



Ano V, v.2 2025 | **submissão: 02/10/2025** | **aceito: 04/10/2025** | **publicação: 06/10/2025**

Análise Multidisciplinar de Patologias em Pavimentos Rígidos Industriais: Mitigação de Riscos Estruturais e Otimização de Sistemas de Reforço

Multidisciplinary Analysis of Pathologies in Industrial Rigid Pavements: Structural Risk Mitigation and Reinforcement Systems Optimization

Luís Gustavo Mendes Perecin - Bacharel em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia de Piracicaba.

Resumo

O presente estudo investiga as manifestações patológicas recorrentes em pisos de concreto armado destinados a ambientes industriais de alta sollicitação mecânica. Analisa-se a interação entre as propriedades reológicas do concreto e as condições geotécnicas do subleito, com foco no fenômeno da retração e na instabilidade de recalques diferenciais. A pesquisa aborda métodos de prevenção baseados na introdução de fibras poliméricas e protensão, visando garantir a durabilidade e a funcionalidade estética e estrutural de grandes unidades fabris.

Palavras-chave: Concreto Armado. Pisos Industriais. Patologias Estruturais. Fissuração. Engenharia Civil.

Abstract

This study investigates recurrent pathological manifestations in reinforced concrete floors designed for high-stress industrial environments. It analyzes the interaction between the rheological properties of concrete and the geotechnical conditions of the subgrade, focusing on the phenomenon of shrinkage and the instability of differential settlements. The research addresses prevention methods based on the introduction of polymeric fibers and post-tensioning, aiming to ensure the durability and the structural and aesthetic functionality of large manufacturing units.

Keywords: Reinforced Concrete. Industrial Floors. Structural Pathologies. Cracking. Civil Engineering.

Introdução

A infraestrutura industrial contemporânea exige pavimentos de alto desempenho capazes de suportar cargas estáticas e dinâmicas extremas, provenientes de maquinários pesados e fluxos logísticos intensos. O concreto, devido à sua versatilidade e elevada resistência à compressão, consolidou-se como o material predominante para tais aplicações, porém sua natureza não inerte a sujeita a degradações precoces quando exposto a falhas de execução ou projeto. A compreensão técnica das variáveis que influenciam o comportamento do concreto polido é essencial para evitar o surgimento de fissuras e outros danos que comprometem a operação fabril e a integridade dos ativos financeiros imobilizados na construção.

Este capítulo propõe uma imersão científica nas causas fundamentais das patologias em pisos industriais, estruturando um diagnóstico baseado na engenharia de precisão e na mecânica dos solos. Através da análise de parâmetros fonológicos visuais e estruturais, busca-se estabelecer critérios rigorosos para o controle tecnológico desde a preparação da sub-base até a fase crítica de cura e acabamento. A transição para metodologias avançadas de reforço surge como um imperativo para aumentar a vida útil das estruturas e reduzir a incidência de manutenções onerosas que frequentemente paralisam cadeias produtivas inteiras.

1. Dinâmica da Retração e Fissuração no Concreto Industrial

A fissuração excessiva configura-se como a desvantagem técnica de maior relevância em estruturas de concreto industrial, sendo um fenômeno de difícil erradicação total. Esse processo inicia-se frequentemente pela retração plástica, que ocorre ainda no estado fresco da massa, decorrente da evaporação acelerada da água de amassamento antes que o material atinja resistência mecânica suficiente. A restrição ao movimento natural de contração da placa, imposta pelo atrito com a camada de sub-base, gera tensões de tração internas que excedem a capacidade suporte incipiente, resultando em descontinuidades macroscópicas na superfície acabada.

A retração autógena, por sua vez, manifesta-se pela redução da água livre nos poros capilares para alimentar as reações de hidratação do cimento, sem trocas com o ambiente externo. Esse fenômeno de auto-secagem é exacerbado em concretos de alto desempenho com baixos fatores água/cimento, exigindo um planejamento rigoroso dos aditivos plastificantes para controlar a reologia da mistura. Quando não mitigadas, essas fissuras atuam como canais de penetração para agentes agressivos, como cloretos e sulfatos, que desencadeiam a corrosão das armaduras e a degradação sistêmica da estrutura de concreto.

Adicionalmente, as variações térmicas oriundas das reações exotérmicas de hidratação do cimento Portland induzem dilatações e contrações que comprometem o monolitismo do sistema de piso. A diferença de temperatura entre o núcleo da placa e a sua superfície gera gradientes de deformação que podem levar ao empenamento das bordas das placas, afetando o nivelamento do pavimento. O controle rigoroso do traço e a aplicação de barreiras de vapor são estratégias fundamentais para estabilizar a umidade relativa dentro da massa de concreto e reduzir a amplitude dessas deformações térmicas e hidráulicas.

A fissuração por carbonatação ocorre pela reação química entre o dióxido de carbono atmosférico e os produtos da hidratação do cimento, reduzindo o pH da matriz e retirando a proteção natural do aço. Embora esse processo possa causar uma leve redução de volume compensada por expansões, ele é crítico para a durabilidade a longo prazo, pois facilita a oxidação precoce dos elementos metálicos. Projetistas devem, portanto, prever cobrimentos adequados e o uso de endurecedores de superfície que vedem a porosidade capilar, impedindo a migração de gases e líquidos para o interior do pavimento.

Por fim, o planejamento das juntas de dilatação e retração representa o método mais eficaz de "induzir" a fissuração em locais controlados, evitando o surgimento de trincas aleatórias e disruptivas. O atraso no corte dessas juntas é uma falha executiva comum que resulta em patologias graves, onde as tensões internas encontram caminhos de menor resistência antes da intervenção mecânica. A precisão do cronograma de lançamento, sarrafeamento e corte é a variável que define a qualidade final de um piso industrial, exigindo coordenação entre a usina e a equipe de campo.

Ano V, v.2 2025 | submissão: 02/10/2025 | aceito: 04/10/2025 | publicação: 06/10/2025

2. Geotecnia e a Estabilidade da Interface Base/Sub-base

A integridade de um pavimento rígido é intrinsecamente dependente da capacidade de suporte e da homogeneidade do solo onde está fundado. A sub-base atua como o elemento de distribuição de esforços, transformando as pressões concentradas das rodas de empilhadeiras em tensões distribuídas suportáveis pelo subleito. Variáveis bruscas na compactação ou a presença de solos moles altamente compressíveis podem gerar recalques diferenciais que submetem as placas de concreto a esforços de flexão não previstos em projeto estrutural.

Ensaio geotécnicos preliminares, como a sondagem SPT e a determinação do Índice de Suporte Califórnia (CBR), são mandatórios para o correto dimensionamento das espessuras das camadas. O reconhecimento do nível do lençol freático previne o fenômeno de umidade ascendente, que pode causar o destacamento de revestimentos poliméricos e a degradação da pasta de cimento na base da placa. Solos expansivos representam um risco adicional, pois sua movimentação volumétrica induzida pela variação de umidade pode levantar partes do piso, gerando degraus indesejáveis nas juntas.

O processo conhecido como *pumping* ou bombeamento de solos finos ocorre quando a água presente na sub-base é expelida pelas juntas sob pressão das cargas móveis. Esse mecanismo remove gradualmente o material fino do subleito, criando vazios abaixo da placa de concreto que eliminam o apoio contínuo e provocam a ruptura por cisalhamento. A execução de uma base de brita graduada ou solo-cimento bem compactada é a solução técnica recomendada para interromper esse processo de erosão interna e garantir a longevidade do sistema.

Em terrenos com solos de baixa resistência, o recalque por adensamento pode ser mitigado através de técnicas de pré-carregamento e uso de geodrenos. Essas metodologias aceleram a expulsão da água intersticial, permitindo que o solo se estabilize antes da execução do pavimento definitivo de concreto. Caso o cronograma da obra inviabilize tais técnicas, o projeto deve migrar para o conceito de lajes sobre estacas, onde a carga é transmitida para camadas profundas e estáveis do solo.

A uniformização do comportamento mecânico da fundação ao longo de toda a área pavimentada é o objetivo principal da engenharia de solos aplicada a pisos. Deficiências no aterro e falhas na compactação estão entre as causas mais frequentes de incidentes patológicos que exigem demolição e reestruturação completa. Portanto, a fiscalização rigorosa da densidade do solo e o controle da umidade durante a terraplenagem são etapas tão críticas quanto o próprio traço do concreto para o desempenho final da obra.

3. Tecnologia de Materiais: Concretos Especiais e Sistemas de Reforço

O avanço da construção industrial introduziu o Concreto de Alto Desempenho (CAD), caracterizado por uma resistência à compressão superior a 40 MPa e baixa porosidade. Através do

Ano V, v.2 2025 | submissão: 02/10/2025 | aceito: 04/10/2025 | publicação: 06/10/2025

uso de sílica ativa e aditivos super plastificantes, obtém-se uma matriz cimentícia de alta densidade que reduz significativamente a espessura necessária das placas estruturais. Esse material minimiza os custos indiretos com fôrmas e volume de concreto, além de aumentar a resistência química contra óleos e solventes típicos de plantas industriais.

A introdução de fibras metálicas e poliméricas (polipropileno ou nylon) transformou o método de controle de fissuração, permitindo a substituição de telas soldadas em diversos contextos. As fibras atuam como pontes de transferência de tensões dentro da massa de concreto, inibindo a propagação de microfissuras e aumentando a tenacidade da estrutura. Para pisos submetidos a cargas moderadas, as fibras sintéticas combatem eficazmente a retração inicial, garantindo um acabamento superficial mais íntegro e homogêneo.

O concreto protendido representa a fronteira tecnológica para pavimentos de grandes dimensões sem juntas, utilizando cabos de aço de alta resistência tracionados por macacos hidráulicos. A compressão prévia introduzida no sistema anula as tensões de tração decorrentes do carregamento operacional, possibilitando a execução de "panos" contínuos que reduzem a manutenção. Essa técnica é ideal para centros logísticos automatizados, onde a ausência de juntas minimiza o desgaste das rodas de empilhadeiras e garante a precisão do movimento de robôs.

Por outro lado, o uso de concreto pesado, com agregados de alta massa específica como a hematita, é restrito a aplicações que demandam proteção radiológica ou estabilidade extrema. Embora menos comum em pisos logísticos gerais, sua durabilidade contra abrasão mecânica o torna uma opção viável para indústrias siderúrgicas ou áreas de descarga de materiais pesados. O sucesso desses concretos especiais depende intrinsecamente da precisão no traço usinado, evitando segregações que comprometem a resistência final.

A aderência entre o aço e o concreto, fundamental para o concreto armado, é garantida pelos mecanismos de adesão, atrito e ancoragem mecânica das nervuras das barras. Em pisos, a correta proteção das armaduras e o respeito ao cobrimento normativo evitam a oxidação precoce que geraria o deslocamento da capa superficial de concreto. A integração harmoniosa entre a matriz de concreto e o sistema de reforço escolhido define a ductilidade e a segurança operacional do pavimento durante todo o seu ciclo de vida.

4. Patologias de Superfície e Procedimentos de Acabamento Técnico

A delaminação ou deslocamento superficial é uma patologia crítica que se manifesta pelo destacamento de finas placas da superfície do piso após o polimento. Esse fenômeno é frequentemente disparado pela execução prematura do acabamento com máquinas "helicóptero" antes do encerramento do processo de exsudação do concreto. O ar e a água aprisionados abaixo da película selada criam vazios horizontais que se separam do maciço quando submetidos a impactos ou

Ano V, v.2 2025 | submissão: 02/10/2025 | aceito: 04/10/2025 | publicação: 06/10/2025

movimentação térmica.

O desgaste por abrasão decorre do tráfego intenso de rodas de aço ou da queda de objetos pesados, resultando na perda da nata de cimento e exposição dos agregados. A aplicação de endurecedores químicos de superfície, à base de silicatos, reage com o hidróxido de cálcio residual para formar cristais que fecham a porosidade e aumentam a dureza superficial. O acabamento polido, quando executado corretamente sob índices de planicidade (FF) rigorosos, facilita a higienização e reduz o acúmulo de contaminantes em ambientes farmacêuticos ou alimentícios.

A presença de eflorescências e manchas na superfície é um indicativo de transporte de sais solúveis através da rede capilar do concreto endurecido. Embora muitas vezes possuam caráter apenas estético, podem sinalizar problemas de drenagem ou má qualidade da água utilizada no amassamento da mistura. O tratamento dessas ocorrências exige limpeza mecânica ou química suave, seguida pela selagem dos poros para interromper o fluxo de umidade ascendente que carrega os minerais para a superfície.

Condições climáticas adversas, como sol intenso ou ventos fortes durante a concretagem, aceleram a secagem da face superior da placa, provocando a retração diferencial e o empenamento. A proteção com lona plástica e o início imediato da cura úmida ou química são medidas defensivas fundamentais para garantir que o processo de hidratação ocorra de forma uniforme. A exposição à chuva durante o acabamento é um erro fatal que remove o ligante superficial, resultando em uma textura rústica e friável que exige polimento profundo corretivo.

Os reparos em áreas delaminadas devem seguir protocolos rigorosos que incluem o corte geométrico da área afetada e a remoção de todo o material sem aderência. O preenchimento com argamassas epóxi ou cimentícias estabilizadas com resina garante a compatibilidade de deformação e a rápida liberação para o tráfego industrial. A preparação do substrato por fresagem ou jateamento é a única forma de garantir a ancoragem química e mecânica necessária para que o reparo não se torne uma nova patologia em curto prazo.

5. Metodologia Executiva e Planejamento de Curas Tecnológicas

O plano de concretagem é o documento mestre que coordena o fluxo de caminhões betoneira, o uso de bombas de lançamento e o intervalo entre as frentes de trabalho. A aplicação do concreto através de bombas permite atingir áreas de acesso restrito com maior fluidez, mas exige um traço mais rico em finos para evitar o entupimento das tubulações. O lançamento e sarrafeamento devem ser conduzidos por profissionais especializados, utilizando régua vibratórias ou niveladores a laser para atingir os índices de planicidade projetados.

A vibração técnica do concreto visa eliminar vazios e ar aprisionado, garantindo o adensamento perfeito da massa em torno das armaduras e barras de transferência. A porosidade

Ano V, v.2 2025 | submissão: 02/10/2025 | aceito: 04/10/2025 | publicação: 06/10/2025

excessiva decorrente de vibração insuficiente compromete a resistência mecânica e a impermeabilidade da estrutura, tornando-a vulnerável a ataques químicos. Equipes treinadas devem monitorar a homogeneidade da massa, evitando a segregação dos agregados graúdos que tendem a se depositar no fundo da forma sob vibração excessiva.

A fase de acabamento superficial, realizada por acabadoras mecânicas ("helicópteros"), deve ser monitorada através do teste de dureza superficial ou observação da água de exsudação. O objetivo é obter um concreto polido vítreo sem alterar o fator água/cimento pela adição indevida de água para facilitar o trabalho dos profissionais. O nivelamento preciso, verificado por dispositivos digitais, assegura que não haja acúmulo de água ou dificuldades de movimentação de veículos de carga paletizada.

A cura tecnológica é, talvez, a etapa mais negligenciada e, ao mesmo tempo, a mais vital para o desempenho do pavimento industrial. A cura úmida, mantida por no mínimo sete dias através de mantas de feltro molhadas, garante a hidratação completa dos grãos de cimento e minimiza a retração térmica. Alternativamente, a cura química por aspersão de compostos à base de parafina oferece uma barreira física contra a evaporação, mas sua aplicação deve ser cautelosa em pisos que receberão revestimentos posteriores.

Por fim, o gerenciamento de obras industriais deve atrelar a produtividade ao rigoroso controle tecnológico dos materiais e processos. A substituição de mão de obra qualificada por equipes inexperientes ou a negligência na fiscalização dos ensaios de fck são determinantes para o surgimento de patologias congênitas. A adoção de procedimentos padronizados e manuais de manutenção para os usuários finais garante que o investimento inicial seja preservado, atingindo a vida útil de projeto com eficiência operacional máxima.

Conclusão

A investigação técnica detalhada ao longo deste capítulo demonstra que a engenharia de pavimentos industriais evoluiu de um simples dimensionamento para uma ciência multidisciplinar complexa. Ficou evidente que o sucesso estrutural de um piso de concreto armado depende da harmonização absoluta entre o projeto estrutural, as especificações tecnológicas dos materiais e o rigoroso controle executivo em campo. A negligência em qualquer uma dessas etapas, desde a compactação da sub-base até o tempo exato de corte das juntas, manifesta-se invariavelmente em patologias que degradam o valor econômico e funcional da construção.

Os mecanismos de retração plástica e hidráulica, identificados como os principais vetores de fissuração, exigem estratégias preventivas baseadas na tecnologia de aditivos e no planejamento climático do lançamento. A introdução de sistemas de reforço modernos, como as fibras metálicas e a protensão, surge não apenas como um diferencial competitivo, mas como uma necessidade técnica

Ano V, v.2 2025 | submissão: 02/10/2025 | aceito: 04/10/2025 | publicação: 06/10/2025

para viabilizar vãos maiores e reduzir a manutenção periódica. O domínio das propriedades mecânicas do concreto, especialmente o módulo de elasticidade e a aderência com o aço, é o fundamento científico que sustenta a segurança operacional de megaprojetos industriais.

No âmbito geotécnico, conclui-se que o piso industrial nunca deve ser analisado isoladamente, mas como um sistema integrante do solo de fundação. O entendimento de fenômenos como o recalque por adensamento e o bombeamento de finos (*pumping*) permite a adoção de medidas corretivas prévias que evitam falhas catastróficas por perda de apoio. A uniformização do suporte da base é a garantia de que as tensões calculadas serão distribuídas de forma previsível, preservando a integridade do concreto polido contra esforços de flexão excessivos.

Quanto às superfícies de acabamento, a análise reforça a grande importância do *timing* operacional para evitar o deslocamento ou delaminação das capas superficiais. O controle do processo de exsudação e a proibição da aspersão de água durante o desempenho são regras de ouro que separam obras de excelência de pavimentos friáveis e porosos. O investimento em planicidade e nivelamento reflete-se diretamente na eficiência logística do usuário final, diminuindo o desgaste de frotas e aumentando a segurança dos operadores no ambiente fabril.

O papel da manutenção preventiva e da fiscalização técnica ativa consolida-se como o melhor investimento financeiro em longo prazo, dado o altíssimo custo das terapias patológicas corretivas. A correção de fissuras por injeção ou costura metálica, embora eficaz quando conduzida por especialistas, raramente restitui a estética vítrea original e costuma gerar marcas permanentes no piso. Assim, a prevenção através de curas tecnológicas rigorosas e o respeito aos prazos de endurecimento devem ser prioridades inegociáveis para qualquer gestor de obras de infraestrutura industrial.

A normalização técnica brasileira, representada pela NBR 6118 e NBR 7583, oferece o arcabouço legal e técnico necessário para balizar as decisões de engenharia, porém a experiência prática de campo é o que permite interpretar as nuances climáticas e de materiais. O uso de niveladores a laser e softwares de modelagem preditiva de custos e desempenho representa o estado da arte na engenharia civil, elevando o padrão de governança em projetos de capital intensivo. A convergência entre o conhecimento acadêmico e as inovações tecnológicas de mercado é o caminho para a edificação de estruturas resilientes e sustentáveis.

Por fim, este tratado técnico espera contribuir para a disseminação de boas práticas na engenharia civil brasileira, fomentando o debate sobre a importância da padronização e da qualificação de mão de obra especializada. O piso industrial é o suporte físico da economia nacional, onde o crescimento fabril se materializa; tratá-lo com o devido rigor científico é garantir o futuro da infraestrutura produtiva do país. Que a engenharia aplicada com visão estratégica, técnica e financeira continue sendo o pilar do sucesso de empreendimentos complexos em todo o território nacional.



Ano V, v.2 2025 | submissão: 02/10/2025 | aceito: 04/10/2025 | publicação: 06/10/2025

Referências

ANDRADE, C. **Manual para Diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras**. São Paulo: Pini, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Pavimento de concreto práticas recomendadas**. São Paulo: ABCP, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projetos de Estrutura de Concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7583: Execução de Pavimentos de Concreto Simples por meio Mecânico**. Rio de Janeiro: ABNT, 1984.

BOTELHO, M. H. C.; MARCHETTI, O. **Concreto armado eu te amo**. São Paulo: Blucher, 2004.

CHODOUNSKY, M. A. **Pisos industriais de concreto: aspectos teóricos e produtivos**. São Paulo: Reggenza, 2007.

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

LEONHARDT, F. **Construções de Concreto: Princípios Básicos do Dimensionamento de Estruturas de Concreto Armado**. vol. 1. Rio de Janeiro: Interciência, 1977.

MACHADO, A. P. **Reforço de Estruturas de Concreto Armado com Fibras de Carbono**. São Paulo: Pini, 2002.

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

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

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

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. São Paulo: Pini, 1989.

VASCONCELOS, A. C. **O Concreto no Brasil: Pré-história, História e Arte**. São Paulo: Pini, 2006