco trânsito, estacionamentos privados e industriais e estradas vicinais.

- *American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C. AASHTO. Guide for Design of Pavement Structures. 1986.* O método foi inicialmente baseado em metodolo-

³ Concrete Manufacturers Association – CMA. Concrete Block Paving. Book 2. Design Aspect. Fourth edition. 2004.

⁴ Interlocking Concrete Pavement Institute – ICPI. Structural Design of Interlocking Concrete Pavement for Roads and Parking Lots. Tech Spec 4. ICPI 2020.



gias de dimensionamento para pavimentos de asfalto, sendo necessárias modificações no método AASHTO para aplicação ao pavimento intertravado. Assim como outros procedimentos existentes, o método é baseado na avaliação de quatro fatores e seu efeito interativo. São eles: meio ambiente, tráfego, solo do subleito e materiais do pavimento.

- *Portland Cement Association – PCA. Structural Design of Pavements Surfaced with Concrete Paving Blocks (pavers). Skokie, 1984.*

O método utiliza parâmetros de tráfego (tipo, carga e frequência de veículos), características dos materiais do subleito, sub-base e base e características das peças de concreto. Os veículos são separados em dois grupos: veículos de linha e veículos especiais (guindastes, empilhadeiras de grande porte, transportadores de contêineres).

2.2) Requisitos Gerais

O pavimento não deve apresentar ruína, seja por ruptura ou perda de estabilidade, nem falhas que coloquem em risco a integridade física do usuário. Para assegurar estabilidade e segurança estrutural, o sistema de pavimentação deve ter sido dimensionado com um método apropriado ao seu uso e os danos causados pelas condições normais de uso devem estar dentro dos critérios da norma **ASTM E 2840⁵**.

Nesse método é calculado o PCI – Pavement Conditions Index – que consiste em um indicador numérico que avalia o estado da superfície do pavimento, com base no desgaste causado durante o uso do pavimento, servindo como um indicador da integridade estrutural e das condições operacional da superfície.

O PCI não mede a capacidade estrutural e nem for-

nece medição direta de resistência à derrapagem ou rugosidade. O PCI serve apenas para determinar as necessidades de manutenção e reparo e quais são as áreas prioritárias para intervenção.

Nesse manual, os requisitos utilizados para obter o PCI de um pavimento intertravado são utilizados para avaliar de forma indireta o desempenho estrutural do pavimento.

O PCI de cada um dos parâmetros avaliados é uma proporção entre a área com dano e a área total avaliada do pavimento. A formação de lotes de amostragem deve seguir as especificações da norma ASTM E 2840.

O nível de desempenho estrutural considerado mínimo para um pavimento intertravado em uso é obtido com PCI entre 70% e 85%, faixa considerada satisfatória. Já um nível de desempenho superior compreende um PCI entre 86% e 100%.

2.3) Peças de concreto danificadas

Esse requisito se refere às condições visuais das peças de concreto. Na área do pavimento a ser analisada podem ocorrer uma ou duas peças com: fissuras, com lascas ou cantos quebrados e sem apresentar separação entre as peças que possam comprometer o desempenho do pavimento (ASTM E 2840).

2.4) Depressões

Depressões são áreas de superfície do pavimento que estão posicionadas mais baixas do que as áreas circundantes. Esta condição é geralmente causada pelo recalque do subleito ou da base granular subjacente.

O limite de profundidade da depressão é de 13 mm quando avaliado com uma régua de 3 m (ASTM E 2840).

⁵ American Society for Testing and Materials. ASTM E 2840. Standard Practice for Pavement Condition Index Surveys for Interlocking Concrete Roads and Parking Lots. 2015.



A norma ABNT NBR 15953 estabelece uma profundidade máxima de 10 mm, mas essa é uma condição de recebimento do pavimento, ainda antes do uso.

2.5) Contenções laterais danificadas

As guias ou meio-fio, ou ainda as sarjetas ou tiras de borda são os dispositivos utilizados para fornecer apoio lateral e conter as peças de concreto ao longo do perímetro do pavimento.

A contenção do pavimento intertravado é considerada essencial para resistir aos esforços de deslocamento das peças, minimizam a perda de material de rejuntamento e da camada de assentamento e impedem a rotação das peças de concreto. A perda de contenção lateral é caracterizada pelo alargamento das juntas entre as peças, na borda externa do pavimento ou na transição de tipos de pavimento.

As peças localizadas na borda do pavimento podem apresentar rotação vertical e horizontal, bem como afundamento de borda. Esse problema é mais notável entre 0,3 m e 0,6 m da borda do pavimento. O limite de abertura das juntas entre as peças na região próxima às contenções laterais é de 6 mm à 13 mm, desde que não ocorra evidência de rotação da peça ou meio-fio ou outro dispositivo de contenção (ASTM E 2840).

2.6) Excesso de largura da junta

A largura excessiva das juntas entre as peças pode ocorrer a partir de uma série de fatores, incluindo má execução, falta de material de rejuntamento e mesmo danos na contenção lateral, recalques da base ou subleito etc.

À medida que as juntas se tornam mais largas, há perda do intertravamento e a superfície do pavimento torna-se menos rígida, podendo levar à sobrecarga da subestrutura do pavimento, além de facilitar a entrada de água no pavimento, o que irá acelerar os danos à estrutura.

O limite aceitável de abertura das juntas entre as peças de concreto em toda a área do pavimento é de até 10 mm (ASTM E 2840).

No momento de entrega do pavimento, a espessura média das juntas entre as peças deve ser de 3 mm, podendo variar de 2 mm a 5 mm, conforme especificado na norma ABNT NBR 15953.

2.7) Escalonamento

O escalonamento se caracteriza pela elevação ou rotação de peças de concreto de forma diferencial em relação às peças adjacentes formando degraus. O escalonamento pode ser causado pelo recalque da camada de assentamento, falhas de execução da camada de assentamento ou bombeamento do material de rejuntamento ou do material de assentamento.

O escalonamento pode reduzir o conforto de rolamento e trazer risco à segurança dos pedestres. A falha é caracterizada pela elevação individual das peças de concreto em relação às peças adjacentes. Essa patologia também pode ser frequentemente associada a outras mais graves como a elevação, recalque ou a formação de trilhas de roda.

A medição do escalonamento deve ser efetuada com uso de uma régua metálica de 30 cm de comprimento colocada na peça elevada, medindo-se a altura do degrau entre as peças.

O escalonamento é medido em metros quadrados de área de superfície. A diferença de elevação máxima é de 6 mm (ASTM E 2840).



2.8) Elevações

As elevações são áreas da superfície do pavimento que possuem elevações mais altas do que as áreas circundantes. As elevações são tipicamente causadas pela elevação diferencial dos solos subjacentes (congelamento do solo) ou ser resultado da instabilidade do subleito e podem ocorrer em conjunto com recalque ou formação de trilhas de roda.

As elevações são medidas em metros quadrados de superfície afetada. Deve-se utilizar uma régua metálica com 3 m de comprimento. Nivela a régua sobre a área levantada e meça a altura máxima para a área adjacente sem elevação.

A altura máxima deve ser de 13 mm (ASTM E 2840).

2.9) Fluência horizontal

A fluência horizontal é o deslocamento longitudinal do pavimento causado pela carga de tráfego. Independentemente do padrão inicial de assentamento das peças de concreto, a superfície do pavimento deve apresentar um padrão uniforme.

Deslocamentos no alinhamento das peças podem indicar a ocorrência de fluência horizontal. A fluência horizontal é medida em metros quadrados de área de superfície.

O deslocamento do padrão de assentamento é medido com uso de uma linha de 15 m de comprimento (ou na dimensão total do pavimento caso a largura seja menor que 15 m) colocada nos sentidos longitudinal e transversal e medindo-se a distância do centro da linha até o ponto mais próximo do alinhamento das juntas.

O maior deslocamento permitido no centro da linha de referência é de 13 mm (ASTM E 2840).

2.10) Perda do material de rejuntamento ou Bombeamento

A perda ou bombeamento do material de rejuntamento pode ocorrer por vários fatores, incluindo; chuva forte, varrição ou lavagem com água, bombeamento sob carga de tráfego etc. O material de rejuntamento é considerado essencial para proporcionar o intertravamento e, portanto, para a rigidez do pavimento.

A perda do material de rejuntamento é identificada pela ausência de material entre as peças ou dispositivos de contenção lateral. É medida em metros quadrado de superfície afetada.

A profundidade da perda de material de rejuntamento é medida a partir do fundo da borda chanfrada da peça de concreto. Deve-se inserir uma régua de metal fina na junta até que a régua pare na superfície do material de rejuntamento dentro da junta.

A perda de material de rejuntamento deve corresponder a uma altura máxima de 13 mm (ASTM E 2840).

2.11) Falta de peças de concreto

Como o nome indica, referem-se a áreas da superfície do pavimento com ausência de peças de concreto, o que pode ser resultado de simples remoção ou mesmo desintegração da peça por falta de resistência mecânica.

Obviamente, a falta de peças de concreto compromete a integridade da estrutura do pavimento e tem o mesmo efeito de buracos em pavimentos de asfalto.

Deve-se evitar essa condição no pavimento, sendo aceitável apenas a ausência de uma única peça de forma aleatória na área avaliada (ASTM E 2840).

2.12) Remendo

O remendo refere-se a reparos executados no pavimento intertravado, onde havia ausência de grande número de peças de concreto, com uso de um material diferente como asfalto, concreto ou agregados.

Esse tipo de solução deve ser evitado pois compromete a integridade da estrutura do pavimento e aumenta a rugosidade superficial prejudicando o conforto de rolamento e a segurança.

Reparos no pavimento intertravado devem ser sempre executados com uso de novas peças de concreto, similares ao pavimento original (ASTM E 2840).

2.13) Trilha de roda

A trilha de roda caracteriza-se por uma depressão da superfície no eixo longitudinal do tráfego, notadamente no caminho da roda e não deve ser confundido com elevações.

A formação de sulcos de trilha de roda é normalmente causada pelo recalque do subleito subjacente ou da base granular sob o carregamento do tráfego. Pode ainda indicar um enfraquecimento ou perda de material de assentamento e perda de capacidade estrutural. As trilhas de roda podem causar o aumento da rugosidade superficial e podem causar aquaplanagem de veículos devido ao acúmulo de água.

A trilha de roda é medida em metros quadrados de superfície afetada. Para determinar a profundidade do sulco da trilha de roda, uma régua metálica com 3 m de comprimento deve ser colocada transversalmente ao longo do sulco e a profundidade medida no ponto mais baixo.

A profundidade máxima aceitável é de 13 mm (ASTM E 2840).

2.14) Limitações de deslocamentos verticais

Esse requisito consta da norma ABNT NBR 15575-3 e se enquadra de forma mais adequada para os sistemas de piso (vedações horizontais ou lajes) em edificações.

No caso dos pavimentos intertravados, podemos considerar que as limitações de deslocamentos verticais é um requisito que já está abordado nos itens 2.4, 2.7, 2.8 e 2.13, todos tratando de deformações verticais do sistema de piso.

2.15) Cargas verticais concentradas

O pavimento deve resistir à cargas verticais concentradas previsíveis nas condições normais de serviço, sem apresentar ruína ou danos localizados nem deslocamentos excessivos.

O sistema de piso não pode apresentar ruptura ou quaisquer outros danos, quando submetidos a cargas verticais concentradas de 1 kN, aplicadas no ponto mais desfavorável, não podendo, ainda, apresentar deslocamentos superiores a $L/500$, se constituídos ou revestidos de material rígido, ou $L/300$, se constituídos ou revestidos de material dúctil (ABNT NBR 15575-3). O ensaio deve ser realizado de acordo com os procedimentos descritos no Anexo B da norma ABNT NBR 15575-3.

Para os pavimentos intertravados, o projetista deve avaliar a necessidade e relevância desse requisito, visto que os métodos de dimensionamento para pavimentos intertravados já consideram as ações de cargas verticais concentradas.

2.16) Resistência aos impactos de corpo duro

A resistência aos impactos de corpo duro, traduz-se na energia de impacto a ser aplicada em sistemas de pisos e correspondem a choques acidentais gerados pela própria utilização do pavimento na edificação ou via. Os impactos com maiores energias referem-se ao estado-limite último, sendo os de utilização aqueles com menores energias (ABNT NBR 15575-3).

A verificação da resistência ao impacto de corpo

duro, deve ser realizada conforme a norma ABNT NBR 15575-3 Anexo A, podendo ser realizado ensaio em laboratório ou na própria obra, devendo o corpo de prova de ensaio representar fielmente as condições executivas da obra.

A **Tabela 1** apresenta os resultados dos ensaios de resistência ao impacto executado em amostra de peças de concreto para pavimento intertravado, realizados no laboratório da ABCP.

TABELA 1

Impacto de corpo duro. Ensaio realizado na ABCP. Relatório 144.409

Amostra de peça de concreto	Classe de Resistência da peça de concreto (MPa)	Massa da esfera de aço (g)	Altura de queda da esfera de aço (m)	Energia de Impacto de corpo duro (J)	Avaliação visual dos corpos-de-prova
Retangular (10x20x8)cm	35	514	1,0	5	Formação de mocha de Φ 9 mm
		1030	3,0	30	Formação de mocha de Φ 14 mm
Retangular (10x20x8)cm	50	514	1,0	5	Formação de mocha de Φ 9 mm
		1030	3,0	30	Formação de mocha de Φ 14 mm
A amostra foi constituída por um conjunto de peças assentadas sob camada de areia de 4 cm, travadas em seu perímetro e suas juntas rejuntadas também com areia, reproduzindo-se uma seção de revestimento do pavimento intertravado.					

As peças de concreto devem resistir aos impactos de corpo duro previsíveis nas condições normais de serviço, sem apresentar ruína no sistema de

pisos. Deve-se atender às solicitações indicadas na Tabela 2.

**TABELA 2**

Critérios e níveis de desempenho para impacto de corpo duro em sistemas de pisos (ABNT NBR 15575-3).

Energia de Impacto de corpo duro (J)	Critério de Desempenho
5	Não ocorrência de ruptura total da camada de acabamento. Permitidas falhas superficiais, como mossas, lascamentos, fissuras e desagregações.
30	Não ocorrência de ruína e transpassamento. Permitidas falhas superficiais, como mossas, lascamentos, fissuras e desagregações.

2.17) Resistência ao impacto de corpo mole

Para o sistema de pavimentos intertravados, o requisito de impactos de corpo mole estabelecido na norma ABNT NBR 15575-3 não apresenta significância do comportamento em uso, sendo indicado apenas no caso de pisos elevados de placas.

3) SEGURANÇA AO FOGO

Os materiais que compõem o sistema de pavimentos intertravados, constituído do revestimento de peças de concreto e as demais camadas granulares – assentamento, base e sub-base - composta de agregados, se caracterizam como materiais incombustíveis (classe I) conforme a norma ABNT NBR 9442.

A Tabela 3 apresenta as classes de materiais conforme especificado na norma ABNT NBR 15575-3.

TABELA 3

Classificação dos materiais que compõem as camadas do sistema de piso (ABNT NBR 15575-3).

Classe		Método de Ensaio		
		ISO 1182	ABNT NBR 9442	ASTM E 662
I		Incombustível $\Delta T \leq 30^{\circ}\text{C}$, $\Delta T_m \leq 50\%$, $t_f \leq 10\text{s}$	-	-
II	A	Combustível	$l_p \leq 25$	$D_m \leq 450$
	B	Combustível	$l_p \leq 25$	$D_m > 450$
III	A	Combustível	$25 < l_p \leq 75$	$D_m \leq 450$
	B	Combustível	$25 < l_p \leq 75$	$D_m > 450$
IV	A	Combustível	$75 < l_p \leq 150$	$D_m \leq 450$
	B	Combustível	$75 < l_p \leq 150$	$D_m > 450$
V	A	Combustível	$150 < l_p \leq 400$	$D_m \leq 450$
	B	Combustível	$150 < l_p \leq 400$	$D_m > 450$
VI		Combustível	$l_p > 400$	-

Legenda: ΔT : Variação de temperatura no interior do forno. Δm : Variação de massa do corpo-de-prova. t_f : Tempo de flamejamento do corpo-de-prova. l_p : Índice de propagação superficial de chama. D_m : Densidade específica óptica máxima de fumaça.

Devido às características dos materiais utilizados no pavimento intertravado, não é necessária a realização de ensaios para a comprovação desse requisito.

4) SEGURANÇA NO USO E OPERAÇÃO

A segurança no uso e operação do pavimento intertravado está diretamente relacionada à regularidade e condições superficial do pavimento. Além dos danos causados por falhas no desempenho

estrutural como visto no item 2 desse manual, há requisitos específicos ligados à superfície do pavimento e que irão garantir a segurança no uso e operação.

4.1) Coeficiente de atrito da camada de revestimento

A resistência ao escorregamento não é uma característica intrínseca do material da superfície, além de não ser uma constante em todas as condições de utilização, uma vez que depende de uma série de fatores relacionados, como: o material empregado, tipo de solado que caminha sobre ele, meio físico entre o solado e a superfície do produto e a forma como o usuário interage com a superfície durante seu uso (ABNT NBR 15575-3).

Desse modo, a resistência ao escorregamento é avaliada de forma indireta através de medida do coeficiente de atrito da camada de revestimento,

no caso do pavimento intertravado, o coeficiente de atrito é medido diretamente na superfície das peças de concreto.

Para os revestimentos à base de cimento, o método de ensaio adequado é o procedimento estabelecido na norma **ABNT NBR 16790**⁶ Anexo A - Determinação da resistência ao escorregamento (coeficiente de atrito dinâmico).

A Tabela 4 apresenta o critério para aprovação dos resultados de VTP – Valor Teste do Pêndulo conforme a norma NBR 16790.

TABELA 4

Valor VTP e potencial de escorregamento correspondente (ABNT NBR 16790).

Valor Teste do Pêndulo (VTP)	Potencial de escorregamento
0 a 19	Alto
20 a 39	Moderado
40 a 74	Baixo
≥ 75	Extremamente baixo

A Tabela 5 apresenta resultados dos ensaios de coeficiente de atrito dinâmico de peças de con-

creto para pavimento intertravado, realizados no laboratório da ABCP.

⁶ Associação Brasileira de Normas Técnica. ABNT. NBR 16790. Pisos assentados de placas de concreto – Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2020.

TABELA 5

Ensaio de Coeficiente de Atrito Dinâmico. Ensaio realizado na ABCP - Relatório 144.379.

Amostra de peça de concreto	Classe de Resistência da peça de concreto (MPa)	Cor da superfície e número de camadas da peça	Valor Teste do Pêndulo médio (VTP)	Potencial de escorregamento
Retangular (10x20x6)cm	35	Cinza Natural – Camada única	68	Baixo
Retangular (10x20x6)cm	35	Vermelho – Camada única	59	Baixo
Retangular (10x20x8)cm	50	Vermelho – Camada dupla	73	Baixo
16 faces (24x10x8)cm	50	Cinza Natural – Camada única	70	Baixo
Cor cinza natural refere-se à cor do cimento (cinza claro) sem uso de adições escuras ao cimento ou pigmentos ao concreto.				

A norma ABNT NBR 16790 estabelece que para áreas molháveis, não pode ser aceito valor de VTP, menor do que 40 no ensaio realizado com amostra molhada. Especificamente em edificações, os ambientes onde é requerida resistência ao escorregamento são: áreas molhadas, rampas, escadas em áreas de uso comum e terraços.

Quanto maior o coeficiente de atrito, menor será o potencial de escorregamento, resultando em maior segurança para veículos e pedestres. Um estudo realizado pelo **ICPI**⁷ compara as distâncias de frenagem em diferentes condições de velocidade e condições de exposição entre o pavimento intertravado e o pavimento de asfalto (Tabela 6).

TABELA 6

Comparativo de distâncias de frenagem entre pavimento intertravado e pavimento de asfalto. (ICPI, 1998).

Tipo de pavimento	Distância de frenagem (m)					
	20 km/h seco	20 km/h úmido	40 km/h seco	40 km/h úmido	60 km/h seco	60 km/h úmido
Pavimento de asfalto	1,70	3,20	5,85	9,60	14,2	26,7
Pavimento Intertravado	1,68	2,50	5,23	8,15	13,6	21,3

⁷ Interlocking Concrete Pavement Institute. ICPI. Slip and Skid Resistance of Interlocking Concrete Pavements. ICPI Tech Spec 13. 1998.



4.2) Desníveis do pavimento

Considerando-se o uso do pavimento intertravado exclusivamente para tráfego de pedestres, deve-se sinalizar qualquer desnível abrupto superiores a 5 mm de forma a garantir a visibilidade do desnível, por exemplo, por mudanças de cor, testeiros e faixas de sinalização.

Para as áreas comuns deve ser atendida a **ABNT NBR 9050**⁸. O projeto do pavimento deve recomendar cuidados específicos para as camadas de acabamento aplicadas em escadas ou rampas (acima de 5 % de inclinação) e nas áreas comuns.

4.3) Frestas na camada de revestimento do pavimento

A norma de desempenho ABNT NBR 15575-3 estabelece que o sistema de piso não deve apresentar abertura de frestas (ou juntas sem preenchimento), entre componentes do piso, maior que 4 mm, excetuando-se o caso de juntas de movimentação em ambientes externos.

No caso do pavimento intertravado, a norma ABNT NBR 15953 especifica que as juntas entre as peças de concreto devem apresentar abertura entre 2 mm e 5 mm, sendo essa abertura tipicamente de 3 mm. As juntas devem ser preenchidas com material de rejuntamento que atenda as especificações da norma ABNT NBR 15953.

4.4) Segurança no contato direto

Esse requisito objetiva evitar lesões nos usuários, provocadas pelo contato direto de partes do corpo com a superfície do sistema de piso.

Nesse sentido, as peças de concreto devem apresentar superfície regulares, sem rugosidade ou partes cortantes que possam causar qualquer dano ou insegurança aos usuários.

4.5) Arestas contundentes

A superfície do sistema de piso não pode apresentar arestas contundentes e nem pode liberar fragmentos perfurantes ou contundentes, em condições normais de uso e manutenção, incluindo as atividades de limpeza.

A norma **NBR 9781**⁹ estabelece que as peças de concreto devem apresentar arestas regulares e sem rebarbas.

5) ESTANQUEIDADE

Como estabelece a norma ABNT NBR 15575-3, a água é o principal agente de degradação de um amplo grupo de materiais de construção. Entretanto, no caso das peças de concreto, o contato direto com a água ou umidade não altera as propriedades do material.

O eventual dano causado pela água de chuva ao pavimento intertravado, pode ocorrer por ação mecânica, quando a água de escoamento superficial atinge velocidade suficiente para promover a remoção do material de rejuntamento ou por meio do bombeamento, a partir de falhas de drenagem do pavimento.

Esses aspectos estão contemplados na avaliação do desempenho estrutural do pavimento intertravado apresentado no item 2 desse manual e deve ser objeto de considerações de projeto durante o dimensionamento da estrutura do pavimento.

⁸ Associação Brasileira de Normas Técnica. ABNT. NBR 9050. Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro, 2021.

⁹ Associação Brasileira de Normas Técnica. ABNT. NBR 9781. Peças de concreto para pavimentação — Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

6) DESEMPENHO TÉRMICO

A contribuição do sistema de piso em relação ao desempenho térmico, seja em uma edificação ou em uma obra de infraestrutura, está relacionada a sua refletância e emissividade térmica.

As peças de concreto, por conta das características do material, normalmente apresentam coeficiente de refletância maior e menor emissividade, se comparado aos materiais escuros normalmente utilizados em pavimentos de asfalto. Essas características do concreto resultam em menor temperatura superficial do pavimento intertravado.

Os pavimentos intertravados são utilizados nas cidades com o conceito de pavimentos frios (cool pavements) e são utilizados para diminuir o efeito de ilhas de calor nos centros urbanos mais adensados. A Figura 2 ilustra a diferença de temperatura superficial entre o pavimento intertravado e o pavimento

asfáltico (comparação apenas ilustrativa).

A refletância solar e a emissividade térmica são importantes fatores que afetam a temperatura do ar ambiente e próximo à superfície. Superfícies com baixa refletância solar, absorvem uma alta fração da energia solar recebida. Uma fração dessa energia absorvida é conduzida para o solo e edificações do entorno, uma fração será lançada ao ar por convecção (ocasionado temperaturas do ar mais altas), e uma fração é irradiada para o céu (ASTM E 1980¹⁰).

A refletância pode ser avaliada utilizando-se o método descrito na ASTM E 1980. O valor do índice de refletância solar (SRI) - é a T_s (temperatura de superfície em estado estacionário) relativo de uma superfície em relação ao branco padrão (SRI = 100) e ao preto padrão (SRI = 0), sob condições padrão de ambiente.

Figura 2 – Temperatura superficial medida com termômetro laser com distância de cerca de 100 metros nas mesmas condições de exposição.



Pavimento Intertravado



Pavimento de Asfalto

¹⁰American Society for Testing and Materials. ASTM E 1980. Standard Practice for Calculating Solar Reflectance Index of Horizontal and Low-Sloped Opaque Surfaces. 2019.



A Tabela 7 apresenta resultados do ensaio de índice de refletância solar – SRI e Emissividade de uma amostra de peças de concreto para pavimento intertravado, realizados no laboratório do IPT.

TABELA 7

Determinação da Refletância à Radiação Solar. Ensaio realizado pelo IPT 1.128.140-203

Amostra de peça de concreto	Cor da superfície peça	Refletância à radiação solar SRI	SRI em função do coeficiente de convecção (hc)		Emissividade à temperatura ambiente
16 faces (24,5x11,0x8,0)cm - 50 MPa	Cor Cinza Natural	31%	5 (W/m².K) (baixa velocidade do ar)	33,0	0,90
			12 (W/m².K) (média velocidade do ar)	33,4	
			30 (W/m².K) (alta velocidade do ar)	33,9	
Cor cinza natural refere-se à cor do cimento (cinza claro) sem uso de adições escuras ao cimento ou pigmentos ao concreto.					

Os sistemas de classificação LEED - Leadership in Energy and Environmental Design, são baseados em pontos. Os pontos são concedidos por atender a determinados requisitos, como a conservação de energia. O Efeito Ilha de Calor estabelecido no Crédito 7, fornece até 2 pontos para ações redução do efeito ilha de calor. Um ponto pode ser obtido pelo uso de material de pavimentação com índice de refletância solar (SRI) de pelo menos 29% para um mínimo de 50% da área do terreno do local (MAECEAU ¹¹).

7) DESEMPENHO ACÚSTICO

Em pavimentos, podemos considerar que o desempenho acústico estará relacionado à geração de ruído causado pelo atrito dos pneus dos veículos em contato com a superfície do pavimento.

Em muitas aplicações, a maior geração de ruído, característico do pavimento intertravado, pode ser considerada positiva. Entre as aplicações mais adequadas do pavimento intertravado, está a implantação de medidas de **moderação do tráfego**¹². Além disso, a geração de ruído proporcionada pelas juntas do pavimento também é muito bem aceita quando se trata da pavimentação de Estradas-parque, sendo o pavimento intertravado o único sistema adequado.

Além da geração de ruído, que auxilia no alerta antecipado de animais em travessia de via, há também a indução de redução de velocidade, o maior coeficiente de atrito se comparado ao asfalto e a menor temperatura superficial do pavimento.

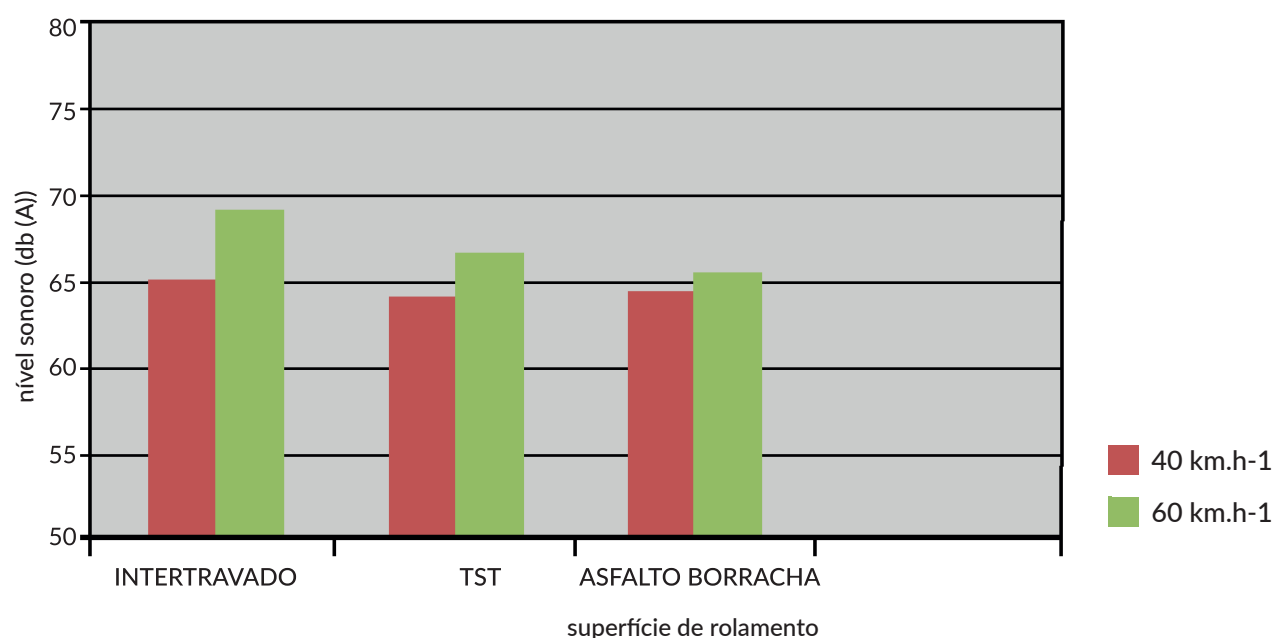
¹¹ MARCEAU, Medgar L.; VANGEEM, Martha G. Solar Reflectance of Concretes for LEED Sustainable Sites Credit: Heat Island Effect. Portland Cement Association. PCA R&D Serial No. 2982. 2007.

¹² Moderação de Tráfego, também chamado de Traffic Calming, visa a modificação do comportamento dos diferentes modos de transporte, aumentando a segurança viária e o conforto de todos os usuários da via.

Todos esses fatores comprovadamente diminuem o risco do atropelamento da fauna que convivem próximo às Estradas-parque. Em centros urbanos, essas mesmas características aumentam a segurança para os pedestres.

O estudo realizado por **LESKI**¹³ apresenta o nível sonoro do pavimento intertravado em comparação com revestimento TST- Tratamento Superficial Triplo e Asfalto borracha (Figura 3).

Figura 3. Nível sonoro em diferentes pavimentos em função da velocidade (LESKI, 2012).



O trabalho realizado por **ARY Jr**¹⁴, que utilizou em sua pesquisa um simulador computacional de tráfego, demonstra a adequação do uso do pavimento intertravado como ferramenta de moderação de tráfego. Os resultados comprovaram que o pavimento intertravado induziu os motoristas a diminuírem a velocidade em todos os trechos simulados, sem a necessidade de dispositivos auxiliares como radares ou lombadas.

A Tabela 8 apresenta um resumo do estudo realizado comparando o pavimento intertravado com outras soluções como o asfalto e estrada rural de terra.

¹³ LESKI, Juliana Romagnolli. Análise comparativa do ruído produzido pelo tráfego de veículos leves em diferentes superfícies de rolamento, nas condições motor ligado e desligado. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Maringá Maringá, 2012.

¹⁴ ARY JUNIOR, Ivan José. Pavimento intertravado como ferramenta de moderação do tráfego nos centros comerciais de travessias urbanas - Estudo de caso Guaiúba, CE. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2007.



TABELA 8

Velocidades médias em 21 trechos da simulação (km/h). Destaque para os resultados nos trechos em Asfalto e pavimento Intertravado. (Ivan José Ary Jr, 2007).

TS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
CT	R	A	R	I	R	A	R	I	R	A	R	I	R	A	R	I	R	I	R	A	R
MV	51	40	68	33	67	39	70	36	66	41	68	37	66	43	69	38	70	35	70	42	67

Legenda: TS: Trechos simulados (21), MV: velocidade média em km/h, CT: Características do trecho: R: Rodovia Rural; A: Travessia urbana em pavimento asfáltico; I: Travessia urbana em pavimento intertravado

8) DESEMPENHO LUMÍNICO

Em conjunto com a avaliação do desempenho térmico, onde é avaliada os valores de refletância à radiação solar, para o desempenho lumínico devemos avaliar o nível de luminância.

A Luminância se refere à intensidade do brilho (em candela por unidade de área) de uma superfície. Valores de luminância mais altos estão associados a superfícies com maior refletância. Um piso com maior índice de refletância solar irá necessitar de uma menor quantidade de lumens para o mesmo nível de iluminação, resultando em menor consumo de energia.

Esse aspecto foi avaliado no estudo realizado por **W. Adrian e R. Jobanputra**¹⁵, onde foi comparado o desempenho lumínico entre pavimentos de concreto (coloração clara) e pavimentos de asfalto (coloração escura). A comparação entre os dois tipos de pavimento foi realizada com luminância de fundo LB (horizontal) e o resumo dos resultados está apresentado na Tabela 9.

TABELA 9

Comparações de luminância entre um pavimento de concreto e asfalto (W. Adrian; R. Jobanputra, PCA 2005).

Tipo de Pavimento	Potência (W)	LB – Luminância de fundo (cd/m ²)			
		Média	Mínimo	Máximo	Max/Mín
Asfalto (R3)	400	3,40	1,06	11,14	10,40
Concreto (R1)	400	6,03	2,67	14,25	5,28

Os resultados obtidos demonstram que luminâncias mais altas são alcançadas com superfícies de concreto (cor cinza natural) em comparação com superfícies de asfalto, usando a mesma geometria dos mastros e luminárias.

Em relação às comparações de luminância média, o concreto é 1,77 vezes mais luminoso que o asfalto.

¹⁵ W. Adrian; R. Jobanputra. Influence of Pavement Reflectance on Lighting for Parking Lots. Portland Cement Association. PCA R&D Serial No. 2458. Skokie, IL, 2005.

9) DURABILIDADE

A durabilidade é um requisito fundamental de um sistema de pavimento, decorrente do seu elevado valor de implantação. Para ter durabilidade o pavimento intertravado deve seguir as especificações de projeto e das normas de execução ABNT NBR 15953 e especificação das peças de concreto ABNT NBR 9781. No Brasil e em muitos outros países há histórico de pavimentos intertravados com mais de 50 anos de uso e sem a necessidade de intervenções para manutenção ou que necessitaram intervenções de manutenção de pequeno porte durante seu uso.

A norma **ABNT NBR 15575-1**¹⁶ Anexo C, estabelece a Vida Útil de Projeto – VUP que um piso externo deve atender. Embora essa VUP, especificada em três níveis de desempenho, seja para um pavimento de edificação, podemos ter esse critério como ponto de partida para estabelecer a VUP de um pavimento urbano. A Tabela 10 apresenta um resumo do critério de VUP da norma ABNT NBR 15575-1.

TABELA 10
VUP para pisos externos (ABNT NBR 15575-1)

Sistema	VUP (anos)		
	Mínimo	Intermediário	Superior
Piso externo	≥ 13	≥ 17	≥ 20

Considerando-se que não haverá alterações das condições de uso e de exposição do pavimento em relação às informações adotadas no momento do projeto e execução. Deve-se considerar ainda que as ações de manutenção, informadas ao usuário através do Manual de Uso, Operação e Manutenção foram cumpridas. A VUP se refere ao sistema de pavimentação e, portanto, deve ser de responsabilidade conjunta do projetista, executor e usuário.

Ainda em relação à durabilidade, a norma de desempenho ABNT NBR 15575-3 apresenta alguns requisitos julgados relevantes e que foram adaptados ao pavimento intertravado.

9.1) Resistência à umidade do sistema de pisos de áreas molhadas e molháveis

Esse requisito estabelecido na norma de desempenho ABNT NBR 15575-3 é genérico para o sistema de piso, que pode ser composto por diferentes tipos de materiais. No caso das peças de concreto, em condições normais de uso, não ocorrem danos relevantes causados pela exposição à umidade. O único dano estético que pode ser causado pela

água no concreto é o surgimento de eflorescências. Para esse requisito, o ensaio estabelecido no Anexo C da norma ABNT NBR 15575-3, consiste em expor o sistema de piso a uma lâmina d'água de 10 mm por um período de 72h. Após 24h da retirada da lâmina d'água, deve-se avaliar visualmente a existência de danos.

¹⁶ Associação Brasileira de Normas Técnica. ABNT. NBR 15575. Edificações habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2021

A Tabela 11 apresenta os resultados do ensaio realizado em uma amostra de peças de concreto para

pavimento intertravado, realizados no laboratório do IPT.

TABELA 11

Resistência à umidade. ABNT NBR 15575-3 Anexo C. Ensaio realizado no IPT - Relatório: 1.112.767-203

Amostra de peças de concreto	Resultados
	72 h de exposição a uma lâmina d'água de 10 mm e mais 24 h sem a Lâmina d'água
Retangular (19,5x19,5x9,5)cm	Não foram observadas quaisquer alterações no sistema de piso, tais como bolhas, fissuras, empolamentos, destacamentos, descolamentos, delaminações, eflorescência, desagregação superficial e diferença de tonalidade.

A norma de desempenho ABNT NBR 15575-3, permite que ocorra alterações de tonalidade, visível a olho nu, causadas pela umidade, desde que informada previamente pelo fabricante e, neste caso, deve constar no manual de uso, operação e manutenção do usuário. Esta verificação pode ser feita no local ou através da construção de um protótipo. Particularmente nesse requisito, esse manual propõe que a avaliação de resistência à umidade seja realizada apenas quanto a eventual formação de

eflorescência das peças de concreto.

Para tanto, recomenda-se a norma **ASTM C67**¹⁷. No item 11 dessa norma está descrito o ensaio de avaliação da eflorescência que consiste em colocar as peças de concreto parcialmente imersas em uma lâmina de água de 24,5 mm durante sete dias em uma sala com temperatura (24 ± 8°C) e umidade relativa de 30% a 70%. Em seguida, as amostras devem ser secas por 24h em forno com temperatura entre a 110°C e 115°C.

9.2) Resistência ao ataque químico dos sistemas de pisos

As peças de concreto devem resistir à exposição aos agentes químicos normalmente utilizados na edificação ou presentes nos produtos de limpeza doméstica desde que usados conforme recomendação do fabricante.

Como metodologia, utiliza-se o ensaio proposto na norma ABNT NBR 15575-3 – Anexo D. Condi-

ções de uso específicas do pavimento, devem ser informadas pelo usuário e devidamente avaliadas conforme as condições de exposição.

A Tabela 12 apresenta os resultados de ensaios realizados em uma amostra de peças de concreto para pavimento intertravado, realizados no laboratório do IPT.

¹⁷ American Society for Testing and Materials. ASTM C 67. Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile. Item 11. Efflorescence. 2021.

**TABELA 12**

Resistência ao ataque químico. ABNT NBR 15575-3 Anexo D (D.4).
Ensaio realizado no IPT - Relatório: 1.112.767-203

Reagentes	Tempo de ataque (h)	Observação Visual
Cloreto de Amônia, 100g/L	24	Não houve alteração na amostra
Hipoclorito de Sódio, 29 mg/L	24	Não houve alteração na amostra
Ácido clorídrico, 3% (V/V) partes por volume	96	Apresentou amarelamento evidente, sem possibilidade de remoção da mancha
Ácido cítrico, 100g/L	24	Apresentou precipitação na cor branca, sem possibilidade de remoção
Hidróxido de potássio, 30 g/L	96	Apresentou leve clareamento

Conforme estabelecido pela norma ABNT NBR 15575-3, o critério de aprovação do requisito de resistência ao ataque químico depende das solicitações de uso do pavimento.

9.3) Resistência ao desgaste em uso

Os pavimentos estão sujeitos ao desgaste superficial devido ao tráfego de veículos, pessoas e animais. As peças de concreto devem resistir ao desgaste por abrasão utilizando-se o dispositivo de abrasão especificado no anexo C da norma ABNT NBR 9781.

A Norma ABNT NBR 9781 estabelece duas classes de resistência à abrasão conforme especificado na Tabela 13 a seguir.

TABELA 13 - Critérios para a resistência à abrasão. ABNT NBR 9781, adaptado.

Classe de solicitação por desgaste	Solicitação	Cavidade máxima (mm)
A	Tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão profunda	≤ 20
B	Tráfego de pedestres e veículos leves e comerciais de linha	≤ 23

De forma geral, as peças de concreto com maior resistência à compressão, irão apresentar menor desgaste por abrasão. Mas essa relação entre propriedades não pode ser generalizada, pois depende dos materiais utilizados no concreto, das condições de vibração e compactação da vibro prensa e das condições de cura do concreto.

A Tabela 14 apresenta resultados de ensaios de resistência à abrasão realizados em amostras de peças de concreto para pavimento intertravado, realizados no laboratório da ABCP.

**TABELA 14**

Resistência à abrasão. Ensaio realizado na ABCP - Relatório 144.379.

Amostra de peça de concreto	Cor da superfície e número de camadas da peça	Classe de Resistência à compressão (MPa)	Cavidade média provocada pela abrasão (mm)	Classe de solicitação por desgaste
Retangular (10x20x6)cm	Cinza Natural – Camada única	35,0	23,0	B
Retangular (10x20x6)cm	Vermelho - Camada única	35,0	21,0	B
Retangular (10x20x8)cm	Vermelho - Camada dupla	50,0	20,0	A
16 faces (24x10x8)cm	Cinza Natural - Camada única	50,0	19,0	A
Cor cinza natural refere-se à cor do cimento (cinza claro) sem uso de adições escuras ao cimento ou pigmentos ao concreto.				

10) MANUTENIBILIDADE

Esse requisito se refere à facilidade de acesso e execução de reparos no pavimento. Em relação a esse requisito, o pavimento intertravado é o único tipo de revestimento usado em pavimentos que não necessita de materiais de reparo adicionais quando se trata de uma intervenção no pavimento para manutenção de instalações subterrâneas, sendo possível a retirada e reposição das próprias peças de concreto e dos materiais granulares que constituem sua estrutura.

Para intervenções no pavimento intertravado, deve-se seguir as orientações da prática recomendada **ABCP – Intervenção em Pavimento Intertravado**¹⁸.

As peças de concreto, apenas necessitam ser substituída ou reposta, quando sofre danos estruturais que causem sua fissuração ou degradação, conforme consta do item 2 desse manual.

¹⁸ Associação Brasileira de Cimento Portland. ABCP. Manual de Intervenção em Pavimento Intertravado. SILVA, Cláudio Oliveira. São Paulo. 2022.



11) SAÚDE, HIGIENE E QUALIDADE DO AR

Os pavimentos de asfalto utilizam ligantes em cuja composição há solventes altamente voláteis e que, portanto, emitem **Compostos Orgânicos Voláteis (COVs)** que são nocivos ao meio ambiente e à saúde do trabalhador.

Os COVs contribuem para o efeito estufa e são prejudiciais ao ser humano, podendo causar câncer de pele, catarata e redução de defesas do sistema imunológico, além de modificar o equilíbrio ambiental de ecossistemas e ainda alterar a bioquímica das plantas (LIMA ¹⁹).

Além de não liberar COVs, nem durante a execução e nem durante a vida útil do pavimento, as peças de concreto utilizadas no pavimento intertravado podem contribuir com a melhoria da qualidade do ar pois o concreto absorve o CO₂ da atmosfera ao longo de sua vida útil. Esse fenômeno, chamado de sequestro de carbono, absorve quimicamente o CO₂ no concreto e está sendo estudado por muitos pesquisadores.

O sequestro de carbono no concreto pode ocorrer em dois momentos do processo de fabricação, durante a mistura do concreto ou durante a

cura, utilizando-se injeção do gás carbônico nesses processos (KAMAL et al ²⁰).

Além do processo de fabricação, ainda podemos considerar o sequestro de carbono que ocorre naturalmente nas estruturas de concreto já executadas, principalmente os pavimentos, devido à grande área exposta.

Nesses casos, ocorre a carbonatação do concreto, e a velocidade e profundidade dessa carbonatação depende de vários fatores, como o tipo e teor de cimento, porosidade do concreto, temperatura, umidade relativa e área de exposição da estrutura (PEDERNEIRAS et al) ²¹.

Por conta de todas as variáveis envolvidas na carbonatação do concreto, a quantidade de CO₂ capturada pode variar enormemente, podendo ser de 16% de CO₂ acumulado em 40 anos ou 55% em 90 anos (PEDERNEIRAS et al).

De qualquer modo, a captura de CO₂ por estruturas de concreto, principalmente pavimentos de concreto, tem sido avaliada como uma importante medida de mitigação do gás carbono na atmosfera.

¹⁹ LIMA, Rafael Costa et al. Análise comparativa dos impactos ambientais gerados na utilização de dois diferentes ligantes asfálticos no processo de pavimentação de estradas. UNIFACS. v. 6, n. 1, p. 4-17, jan./dez. 2016.

²⁰ KAMAL, Nur Liyama Mohd; ITAM, Zarina; SIVAGANESE, Yuovendra; RAZAK, Norizham Abdul. Carbon Dioxide Sequestered Concrete: A Review Paper. Preprints. 2020.

²¹ PEDERNEIRAS, Cinthia Maia; FARINHA, Catarina Brazão; VEIGA, Rosário. Carbonation Potential of Cementitious Structures in Service and Post-Demolition: A Review. CivilEng 2022, 3, 211-223.



12) FUNCIONALIDADE E ACESSIBILIDADE

O pavimento utilizado em ruas, passeios públicos, calçadas, pátios ou qualquer outro tipo utilização passível do tráfego de pedestres, deve propiciar mobilidade e segurança para pessoas portadoras de deficiência física ou pessoas com mobilidade reduzida (pmr).

Para esses usos, o sistema de piso com uso de pavimento intertravado deve atender à ABNT NBR 9050, em relação ao uso de peças com sinalização podo tátil de alerta e direcional. O projeto de pisos em edificações deve considerar a adequação das rampas, bem como deve especificar desníveis entre as alturas das soleiras.

Considerando o uso do pavimento intertravado em passeios públicos, com base nos resultados do estudo da Universidade de Pittsburgh e com o objetivo de proporcionar o melhor conforto de rolamento aos usuários de cadeiras de roda, a recomendação é que sejam utilizadas peças de concreto sem chanfro ou com chanfro total de até 4 mm (ABCP²²).

O padrão de assentamento escolhido deve ser preferencialmente em espinha de peixe a 90°, em relação à direção preferencial do percurso com cadeiras de rodas. Vale ressaltar que a execução correta do pavimento é essencial para garantir o conforto de rolamento adequado e para isso devem ser atendidos os requisitos descritos na ABNT NBR 15953.

13) CONFORTO TÁTIL, VISUAL E ANTROPODINÂMICO

O pavimento intertravado deve apresentar regularidade e homogeneidade das superfícies da camada de acabamento, sem comprometer o efeito visual e estético.

13.1) Homogeneidade quanto à planicidade da camada de acabamento do sistema de piso

A superfície do pavimento não pode comprometer o efeito visual desejado ou a estética. Para isso são estabelecidos limites para ondulações na camada de acabamento do sistema de piso (ABNT NBR 15575-3).

A planicidade da camada de acabamento das áreas comuns e privativas deve apresentar valores iguais ou inferiores a 3 mm com régua de 2 m em qualquer direção.

Do mesmo modo, as irregularidades graduais não podem superar 3 mm em relação a uma régua de 2 m de comprimento em qualquer direção.

Os requisitos da ABNT NBR 15575-3 referem-se a limites para recebimento de um pavimento em Edificação. No caso dos pavimentos intertravados, o conforto tátil, visual e antropodinâmico também irá depender do atendimento dos requisitos relacionados ao Desempenho Estrutural, citados no item 2 desse manual.

²² Associação Brasileira de Cimento Portland. ABCP. Conforto de Rolamento em Pavimentos Intertravados. Prática recomendada baseada no trabalho de WOLF et al 2006. ABCP, 2021.

14) ADEQUAÇÃO AMBIENTAL

Em relação à adequação ambiental, o pavimento intertravado pode contribuir em função de uma série de características:

- Maior durabilidade;
- Menor custo de manutenção;
- Facilidade de execução, com equipamento de pequeno porte;
- Menor temperatura superficial, reduzindo o efeito de ilhas de calor;
- As peças de concreto e as camadas granulares da fundação podem ser reciclados;
- A superfície do pavimento absorve CO₂ ao longo de sua vida útil;
- O pavimento intertravado pode ser projetado para funcionar como pavimento permeável, conforme especificações da norma **ABNT NBR 16416**²³;
- É possível otimizar o consumo de cimento nas peças de concreto com uso de tecnologia do concreto e considerando-se o uso de aditivos, adições e a maior eficiência da vibro prensa.

Além disso, as peças de concreto para pavimentação, juntamente com os blocos de concreto para alvenaria, foram os materiais pioneiros a ter indicadores ambientais divulgados no **Sidac**²⁴.

O Sidac se baseia no método de Avaliação do Desempenho Ambiental da Construção (ADAC), que consiste em quantificar os fluxos de entrada e de saída dos processos que integram o ciclo de vida de um determinado produto, o que é chamado de In-

ventário do Ciclo de Vida (ICV). Os fluxos de entrada incluem o consumo de matérias-primas, de água e de energia. Os fluxos de saída incluem a emissão de CO₂, de água (em forma de vapor d'água ou água líquida) e a geração de resíduos sólidos, bem como os produtos gerados pelos processos analisados (**BELIZÁRIO**²⁵).

Essa iniciativa pioneira, desenvolvida em conjunto pela BlocoBrasil - Associação Brasileira da Indústria de Blocos de Concreto e ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland - demonstram a responsabilidade e compromisso desses setores em relação à sustentabilidade.

15) CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os valores das propriedades apresentadas e avaliadas e apresentadas nesse manual devem ser vistos como uma referência para o projetista, devendo-se em casos específicos, executar-se ensaios ou solicitar aos fabricantes os resultados de ensaios de seus produtos específicos.

Em comparação ao pavimento de asfalto, o pavimento intertravado com peças de concreto apresenta uma série de vantagens, seja em durabilidade, manutenibilidade, funcionalidade, segurança, saúde, estética, desempenho térmico, lumínico, entre outros, configurando-se na melhor escolha para a execução de um pavimento durável e de baixo impacto ambiental.

²³ Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT. NBR 16416. Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2015.

²⁴ SIDAC. – Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção – permite calcular indicadores de desempenho ambiental do berço ao portão da fábrica para produtos de construção, com base em dados brasileiros verificados. <https://sidac.org.br>

²⁵ BELIZÁRIO-SILVA, F. et al. Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção – Metodologia. 1ª edição. São Paulo: SIDAC, 2022.

