CAPÍTULO 50 · Parte III · Infraestrutura e projetos complementares
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/kba33362
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/zsc84451

IMPERMEABILIZAÇÃO EM OBRAS DE ARTE ESPECIAIS NO BRASIL: ESTADO DA ARTE, FALHAS RECORRENTES E DIRETRIZES DE PROJETO

André Fornasaro[1]*, Julie Anne Braun[2]
*Autor de contato: julie.braun@protonmail.com
[1] ILD Brasil, São Paulo, Brasil
[2] Programa de Pós Graduação em Engenharia de Materiais e Nanotecnologia, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, Brasil

RESUMO

Em tabuleiros de pontes e viadutos, a água que atravessa o revestimento e alcança a estrutura atua como gatilho recorrente para processos patológicos associados à corrosão de armaduras e perda de desempenho. Embora a impermeabilização seja tema normatizado no Brasil, sua adoção em Obras de Arte Especiais (OAE) permanece irregular, em parte por lacunas de formação, pela crença equivocada no pavimento asfáltico como barreira estanque e por detalhes construtivos que favorecem a percolação (juntas, emendas e drenagem). Este artigo sistematiza, pela metologia de estudo de caso, o panorama histórico da implantação de sistemas de impermeabilização em pontes e viadutos no cenário nacional, e o confronta com literatura e guias internacionais, discutindo mecanismos de deterioração, requisitos de desempenho e pontos críticos de execução. São propostas diretrizes de projeto, execução e gestão da manutenção alinhadas às NBR 9575 e NBR 9574 e às práticas de inspeção do DNIT, visando aumentar a vida útil das OAE.
Palavras-chave: obras de arte especiais; impermeabilização de tabuleiros; durabilidade; corrosão; membranas.

ABSTRACT

In bridge decks, water infiltration through the wearing course and into concrete is a recurrent trigger for deterioration mechanisms associated with reinforcement corrosion, and loss of performance. Despite being addressed by Brazilian standards, waterproofing systems are still unevenly adopted in Brazilian bridges and viaducts, partly due to training gaps, the mistaken belief that asphalt layers are watertight, and constructive details that promote percolation (joints, segment interfaces and drainage). This article systematizes, through the case study methodology, the historical overview of the implementation of waterproofing systems in bridges and viaducts in the national scenario, and confronts it with international literature and guides, discussing deterioration mechanisms, performance requirements and critical points of execution. Design, execution and maintenance guidelines are proposed in line with NBR 9575, NBR 9574 and DNIT inspection practices, aiming at extending service life.
Keywords: bridge decks; waterproofing; durability; corrosion; membranes.

1. INTRODUÇÃO

As Obras de Arte Especiais (OAE), pontes, viadutos e passarelas, concentram grande parte do risco sistêmico de infraestrutura urbana e rodoviária, pois falhas localizadas podem gerar efeitos em cascata sobre segurança viária, mobilidade e custos de operação. Do ponto de vista físico, o tabuleiro é o elemento mais exposto: recebe tráfego, variações térmicas e a ação combinada de

água, contaminantes e partículas abrasivas. Quando a água ultrapassa o revestimento de rolamento e atinge o concreto, ou a base em estrutura metálica e as armaduras, o sistema passa a operar em regime de umedecimento–secagem, condição especialmente eficiente para acelerar corrosão e danos por pressão hidráulica, lixiviação e transporte de íons (TUUTTI, 1982; BROOMFIELD, 2006; HELENE, 1988; ACI, 2019; NEVILLE, 2011).

No Brasil, a impermeabilização de tabuleiros ainda é tratada, com frequência, como acessório de obra, ou substituída pela crença de que camadas asfálticas seriam estanques (MASCARO, 2011). O presente trabalho visa compilar, por meio de estudo de caso, evidências de campo de que essa premissa é frágil: a água atravessa o pavimento, encontra caminhos preferenciais em juntas e descontinuidades e se acumula em regiões com drenagem deficiente, alcançando armaduras e cabos de protensão em estruturas antigas e novas.

A engenharia de durabilidade contemporânea enfatiza que vida útil é requisito verificável: envolve prever mecanismos de degradação, limitar taxas de transporte (água, CO_2, cloretos etc.) e planejar a manutenção. Normas e guias como a ABNT NBR 6118 e o fib Model Code 2010 convergem para uma visão de desempenho ao longo do ciclo de vida, coerente com princípios de projeto e planejamento para vida útil (ABNT, 2014; fib, 2006; fib, 2011; ISO, 2011; ISO, 2012). Nesse enquadramento, a impermeabilização do tabuleiro é uma barreira funcional de alto impacto e baixo custo relativo, capaz de reduzir a entrada de água e cloretos pelo topo e, portanto, prolongar o tempo até o início da corrosão e a necessidade de intervenções corretivas (RUSSELL, 2012; KONEČNÝ; LEHNER, 2016).

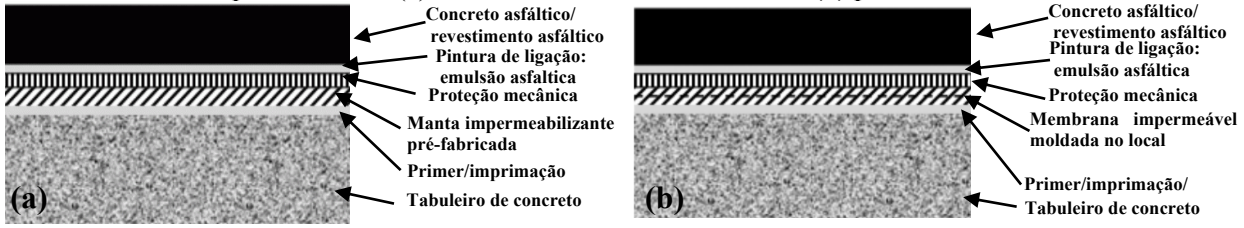
2. IMPERMEABILIZAÇÃO DE TABULEIROS: CONCEITOS, SISTEMAS E NORMALIZAÇÃO

Segundo a ABNT NBR 9575, impermeabilização é o conjunto de operações e técnicas construtivas destinado a proteger as construções contra a ação deletéria de fluidos, vapores e umidade, assegurando estanqueidade quando requerida (ABNT, 2010). Em tabuleiros de OAE, a estanqueidade não é um requisito de conforto, mas de durabilidade: a água que ingressa pela superfície tende a alcançar o intradorso, apoios e aparelhos de apoio, onde a inspeção é mais difícil e o dano pode evoluir silenciosamente.

2.1 Sistema impermeabilizante e interfaces típicas

Em pontes e viadutos, impermeabilização raramente é uma camada. Na prática, trata-se de um sistema estratificado, conforme ilustrado na Figura 1 a e b: substrato de concreto (ou mesa metálica com regularização), preparação superficial, primer, camada impermeável (pré-fabricada ou moldada no local) e camada de proteção mecânica quando necessária.

Figura 1- croqui esquemático representativo das possíveis camadas de um sistema de impermeabilização asfáltica com manta pré-fabricada (a) ou membrana moldada no local (b) para OAE's.



Fonte: Adaptado de RUSSELL (2012)

O desempenho depende da continuidade hidráulica e da aderência em todas as interfaces. Se uma interface descola, a água pressuriza e migra sob o sistema, anulando a função de barreira e podendo induzir falhas também no pavimento (RUSSELL, 2012; TII, 2019).

Além das interfaces do sistema, a própria permeabilidade do substrato de concreto (relação a/c, cura, conectividade de poros) e a sucção capilar governam a cinética de entrada e redistribuição de umidade (NEVILLE, 2011; MEHTA; MONTEIRO, 2014), por isso, o projeto de durabilidade não

pode dissociar a impermeabilização do concreto e drenagem como se fossem subsistemas independentes.

2.2 Tipologias e critérios de seleção

A ABNT NBR 9575 classifica sistemas quanto à aderência (aderida, parcialmente aderida, não aderida) e quanto ao comportamento (rígida ou flexível), e orienta a seleção em função de movimentações e fissuração esperada (ABNT, 2010). Em tabuleiros, a presença de microfissuras pode ser compatível com o desempenho estrutural normativo, no entanto, é incompatível com a ideia de laje estanque sem uma camada com capacidade de absorção de deformações. Diante desse cenário, a prática internacional preconiza a adoção de sistemas flexíveis e aderidos, geralmente protegidos por pavimento asfáltico, para garantir a integridade do sistema sob solicitações dinâmicas. Normas europeias específicas para mantas asfálticas aderidas em tabuleiros (por exemplo EN 14695) e guias norte-americanos descrevem requisitos de impermeabilidade, resistência mecânica e aderência compatíveis com esse contexto (CEN, 2010; RUSSELL, 2012).

A NBR 9574 complementa o arcabouço ao estabelecer exigências de execução, incluindo preparo do substrato, compatibilização com demais camadas e controle de qualidade em obra (ABNT, 2008). Em especificações de projeto, ressalta-se explicitamente que materiais asfálticos de pavimentação não são suficientemente impermeáveis para proteger tabuleiros; por isso exige-se uma camada dedicada, contínua e aderida, com critérios mínimos de aderência e integridade (TII, 2019).

3. METODOLOGIA

O presente trabalho adota abordagem qualitativa e aplicada, composta por: (i) sistematização do diagnóstico e dos exemplos históricos reunidos pelos autores sobre impermeabilização em OAE no Brasil; (ii) revisão dirigida de normas e guias técnicos nacionais (ABNT) e internacionais (NCHRP/TRB e ACI); e (iii) análise comparativa de casos para extrair mecanismos recorrentes e pontos críticos de detalhamento e execução. O objetivo não é prescrever um sistema específico, mas indicar requisitos e diretrizes mínimas para que o sistema impermeabilização com a proteção mecânica e seu revestimento opere como barreira durável ao longo do tempo, reduzindo a entrada de água e contaminantes no tabuleiro.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Fatores que limitam a adoção em OAE brasileiras

Para o presente estudo, foram levantados os possíveis fatores que limitam a adoção de sistemas de impermeabilização em Obras de Arte Especiais no Brasil, os quais podem ser agrupados em quatro eixos. O primeiro é cultural e de formação: (a) a impermeabilização praticamente inexiste em currículos de graduação de engenharia civil e arquitetura no Brasil; e (b) geralmente tem menor prioridade em projetos de infraestrutura, o que acarreta especificações genéricas, fiscalização inadequada e execução com baixo controle tecnológico. O segundo eixo é técnico. A evolução de critérios de fissuração em normas estruturais permite a aceitação de fissuras dentro de limites pré-estabelecidos, e isso é positivo para racionalizar o projeto e o consumo de materiais, mas cria um problema quando se transfere a mesma lógica para a estanqueidade: fissuras aceitáveis do ponto de vista estrutural podem ser inaceitáveis do ponto de vista da impermeabilidade. Sem uma camada com capacidade de resistir ao surgimento de fissuras, denominado internacionalmente de CBA – Crack Bridging Ability (capacidade de criação de pontes sobre a fissuração – numa definição *lato sensu*), e sem detalhes corretos em juntas e transições, permitem o ingresso da água e o tabuleiro opera como coletor e distribuidor de umidade.

O terceiro eixo é geográfico-operacional. Em países com ciclos intensos de gelo–degelo e uso de sais descongelantes, a degradação do tabuleiro é rápida e a impermeabilização se consolidou como prática padrão (BROOMFIELD, 2006; ACI, 2019). No território brasileiro, a ausência desse

gatilho climático reduz a percepção de urgência, mas não elimina o mecanismo: água e contaminantes continuam ingressando, apenas com cinética menos dramática; em horizontes de décadas, o resultado aparece como corrosão, manchas, eflorescências e desplacamentos. O quarto eixo é gerencial: intervenções corretivas tendem a atacar sintomas no intradorso sem bloquear a fonte, que é a água penetrando no topo do tabuleiro, diminuindo o tempo entre intervenções de reparo e elevando custos de manutenção. A impermeabilização, nessa perspectiva, é uma medida de bloqueio de entrada que muda a trajetória de deterioração.

4.2 Evidências por casos e lições de detalhamento

Os casos da Figura 2 evidenciam o papel da barreira superior na durabilidade dos tabuleiros. O Viaduto Santa Ifigênia, Figura 2(a), inaugurado em 1913, constitui referência histórica de bom desempenho, associado à impermeabilização do tabuleiro e à ausência de infiltrações relevantes após décadas de operação (MASCARO, 2011). Em contraste, a Ponte Estaiada Octávio Frias de Oliveira, Figura 2(b), entregue em 2008 sem impermeabilização e sem pavimento asfáltico, ilustra como a omissão dessa camada expõe precocemente a estrutura à ação da água e de agentes agressivos. A Ponte dos Remédios reforça essa leitura. Como mostra a Figura 3, a estrutura sofreu colapso parcial em 1997, em contexto associado a falhas de protensão, drenagem deficiente e ausência de impermeabilização do tabuleiro.

Figura 2- Exemplos contrastantes: (a) Viaduto Santa Ifigênia (1913), com impermeabilização histórica; (b) Ponte Estaiada Octávio Frias de Oliveira (2008), sem impermeabilização no tabuleiro de rolamento.



Fonte: Os autores (2012).

Figura 3- Ponte dos Remédios (São Paulo): (a) prova de carga em 1997 (28 caminhões-betoneira); (b) escoramento/intervenção após novo colapso parcial em 2012; (c) vista lateral (foto também de 2012).



Fonte: Os autores.

Na Figura 4, as marcas de umidade e escorrimento revelam caminhos preferenciais de percolação por juntas, interfaces de concretagem e descontinuidades do pavimento. O processo é cumulativo: favorece saturação localizada, transporte de agentes agressivos, corrosão e deterioração progressiva, com impactos materiais e operacionais. Nesse quadro, a impermeabilização deve ser tratada como sistema de bloqueio de entrada, e não como camada acessória.

Figura 4- Ponte dos Remédios (São Paulo): (a) lateral pista bairro-centro com trecho interditado; (b) tramo central com marcas de água e escorrimentos associados a juntas e emendas de concretagem.



Fonte: Os autores (2012).

A observação central é que a impermeabilização não pode ser tratada como camada aplicada depois do pavimento; ela deve ser concebida como parte do sistema de durabilidade do tabuleiro, compatibilizada com juntas de dilatação, dispositivos de drenagem, muretas e barreiras. Sem esse encadeamento, a água encontra descontinuidades e anula o benefício do sistema. As Figuras 5 a 7 apresentam registros fotográficos para explicitar esse encadeamento.

As Figuras 5b e 5c condensam um ponto técnico relevante: juntas não são apenas aberturas a vedar, mas sistemas de drenagem concentrada. Quando o detalhamento não garante coleta e condução controlada, forma-se um curso hidráulico que injeta água diretamente no intradorso. O resultado típico é corrosão acelerada de calhas, aparelhos de apoio, armaduras de borda e regiões de ancoragem. Em estruturas do tipo laje-praça (Figura 5a), a falha é ainda mais grave, pois infiltrações persistentes deterioram a estrutura e degradam o uso urbano do espaço, forçando recuperações e reforços de alto impacto.

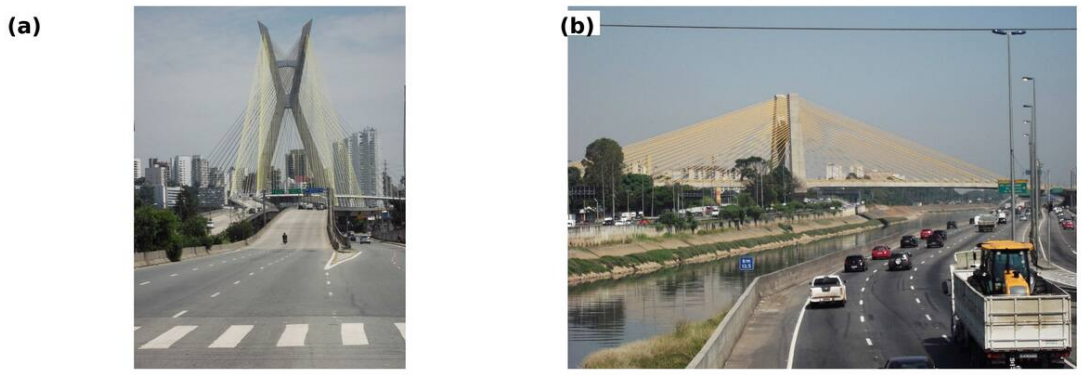
Figura 5- Descontinuidades críticas em OAE urbanas: (a) Praça Roosevelt com reforço estrutural associado a infiltrações; (b) Complexo do Parque Dom Pedro II (1971) com escorrimento sob junta de dilatação; (c) detalhe de calha metálica sob junta, evidenciando corrosão e perda de seção.



Fonte: Os autores (2012).

O fato de OAE recentes (Figura 6) e de alta visibilidade terem sido entregues sem impermeabilização do tabuleiro reforça que a barreira superior ainda é tratada como acessório. Essa assimetria entre engenharia estrutural sofisticada e engenharia de interface (impermeabilização, juntas e drenagem) é um padrão clássico de falha sistêmica: o desempenho global passa a ser governado por elementos considerados secundários no projeto e na fiscalização.

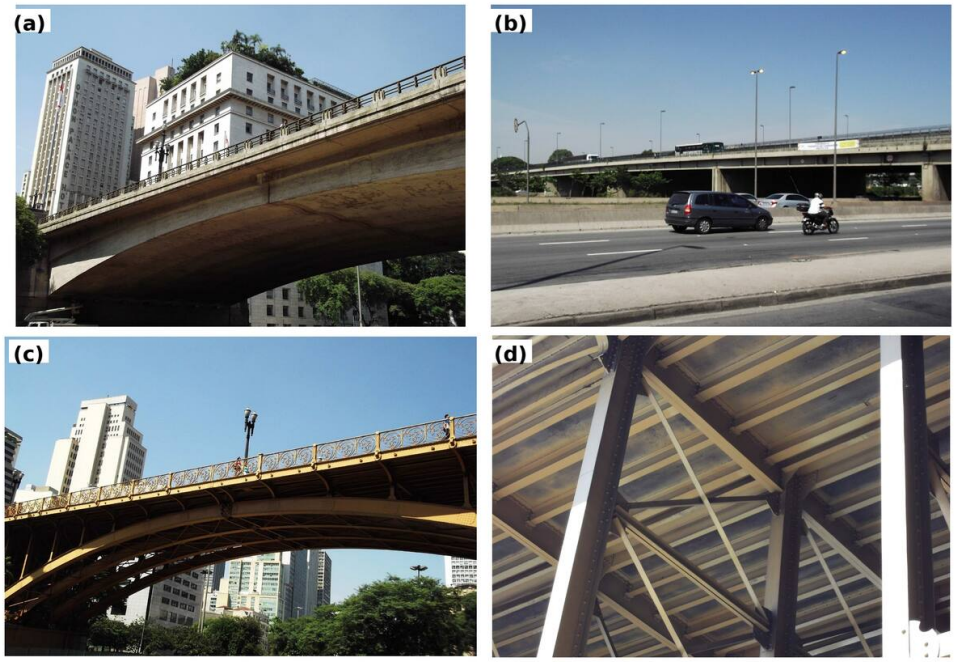
Figura 6- OAE recentes sem impermeabilização do tabuleiro de rolamento: (a) Ponte Octávio Frias de Oliveira (2008); (b) Ponte Gov. Orestes Quércia (2011).



Fonte: Os autores (2012).

Os exemplos históricos (Figura 7) desfazem a ideia de que impermeabilizar tabuleiros seria inovação recente ou custo extra. Eles mostram que, quando há decisão de projeto e proteção adequada do sistema, a barreira pode atravessar décadas de operação. O contraste entre a durabilidade observada em estruturas impermeabilizadas e as recorrências patológicas em estruturas sem barreira explica por que a impermeabilização deve migrar de prescrição genérica para requisito verificável de desempenho e de detalhamento.

Figura 7- Exemplos históricos de impermeabilização em tabuleiros: (a) Viaduto do Chá; (b) Ponte Cruzeiro do Sul – 2ª pista; (c) Viaduto Santa Ifigênia; (d) intradorso do Viaduto Santa Ifigênia.



Fonte: Os autores (2012).

A leitura conjunta dos casos (Quadro 1) evidencia que a impermeabilização tem grande potencial de falhar menos por ausência de material e mais por descontinuidades do sistema, nas quais as interfaces são maltratadas, as juntas não possuem solução drenante robusta, empoçamentos recorrentes e manutenção que atua no intradorso sem eliminar a fonte (entrada de água pelo topo).

Quadro 1- Síntese de casos documentados pelos autores e implicações para impermeabilização de tabuleiros.

OAE	Situação do tabuleiro	Evidência/efeito observado	Lições Aprendidas
Viaduto Santa Ifigênia (SP)	Impermeabilização histórica (antes de 1913)	Ausência de infiltrações relevantes reportada após décadas; intradorso sem marcas após ~99 anos (Fig. 6d).	Quando contínua e protegida, a impermeabilização pode ter longa vida. Manutenção e proteção mecânica são decisivas.
Ponte dos Remédios (SP)	Ausência de impermeabilização e falhas de drenagem (situação original 1970)	Colapso parcial (1997 com 27 anos) e infiltrações/marcas de água em inspeções (2012, 15 anos após o 1º colapso) (Figs. 2 e 3).	Bloquear entrada de água pelo topo é condição para estabilizar patologia; reabilitações devem integrar membrana + drenagem + juntas.
Viaduto do Chá (SP)	Impermeabilizado da década de 1930	Referência histórica de adoção em OAE urbana (Fig. 6a).	Impermeabilização em tabuleiros é prática antiga e compatível com intervenções urbanas (canteiros/jardins).
Ponte Cruzeiro do Sul – 2ª pista (SP)	Impermeabilizada na década de 1960 (doação Otto Baumgart)	Tabuleiro ampliado com impermeabilização (Fig. 6b).	Em ampliações e duplicações, prever impermeabilização como requisito de durabilidade, não como item opcional.
Ponte Estaiada Octávio Frias de Oliveira (SP)	Sem impermeabilização no tabuleiro de rolamento (2008)	Ausência de barreira mesmo em OAE icônica (Fig. 1b; Fig. 5a).	Exigir sistema impermeabilizante em requisitos de desempenho/contrato; pavimento não substitui membrana. A ponte já começa a dar sinais de mau desempenho, em decorrência da falta de impermeabilização e estrutura demasiadamente arrojada (ponte com apenas 18 anos).
Ponte Gov. Orestes Quércia (SP)	Sem impermeabilização no tabuleiro de rolamento (2011)	Adoção irregular em obras recentes (Fig. 5b).	Normalização existe, mas precisa ser internalizada em projeto, orçamento e fiscalização.
Complexo Parque Dom Pedro II (SP)	Juntas e drenagem como descontinuidades críticas (viaduto de 1971)	Escorrimentos sob juntas e corrosão de calhas (Fig. 4b-c).	Detalhar, inspecionar e manter juntas/calhas; evitar cursos hidráulicos concentrando fluxo no intradorso.
Praça Roosevelt (SP)	Laje-praça com infiltrações por décadas; reforço e impermeabilização previstos	Deterioração associada à infiltração e necessidade de reforço (Fig. 4a).	Em lajes de áreas públicas, impermeabilização deve ser tratada como requisito primário de durabilidade e operação.

Fonte: Os autores (2026).

4.3 Convergência com literatura internacional

A síntese NCHRP 425 (TRB) define as membranas de impermeabilização de tabuleiros como camadas delgadas e impermeáveis aplicadas sobre o substrato de concreto e obrigatoriamente protegidas por uma camada de rolamento asfáltica. No escopo normativo desta publicação, o sistema impermeabilizante é concebido para atuar em conjunto com o revestimento asfáltico, que desempenha a função de camada de sacrifício e proteção mecânica da membrana contra o tráfego. A utilização de revestimentos de concreto é tratada pelo documento não como proteção para a membrana, mas como uma estratégia alternativa e distinta de proteção do tabuleiro. Modelagens de transporte de cloretos indicam que a presença de membrana pode aumentar o tempo para início da corrosão, mesmo quando se considera dano localizado na camada impermeável (KONEČNÝ; LEHNER, 2016).

Guias que abordam a corrosão em concreto armado, como os elaborados pelo American Concrete Institute (ACI), enfatizam que a degradação é fortemente governada pela presença de umidade e por processos de transporte (difusão, convecção e sucção capilar) que levam CO_2 e cloretos à armadura. Reduzir a disponibilidade de água é, portanto, uma estratégia transversal, compatível tanto com a prevenção da corrosão quanto com a mitigação de outros mecanismos (ACI, 2016; ACI, 2019).

Desta forma, o desempenho não depende apenas do material, mas da aderência e da integridade do sistema em interfaces sucessivas (concreto/primer/membrana/pintura de ligação/asfalto). A literatura internacional ratifica a insuficiência de soluções simplificadas; o padrão irlandês DN-STR-03009, por exemplo, explicita que materiais betuminosos de pavimentação não são suficientemente impermeáveis para proteger tabuleiros. Para garantir a eficácia, a norma estabelece valor mínimo de resistência de aderência à tração (0,7 MPa) para ensaios *in situ*, além de exigir a correção de defeitos como bolhas e poros antes das camadas subsequentes (TII, 2019). Essa ênfase no rigor da execução é compatível com a prática brasileira prevista em normas de execução, mas ainda pouco internalizada em contratos de OAE

4.4 Pontos críticos: juntas, drenagem e transições

O desempenho do sistema em campo é governado por descontinuidades. Em OAE, os pontos mais críticos tendem a ser juntas de dilatação, arremates em muretas/barreiras, regiões de ralos e drenos, interfaces entre tabuleiro e passeios/canteiros e transições com lajes de aproximação. Esses pontos concentram movimentações, variações geométricas e intervenções recorrentes, elevando o risco de perfuração, descolamento e cursos hidráulicos.

Por isso, além da seleção do tipo de impermeabilização, o projeto deve especificar detalhes construtivos padronizados e exequíveis. O contrato de execução deve prever inspeção específica desses pontos antes da liberação da pavimentação. A experiência internacional mostra que minimizar a quantidade de juntas e padronizar detalhes reduz a probabilidade de falhas e facilita a manutenção, reforçando a noção de que a impermeabilização é parte de um sistema de gestão de durabilidade do tabuleiro (RUSSELL, 2012).

5. DIRETRIZES PARA PROJETO, EXECUÇÃO E MANUTENÇÃO

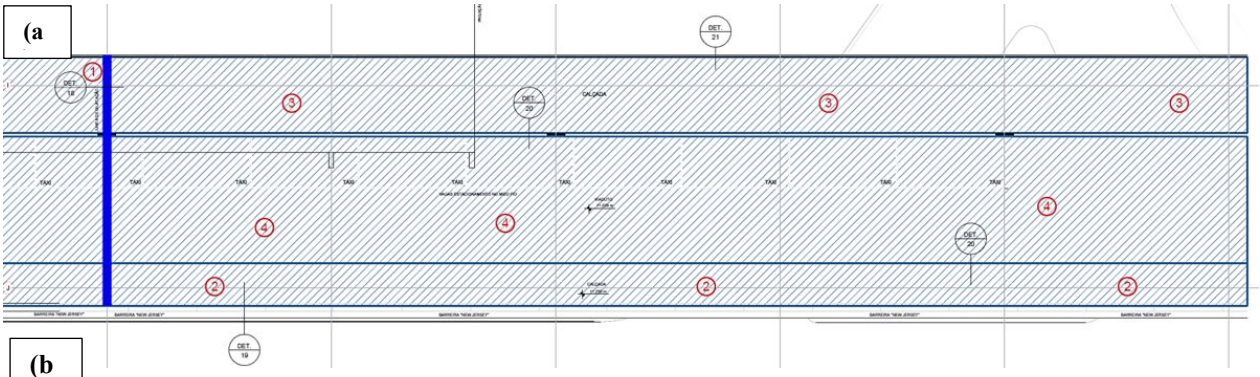
5.1 Diretrizes de projeto e detalhamento

Em OAE, a impermeabilização deve ser concebida como subsistema do tabuleiro, articulando setorização de áreas, arremates em elementos verticais, compatibilização com juntas e drenagem superficial eficiente. A seleção do sistema deve considerar a fissuração esperada, a interação com o revestimento e a resistência a cisalhamento e variações térmicas (ABNT, 2010). As Figuras 8 e 9, adotadas como estudo de caso, ilustram um projeto executivo para a impermeabilização do viaduto do Terminal Hercílio Luz, em Santa Catarina. A impermeabilização é tratada de forma integrada ao desempenho do tabuleiro, com definição de áreas, quantitativos e detalhes construtivos críticos.

Na Figura 8, a setorização associa locais, sistemas e áreas específicas, permitindo controle preciso de execução e consumo de materiais. Predomina o Sistema D, correspondente à manta dupla asfáltica 4 mm + 4 mm, aplicado às áreas (2), (3) e (4), com área total de 3.915,12 m², cerca de 98% do total quantificado. O Sistema A, destinado à impermeabilização da junta de dilatação,

aparece de forma localizada na área (1), com 80,70 m², aproximadamente 2% do total. O projeto também explicita rodapés de 20 cm nos passeios e acessos, totalizando 578,59 m de arremates verticais, pontos especialmente sensíveis à perda de continuidade e à infiltração.

Figura 8- Planta do 1° pavimento do viaduto do Terminal Hercílio Luz (A) e quadro de áreas dos sistemas de impermeabilização a serem implantados (B).



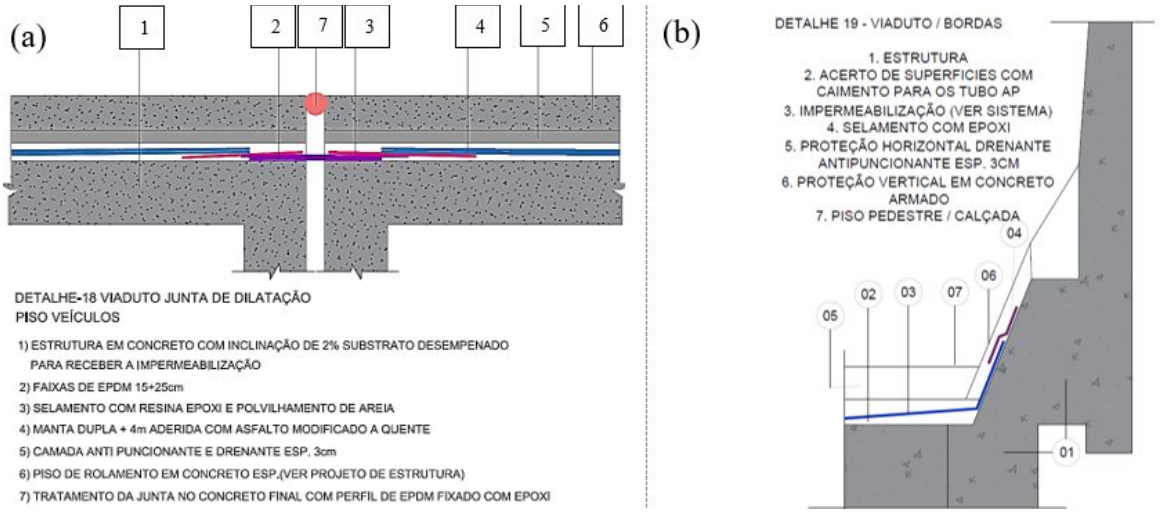
QUADRO DE ÁREAS - 1° PAVIMENTO - VIADUTO - Q15

ITEM	LOCAL	SISTEMA	DETALHES	ÁREA HORIZONTAL	PERÍMETRO	RODAPÉ	ÁREA VERTICAL	ÁREA UNITÁRIA	QUANTIDADE PAV.	ÁREA TOTAL	ÁREA TOTAL SISTEMA
1	*IMP.DA JUNTA DE DILATALÇAO	SISTEMA A	12		80,70	1,00	80,70	80,70	1,00	80,70	80,70
2	*PISO PEDESTRE	SISTEMA D	12, 13, 14, 15	600,30	258,37	0,20	51,67	651,97	1,00	651,97	3915,12
3	*PISO PEDESTRE / ACESSO			1412,00	320,22	0,20	64,04	1476,04	1,00	1476,04	
4	*PISO VEICULO			1787,10	-	-	0,00	1787,10	1,00	1787,10	

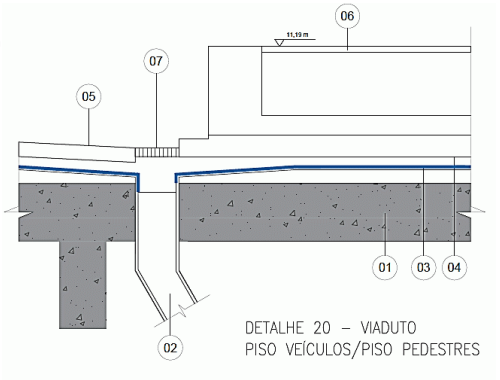
Fonte: Fonte: Arq. Jacques Monet Jr. (2018), reproduzido com autorização do autor.

Os detalhes da Figura 9 evidenciam a compatibilização entre movimentação estrutural, estanqueidade e proteção mecânica. Na junta de dilatação do piso de veículos, a solução combina substrato com caimento, faixas de EPDM, selamento epóxi, integração com a manta dupla e camada protetora drenante/antipuncionante, assegurando deformabilidade com continuidade hidráulica. Nas bordas e encontros com elementos verticais, o projeto associa impermeabilização contínua, selagens, proteção vertical e dispositivos de drenagem, reduzindo trajetórias preferenciais de ingresso de água. Nos detalhes de piso veicular/pedestre e passarela, a membrana é tratada como parte do pacote funcional do tabuleiro, articulada à geometria de escoamento, à coleta pluvial e à proteção das terminações. Observa-se que o desempenho da impermeabilização depende menos da membrana isolada e mais da compatibilidade entre arremates, proteção mecânica e drenagem.

Figura 9- Detalhamento do projeto de impermeabilização do viaduto Hercílio Luz: (A) junta de dilatação; (B) bordas do viaduto; (C) piso de veículos/pedestre; e (D) piso de pedestre/passarela.



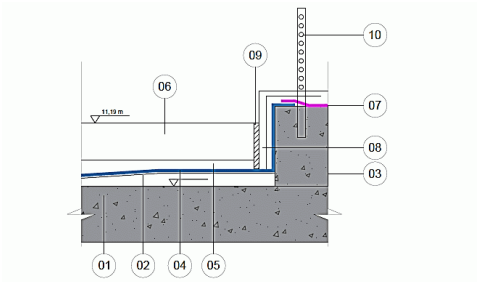
(c)



DETALHE 20 – VIADUTO
PISO VEÍCULOS/PISO PEDESTRES

1) LAJE COM INCLINAÇÃO DE 2% PARA OS TUBOS A.P.
2) TUBOS AGUAS PLUVIAIS.
3) SISTEMA D – DUPLA MANTA 4 MM.
4) CAMADA PROTETORA ANTIPUNCIONANTE DRENANTE ESP. 3 CM.
5) PISO DE ROLAMENTO EM CONCRETO ARMADO ESP. 6 MM.
6) PISO PEDESTRE
7) GRELHA

(d)



DETALHE 21 – PISO PEDESTRES / PASSARELA

1) LAJE COM INCLINAÇÃO DE 2% PARA OS TUBOS A.P.
2) ACERTO DE SUPERCIFIE
3) BORDA PERIMETRAL PARA FECHAMENTO DA IMPERMEABILIZAÇÃO
4) SISTEMA D – DUPLA MANTA 4 MM.
5) CAMADA PROTETORA ANTIPUNCIONANTE DRENANTE ESP. 3 CM.
6) PISO PEDESTRE
7) SELAMENTO EPOXI
8) PROTEÇÃO ARMADA COM TELAS NAS VERTICAIS
9) MASTIQUE
10) FECHAMENTO DE CHAPA PERFURADA

Fonte: Arq. Jacques Monet Jr. (2018), reproduzido com autorização do autor.

5.2 Diretrizes de execução e controle de qualidade

Na execução, o ponto crítico é o substrato. Superfícies com nata de cimento, contaminação por cura química ou umidade residual aumentam o risco de descolamento. As normas brasileiras de projeto e execução de sistemas de impermeabilização, NBR 9575 e 9574, e guias internacionais convergem em exigir preparo adequado (limpeza, rugosidade, secagem), além de ensaios de aderência e inspeção de continuidade antes do recobrimento asfáltico (ABNT, 2008; TII, 2019). O Quadro 2 apresenta alguns tipos de falhas recorrentes e o que o controle de qualidade deve abranger. Seja para obras nova, quanto para obras de recuperação é essencial que o controle considere: a verificação do estado superficial (laitância, porosidade, umidade), o consumo e espessura do primer/membrana, a integridade (ausência de bolhas, poros e descontinuidades), e os ensaios por amostragem de aderência do sistema de impermeabilização. Também deve ser prevista camada de proteção mecânica quando necessária, limitar tráfego de obra sobre a impermeabilização durante as obras, e evitar processos que introduzam falhas de aderência involuntários entre camadas (RUSSELL, 2012).

Quadro 2- Modos de falha recorrentes e medidas de prevenção/controle em impermeabilização de tabuleiros.

Modo de falha/causa	Efeito típico	Prevenção/controle
Substrato com presença de laitância (nata de cimento superficial), poeira ou umidade.	Descolamento e migração de água sob a membrana	Preparação mecânica; limpeza e secagem; critérios de aceitação; ensaios de aderência (arrancamento).
Detalhe deficiente em junta de dilatação	Curto hidráulico; infiltração concentrada; danos localizados	Detalhamento padronizado; compatibilização com selantes; inspeção específica antes do recapeamento.
Drenagem insuficiente ou entupida	Empoçamentos; pressão hidráulica; infiltração acelerada	Projeto de caimentos; redundância de drenos; plano de manutenção e limpeza periódica.
Perfuração por tráfego/obra ou agregados	Pontos de entrada; falhas pontuais com propagação	Camada de proteção; restrição de tráfego; reparo imediato de danos antes da aplicação do asfalto.
Incompatibilidade entre membrana e tack coat/asfalto	Descolamento de interface; bolhas; patologia do pavimento	Seleção de sistema como conjunto; ensaios prévios; controle de temperatura e sequência de aplicação.

Fonte: adaptado de ABNT (2008; 2010), Russell (2012) e TII (2019).

5.3 Diretrizes de operação, inspeção e reabilitação

Na manutenção, a impermeabilização deve entrar no ciclo de inspeções e decisões de intervenção. Procedimentos do DNIT padronizam inspeções em OAE e fornecem base para integrar sintomas de infiltração, falhas de drenagem, degradação do pavimento e condição de juntas em um diagnóstico de risco (DNIT, 2024). Uma consequência prática é priorizar, em reabilitações, o bloqueio da entrada de água pelo topo antes de reparos extensivos no intradorso. Essa sequência reduz recorrência e aumenta a efetividade de técnicas de reparo e proteção (SOUZA; RIPPER, 1998). Embora estudos de custo de ciclo de vida variem por contexto, a literatura técnica internacional aponta que barreiras superficiais tendem a ser custo-efetivas quando aplicadas de forma correta e precoce, pois atrasam o início da corrosão e ampliam janelas de manutenção planejada (RUSSELL, 2012).

6. CONCLUSÕES

A impermeabilização de tabuleiros em OAE deve ser entendida como componente de durabilidade, não como acabamento. O diagnóstico nacional aponta que a não adoção decorre menos de inexistência tecnológica e mais de falhas de conceituação, especificação, detalhamento e controle de qualidade, frequentemente agravadas pela crença de que o pavimento asfáltico seria estanque. Casos nacionais indicam que a presença (ou ausência) de barreira superior altera de modo decisivo a trajetória de deterioração e a recorrência de reparos. A convergência com literatura e guias internacionais reforça dois princípios: o sistema de impermeabilização constituído por membranas ou mantas deve ser contínuo e aderido, e seu desempenho depende criticamente do preparo do substrato e do controle de aderência e integridade antes do recobrimento asfáltico. Incorporar esses princípios a projetos, contratos e rotinas de inspeção é medida de alto retorno: eleva a vida útil, reduz riscos e racionaliza custos de manutenção em redes de OAE, com pequeno incremento de custo frente ao benefício alcançado. Como sugestão de futuras pesquisas aplicadas, recomenda-se ampliar base de dados nacionais de desempenho de sistemas em OAE, correlacionando tipologia de membranas e/ou mantas impermeabilizantes, detalhes de projeto e indicadores de aderência com recorrência de infiltração, para que especificações públicas evoluam de prescrição de materiais para requisitos mensuráveis de desempenho e controle.

REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI). **ACI 201.2R-16: Guide to Durable Concrete**. Farmington Hills, MI, 2016.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI). **ACI 222R-19: Guide to Protection of Metals in Concrete Against Corrosion**. Farmington Hills, MI, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9574: Execução de impermeabilização**. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9575: Impermeabilização-Seleção e projeto**. Rio de Janeiro, 2010.

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

BROOMFIELD, J. P. **Corrosion of steel in concrete: understanding, investigation and repair**. 2. ed. London: Taylor & Francis/CRC Press, 2006. DOI: https://doi.org/10.1201/9781482265491.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 010/2024-PRO: **Inspeções em pontes e viadutos rodoviários e passarelas de pedestres — Procedimento**. Brasília, 2024.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). **EN 14695:2010: Flexible sheets for waterproofing -Reinforced bitumen sheets for waterproofing of concrete bridge decks and other trafficked areas of concrete**. Brussels, 2010.

FEDERATION INTERNATIONALE DU BETON (fib). **Model Code for Service Life Design. fib Bulletin 34**. Lausanne: fib, 2006.

FEDERATION INTERNATIONALE DU BETON (fib). **Model Code for Concrete Structures 2010: final draft. fib Bulletin 65/66**. Lausanne: fib, 2011.

HELENE, P. R. L. **Corrosão de armaduras para concreto armado. Tecnologia de edificações**. São Paulo: Pini, 1988.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 15686-1:2011: Buildings and constructed assets — Service life planning — Part 1: General principles and framework**. Geneva, 2011.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 16204:2012: Durability — Service life design of concrete structures. Geneva, 2012.

KONEČNÝ, P.; LEHNER, P. **Durability assessment of concrete bridge deck considering waterproof membrane and epoxy-coated reinforcement. Perspectives in Science**, v. 7, p. 222-227, 2016. DOI: 10.1016/j.pisc.2015.11.036.

MASCARO, Luciana Pelaes. **Em Bruxelas, engenharia e patrimônio em exposição**. *Revista de Pesquisa em Arquitetura e Urbanismo*, São Carlos: IAU-USP, v. 13, n. 1, p. 107-111, 2011.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M**. Concrete: Microstructure, Properties, and Materials**. 4. ed. New York: McGraw-Hill Education, 2014.

NEVILLE, A. M. **Properties of Concrete**. 5. ed. Harlow: Pearson, 2011. ISBN: 978-0273755807.

RUSSELL, H. G. **Waterproofing membranes for concrete bridge decks**. NCHRP Synthesis 425. Washington, D.C.: Transportation Research Board, 2012.

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

TRANSPORT INFRASTRUCTURE IRELAND (TII). **Waterproofing and surfacing of concrete bridge decks. Standard DN-STR-03009-02**. Dublin, 2019.

TUUTTI, K. **Corrosion of steel in concrete. Stockholm: Swedish Cement and Concrete Research Institute**, 1982.