

DESAFIOS DA ENGENHARIA NO MARANHÃO

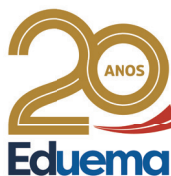


Fernando Jorge Cutrim Demétrio
Jorge Creso Cutrim Demétrio
(Organizadores)

20 ANOS
Eduema

FERNANDO JORGE CUTRIM DEMETRIO
JORGE CRESO CUTRIM DEMÉTRIO
(Orgs.)

Desafios da Engenharia no Maranhão: Segurança, Patrimônio e Inovação Tecnológica



São Luís, 2026

© copyright 2026 by UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
Qualquer parte desta publicação pode ser reproduzida, desde que citada a fonte.
Todos os direitos desta edição reservados à EDITORA UEMA.

Desafios da Engenharia no Maranhão: Segurança, Patrimônio e Inovação Tecnológica

EDITOR RESPONSÁVEL

Jeanne Ferreira Sousa da Silva

CONSELHO EDITORIAL

Alan Kardec Gomes Pachêco Filho • Ana Lucia Abreu Silva
Ana Lúcia Cunha Duarte • Cynthia Carvalho Martins
Denise Maia Pereira • Eduardo Aurélio Barros Aguiar
Emanoel Cesar Pires de Assis • Fabíola Hesketh de Oliveira
Helciane de Fátima Abreu Araújo • Helidacy Maria Muniz Corrêa
Jackson Ronie Sá da Silva • José Roberto Pereira de Sousa
José Sampaio de Mattos Jr • Luiz Carlos Araújo dos Santos
Marcos Aurélio Saquet • Maria Medianeira de Souza
Maria Claudene Barros • Rosa Elizabeth Acevedo Marin
Wilma Peres Costa

Diagramação e Capa: Paul Philippe

D442 Desafios da engenharia no Maranhão: segurança, patrimônio e inovação tecnológica [livro digital] / organizadores Fernando Jorge Cutrim Demetrio, Jorge Creso Cutrim Demétrio – São Luís: EDUEMA, 2026.

274 p. :il. color.

Inclui bibliografia

ISBN: 978-85-8227-741-6

1.Engenharia. 2.Segurança. 3.Projetos. I.Demetrio, Fernando Jorge Cutrim.
II.Demétrio, Jorge Creso Cutrim. III.Título.

CDU: 001.891.5:62(812.1)

Elaborado por Cássia Diniz - CRB 13/910

SUMÁRIO

ANÁLISE DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS E TÉCNICAS DE RECUPERAÇÃO E REFORÇO ESTRUTURAL EM CONCRETO ARMADO: CASO DO PRÉDIO DO SENAI EM SÃO LUÍS-MA.....	6
AVALIAÇÃO DO USO DA CINZA DO CAVACO DO EUCALIPTO COMO SUBSTITUTO DO FÍLER EM MISTURAS ASFÁLTICAS USINADAS A QUENTE.....	25
ANÁLISE DE MITIGAÇÃO DE RISCOS EM PROCEDIMENTOS DE LANÇAMENTO DE FOGUETES NO CLA: MISSÃO FALCÃO II	42
ESTUDO DE MISTURAS ASFÁLTICAS DO TIPO CAUQ: COMPARATIVO ENTRE OS MÉTODOS DE COMPACTAÇÃO POR IMPACTO E POR AMASSAMENTO	64
ANÁLISE DAS ESTRATÉGIAS ESTRUTURAIS EMPREGADAS POR EQUIPES NA CONSTRUÇÃO DE PONTES DE PALITO: ESTUDO DE CASO DA 1ª COMPETIÇÃO DE PONTE DE PALITO DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO	85
METODOLOGIAS DE INTERAÇÃO VEÍCULO-PONTE ACOPLADOS IMPLEMENTADAS NO ABAQUS PARA A ANÁLISE DINÂMICA DE PONTES FERROVIÁRIAS ISOSTÁTICAS	101
PROPOSTA DE OTIMIZAÇÃO DO MAPA DE RISCO DA MARCENARIA DA SEAP/MA.....	119
CORROSÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: UMA BREVE ATUALIZAÇÃO BIBLIOGRÁFICA PARA ENTENDIMENTO PRÁTICO..	136

IMPLANTAÇÃO DO PLANO DE RIGGING NA CONSTRUÇÃO CIVIL: CONTRIBUIÇÕES DA NR-18 PARA A SEGURANÇA EM OPERAÇÕES DE IÇAMENTO	161
O PATRIMÔNIO CULTURAL: RISCOS, VULNERABILIDADES ESTRUTURAIS E OS DESAFIOS DA PRESERVAÇÃO DO CENTRO HISTÓRICO DE SÃO LUÍS - MA.....	176
SEGURANÇA DO TRABALHO NO RESTAURO DE EDIFICAÇÕES HISTÓRICAS: ANÁLISE DE PROTOCOLOS DE PREVENÇÃO CONTRA COLAPSOS ESTRUTURAIS NO CENTRO HISTÓRICO DE SÃO LUÍS - MA.....	199
GESTÃO DE RISCOS DE INCÊNDIO EM ESPAÇO URBANO COMERCIAL: UM ESTUDO DE CASO DA VULNERABILIDADE NA RUA GRANDE, SÃO LUÍS (MA)....	224
ANÁLISE DA EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL A ÓLEO DIESEL E FLUIDO HIDRÁULICO EM OFICINA MECÂNICA: UM ESTUDO DE CASO	237
SEGURANÇA DO TRABALHO EM VÁRIAS ETAPAS DA CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA ABORDAGEM DA ENGENHARIA DE SEGURANÇA.....	252

ANALISE DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS E TÉCNICAS DE RECUPERAÇÃO E REFORÇO ESTRUTURAL EM CONCRETO ARMADO: CASO DO PRÉDIO DO SENAI EM SÃO LUÍS-MA

Erica Samara Pinheiro Maciel¹
eng.ericamaciel@gmail.com

Clodoaldo Cesar Malheiros Ferreira²
clodoaldoferreira@professor.uema.br

Eduardo Aurélio Barros Aguiar³
eduardoaguiar.eng@outlook.com

Iêdo Alves de Souza⁴
iedosousa@professor.uema.br

A engenharia diagnóstica é um ramo da engenharia civil voltada para o estudo e tratamento das manifestações patológicas em edificações. Trata-se de uma área abrangente, dada a variedade de anomalias que podem afetar um ou mais elementos construtivos, geralmente influenciadas pelas condições ambientais e pela não conformidade com normas técnicas que asseguram o desempenho estrutural ao longo da vida útil da construção. Este trabalho aborda as causas, tipos e métodos de correção das manifestações patológicas em estruturas de concreto armado, que podem surgir nas fases de concepção, execução ou utilização da edificação. O foco está na análise das manifestações patológicas observadas nos pilares e vigas de travamento do prédio de ensino do SENAI, situado no Distrito Industrial de São Luís-MA, bem

1 Bacharel em Engenharia Civil, Universidade Estadual do Maranhão, Departamento de Engenharia Civil, São Luís - MA, Brasil.

2 Mestre em Engenharia Civil-Estruturas, Universidade Estadual do Maranhão, Departamento de Engenharia Civil, São Luís - MA, Brasil.

3 Doutor em Engenharia Civil - Estruturas, Universidade Estadual do Maranhão, Departamento de Engenharia Civil, São Luís - MA, Brasil.

4 Doutor em Química, Universidade Estadual do Maranhão, Departamento de Engenharia Civil, São Luís - MA, Brasil.

como na descrição das soluções adotadas para recuperação e reforço dos elementos afetados. Os resultados evidenciam a relevância da engenharia diagnóstica na preservação da integridade estrutural e na promoção da segurança dos usuários do espaço.

Engenharia diagnóstica

No contexto em que as manifestações patológicas comprometem o funcionamento e reduzem o desempenho esperado de uma edificação, surge a necessidade da patologia das construções. Segundo Bolina (2019), essa área da engenharia civil tem como objetivo estudar os indícios da “doença” (manifestação patológica), identificar suas causas, levantar dados históricos, analisar documentos e registros fotográficos, avaliar possíveis consequências e, caso o processo ainda esteja em evolução, propor soluções corretivas e medidas preventivas para evitar a deterioração das estruturas.

Causa das deteriorações nas estruturas

Espera-se que as estruturas de concreto armado cumpram sua função com segurança e eficiência, tendo como pilares fundamentais a confiabilidade para os usuários do espaço. Desconsiderando eventos naturais catastróficos, as manifestações patológicas geralmente decorrem de falhas em uma das três etapas da construção civil: concepção, execução ou utilização (Souza e Ripper, 1998). As causas dessas deteriorações podem ser classificadas, conforme sua origem, em intrínsecas e extrínsecas, como apontam Weimer et al. (2018).

As causas intrínsecas estão relacionadas diretamente à estrutura, podendo envolver características dos materiais, falhas humanas e ações externas. Entre os exemplos mais comuns estão os erros de execução, como o não cumprimento das especificações do projeto; o uso inadequado de materiais, como concreto com resistência inferior à projetada (f_{ck}), aço com bitola incorreta ou dosagem inadequada do concreto; fundações mal dimensionadas, sem análise da resistência do solo; e ausência de controle de qualidade durante a obra. Na fase de utilização, destaca-se a falta de manutenção como uma falha humana que compromete diretamente o desempenho estrutural.

Além disso, existem as causas intrínsecas naturais, que não decorrem de falhas humanas, mas sim do comportamento dos materiais frente ao ambiente e aos esforços solicitantes. Essas causas podem ser

classificadas em três grupos: características do próprio material, ações físicas e ações biológicas. No primeiro grupo, incluem-se propriedades como porosidade, permeabilidade, reações internas e baixa qualidade dos insumos (cimento, areia, etc.). As ações físicas envolvem variações de temperatura, vento, chuva, insolação e umidade durante a cura do concreto. Já as ações biológicas dizem respeito ao crescimento de raízes, presença de algas e fungos em fissuras, que contribuem para a degradação do concreto.

As causas extrínsecas, por sua vez, são fatores externos à estrutura, podendo também resultar de falhas humanas no projeto ou na utilização. Entre as falhas na concepção, destacam-se o cálculo incorreto das cargas (permanentes, variáveis, acidentais e climáticas), negligência nos coeficientes de segurança, detalhamento incompleto das armaduras, inadequação ao ambiente (como cobrimento inadequado), ausência de sondagem e dimensionamento incorreto das fundações, além de falhas nas juntas de dilatação. Na fase de utilização, intervenções sem respaldo técnico também podem comprometer a estrutura, como alterações em vigas, lajes e pilares; acréscimo de pavimentos sem avaliação estrutural; escavações que afetam a estabilidade do terreno; e sobrecargas não previstas em projeto.

Outros fatores extrínsecos incluem ações mecânicas, como recalques naturais das fundações e impactos por choques ou incêndios; ações físicas, como variações térmicas e incompatibilidade entre materiais com diferentes coeficientes de dilatação; ações químicas, como exposição ao ar, gases, águas agressivas, ácidos, sais e sulfatos; e ações biológicas, como o crescimento de vegetação que gera fissuras, além da presença de cupins e formigas que danificam a estrutura.

Principais manifestações patológicas em estruturas de concreto armado

Com o passar do tempo, o concreto armado, assim como qualquer outro material de construção, está sujeito à degradação. No entanto, conforme destacado por Weimer et al. (2018), quando sua concepção e execução são realizadas de forma adequada e compatível com as condições ambientais em que a estrutura está inserida, sua vida útil tende a ser significativamente prolongada.

Para que o concreto armado alcance o tempo de vida útil previsto e minimize o surgimento de manifestações patológicas, é essencial que

o projeto seja bem elaborado, a execução ocorra conforme as normas técnicas e que sejam realizadas manutenções periódicas e preventivas. A negligência em qualquer uma dessas etapas pode favorecer o aparecimento de diversas manifestações patológicas, entre as quais se destacam: fissuras, corrosão das armaduras, desagregação do concreto, carbonatação, perda de aderência, desgaste superficial e lixiviação.

Classificação do grau de risco

De acordo com o Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia (IBAPE, 2012), o grau de risco das manifestações patológicas pode ser classificado conforme o impacto sobre os usuários, o meio ambiente e o patrimônio, sendo classificado em crítico, médio e mínimo. A classificação crítica refere-se ao comprometimento significativo da vida útil da estrutura, perda de desempenho e risco à saúde e segurança das pessoas e do ambiente. A classificação média indica perda de desempenho e funcionalidade, sem prejuízo direto à operação dos sistemas. Já a classificação mínima afeta apenas a estética, sem representar riscos relevantes à segurança ou à funcionalidade.

Caracterização da área de estudo

O edifício objeto de estudo deste trabalho está situado nas coordenadas geográficas 2°37'18"S e 44°15'35"W. Suas dimensões são de 24,30 metros de largura, com extensão longitudinal de 111 metros no lado esquerdo e 99,80 metros no lado direito. A estrutura conta com 43 pilares externos, engastados em vigas invertidas que se estendem transversalmente por toda a edificação. A laje utilizada é do tipo maciça, e o prédio apresenta cobertura nos lados A e B. A área central da laje, bem como as canaletas que circundam o perímetro da construção, são impermeabilizadas, conforme ilustrado na Figura 1.

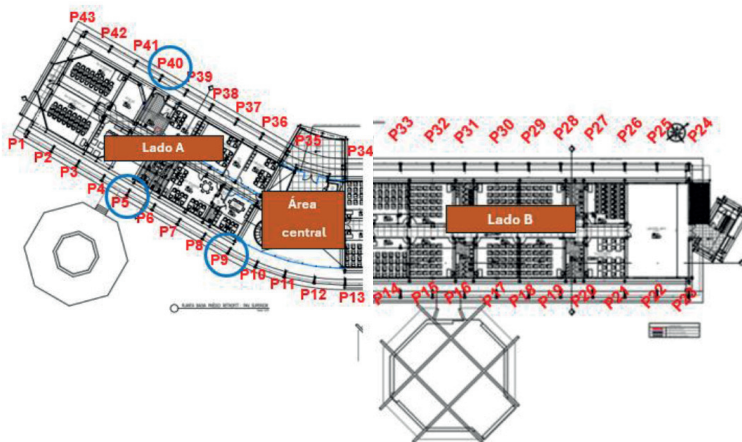
Figura 1: Adaptado do Google Earth, *Prédio do SENAI*, (2024)



O edifício, construído em 1984, é composto por dois blocos estruturais (lado A e lado B), interligados por duas juntas de dilatação. Sua composição estrutural inclui 43 fundações rasas com dimensões originais de 1,5 metro por 1,5 metro e profundidade de 30 centímetros; 43 pilares com altura de 8,16 metros e seção transversal de 80 centímetros por 20 centímetros; 19 vigas contínuas invertidas com extensão de 21,80 metros; laje do tipo maciça; e cobertura com telhas originais do tipo kalhetão, com peso médio de 24 kg/m², conforme especificações da Brasilit Saint-Gobain.

Devido à indisponibilidade do projeto estrutural original, foi realizada uma inspeção em campo, na qual constatou-se um cobrimento médio de 2,5 centímetros nos pilares e nas vigas de travamento. Em determinadas regiões, apurou-se a presença de cobrimentos de apenas 1 centímetro, evidenciando falhas de execução em relação às exigências normativas.

Figura 2: Adaptado de Senai, *Posição dos pilares*, (2021)



Para a realização deste estudo, foram conduzidas visitas técnicas ao prédio do SENAI, localizado em São Luís-MA, nos meses de agosto e novembro de 2024. Durante as vistorias, foram identificadas manifestações patológicas em elementos estruturais de concreto armado, especificamente nos pilares externos e nas vigas de travamento. Na etapa seguinte, acompanhou-se a execução da terapia corretiva adotada, voltada à recuperação e ao reforço estrutural dos elementos estruturais.

A intervenção corretiva nos pilares teve início em 2024, seguindo uma ordem de execução baseada na criticidade dos elementos, sendo priorizados os pilares de numeração 5, 9 e 40, sinalizados na Figura 2. Posteriormente, a terapia foi estendida a todos os pilares do lado esquerdo da edificação e, em seguida, aos do lado direito. A recuperação e o reforço das vigas de travamento não foram acompanhados, uma vez que essa etapa ainda não havia sido executada até a conclusão deste trabalho.

Manifestações patológicas do prédio do SENAI

Constatou-se que a principal manifestação patológica identificada nas estruturas de concreto armado do prédio do SENAI decorreu da ação de um agente químico externo, favorecida pela espessura insuficiente

do cobrimento em relação à classe de agressividade ambiental do local onde o edifício está inserido. No entanto, essa hipótese não pôde ser confirmada por meio de laudo técnico, uma vez que o documento não foi disponibilizado. A manifestação era visivelmente perceptível nos pilares externos, em que, a maioria apresentava deslocamento do concreto e oxidação das armaduras, conforme exemplo na Figura 3.

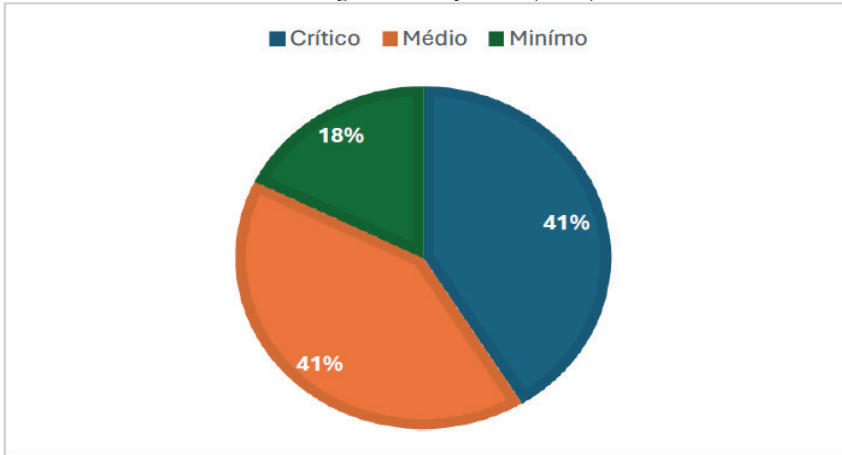
Adicionalmente, verificou-se que alguns pilares apresentavam espaçamento entre barras de armadura inferior ao recomendado, o que configura erro de projeto ou de execução e contribui para o surgimento de manifestações patológicas associadas à falha de concretagem. Tal condição não atende aos parâmetros estabelecidos pela NBR 6118, que determina espaçamento mínimo de 2 cm; igual ou superior ao diâmetro da barra; ou 1,2 vezes o diâmetro do agregado graúdo. Dentre todos os pilares inspecionados, três apresentavam estado mais crítico, com elevado grau de comprometimento estrutural, sendo que alguns estavam amarrados com arame para conter as placas de concreto já deslocadas.

Figura 3: Autora, Pilar crítico, (2024)



Com base na análise realizada em campo e nos critérios estabelecidos pela norma do IBAPE, foi possível avaliar uma amostragem composta por 17 pilares da edificação. A partir dessa avaliação, classificou-se o grau de deterioração estrutural em três níveis: crítico, médio e mínimo, conforme gráfico ilustrado na Figura 4.

Figura 4: Autora, Percentual em grau de manifestação patológica em uma amostragem de 17 pilares (2024)



Além dos pilares, outro elemento estrutural que apresentou anomalias são as vigas de travamento, pois, em alguns trechos, a armadura está exposta e oxidada.

Figura 5: Autora, *Viga de travamento com armadura exposta* (2024)



Terapia Corretiva

Inicialmente, foi realizada a remoção das telhas do tipo kalhetão da cobertura localizada no lado A do edifício. Em seguida, devido à elevada criticidade das manifestações patológicas observadas nos pilares de numeração 5, 9 e 40, também situados no lado A, tornou-se necessário escorar esses elementos estruturais com tubos roll, a fim de garantir a estabilidade da estrutura e a segurança dos profissionais envolvidos na intervenção. O processo de recuperação e reforço foi conduzido de forma sequencial, atuando em um pilar por vez. A ordem de execução

seguiu a seguinte sequência: pilar 5, seguido pelos pilares 9 e 40, todos pertencentes ao lado esquerdo da edificação, sendo posteriormente estendida aos pilares do lado direito.

Cabe destacar que o edifício apresenta juntas de dilatação em sua estrutura, o que o diferencia de uma configuração monobloco. Essa característica permite a realização de intervenções localizadas em um dos lados da construção sem comprometer diretamente o outro, conferindo maior flexibilidade e segurança ao processo de recuperação estrutural.

Figura 6: Autora, Estrutura escorada (2024)



A partir da estrutura escorada (Figura 6), iniciou-se o processo de escavação ao redor de cada sapata, individualmente, com dimensões de 2,8 metros por 2,8 metros, com o objetivo de verificar suas condições e viabilizar a execução do projeto de reforço estrutural. Durante as inspeções, não foram identificadas manifestações patológicas aparentes em nenhuma das 43 sapatas existentes. No entanto, tornou-se necessário reforçá-las para que pudessem suportar as cargas decorrentes das novas dimensões dos pilares (Figura 7), considerando que as fundações originais eram do tipo simples e rasas, com medidas de 1,5 metro por 1,5 metro e profundidade de apenas 0,3 metro.

Cabe destacar que o solo da região apresenta elevada presença de pedregulhos, o que contribui positivamente para a estabilidade da edificação. Todavia, não foi disponibilizado o ensaio de SPT (Standard Penetration Test), o que impossibilitou uma análise geotécnica mais precisa. Segundo informações da empresa responsável pela execução, o tempo médio necessário para realizar manualmente a escavação de uma sapata era de aproximadamente cinco dias, com o trabalho de dois colaboradores.

Figura 7: SENAI, Reforço da sapata, (2022)



pela exposição ao ambiente externo, realizou-se a limpeza com jato de alta pressão, seguida de lixamento do aço. Posteriormente, as armaduras foram protegidas com aplicação de tinta rica em zinco.

O processo de recuperação permitiu a concretagem e vibração eficaz da zona de transição do pilar, garantindo cobertura de 6 cm. Após a cura, procedeu-se à impermeabilização da sapata e ao reaterro da área escavada.

O reforço dos pilares consistiu no aumento da seção transversal de 80 cm por 20 cm para uma nova configuração de 100 cm por 40 cm. Para isso, foi realizado o apicoamento na estrutura de concreto existente. Em seguida, posicionaram-se 10 barras de 20 mm ao redor do pilar (Figura 9), fixadas com ganchos de 5 mm por meio de chumbadores químicos SYKA DUR 32 e engastados na viga invertida da cobertura.

Figura 9: Autora, Barras posicionadas aguardando concretagem, (2024)



Foram utilizadas fôrmas modulares espaçadas a cada um metro para a concretagem dos pilares com graute, com aplicação de espuma expansiva nas quinas, a fim de evitar vazamentos. Essa medida foi adotada após resultados insatisfatórios observados nos primeiros pilares, nos quais o graute vazou, provocando deformações na geometria dos elementos estruturais. Tal ocorrência deve-se à elevada fluidez do material utilizado para concretagem. O graute empregado apresenta resistência característica à compressão de 50 MPa, e o cobrimento adotado foi de 5 cm, em conformidade com os requisitos da NBR 6118, considerando a classe de agressividade ambiental da área como forte.

O método construtivo adotado foi o de encamisamento por janela, executado em etapas de 1 metro. Após cada etapa, realizava-se a desforma, seguida da montagem de novas fôrmas para concretagem do segmento subsequente, até a conclusão do pilar com as novas dimensões de 1 metro por 0,40 metro. Na composição do graute utilizado, foi incorporado pó de brita, conforme especificações do fabricante. Para a concretagem de cada pilar, foram consumidos, em média, 100 sacos de graute com 25 kg cada

Segundo o fabricante, Soprema, 81 sacos são necessários para fazer 1 m³ de graute, logo, conforme as novas dimensões do pilar de 1 metros por 0,4 metro e o cobrimento adotado de 0,05 metro, tem-se para o metro cúbico do pilar:

*Perímetro do pilar*Altura pilar*cobrimento do pilar=*

$$(1+1+0,4+0,4)*8,16*0,05=1,14m^3 \quad [1]$$

E para calcular a quantidade de sacos de graute, tem-se, por regra de 3:

$$1m^3*x \text{ und}=1,14 m^3*81\text{und} \quad [2]$$

$$x=92,34 \text{ und} \quad [3]$$

Após a conclusão do processo de recuperação e reforço nos pilares de numeração 5, 9 e 40, bem como nos demais pilares localizados no lado esquerdo da edificação, foi realizada a instalação de telhas termoacústicas com peso médio de $8,86 \text{ kg/m}^2$ — valor significativamente inferior ao das telhas anteriores, sendo aproximadamente três vezes mais leve. Na sequência, o mesmo procedimento foi replicado nas sapatas e pilares do lado direito do prédio, com início pelo lado B, sem necessidade de escoramento adicional, uma vez que a estrutura já apresentava condições satisfatórias de estabilidade.

Figura 10: Autora, Reforço dos pilares, (2024)



O processo de desforma foi realizado 24 horas após a concretagem de cada segmento, seguido da aplicação de cura úmida por um período de 48 horas, visando garantir o desempenho adequado do concreto e sua durabilidade frente à exposição ambiental.

A mesma metodologia de recuperação estrutural envolvendo adição de armaduras, aplicação de graute e encamisamento (Figura 10)

será empregada nas vigas de travamento, respeitando as etapas e critérios adotados nos pilares. No entanto, até o momento da elaboração deste trabalho, não foi disponibilizado o projeto estrutural correspondente às vigas, o que limita a análise detalhada das intervenções previstas para esses elementos.

Conclusão

Com o desenvolvimento deste trabalho, foi possível constatar a presença de manifestações patológicas, como o deslocamento do concreto e a oxidação das armaduras, nos pilares externos e nas vigas de travamento do prédio do SENAI, localizado no bairro do Distrito Industrial em São Luís, Maranhão. Observou-se que as manifestações mais críticas estavam concentradas nos pilares. A anamnese foi elaborada por meio de questionamentos aos responsáveis pela engenharia do edifício, revelando que os primeiros sinais de manifestações patológicas foram identificados em 2015, ou seja, 31 anos após a construção, o que está em desacordo com a vida útil de projeto estimada pela NBR 15575, que é de 50 anos. Complementarmente, foi realizada uma análise de registros fotográficos acumulados ao longo dos anos, sendo o mais antigo datado de 2019, o que reforça a evidência da recorrência das manifestações patológicas nas estruturas de concreto armado do prédio.

O diagnóstico foi estabelecido a partir da identificação de causas extrínsecas oriundas da fase de concepção, como a inadequação do cobrimento em relação à classe de agressividade ambiental do local, considerada forte por se tratar de uma área industrial. Em inspeção de campo, verificou-se que o cobrimento não atendia às exigências técnicas da NBR 6118, apresentando espessura de apenas 2 a 3 centímetros, quando o mínimo recomendado seria de 4 centímetros. Além disso, observou-se que, em alguns pilares, o espaçamento entre as barras era excessivamente reduzido, o que pode ter contribuído para falhas de concretagem. Durante o processo de recuperação e recu dos pilares, identificou-se também a ausência de estribos na base inferior, fator que possivelmente favoreceu a flambagem dos elementos estruturais. Outra causa extrínseca apurada foi a falha de execução, evidenciada pela constatação de cobrimentos inferiores a 1 centímetro em determinadas regiões dos pilares. Por outro lado, as causas intrínsecas que contribuíram para o avançado estado de deterioração das estruturas foram atribuídas à ausência de manutenções preventivas ao longo dos anos.

A análise das anomalias e suas respectivas causas permite concluir que a manifestação patológica foi desencadeada por um agente químico externo, possivelmente íons cloreto ou gás carbônico. Esse processo foi favorecido pelo cobrimento insuficiente, que permitiu a penetração do agente agressivo no concreto, atingindo as armaduras. Como consequência, ocorreu a oxidação do aço, com aumento de volume, provocando fissuras no concreto até o seu deslocamento. Ressalta-se que esta conclusão é de caráter próprio, uma vez que não houve disponibilização de laudo técnico oficial que confirmasse a hipótese.

O prognóstico do edifício, caso as manifestações patológicas não fossem tratadas, indicaria um cenário de colapso estrutural e inviabilidade de uso do espaço por dezenas de alunos e funcionários, impactando diretamente suas trajetórias profissionais. Portanto, a terapia adotada para tratar as anomalias descritas neste trabalho consiste, indiscutivelmente, na recuperação e reforço dos pilares e sapatas, com intervenções ainda previstas para as vigas de travamento. Essa abordagem visa revitalizar a estrutura do prédio, melhorar seu desempenho e prolongar sua vida útil de forma segura e eficiente.

REFERÊNCIAS

Almeida, M. S. (2014). Elaboração de projeto, TCC, dissertação e tese: Uma abordagem simples, prática e objetiva (E-book). Grupo GEN. <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788597025927/>

Anversa, G. B. (2024, novembro 28). O que é graute: veja vantagens, cuidados e aplicações. Sienge. <https://www.sienge.com.br/blog/o-que-e-graute/>

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2004). NBR 14931: Execução de estruturas de concreto – Procedimento. ABNT.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2012). NBR 7212: Concreto dosado em central – Preparo, fornecimento e controle. ABNT.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2013). NBR 15575-1: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. ABNT.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2015). NBR 12655: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento. ABNT.

Bolina, F. L., Tutikian, B. F., & Helene, P. (2019). Patologia de estruturas (E-book). Oficina de Textos. <https://plataforma.bvirtual.com.br>

Brasilit Saint-Gobain. Kalheta. Consultado em: <https://www.brasilit.com.br/sites/brasilit.com.br/files/downloads/1/Cat%C3%A1logo%20Kalheta.pdf>. Acesso em: 11 dez. 2024.

Fiema. (2024a, novembro 10). A indústria foi, é e será importante para o Maranhão, destaca presidente da FIEMA. <https://www.fiema.org.br/noticia/2984/a-industria-foi-e-e-sera-importante-para-o-maranhao-destaca-presidente-da-fiema>

Fiema. (2024b, novembro 10). Mundo SENAI: Uma oportunidade para a sociedade conhecer as oportunidades de qualificação para a indústria. <https://www.fiema.org.br/noticia/4961/mundo-senai-uma-oportunidade-para-a-sociedade-conhecer-as-oportunidades-de-qualificacao-para-a-industria>

Gomide, T. L. F., Flora, S. M. D., Braga, A. G. M., Gullo, M. A., & Fagundes Neto, J. C. P. (Orgs.). (2021). Manual de engenharia diagnóstica: Desempenho, manifestações patológicas e perícias na construção civil (2ª ed.). Leud.

IBAPE. (2012). Norma de inspeção predial nacional. <https://ibape-nacional.com.br/biblioteca/wp-content/uploads/2012/12/Norma-de-Inspe%C3%A7%C3%A3o-Predial-IBAPE-Nacional.pdf>

Marcelli, M. (2017, julho). Sinistros na construção civil. <https://vivendoseguranca.wordpress.com/wp-content/uploads/2017/07/sinistros-na-construc3a7c3a3o-civil.pdf>

Neville, A. M. (2016). Propriedades do concreto (5ª ed., E-book). Bookman. <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788582603666>

Paixão, M. A. dos S., Borba, F. V., Rocha, J. P. da, Lima, K. B. A., Araújo, W. M. P. de, Viana, S. W. D. J. P., & Filho, L. T. de S. P. (2024, dezembro 1). Manifestações patológicas em obras de arte especiais: Estudo de caso

de um viaduto rodoviário em São Luís-MA. Núcleo do Conhecimento. <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/viaduto-rodoviario>

Parizotto, L. (2017). Concreto armado (E-book). Grupo A. <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595020917/>

Pereira, C. (2021). O que é concreto armado? Escola Engenharia. <https://www.escolaengenharia.com.br/concreto-armado/>

Soprema. (s.d.). Denvergrout. Denver Imper. Consultado em <https://denverimper.com.br/produtos/detalhes/denvergrout>

Souza, V., & Ripper, T. (1998). Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto (1ª ed.). [S. l.: s. n.]

Weimer, B. F., Thomas, M., & Dresch, F. (2018). Patologia das estruturas (E-book). Grupo A. <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/>

Referências audiovisuais

Google Earth. (2024, dezembro 10). Visualização geográfica do prédio SENAI [Imagem]. Consultado em https://earth.google.com/web/@-2.62204798,-44.25972176,38.23582932a,148.485946d,35y,305.80121637h,0t,0r/data=CgRCAggBQgIIAEoNCP_____wEQAA

AVALIAÇÃO DO USO DA CINZA DO CAVACO DO EUCALIPTO COMO SUBSTITUTO DO FÍLER EM MISTURAS ASFÁLTICAS USINADAS A QUENTE

Luciano Costa Silva¹

lucianocostas250@gmail.com

Mayssa Alves da Silva Sousa²

mayssasousa@professor.uema.br

Maria Teresinha de Medeiros Coelho³

teresinha.mcoelho@gmail.com

Walter Canales Sant'Ana⁴

waltercanales@uema.br

*“O homem não teria alcançado o possível
se, repetidas vezes, não tivesse tentado o impossível.”*

— Max Weber

Introdução

A pavimentação é um fator primordial para a economia do Brasil, devido à massiva utilização do transporte rodoviário de cargas. Segundo a CNT (2023), a maioria das rodovias não é pavimentada, gerando o “Custo Brasil” – um efeito consiste no aumento dos custos logísticos das empresas, causando gastos excessivos com manutenção

1 Engenheiro Civil, Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-9656-5673>.

2 Professora, Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3513-9534>.

3 Professora, Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-7053-9908>.

4 Professor, Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2504-3395>

das vias, maior consumo de combustível e aumento do tempo de viagem.

Segundo Senço (2007), o revestimento asfáltico é a camada superficial da pista, em contato direto com os veículos, projetada para suportar os esforços horizontais. Assim como as demais camadas do pavimento (base, sub-base e subleito), ela é composta por materiais cuja função é resistir e distribuir esses esforços. Além disso, o revestimento também deve proporcionar conforto e segurança aos usuários.

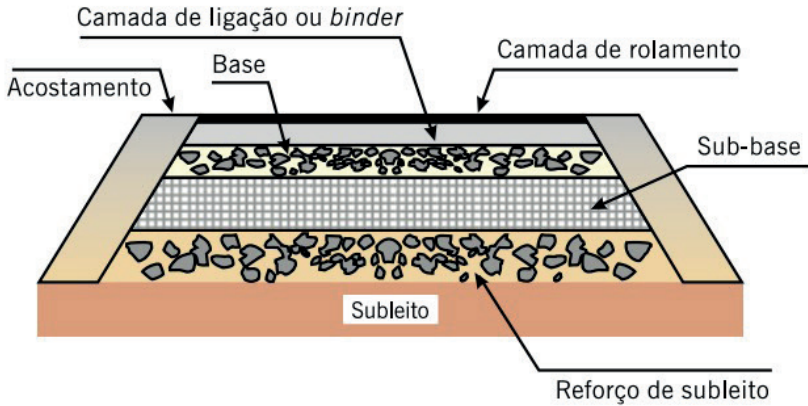
Segundo Leite (2020), a camada de topo, conhecida como revestimento asfáltico é constituída por uma mistura asfáltica geralmente composta por aproximadamente 95% de agregados graúdos (acima de 2,0 mm), miúdos (entre 0,075 mm e 2,0 mm), material de enchimento (com mais de 65% de partículas inferiores a 0,075 mm), fíler (partículas inferiores a 0,075 mm) e cerca de 5% de ligante asfáltico.

Considerando-se a crescente redução da disponibilidade de agregados naturais e aliado aos objetivos das ODS (Objetivos do Desenvolvimento Sustentável), neste artigo avalia-se a possibilidade de substituição de parte dos materiais convencionais utilizados na mistura asfáltica por opções sustentáveis e reutilizáveis. O objetivo é reduzir a exploração de recursos naturais, condicionando a aplicação ao desempenho adequado desses materiais na mistura.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), a silvicultura no Brasil ocupa cerca de 9,5 milhões de hectares, dos quais aproximadamente 7,4 milhões são de eucalipto, espécie muito usada para geração de energia industrial. Nesse segmento, conforme Louzada Junior et al. (2017), são geradas anualmente cerca de 14,1 milhões de toneladas de resíduos sólidos, como a cinza do cavaco de eucalipto (CCE), provenientes principalmente da queima do eucalipto em caldeiras. Esse material, cuja destinação final é geralmente o aterro sanitário, representa uma oportunidade sustentável para ser aproveitado como componente alternativo na mistura asfáltica.

Portanto, este trabalho tem como objetivo avaliar o uso da cinza do cavaco do eucalipto como substituto do fíler em misturas asfálticas usinadas a quente. Para isso, foram realizadas a caracterização física e mecânica dos materiais e avaliado a sua viabilidade seguindo os critérios normativos do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

Figura 1: Bernucci *et. al.*, Perfil das camadas de um Pavimento (2022)



Pavimento

Segundo Senço (2007), o pavimento é uma estrutura construída sobre a terraplanagem, projetada para resistir e distribuir os esforços verticais do tráfego. Sua função também inclui melhorar as condições de rolamento em termos de conforto e segurança, além de resistir a esforços horizontais, tornando a superfície de rolamento mais durável. Em uma ótica mais técnica, o autor define o pavimento como um sistema de várias camadas de espessuras finitas, apoiado sobre um semiespaço infinito que atua como fundação da estrutura. A Figura 1 ilustra algumas dessas camadas componentes.

Pavimento Flexível

De acordo com o DNIT (2006), o pavimento flexível é aquele com a capacidade de todas as suas camadas de deformarem-se elasticamente sob a influência de cargas aplicadas, sem sofrer ruptura. A carga aplicada é então distribuída proporcionalmente às camadas inferiores.

De acordo com Bernucci *et al.* (2022), os pavimentos flexíveis consistem em camadas de base, sub-base e reforço do subleito, situadas abaixo do revestimento asfáltico, sendo constituídas por materiais como

granulares, solos e solo-agregados. Complementarmente, Senço (2007) ressalta que esse tipo de pavimento é dimensionado para resistir tanto à compressão quanto à tração na flexão.

Revestimento ou Camada de Topo

De acordo com Pinto e Pinto (2015), os revestimentos betuminosos devem suportar os esforços provenientes do tráfego, proteger as camadas inferiores do pavimento (base, sub-base, reforço do subleito e subleito), proporcionar uma boa superfície de rolamento, possuir nível de flexibilidade, resistir à abrasão do tráfego e ter capacidade de suportar a ação de fenômenos naturais.

Senço (2007) acrescenta que o revestimento deve ser o mais impermeável possível, sendo não completamente impermeável e que sua espessura é dimensionada em função do tráfego previsto para a via. Assim, em vias simples, utiliza-se geralmente de 3 a 5 centímetros de espessura, enquanto em autoestradas essa camada pode variar entre 7,5 e 10 centímetros.

O revestimento é comumente composto por uma mistura de agregados e ligante, podendo ser classificado de acordo com diferentes critérios: quanto ao local de fabricação, a mistura pode ser produzida em usina ou diretamente na própria pista. Em relação à temperatura, ela pode ser do tipo quente, utilizando cimento asfáltico de petróleo, ou fria com uso de emulsão asfáltica. Por fim, as misturas fabricadas em usina também podem ser classificadas pela sua composição granulométrica, classificadas em abertas, descontínuas e contínuas. (Bernucci et. al., 2022).

Mistura asfáltica e seus componentes

Segundo Bernucci et al. (2022), grande parte dos revestimentos asfálticos no Brasil é composta por uma mistura asfáltica que contém agregados de origem mineral, que variam em dimensões e fontes acrescidos por um ligante asfáltico. O ligante tem por função conferir impermeabilidade e flexibilidade ao revestimento, garantir estabilidade contra deformações permanentes e assegurar durabilidade, resistência ao envelhecimento, à derrapagem, à fadiga e ao trincamento térmico. Tais características são definidas com base no clima e no tráfego da região onde será realizada a pavimentação.

De acordo com Leite (2020), a mistura asfáltica é geralmente composta por cerca de 95% de agregados e 5% de ligante, podendo haver ou não algum percentual de aditivos. O autor ressalta que defeitos no pavimento são frequentemente atribuídos à baixa qualidade do ligante usado na mistura, mesmo que ele represente uma pequena parcela da mistura. Além disso, os agregados devem passar por um rígido processo de seleção e análise para preservar as características mecânicas da mistura asfáltica.

De acordo com Senço (2007), os agregados têm como característica serem inertes, granulares, ou seja, não possuem por definição forma e dimensões definidas, com propriedades adequadas, no âmbito da engenharia civil, para realizar composição de camadas e misturas em variados tipos de obra. Os agregados podem ser classificados sob diversos aspectos como natureza, tamanho, distribuição granulométrica e forma.

Senço (2007) cita como principais propriedades do asfalto a adesividade, promovendo a ligação entre agregados, a impermeabilidade do material da mistura asfáltica, a durabilidade da mistura, sua manutenção durante a vida útil e a possibilidade de aplicação em diversas temperaturas.

Conforme, Pinto e Pinto (2015) o cimento asfáltico (CAP) é um material especificamente formulado para a construção de pavimentos, podendo ser obtido por destilação de petróleo ou a partir de asfalto natural. Sua principal característica é o estado semissólido em temperatura ambiente, o que exige aquecimento para se tornar trabalhável durante a mistura com os agregados. Sua classificação é baseada no grau de dureza, determinado pelos ensaios de penetração ou de viscosidade.

Material pulverulento ou filer

O DNIT (2024), define o filer como um material composto por partículas minerais integralmente passantes na peneira n.º 200 (0,075 mm) de abertura de malha quadrada. De acordo com Tunnicliff (1962), as partículas de filer possuem capacidade reativa, tanto química quanto física, de interagir com o ligante asfáltico na mistura asfáltica. Em contrapartida, as partículas do agregado atuam principalmente no preenchimento parcial dos vazios e, como característica secundária, participam da formação da ligação entre o ligante-filer.

Segundo Bardini (2008), a graduação do fíler influencia a trabalhabilidade da mistura asfáltica, assim como os demais agregados minerais. Dessa forma, um maior percentual de pó no fíler intensifica seu impacto não somente na trabalhabilidade, mas também no desempenho final da mistura. Além disso, conforme a AASHTO (1991), há uma tendência de se utilizar como fíler os materiais finos coletados por filtros em usinas.

Substituição de materiais na pavimentação

A substituição de agregados na pavimentação pode ser considerada uma técnica sustentável quando emprega materiais e métodos que reduzem o impacto ambiental gerado no processo. Para que essa sustentabilidade seja efetiva, é essencial assegurar a durabilidade da camada ao longo de sua vida útil, o que é alcançado por meio da utilização de materiais de qualidade e de um rigoroso controle tecnológico (Vila Betume, 2021).

Substituição de cinzas volantes na porção Fíler

Segundo de Sousa Risson (2021) os cavacos de madeira são resíduos originados de processos industriais como trituração de toras, atividades de serralheria e fabricação de móveis. O cavaco da madeira é considerado uma alternativa para substituir combustíveis que não são renováveis, podendo ser utilizado por meio da queima em caldeiras de aquecimento. De acordo com Cruz Junior et al., (2023) quando utilizados como combustível renovável em caldeiras, sua queima incompleta gera um resíduo denominado cinza. A quantidade de cinza produzida varia conforme a espécie da madeira e a eficiência do equipamento de combustão.

O eucalipto destaca-se entre as madeiras utilizadas como combustível em caldeiras para produção de energia. Segundo a ABRAF (2013), o eucalipto e o pinus são dominantes no cenário de florestas plantadas no Brasil, ocupando uma área de aproximadamente 6,7 milhões de hectares. Do total plantado, cerca de 77% correspondem ao eucalipto, colocando o Brasil entre os dez maiores reflorestadores do mundo.

Ainda de acordo com a ABRAF (2013), as cinzas geradas na queima de biomassa para produção de energia possuem características pozolânicas, podendo ser utilizadas como substituto parcial do cimento

Portland em concretos. Tal aplicação é viável devido à sua capacidade de reagir com o hidróxido de cálcio liberado durante a hidratação do cimento, formando um composto estável com poder aglomerante. Esse composto contribui para a resistência e durabilidade de materiais de construção, justificando o estudo desta substituição.

Metodologia

O presente trabalho teve como foco desenvolver uma pesquisa experimental com o propósito de caracterizar os materiais estudados e realizar ensaios para avaliar o comportamento mecânico da mistura asfáltica desenvolvida para realização do trabalho. A execução do estudo envolveu a etapa de coleta dos materiais e uma fundamentação teórica baseada em pesquisa bibliográfica, abrangendo o acervo da Universidade Estadual do Maranhão e acervo acadêmico digital de outras instituições.

Diante desse contexto, deu-se início à etapa de caracterização dos materiais coletados, sendo esses os agregados graúdos, miúdos, fíler e ligante asfáltico, com intuito de verificar sua conformidade com as normas vigentes. As Cinzas do Cavaco de Eucalipto (CCE) passaram previamente por um preparo, que incluiu a separação de impurezas da amostra, secagem em estufa e destorroamento, sendo submetidas aos mesmos ensaios realizados no fíler.

Após os ensaios de caracterização dos materiais, procedeu-se à confecção de corpos de prova (CPs) para a realização de ensaios laboratoriais mecânicos e volumétricos. Na mistura asfáltica, o fíler tradicional (cimento) foi substituído pelas Cinzas do Cavaco de Eucalipto (CCE) em três proporções diferentes: 20%, 50% e 100% de CCE, respectivamente na porcentagem de fíler.

Os corpos de prova (CPs) devidamente confeccionados foram submetidos a dois ensaios mecânicos: Estabilidade Marshall seguindo a norma DNIT 447/2024-ME e Resistência à Tração por Compressão Diametral (RTCD) seguindo a norma DNIT 136/2018-ME. O plano experimental incluiu um traço base, ou seja, um traço que recorre aos materiais comumente utilizados em pavimentos asfálticos, confeccionando seis CPs e três teores de substituição do fíler por CCE (20%, 50% e 100%), com seis CPs para cada teor. Desses, três CPs de cada grupo foram alocados para cada um dos ensaios mecânicos, totalizando 24 corpos de prova.

Materiais

Mistura Asfáltica

Os materiais utilizados neste trabalho foram obtidos por doação da empresa Edeconsil Construções e Locações Ltda., localizada no bairro Vila Maranhão, em São Luís - MA. Para a confecção dos corpos de prova, a empresa forneceu os seguintes materiais: brita 1, brita 0, pó de pedra, areia e o ligante asfáltico CAP 85/100. O fíler (cimento), por sua vez, foi cedido pelo Laboratório de Mecânica dos Solos e Pavimentação (LSP) da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), local onde todos os materiais foram armazenados e acondicionados.

Cinzas do Cavaco do Eucalipto (CCE)

As cinzas utilizadas nesta pesquisa foram doadas pela empresa ADM do Brasil Ltda., localizada no município de Porto Franco – MA, próxima à rodovia BR-226, a 732 km de São Luís - MA. A empresa tem como foco de atuação o setor de moagem e fabricação de produtos de origem vegetal. Sua localização é e tem as seguintes coordenadas em graus decimais: -6.458373, -47.403618.

As cinzas recebidas foram inicialmente submetidas a um processo de secagem em estufa a $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 24 horas para remoção de umidade. Em seguida, procedeu-se ao destorroamento para desagregar as partículas maiores de cinza. O material foi então peneirado em uma peneira de nº 10 (abertura de 2,00 mm) para eliminar impurezas e partículas graúdas que não se enquadram na porção fina das cinzas volantes. O material retido na peneira foi descartado. Por fim, o material passante foi submetido novamente ao processo de destorroamento para desagregação total das partículas finas antes de sua utilização.

Ensaio de Caracterização

Os ensaios de caracterização foram realizados visando verificar a conformidade dos materiais cedidos (agregados graúdos, miúdos e ligante asfáltico) com os requisitos estabelecidos normas técnicas vigentes e analisar o comportamento do fíler e das cinzas de cavaco de eucalipto (CCE) quando incorporados à mistura asfáltica. Essa análise foi realizada para os traços com 0%, 20%, 50% e 100% de substituição do fíler tradicional pela CCE. O Quadro 1 lista os ensaios realizados

para caracterizar os materiais utilizados na mistura asfáltica e as normas utilizadas como referência.

Quadro 1: Autor, *Resumo dos ensaios de caracterização* (2024)

Ensaio de caracterização realizados durante a pesquisa	Norma Regente
Ensaio de Abrasão “Los Angeles”	DNIT 451/2024-ME
Ensaio de Absorção e Massa Específica do Agregado Graúdo	DNIT 413/2021-ME
Ensaio de Análise Granulométrica	DNIT 412/2019-ME
Ensaio de Avaliação da durabilidade	DNIT 446/2024-ME
Ensaio de Determinação do Ponto de Amolecimento	DNIT 131/2010-ME
Ensaio de Equivalente de Areia	DNIT 450/2024-ME
Ensaio de Índice de Forma	DNIT 425/2020-ME
Ensaio de Massa Específica por meio do frasco Chapman	DNER-ME 194/98
Ensaio de Massa Específica por meio do Frasco <i>Le Chatelier</i>	DNER-ME 085/94
Ensaio de Penetração	DNIT 155/2010-ME

Ensaio com a mistura asfáltica

Um dos objetivos deste trabalho foi avaliar o comportamento mecânico dos diferentes traços calculados para as misturas asfálticas. Para isso, foram avaliadas as características requisitadas para dosagem Marshall e seus ensaios mecânicos, para verificar o atendimento aos requisitos mínimos estabelecidos pela norma DNIT 031/2024 - Pavimentação – Concreto asfáltico – Especificação de serviço.

Para a presente pesquisa, foram disponibilizados pela empresa Edeconsil Construções e Locações Ltda., dados referentes ao traço de uma mistura asfáltica do tipo Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ). Foram avaliados cinco teores distintos de CAP (4%, 4,5%, 5%, 5,5% e 6%) utilizados na confecção dos corpos de prova. A dosagem foi realizada pela própria empresa.

Com base no teor de CAP e nos resultados dos ensaios mecânicos, determinou-se o traço utilizado pela empresa para o CAUQ. Observou-se, no entanto, que o traço original não incluía fíler de forma explícita, uma vez que a empresa considerou parte do pó de pedra como esse percentual. Sendo assim, foi necessária uma modificação no traço, com a incorporação de um percentual de fíler. Para isso, realizou-se um encaixe granulométrico, ajustando as porcentagens dos demais

agregados a fim de atender aos limites de percentual de material passante estabelecidos pela norma DNIT 031/2024.

Após a definição do traço base com a inclusão do filer, deu-se início à etapa principal deste trabalho: a modificação do traço original para incorporação de cinza de cavaco de eucalipto (CCE) em substituição ao filer. Foram adotados percentuais de substituição de 20%, 50% e 100% de CCE, resultando em três novos traços, detalhados na Tabela 1 com as respectivas proporções de materiais e massas.

Tabela 1: Autor, Percentual de materiais para cada traço do projeto (2024)

Traço Convencional								
Material	Brita 1	Brita 0	Pó de Pedra	Areia	Filer	CCE	CAP	TOTAL
% na mistura	12,00%	28,00%	36,50%	10,00%	8,00%	0,00%	5,50%	100,00%
% agregado	12,00%	28,00%	36,50%	10,00%	8,00%	0,00%	0,00%	100%
Peso (g)	144	336	438	120	96	0	66	1200
Traço com Substituição - 20%								
Material	Brita 1	Brita 0	Pó de Pedra	Areia	Filer	CCE	CAP	TOTAL
% na mistura	12,00%	28,00%	36,50%	10,00%	6,40%	1,60%	5,50%	100,00%
% agregado	12,00%	28,00%	36,50%	10,00%	6,40%	1,60%	0,00%	100%
Peso (g)	144	336	438	120	76,8	19,2	66	1200
Traço com Substituição - 50%								
Material	Brita 1	Brita 0	Pó de Pedra	Areia	Filer	CCE	CAP	TOTAL
% na mistura	12,00%	28,00%	36,50%	10,00%	4,00%	4,00%	5,50%	100,00%
% agregado	12,00%	28,00%	36,50%	10,00%	4,00%	4,00%	0,00%	100%
Peso (g)	144	336	438	120	48	48	66	1200
Traço com Substituição - 100%								
Material	Brita 1	Brita 0	Pó de Pedra	Areia	Filer	CCE	CAP	TOTAL
% na mistura	12,00%	28,00%	36,50%	10,00%	0,00%	8,00%	5,50%	100,00%
% agregado	12,00%	28,00%	36,50%	10,00%	0,00%	8,00%	0,00%	100%
Peso (g)	144	336	438	120	0	96	66	1200

Para a caracterização mecânica e volumétrica da mistura asfáltica estudada, foram realizados ensaios laboratoriais conforme as normas técnicas em vigor. A confecção dos corpos de prova foi conduzida conforme estabelecido pela norma DNIT 178/2018-PRO, que assegura o processo de moldagem. Em seguida, determinou-se a densidade e a massa específica dos corpos de prova com base na DNIT 428/2020-ME.

O comportamento mecânico da mistura foi avaliado por meio de dois ensaios: o Ensaio de Estabilidade Marshall, seguindo a norma DNIT 447/2024-ME, e o Ensaio de Resistência à Tração por Compressão Diametral, regido pela DNIT 136/2018-ME. Estes procedimentos podem ser verificados no Quadro 2 a seguir:

Quadro 2: Autor, *Resumo dos ensaios com a mistura asfáltica (2024)*

Ensaio realizado com a mistura asfáltica	Norma Regente
Confecção dos Corpos de Prova	DNIT 178/2018-PRO
Densidade e Massa Específica dos Corpos de Prova	DNIT 428/2020-ME
Ensaio de Estabilidade Marshall	DNIT 447/2024-ME
Ensaio de Resistência à Tração	DNIT 136/2018-ME

Ensaio de caracterização dos materiais da mistura asfáltica

Os ensaios de caracterização dos materiais que constituem a mistura asfáltica foram realizados conforme normas do DNIT e do DNER que podem ser visualizados no Quadro 1. Essa etapa teve como objetivo verificar se os agregados graúdos, miúdos, materiais filer e ligante asfáltico utilizados na pesquisa estão encaixados nos parâmetros normativos.

A Tabela 2 sumariza os ensaios de caracterização dos materiais que compõem a mistura asfáltica, juntamente com os respectivos resultados obtidos, bem como os parâmetros de referência estabelecidos pelas normas técnicas correspondentes. Os resultados indicam que os agregados utilizados atendem integralmente os parâmetros normativos referentes a abrasão Los Angeles, absorção, equivalente de areia, durabilidade e índice de forma. O CAP encaixou-se na classe 85/100.

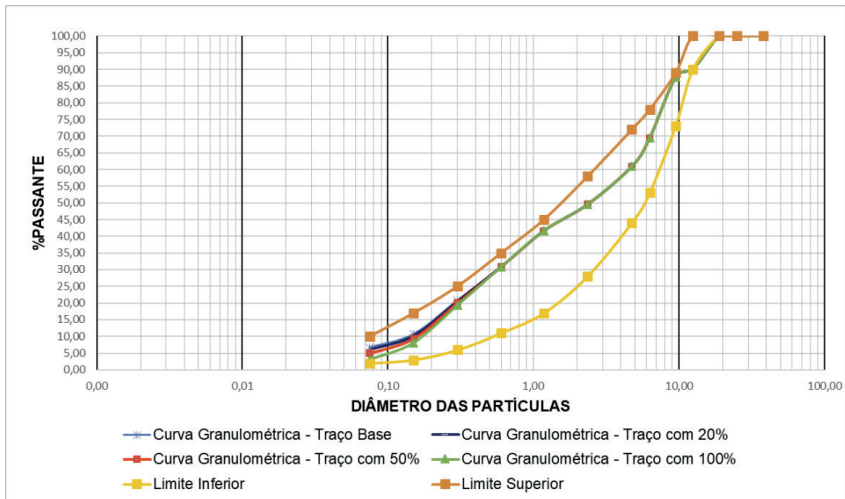
Tabela 2: Autor, Resultados dos ensaios de caracterização dos materiais (2024)

Ensaio	Resultados Obtidos	Parâmetros Normativos
Ensaio de Abrasão “Los Angeles”	12,00%	<50%
Ensaio de Absorção do Agregado Graúdo	Brita 1: 0,633%	<2,0%
	Brita 0: 0,611%	
Ensaio de Massa Específica do Agregado Graúdo	Brita 1: 2,924g/cm ³	Sem parâmetros normativos
	Brita 0: 2,919g/cm ³	
Ensaio de Avaliação da durabilidade	3,03%	<15%
Ensaio de Determinação do Ponto de Amolecimento	43,05 °C	Compatível com CAP 85/100
Ensaio de Equivalente de Areia	78,51%	>55%
Ensaio de Índice de Forma	1,95	0,5<IF<2,0
Ensaio de Massa Específica por meio do frasco Chapman	Pó de Pedra: 2,778g/cm ³	Sem parâmetros normativos
	Areia: 2,646g/cm ³	
Ensaio de Massa Específica por meio do Frasco Le Chatelier	Cimento: 2,985g/cm ³	Sem parâmetros normativos
	CCE: 2,645g/cm ³	
Ensaio de Penetração	Média: 87 (100µm)	Compatível com CAP 85/100

Encaixe granulométrico dos traços na Faixa de Trabalho C

Após realizar o processo de análise granulométrica com todos os agregados presentes na mistura asfáltica desta pesquisa, verificou-se o encaixe das curvas dos traços com 20%, 50% e 100% de CCE no filer na faixa de trabalho C (DNIT 031/2006) do traço convencional. Realizou-se para a análise granulométrica o cálculo do percentual passante em cada peneira de cada material utilizado e a porcentagem contida desse material no traço utilizado. É possível observar no Gráfico 1 as curvas granulométricas de cada traço, assim como os limites de percentual passante da faixa de trabalho C.

Gráfico 1: Autor, Sobreposição das curvas granulométrica dos traços (2024)



Nota-se a substituição do fíler tradicional pela CCE nos traços só apresenta variação no correspondente ao percentual de material passante nas peneiras de 0,30 mm, 0,15 mm e 0,075 mm, sendo esta muito pequena e ainda sim encaixando-se integralmente na faixa testada, evidenciando-se que granulometricamente a substituição é promissora.

Avaliação da Volumetria dos Corpos de prova

Após a confecção e realização dos ensaios de densidade e massa específica dos corpos de prova, foi possível calcular a Densidade Máxima Teórica (DMT). Este parâmetro é fundamental para a determinação de outros indicadores, como Volume de Vazios (V_v), Vazios com Betume (VCB), Vazios do Agregado Mineral (VAM) e Relação Betume-Vazios (RBV).

Além desse parâmetro foram calculados a Densidade Específica Aparente (G_{mb}) dos corpos de prova, a Massa Específica Aparente (MEa), bem como a taxa de absorção que são parâmetros secundários necessários para o cálculos dos indicadores de Volumetria. Os resultados desses parâmetros podem ser visualizados na Tabela 3.

Tabela 3: Autor, *Densidade Máxima Teórica (2024)*

	Traço Base	Traço com 20% de Substituição	Traço com 50% de Substituição	Traço com 100% de Substituição
DMT	2,597	2,592	2,585	2,574
Gmb	2,515	2,518	2,510	2,471
MEa	2,508	2,511	2,503	2,464

Dados os valores da Densidade Específica Aparente e da Massa Específica Aparente, pode ser calculado o Volume de Vazios, Vazios com Betume, Vazios do Agregado Mineral e Relação Betume-Vazios por meio de fórmulas matemáticas previstas na norma DNIT 428/2020-ME. A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos para cada um desses indicadores e a conformidade ao critério normativo estabelecido pela norma DNIT 031/2024-ES.

Tabela 4: Autor, *Resumo dos Parâmetros Normativos (2024)*

Ensaio	Limites	Traço Base	TS-20%	TS-50%	TS-100%	Conformidade ao critério normativo
Vazios do Agregado Mineral (VAM)	> 13	17,218	16,942	16,948	17,826	Atende
Relação Betume/Vazios (RBV) usando a norma DNIT 031/2024	$65 < x < 75$	80,124	81,532	81,244	76,085	Não atende
Relação Betume/Vazios (RBV) usando a norma DNIT 031/2006	$75 < x < 82$	80,124	81,532	81,244	76,085	Atende

Estabilidade Marshall	>500	1016,44	1019,96	1155,91	1022,55	Atende
Resistência à Tração por compressão Diametral	>0,65	0,70	0,59	0,65	0,76	O TS-20% não atende ao critério normativo

Com base na análise física e mecânica da mistura asfáltica utilizando a CCE como fíler em substituição parcial e total como fíler, notou-se que apenas o traço com 20% de substituição não atendeu a um único que critério que foi o de resistência a tração, sendo o valor ainda bem próximo da referência normativa. Considerando que essa foi a menor proporção de substituição testada, vale realizar mais testes e averiguar um possível encaixe no critério normativo ou confirmar se baixos teores de substituição sejam inviáveis para aplicação. Desta feita, considera-se como perfeitamente viável a utilização da Cinza do Cavaco de Eucalipto com Fíler em misturas asfálticas a quente nas proporções de 50 e 100%.

Conclusão

Este estudo avaliou a viabilidade técnica da utilização da Cinza do Cavaco de Eucalipto (CCE) como material substituto do fíler convencional em misturas asfálticas do tipo Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ). A pesquisa concentrou-se na avaliação do comportamento mecânico de misturas com diferentes teores de substituição (20%, 50% e 100%), seguindo os parâmetros estabelecidos pela norma DNIT 031/2024-ES.

Os resultados dos ensaios mecânicos revelaram um desempenho diferenciado conforme o teor de substituição aplicado. As misturas com 50% e 100% de CCE demonstraram desempenho favorável com os requisitos normativos, apresentando valores satisfatórios tanto no Ensaio de Estabilidade Marshall quanto no Ensaio de Resistência à Tração por Compressão Diametral (RTCD). Estes resultados indicam que substituições em maiores proporções mantêm as características mecânicas necessárias para aplicação em pavimentação.

Em compensação, o traço com 20% de substituição apresentou um comportamento diferente. Embora tenha superado o limite normativo de estabilidade Marshall, seu desempenho no ensaio de

RTCD ficou abaixo do estabelecido pela norma. Esta desconformidade sugere que baixos teores de substituição podem não ser suficientes para garantir a melhoria desejada nas propriedades mecânicas da mistura, necessitando de pesquisas complementares.

Do ponto de vista dos parâmetros volumétricos, a incorporação da CCE mostrou-se particularmente benéfica nas substituições integrais. Observou-se uma melhoria na relação betume/vazios, parâmetro que permite avaliar a durabilidade e resistência dos pavimentos. A caracterização físico-química da cinza, embora possua baixa atividade pozolânica, confirmou sua adequação como material filer, principalmente devido à sua granulometria fina e composição química compatível.

Conclui-se que a substituição do filer convencional pela CCE, particularmente em teores de 50% e 100%, configura uma alternativa técnica, econômica e ambientalmente viável para a produção de misturas asfálticas. Além de contribuir para a sustentabilidade na pavimentação, a incorporação desse resíduo industrial reduz os impactos ambientais, além de manter as características mecânicas e volumétricas do concreto asfáltico usinado a quente.

REFERÊNCIAS

- American Association of State Highway and Transportation Officials. (1991). *Handbook of hot-mix asphalt paving*. Washington, D.C.: AASHTO.
- Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. (2013). *Anuário estatístico 2013 ano base 2012*. ABRAF. <https://abraforg.br/>
- Bardini, V. S. S. (2008). *Estudo de viabilidade técnica da utilização de cinzas da queima da casca de Pinus em obras de pavimentação asfáltica* [Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo]. Repositório USP.
- Bernucci, L. B., Motta, L. M. G., Ceratti, J. A. P., & Soares, J. B. (2022). *Pavimentação asfáltica: Formação básica para engenheiros* (2a ed.). PETROBRAS: ABEDA.
- CNT, SEST, & SENAT. (2023). *Pesquisa CNT de rodovias 2023: Relatório gerencial*. Confederação Nacional do Transporte. <https://cnt.org.br/>
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. (1994). DNER-ME 085/94 Material finamente pulverizado - Determinação da massa

específica real.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. (2006) DNIT 031/2006 - ES. Pavimentação - Concreto asfáltico - Especificação de serviço.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. (2024) DNIT 031/2024 - ES. Pavimentação - Concreto asfáltico - Especificação de serviço.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. (2006). *Manual de pavimentação* (3a ed.).

De Souza Risson, K. D. B., Dal Bello, R., Berto, A. G., & Da Silva, R. G. (2021). *Análise da resistência à compressão de matrizes de cimento portland, com substituições parciais por cinza de cavaco de eucalipto após ativação térmica*. Brazilian Journal of Development, 7(10), 97576–97589. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n10-311>

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2022). *Produção da extração vegetal e da silvicultura*. <https://www.ibge.gov.br>

Leite, L. M. F., Babadopulos, L. F. L., Castelo Branco, V. T. F., & Soares, J. B. (2020). *Informações básicas sobre materiais asfálticos: A importância das características dos agregados no desempenho das misturas asfálticas* (1a ed.). Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás.

Louzada Junior, M. A., Morais, M. H. da S., Da Silva, M. R., & De Carvalho, A. M. M. (2017). *O contexto brasileiro e as oportunidades de aproveitamento de resíduos de madeira*. Revista Saúde e Meio Ambiente, 5(3), 24–40.

Pinto, S., & Pinto, I. E. (2015). *Pavimentação asfáltica: Conceitos fundamentais sobre materiais e revestimentos asfálticos*. Grupo Editora Nacional.

Senço, W. (2007). *Manual de técnicas de pavimentação* (2a ed., Vol. 1). PINI.

Tunnicliff, D. G. (1962). *A review of mineral filler*. Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists, 31, 118–150.

Vila Betume. (2021). *Pavimentação sustentável | Entenda a importância de aplicá-la*. <https://vilabetume.com.br/pavimentacao-sustentavel-entenda-a-importancia-de-aplica-la>.

ANÁLISE DE MITIGAÇÃO DE RISCOS EM PROCEDIMENTOS DE LANÇAMENTO DE FOGUETES NO CLA: MISSÃO FALCÃO II

Luth Silva Ramos
zetah.aerospac@gmail.com

Kaio Henrique Ferreira Nogueira de Nogueira
kaionogueira7@gmail.com

Carlos David Veiga França
veigappgeouema@gmail.com

Jorge de Jesus Passinho
jorgesegundo_j2@hotmail.com

Introdução

A Força Aérea Brasileira possui dois Centros de Lançamento de Foguetes: o Centro de Lançamento da Barreira do Inferno (CLBI), em Natal RN e o Centro de Lançamento de Alcântara (CLA) em Alcântara- MA. A realização de lançamentos de foguetes iniciou em 1965 no Brasil, começando a lançar foguetes de sondagens visando os testes e experimentos científicos [04].

O Centro de Lançamento de Alcântara (CLA) localizado no estado do Maranhão, representa um dos ativos estratégicos mais importantes do programa espacial brasileiro. Situado a apenas 2,3° graus ao sul da linha do equador, o CLA possui uma das localizações mais privilegiadas do mundo para lançamentos de satélites geoestacionários, oferecendo vantagens significativas em termos de economia de combustível e capacidade de carga útil [17].

Desde sua criação em 1983, o CLA tem sido palco de importantes marcos do programa espacial brasileiro, incluindo lançamentos de foguetes de sondagem, testes de veículos lançadores e, mais recentemente, operações comerciais com parceiros internacionais. A base ocupa uma área de aproximadamente 620 km² e conta com infraestrutura especializada para diferentes tipos de missões espaciais,

desde pequenos foguetes de sondagem até veículos lançadores de grande porte [17].

As operações de lançamento de foguetes envolvem riscos operacionais significativos devido à natureza energética dos propelentes utilizados, à complexidade dos sistemas envolvidos e às condições ambientais específicas da região equatorial. Os propelentes sólidos, amplamente utilizados nos veículos brasileiros, apresentam características de alta densidade energética e sensibilidade a fatores como temperatura, umidade, impacto e descargas eletrostáticas [18].

O ambiente operacional de Alcântara apresenta desafios únicos para a segurança do trabalho, incluindo altas temperaturas e umidade relativa, ventos variáveis, atividade elétrica atmosférica intensa e proximidade com o oceano Atlântico. Estes fatores ambientais podem influenciar significativamente os riscos operacionais e devem ser considerados em qualquer análise de segurança [03].

A tragédia ocorrida em 22 de agosto de 2003, durante os preparativos para o lançamento do VLS-1 V03, que resultou na morte de profissionais, evidenciou a necessidade de abordagens mais sofisticadas para análise e mitigação de riscos em operações espaciais. Este evento marcou profundamente o programa espacial brasileiro e levou a uma revisão abrangente dos procedimentos de segurança [05].

A relevância prática desta pesquisa é evidenciada pela necessidade urgente de melhorar a segurança das operações espaciais brasileiras. O acidente VLS-1 V03 demonstrou que as metodologias tradicionais de análise de riscos podem ser insuficientes para capturar a complexidade dos riscos presentes em operações espaciais [12].

Com o crescimento das atividades comerciais no CLA, incluindo lançamentos de empresas internacionais como a sul-coreana INNOSPACE, torna-se fundamental dispor de metodologias robustas que garantam os mais altos padrões de segurança operacional. A metodologia proposta pode contribuir diretamente para a redução dos riscos operacionais e para o fortalecimento da reputação do Brasil como destino seguro para lançamentos comerciais [15].

A aplicabilidade da metodologia a diferentes tipos de missões, desde foguetes de sondagem até veículos lançadores de grande porte, garante sua utilidade prática para o conjunto das operações realizadas em Alcântara [16].

Do ponto de vista estratégico, esta pesquisa alinha-se com os objetivos da Política Nacional de Desenvolvimento das Atividades

Espaciais (PNDAE) e da Estratégia Nacional de Defesa (END), que estabelecem a importância do domínio de tecnologias espaciais para a soberania nacional [14].

O desenvolvimento de capacidades nacionais em análise de riscos para operações espaciais reduz a dependência de metodologias e consultorias estrangeiras, contribuindo para a autonomia tecnológica do país. Esta autonomia é particularmente importante considerando as restrições internacionais que frequentemente limitam o acesso a tecnologias espaciais sensíveis [17].

A melhoria da segurança operacional em Alcântara pode contribuir para a atração de novos parceiros comerciais internacionais, fortalecendo a posição competitiva do Brasil no mercado global de lançamentos espaciais. Este mercado tem crescido significativamente nos últimos anos, impulsionado pela proliferação de pequenos satélites e pela comercialização das atividades espaciais [21].

A dimensão social desta pesquisa relaciona-se diretamente com a proteção da vida e saúde dos trabalhadores envolvidos em operações espaciais. O desenvolvimento de metodologias mais eficazes para análise e mitigação de riscos pode contribuir para prevenir acidentes como o ocorrido em 2003, protegendo vidas humanas e preservando o conhecimento técnico acumulado [02].

A pesquisa também contribui para o fortalecimento da cultura de segurança no setor espacial brasileiro, promovendo a adoção de práticas baseadas em evidências científicas e métodos estatísticos rigorosos. Esta cultura de segurança é fundamental para o desenvolvimento sustentável das atividades espaciais no país [21].

Acidentes em Espaço Portos

A criticidade de riscos envolvendo Bases ou Espaço Portos é alta de forma geral, pois envolve atividades com manipulação de explosivos, materiais inflamáveis e materiais tóxicos, que poderiam afetar a saúde e bem está ocupacional do trabalhador.

O Veículo Lançador de Satélites (VLS-1) representa o projeto mais ambicioso desenvolvido para operação no CLA, destinado a inserir satélites de até 380 kg em órbitas baixas [12]. O VLS-1 é um veículo de quatro estágios utilizando propelente sólido, com altura total de 19,5 metros e massa de decolagem de aproximadamente 15 toneladas. Embora o programa VLS-1 tenha enfrentado desafios

técnicos significativos, incluindo o acidente de 2003, o desenvolvimento continua com melhorias nos sistemas de segurança e confiabilidade.

As operações de lançamento são atividades de risco extremo, envolvendo a manipulação de propelentes de alta periculosidade e a gestão de sistemas complexos onde a falha de um único componente pode levar à perda total da missão e, mais gravemente, à perda de vidas humanas, como evidenciado pela tragédia do VLS-1 V03 em 2003 [01].

Este evento não foi apenas um acidente técnico; foi uma falha sistêmica que expôs a fragilidade dos protocolos de segurança, a falta de redundância em sistemas críticos e a exposição desnecessária de pessoal em área de risco. A partir de 2003, a segurança no CLA deixou de ser um adendo operacional para se tornar o imperativo moral e técnico de qualquer missão. O objetivo primordial de qualquer estudo de risco no setor aeroespacial brasileiro é, e deve ser, evitar a repetição de acidentes com fatalidades [04].

Figura 1 - Registro da imagem tomada pela câmera 6, localizada sobre o Prédio de Preparação de Propulsores (PPP), ao lado o esboço do VLS-1 V03, indicando a falha no propulsor do 1º estágio



Fonte: BRASIL, 2004 (adaptado).

O relatório de investigação do acidente do VLS-1 V03 apontou a ignição intempestiva de um dos propulsores de primeiro estágio como a causa imediata [05]. A Figura 1 indica a origem da falha no foguete, onde uma fuga de energia acionou um *booster* do primeiro estágio do foguete, acionando assim, os outros *boosters* em uma reação em cadeia. A principal lição do VLS é que a segurança não pode ser um protocolo; deve ser uma cultura que prioriza a vida acima da missão.

Apesar disso, atualmente existem falhas no processo de lançamento em empresas conceituadas do setor como a SpaceX, Isar, INNOSPACE, entre outros. Entretanto, apesar das falhas, o número de fatalidades diminuiu devido inclusão de novas tecnologias para aprimoramento da infraestrutura do Espaço Porto como aplicação de materiais compósitos e sistemas de automação integrado a IA.

Tecnologia dos Foguetes

Os lançadores podem ser classificados pelo tipo de motor que usa em seus estágios, como motores monopropelentes, motores a propelente sólido, motores a propelente híbrido e motores a bipropelentes líquidos. A Figura 2 ilustra os tipos de propelentes que podem ir no motor.

Os sistemas propulsivos a propelentes sólidos apresentam construção mais simples e de menor custo de produção que os sistemas propulsivos a bipropelentes líquidos ou híbridos. Nos sistemas a propelentes sólidos o oxidante e o combustível estão misturados e acondicionados na própria câmara de combustão, na forma de um grão, pronto para entrar em combustão após iniciação por um ignitor [29].

Os sistemas de propulsão híbrida vêm recebendo significativa atenção nos últimos anos por suas características favoráveis em termos de segurança de operação, baixo custo de desenvolvimento e confiabilidade em relação a sistemas propulsivos a propelentes sólidos e a bipropelentes líquidos. Normalmente, nos sistemas híbridos, é empregado o combustível no estado sólido e o oxidante no estado líquido.

Os sistemas a propelentes líquidos podem ser monopropelente ou bipropelentes. Nos propulsores monopropelentes é utilizado um único líquido, o qual, em geral é decomposto por um catalisador ou aquecedor, gerando gases quentes que são ejetados pela tubeira do propulsor. Os sistemas propulsivos a bipropelentes utilizam dois propelentes líquidos, um deles sendo o combustível e o outro o oxidante.

Figura 2 – Esquemática dos tipos de propelentes em motores foguetes



Fonte: Seção de Segurança de Voo CLBI, 2011 (adaptado)

Levando em consideração a missão Falcão II, este trabalho dará ênfase ao foguete com motor a propelente sólido. No transporte ou operação do foguete pode ocorrer ignição espontânea, por este motivo grandes vibrações e choques mecânicos devem ser cuidadosamente evitados durante este processo, pois depois de acionados, só param a queima quando todo o seu propelente se esgotar, o que torna esse motor perigoso para operação de lançamento [29].

Foguetes de Treinamentos

Missões de treinamentos ou demonstração tecnológica são realizadas regularmente para validar novas tecnologias espaciais, incluindo sistemas de propulsão, materiais avançados, sistemas de controle, e equipamentos científicos [25]. Estas missões são fundamentais para o desenvolvimento da capacidade tecnológica nacional e para a preparação de futuras missões mais complexas. Para missão Falcão II foi usado o foguete AV-FTB.

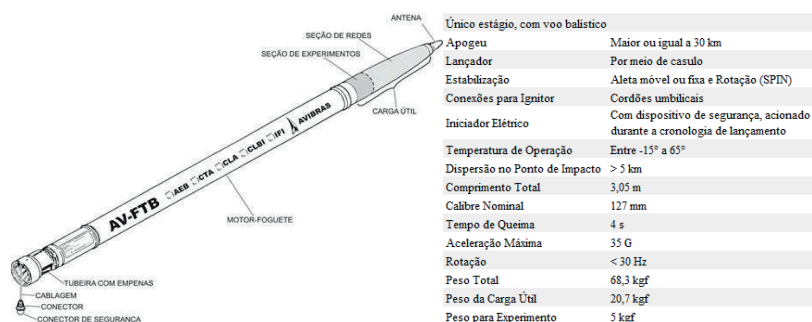
Os foguetes AV-FTB (Avibras Foguete Treinamento Básico) ao serem introduzidos substituíram os foguetes SBAT-70 (Sistema Brasileiro Ar-Terra70 mm).

O Foguete de Treinamento Básico (AV-FTB) foi desenvolvido a partir de adaptações do foguete bélico do tipo solo-solo AV-SS-30 do Sistema ASTROS II, em fabricação na AVIBRAS, qualificado, homologado e adotado pelo Exército Brasileiro (EB), tendo sido empregado nas últimas décadas, por nações amigas, em conflitos no Oriente Médio (“*combat proven*”). O sistema de lançamento emprega um casulo reutilizável.

Sua missão foi a de suprir os Centros de Lançamento com um veículo de treinamento espacial suborbital instrumentado, com apogeu igual ou superior a 30 km e disponibilidade de carga útil adicional (experimento) de 5 kg.

O veículo AV-FTB utiliza propelente sólido, e é lançado através de um casulo reutilizável, fixado no lançador do Centro de Lançamento. Na sua coifa (nariz) foi instalada a eletrônica de telemetria, com a antena fixada na extremidade dianteira. A Figura 3 está ilustrada o foguete de treinamento modelo AV FTB utilizada na missão Falcão II, juntamente com sua característica operacional.

Figura 3 – Ilustração do foguete AV FTB com sua característica operacional



Fonte: Seção de Segurança de Voo CLBI 2011 (adaptado)

Para efeito de treinamento das equipes de rastreamento e verificação do desempenho nominal dos veículos, os foguetes AV-FTB lançados do CLA foram dotados de ogiva com antena transmissora, de peso equivalente à ogiva explosiva, levando a bordo instrumentação de bateria, área para experimentos científicos com 5kg de disponibilidade e codificador de sinal.

Análise de Riscos e seus Procedimentos Normativos

As atividades de lançamento de foguetes envolvem uma complexa interação de riscos operacionais que podem ser classificados em diferentes categorias conforme sua natureza e mecanismos de manifestação [22]. Esta classificação é fundamental para o desenvolvimento de estratégias adequadas de identificação, avaliação e controle de riscos.

Os riscos físicos em operações espaciais são caracterizados pela presença de diferentes formas de energia que podem causar danos à saúde dos trabalhadores [23]. O ruído gerado durante os lançamentos pode atingir níveis superiores a 180 dB próximo às plataformas de lançamento, muito acima dos limites de exposição ocupacional estabelecidos pelas normas de segurança. As temperaturas extremas são geradas tanto pelos gases de combustão dos propelentes (que podem atingir temperaturas superiores a 3000°C) quanto pelas condições ambientais da região equatorial.

As pressões anormais podem ser geradas por explosões ou falhas de contenção, criando ondas de choque que se propagam através

do ar e estruturas sólidas. A fragmentação e projeção de destroços representam riscos significativos em caso de falhas catastróficas dos veículos lançadores [29].

Os riscos químicos estão principalmente associados aos propelentes utilizados nos veículos lançadores e aos produtos de sua combustão [13]. Os produtos de combustão dos propelentes sólidos incluem ácido clorídrico (HCl), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x), e óxidos de alumínio [29].

Os riscos biológicos em operações espaciais são menos evidentes, mas podem estar presentes em certas situações [88]. A contaminação microbiológica pode ocorrer em sistemas de água, ar condicionado, e áreas de preparação de alimentos.

Os riscos de incêndio e explosão representam a categoria mais crítica em operações espaciais devido à presença de grandes quantidades de materiais energéticos [27]. Os propelentes sólidos, embora classificados como «explosivos insensíveis», podem ser iniciados por impacto, atrito, calor, ou descargas eletrostáticas sob certas condições. O controle rigoroso destas fontes de ignição é fundamental para a prevenção de acidentes catastróficos.

A segurança espacial é uma disciplina de sistemas. Diferente da segurança ocupacional tradicional, ela foca na integridade do sistema global. A norma ISO-14620-2 estabelece que a segurança deve ser uma variável de projeto, não um adendo operacional. No Brasil, as NR-16 (Explosivos) e NR-20 (Inflamáveis) formam a base legal para o trabalho no SPL, enquanto a NR-23 rege a proteção contra incêndios em plataformas.

Apesar das NRs não serem aplicadas em instituições militares, a implementação delas seria importante para melhoria da segurança ocupacional entre funcionários dentro do CLA.

Para realização deste trabalho envolvendo a missão Falcão II, necessitou fazer um levantamento de campo que direcione o profissional a realizar a aquisição de dados relevantes para proposta de melhoria na atividade de lançamento de foguetes dentro do CLA.

Entre esses parâmetros foi necessário elaborar um *check list* para apuração da criticidade de cada etapa da atividade, acompanhamento e analisando os procedimentos de segurança de superfície durante o processo de lançamento. Para tal feito, foi necessário pedi uma autorização da direção do CLA para poder acompanhar a missão falcão II e apurar a criticidade envolvendo cada etapa no processo de

lançamento do foguete de treinamento AV FTB, a autorização pode ser vista no Apêndice B.

Recebida a autorização da direção do CLA anexada no apêndice A se fez uma revisão bibliográfica envolvendo toda fundamentação teórica da ciência de mitigação de riscos em lançamentos de foguetes realizados em Espaço Portos. Artigos nacionais e internacionais, assim como regimento normativo que envolve o tema atribuíram embasamento teórico para formação do *check list* colocando todos os pontos críticos que deveriam ser observados na análise de campo. O *check list* se encontra no anexo 1.

Neste trabalho tive o acompanhamento do chefe de engenharia de segurança do CLA Jorge Luís Bulcao Santos e do tenente Pedro Solano para o auxílio em todo procedimento do lançamento.

Na missão falcão II foram disponibilizados pelo CLA, o transporte (Indo de lancha e voltando de avião) e alojamento dentro da base (HTS), assim como as 3 refeições, contabilizando 2 dias para todo procedimento.

O transporte (lancha/ avião/ ônibus), não será o foco desde trabalho. Entretanto, vale ressaltar que não houve nenhuma anomalia perceptível durante o transporte até a cidade de Alcântara, assim como o retorno a capital São Luís.

A missão FALCÃO II iniciou no dia 11 de agosto de 2025 e encerrou dia 15 de agosto de 2025. Entretanto foi permitida a liberação para minha análise de campo apenas nos dias 13 e 14 de agosto de 2025. Nesse período estaria acompanhando a equipe de segurança de superfície do CLA. O período que antecedeu a minha chegada está relacionado a toda equipe técnica responsável em preparar o lançador para voo, fazendo todas as instalações eletrônicas que serão embarcadas para fazer análise de telemetria do lançador.

Dentro o período mencionado, o processo pode ser dividido em duas partes. No primeiro dia envolveu simulação de lançamento e no segundo dia envolveu o lançamento real.

Infraestrutura e Capacidade Operacional

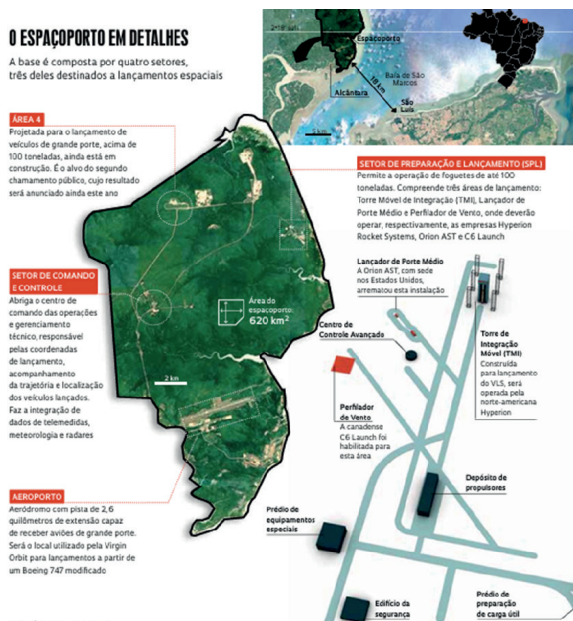
A infraestrutura do CLA foi desenvolvida ao longo de quatro décadas para suportar uma ampla gama de operações espaciais, desde pequenos foguetes de sondagem até veículos lançadores de grande porte [26]. As principais instalações incluem torres de integração, plataformas

de lançamento, centros de controle, laboratórios de preparação de cargas úteis, sistemas de telemetria e rastreamento, e instalações de apoio logístico.

No primeiro dia foi mostrada a planta de todo complexo do CLA como mostra a Figura 4. A cidade de Alcântara fica a 18 km da capital do Maranhão e fica em um terreno com grande extensão marítima (de frente com o oceano Atlântico) diminuindo assim os riscos de fatalidade em uma região que possui uma população massiva.

O setor operacional, local onde estão instalados o Centro de Comando das Operações e Gerenciamento Técnico (CT) e o Setor de Preparação e Lançamento (SPL) também ficam distante da região do aeroporto, onde também estão localizados os alojamentos dos militares, ambulatório e Hotel de Trânsito (HTS).

Figura 4 – Imagem geral do complexo do Centro de Lançamento de Alcântara CLA



Fonte: Revista AEB, 2020.

Como observado Figura 5, o CT fica distante do complexo do SPL (aproximadamente 7 km). A distância do CT é essencial para segurança dos técnicos e operadores, deixando o complexo do SPL

isolado na hora do lançamento. O CT é responsável por todo controle da operação, no quesito de telecomunicação, telemetria e controle de automação envolvendo as atividades dentro do SPL, a imagem da entrada do CT pode ser vista no Apêndice A, Figura A1. Entre os setores instalados no CT estão a parte de segurança de voo, segurança de superfície, radar, direção, TI, planejamento, comunicação, sala de imprensa e telemetria. A região próxima ao CT é composta por outras empresas e departamentos, entre eles o INPE, o rancho, setor de radar, garagem e oficina.

As plataformas de lançamento foram projetadas para acomodar diferentes tipos de veículos, com sistemas de deflexão de chamas, supressão de ruído, e contenção de detritos [28]. Cada plataforma é equipada com sistemas de abastecimento de propelentes, conexões elétricas e pneumáticas, e equipamentos de monitoramento em tempo real. As distâncias de segurança foram estabelecidas considerando os tipos de propelentes utilizados e as características dos veículos lançadores. No desenvolvimento da plataforma é aplicado sistema de SPDA e combate a incêndio previsto na NR10 e NR23.

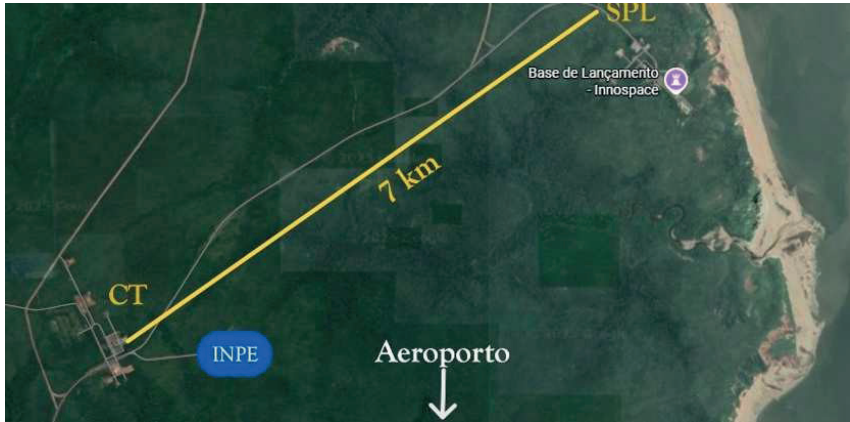
A Casa Mata (lugar mais próximo onde há operários no momento do H0 e ignição do lançador), sua estrutura diferenciada tendo uma parede de espessura de 1 metro. Como pode ser visto, além da infraestrutura robusta da Casa Mata, foi feita uma parede corta fogo com espessura similar, para diminuir qualquer impacto que haja em caso de explosão, obedecendo requisitos segundo a norma vigente da ABNT NBR ISO 14620-2. A imagem de ilustração no Apêndice A, Figura A2, A3 e A4 mostra a localização da Casa Mata dentro do SPL e sua proximidade com a plataforma de lançamento de foguetes de treinamento, assim como sua infraestrutura interna.

O Centro de Controle de Lançamento (CT) concentra todas as operações de comando e controle durante as missões, incluindo monitoramento de sistemas do veículo, condições meteorológicas, tráfego aéreo e marítimo, e comunicações com estações de rastreamento [04]. O centro possui redundância em sistemas críticos e capacidade de operação em modo de contingência em caso de falhas de equipamentos.

Os laboratórios de preparação de cargas úteis (PPP) oferecem ambiente controlado para montagem, teste e integração de satélites e outros tipos de cargas úteis [11]. Estas instalações possuem salas limpas com diferentes classes de contaminação, sistemas de controle de temperatura e umidade, e equipamentos especializados para manuseio

de componentes sensíveis, as imagens relacionadas ao PPP encontrasse no Apêndice A, Figura A5 e A6. É aplicado na sala de pirotecnia NR16 e NR20, atenuando todos os riscos pertinentes a esta atividade. As imagens desses setores podem ser vistas em anexo.

Figura 5 – Imagem do setor operacional do lançamento CLA espaço porto



Fonte: Própria Autoria, 2025.

O departamento de segurança de superfície está localizado no CT e faz uso de câmeras, cronologia e comunicação via rádio, telefone (ramais) e IoC (este aparelho é fornecido pela CONCERT). Antes do procedimento começar a equipe escreve todos os ramais emergenciais no quadro para que todos possam ter conhecimento. Parte da cronologia foi disponibilizada pelo CLA, e poderá ser conferida no anexo 2.

Para este serviço, o CLA faz uso de três programas, o SERUROS para gerenciamento de imagem, SCOD (Sistema de Controle Operacional e Disparo) e SCON (de cronologia contagem regressiva até o H0), a cronologia do lançamento pode ser observada no anexo 2 (apenas da etapa do lançamento real). Todo o programa de lançamento é monitorado a distância, e a maior parte atua de forma automatizadas, diminuindo os riscos aos funcionários. O avanço da etapa é caracterizado pelo “Go”, o não cumprimento de alguma etapa faz com que a contagem seja interrompida, essa ação é conhecida como “No Go”.

Fatores Humanos e Organizacionais

O departamento de segurança de superfície possui uma equipe multidisciplinar havendo profissionais em medicina, enfermagem, brigadista, segurança ocupacional, segurança patrimonial e o chefe de segurança de superfície (com toda sua equipe de apoio), este é responsável pelo monitoramento das etapas que antecedem o lançamento, como elaboração PGR, controle de fluxo de tráfego terrestre, brigada, equipe médica e controle de tráfego marítimo, como mostra a Figura 6. Vale ressaltar que a sala de segurança de superfície tem contatos com diversos setores, pois todo procedimento passa pela supervisão do setor, entre eles o setor de inteligência, telemetria, segurança de voo, meteorologia, radar, técnico e operacional.

No primeiro dia, onde ocorreu a simulação de lançamento, foi detectado que não havia um planejamento claro referente a escala dos profissionais, uma vez que, quando começa a simulação, ou até mesmo o procedimento real de lançamento, necessita ter um profissional qualificado para responder o chamado (comunicação via IoC) no setor. Isso foi observado entre o horário do almoço e no dia seguinte, onde o profissional que fez a simulação, não estava escalado para fazer a operação real do acompanhamento do lançamento do foguete AV FTB.

Além desses fatores, no segundo dia, onde ocorreria o lançamento real, a contagem foi interrompida, devido a equipe da brigada e ambulância estarem sem condições de trabalho por terem ingerido alimento contaminado no rancho.

Vale lembra que outra parada foi feita devido motivos técnicos. As 12:50 aproximadamente, houve pane devido medidores de carga útil não estarem transmitindo sinal, a contagem foi cancelada. Esses eventos atrasaram o lançamento (H0) em 3 horas aproximadamente.

Figura 6 – Equipe de segurança de superfície e um operador de plantão acompanhando etapas para o H0



Fonte: Própria Aatoria, 2025.

Os fatores humanos e organizacionais desempenham papel fundamental na segurança de operações espaciais, influenciando tanto a probabilidade de ocorrência de acidentes quanto à eficácia das respostas de emergência [16]. A compreensão destes fatores é essencial para o desenvolvimento de metodologias abrangentes de análise de riscos.

O planejamento estrutural e operacional são de extrema importância, para a equipe desempenhar sua função com excelência, além da capacitação técnica feita por treinamentos e simulações operacionais, estes fatores contribuem para diminuir a carga de trabalho, em que nas operações espaciais pode variar significativamente entre períodos de preparação rotineira e fases críticas de lançamento [19].

Durante as operações de lançamento, os trabalhadores podem estar sujeitos a pressões de tempo, estresse elevado, e demandas cognitivas intensas. Estas condições podem aumentar a probabilidade de erros humanos e comprometer a capacidade de resposta a situações de emergência.

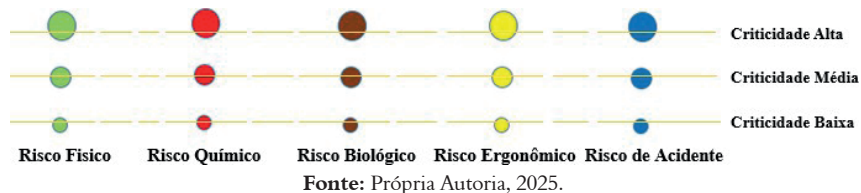
Análise da Criticidade dos Riscos Operacionais

Por ser uma instituição militar de acesso restrito, o CLA não disponibilizou as plantas internas dos setores críticos que se envolveu a missão Falcão II. Sendo assim, foi feito um Quadro de análise de criticidade dos riscos, que aborda setores que estão envolvidos diretamente na atividade do foguete AV FTB. Setores estes que são estratégicos para o sucesso da missão.

Sendo assim, foi realizada uma análise sistemática destes setores. O CT apesar de funcionar como sede administrativa, possui oportunidades em sua infraestrutura, onde alguns pisos da parte

superior do prédio encontram-se soltos, aumentado o risco da queda do entulho na cabeça de um funcionário. Abaixo, encontra-se a parte conceitual teórica representada pela legenda.

Legenda: Representação esquemática da criticidade de riscos



Quadro – Análise da criticidade dos riscos nos setores estratégicos do complexo do Espaço Porto.

CASA MATA					
ANEXOS	FASE OPERACIONAL	SISTEMAS	CATEGORIAS	RISCOS	NRs APLICÁVEIS
Plataforma (Páteo)	Lançamento	Propulsão	Físico, Químico, Radiação e Explosão		NR20; NR16; NR23; NR9; NR10
Sala dos Monitores	Integração	Estrutural	Ergonômica		NR 17
Sala de Distribuição de Energia	Integração	Estrutural	Físico		NR 10; NR17
Sala das Ups e Distribuição de Energia	Integração	Estrutural	Físico		NR 10; NR17
PRÉDIO DE SEGURANÇA (SFL)					
ANEXOS	FASE OPERACIONAL	SISTEMAS	CATEGORIAS	RISCOS	NRs APLICÁVEIS
Quarita	Controle de Fluxo	Estrutural	Físico, Ergonômico		NR 9; NR 17
Escritórios	Preparação	Estrutural	Ergonômico		NR 17
Auditório	Preparação	Estrutural	Ergonômico		NR 17
PRÉDIO DE PREPARAÇÃO DOS PROPULSORES (PPF)					
ANEXOS	FASE OPERACIONAL	SISTEMAS	CATEGORIAS	RISCOS	NRs APLICÁVEIS
Hangar	Preparação	Estrutural	Físico, Ergonômico e Químico		NR20; NR16; NR23; NR9; NR10; NR11; NR13
Escritório	Preparação	Estrutural	Ergonômico		NR 17
Sala Limpa	Preparação	Estrutural	Ergonômico		NR 17
Oficina Mecânica	Preparação	Estrutural	Físico, Químico e Ergonômico		NR9; NR 17; NR12; NR13
Sala de Proteção	Preparação	Propelente	Físico, Químico e Incêndio		NR20; NR16; NR23; NR9; NR10
Sala dos Compressores	Preparação	Estrutural	Físico		NR 10; NR13
Sala de Distribuição de Energia	Integração	Estrutural	Físico		NR 10; NR17
COMANDO TÉCNICO GERAL (CT)					
ANEXOS	FASE OPERACIONAL	SISTEMAS	CATEGORIAS	RISCOS	NRs APLICÁVEIS
TI	Integração	Estrutural	Ergonômico		NR 17
Direção	Integração	Estrutural	Ergonômico		NR 17
Contratos	Integração	Estrutural	Ergonômico		NR 17
Imprensa	Integração	Estrutural	Ergonômico		NR 17; NR18
Financeiro	Integração	Estrutural	Ergonômico		NR 17
Qualidade	Integração	Estrutural	Ergonômico		NR 17
Inteligência	Integração	Estrutural	Ergonômico		NR 17; NR18
Planejamento	Integração	Estrutural	Ergonômico		NR 17
Sala de Segurança de Voo	Preparação	Estrutural	Ergonômico		NR 17; NR18
Sala de Segurança de Superfície	Lançamento	Ignição	Ergonômico, Ignição		NR 17; NR18
RANCHO					
ANEXOS	FASE OPERACIONAL	SISTEMAS	CATEGORIAS	RISCOS	NRs APLICÁVEIS
Cozinha	Integração	Estrutural	Biológico		NR32
Refeitório	Integração	Estrutural	Ergonômico		NR 17
Auditório	Integração	Estrutural	Ergonômico		NR 17

Fonte: Própria Autoria, 2025.

Em anexo é ilustrada cada etapa da missão até o H0.

Segurança de Voo

O setor de segurança de voo é responsável por estabelecer contato com o setor de meteorologia (para análise climatológica favorável para condição de voo) e tráfego aéreo (responsável para bloquear ou desviar qualquer rota de aeronave diante do polígono de voo). Entre outras funções estão as partes de telemetria, monitoramento de trajetória mediante ao plano de voo, contagem regressiva e a interrupção de voo, caso o veículo saia de curso. A Segurança de Voo é a disciplina que garante que o veículo lançador não cause danos a pessoas ou propriedades fora da área de exclusão. Sua importância é grande no setor aeroespacial.

- ✓ **Sistemas de Rastreamento e Telemetria:** Monitoram a trajetória do foguete em tempo real.
- ✓ **Oficial de Segurança de Voo (OSV):** É o único indivíduo com autoridade para emitir o comando de Destruição em Voo (*Flight Termination System - FTS*) caso o veículo se desvie da trajetória pré-determinada e ameace áreas povoadas.
- ✓ **Criticidade:** A falha do *FTS* ou a falha na comunicação com o OSV é um risco de catástrofe civil, tornando a redundância desses sistemas um imperativo técnico e legal.

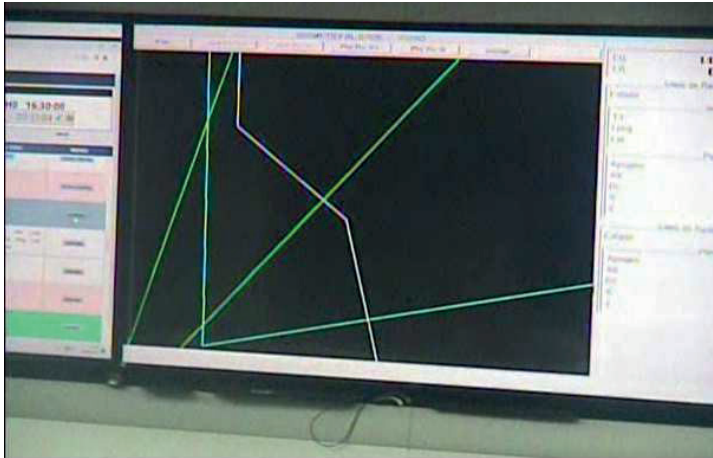
Figura 7 – Imagens do setor de segurança de voo dentro do CT.



Fonte: Própria Autoria, 2025.

Para segurança de voo é traçado um plano de voo do veículo levando em consideração sua missão e suas características técnicas. A partir disso é definido o polígono de segurança a partir do ponto onde o veículo irá decolar. Esse polígono pode ser visto na Figura 8.

Figura 8: Imagem do polígono que estabelece a margem de segurança no voo do foguete AV FTB



Fonte: Própria Autoria, 2025.

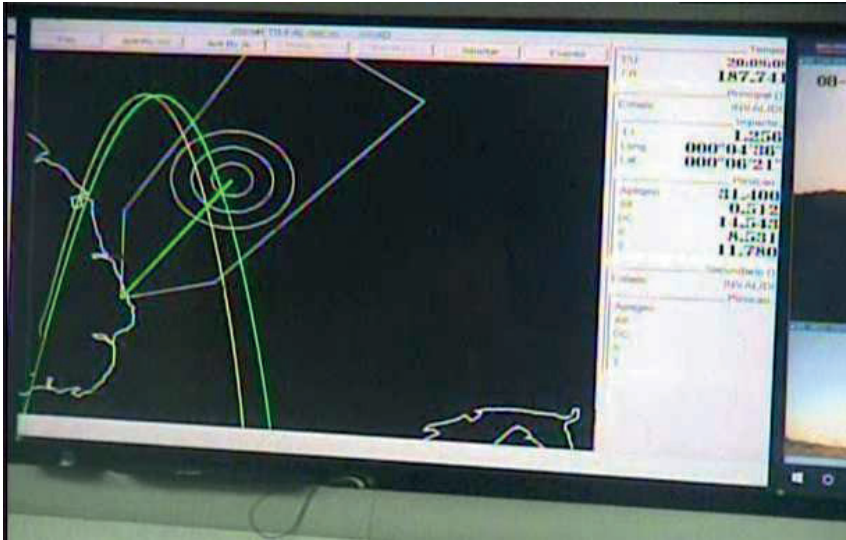
Durante a ignição (H0) os dispositivos embarcados no veículo permitem a equipe de segurança de voo acompanhar sua trajetória em tempo real como mostra a Figura 9.

Como é perceptível o polígono é feito através de estimativas de cálculos de trajetória, feito através das características do foguete e atribuindo uma trajetória teórica estimada. Toda a região dentro deste polígono deve estar livre de embarcações e aeronaves, para não haver riscos de colisão.

A trajetória teórica é representada pela linha verde e a trajetória real é representada pela linha amarela. O foguete da missão FALCÃO II é de fabricação da empresa brasileira Avibrás, desenvolvida para voos sub orbitais, com finalidade de fazer treinamentos militares e em espaço porto.

O foguete AV FTB com motor a propelente sólido atingiu um apogeu de 31 quilômetros e podemos perceber que sua trajetória balística real ficou bem próxima da trajetória estimada, dentro do envelope de voo programada, com os equipamentos embarcados funcionando durante toda operação. Dessa forma é possível afirmar que a missão FALCÃO II foi um sucesso e atingiu seu objetivo.

Figura 9 - Imagem dos dados de trajetória, apogeu e dados do voo do foguete AV FTB



Fonte: Própria Autoria, 2025.

Conclusão

A pesquisa demonstrou que a integração um bom planejamento e investimento em infraestrutura com os requisitos das Normas Reguladoras brasileiras fornecidas e sistemático para melhoria da segurança.

A identificação de medidas de melhoria das para melhoria da segurança no para implementação da metodologia operacionais do programa espacial (taxonomias, matrizes) para aplicação sistemática da metodologia por equipes técnicas.

Apesar do CLA não disponibilizar o PGR e outros documentos técnicos para o enriquecimento deste trabalho, a análise dos dados coletados pode propor um a implantação da metodologia KAIZEN, juntamente com propostas de relevância no cenário aeroespacial brasileiro, podendo futuramente atrair investidores e grandes parcerias comerciais, como foi no caso de Brasil e Coreia do Sul.

Também há aplicação prospectiva da metodologia no design de futuros veículos lançadores brasileiros (VLM).

-Desenvolvimento de modelos mais avançados para integração de fatores humanos na análise estatística de riscos.

-Validação da metodologia através de experimentos de confirmação em missões reais de foguetes de sondagem. Expansão da metodologia para análise de riscos em outras fases do ciclo de vida de sistemas espaciais (transporte, armazenamento, descarte).

Para isso é preciso investir na formação de um núcleo de especialistas em análise de riscos utilizando métodos estatísticos avançados, garantindo a sustentabilidade e a evolução contínua da capacidade nacional nesta área.

Promover iniciativas contínuas para fortalecimento da cultura de segurança em todos os níveis do programa espacial, enfatizando a importância da prevenção, do relato de incidentes, e da aprendizagem contínua e utilizar a metodologia como base para cooperação internacional em segurança espacial, compartilhando lições aprendidas e melhores práticas com outros programas espaciais.

Em suma, a aplicação sistemática e rigorosa da metodologia proposta pode contribuir de forma decisiva para que o Brasil alcance seus objetivos no setor espacial com os mais altos padrões de segurança, honrando a memória dos profissionais que perderam suas vidas no acidente de e garantindo um futuro seguro e sustentável para o programa espacial brasileiro.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA. Missões de demonstração tecnológica 2020-2025. Brasília: AEB, 2020.

AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA. Plano Nacional de Atividades Espaciais 2022-2031. Brasília: AEB, 2022.

BARBOSA, M. F. VLS-1: desenvolvimento e desafios tecnológicos. **Engenharia Aeroespacial**, v. 12, n. 1, p. 23–41, 2021.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. **Relatório da investigação do acidente ocorrido com o VLS-1 V03**. São José dos Campos: CTA, 2004.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Centro de Lançamento de Alcântara: características e vantagens operacionais. Brasília: FAB, 2023.

BRASIL, Divisão de Operações CLBI, Relatório Final Operação Barreira II, Natal, 2011.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. NR-9: Avaliação e controle das exposições ocupacionais a agentes físicos, químicos e biológicos. Brasília: MTE, 2019.

BRASIL. Ministério da Defesa. Estratégia Nacional de Defesa. Brasília: MD, 2020.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. NR-9: Avaliação e controle das exposições ocupacionais a agentes físicos, químicos e biológicos. Brasília: MTE, 2019.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. NR-16: Atividades e operações perigosas. Brasília: MTE, 2023.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. NR-20: Segurança e saúde no trabalho com inflamáveis e combustíveis. Brasília: MTE, 2025.

CROWL, D. A.; LOUVAR, J. F. *Chemical process safety: fundamentals with applications*. 4 ed. Boston: Pearson, 2019.

COSTA, F. H. P. O programa espacial brasileiro: da criação aos dias atuais. **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 14, n.2, p. 308-324, 2021.

EUROPEAN SPACE AGENCY. *Payload preparation facility standards*. Paris: ESA, 2021.

FERNANDES, C. L. Cultura de segurança em organizações de alta confiabilidade. **Revista de Administração Pública**, v. 54, n. 3, p.567-584, 2020.

INNOSPACE. *Hanbit-TLV mission report*. Seoul: INNOSPACE, 2023.

INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SPACE SAFETY. *Global space safety report 2023*. Montreal: IAASS, 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Climatologia da região de Alcântara. Brasília: INMET, 2022.

INSTITUTO DE AERONÁUTICA E ESPAÇO. Veículos lançadores brasileiros: histórico e perspectivas. São José dos Campos: IAE, 2023.

KUBOTA, N. *Propellants and explosives: thermochemical aspects of combustion*, 3ed. Weinheim: Wiley- VCH, 2015.

LEVESON, N. *Engineering a safer world: systems thinking applied to safety*. Cambridge: MIT Press, 2011.

MARTINI, L. Idealizando um Complexo Espacial em Alcântara, Brasil. *Journal of Aerospace Technology and Management*, v.6, n. 2, p. 8-24, 2024.

NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH. *Health hazard evaluation of rocket propellant manufacturing*. Cincinnati: NIOSH, 2020.

NASCIMENTO, J. A. Foguetes de sondagem brasileiros: desenvolvimento e aplicações. *Revista Brasileira de Física Aplicada*, v. 18, n. 3, p. 156-172, 2020.

OLIVEIRA, P. R. Lições aprendidas do acidente VLS-1 V03: implicações para a segurança espacial.

Cadernos de Engenharia de Segurança, v. 12, n.2, p.78 -95, 2018.

OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION. *Criteria for a recommended standard: occupational exposure to perchlorate*. Washington: OSHA, 2019.

PEREIRA, J. C. Autonomia tecnológica em sistemas espaciais: desafios e oportunidades. *Revista da Escola Superior de Guerra*, v.35, n.74, p.123-145, 2019.

REASON, J. *Human error: models and management*. *British Medical Journal*, v. 320, n. 7237p.768 – 770, 2000.

RODRIGUES, A. M. Impactos sociais de acidentes em programas espaciais. *Sociologias*, v.26, n.56, p.234- 258, 2021.

SUTTON, G. P.; BIBLARZ, O. *Rocket propulsion elements*. 9 eds. Hoboken: John Wiley & Sons, 2017.

ESTUDO DE MISTURAS ASFÁLTICAS DO TIPO CAUQ: COMPARATIVO ENTRE OS MÉTODOS DE COMPACTAÇÃO POR IMPACTO E POR AMASSAMENTO

Ezequiel Silva Rocha¹

Maria Teresinha de Medeiros Coelho²

Mayssa Alves da Silva Sousa³

Walter Canales Sant'ana⁴

Introdução

As rodovias desempenham um papel significativo no fomento do crescimento econômico e social do Brasil. Segundo a CNT (2022), o modal rodoviário é atualmente o mais amplamente utilizado no país. Dada sua relevância social e econômica, as metodologias de construção civil destinadas à infraestrutura viária devem evoluir, assegurando padrões elevados de segurança e qualidade. Para manterem-se atualizados diante das progressões do campo, é imperativo que os ensaios laboratoriais evoluam, proporcionando resultados de maior precisão em consonância com as exigências da prática construtiva. Esta pesquisa visa avaliar, em laboratório, a influência do método de compactação, seja por impacto ou amassamento, na definição do teor ótimo de ligante e no comportamento mecânico de misturas asfálticas do tipo CAUQ (Concreto Asfáltico Usinado a Quente), que atenda aos requisitos estabelecidos pelas normas nacionais. O CAUQ é um pavimento

1 Graduado, Universidade Estadual do Maranhão, Departamento de Engenharia Civil, São Luís, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-7053-9908>.

2 Professora efetiva, Universidade Estadual do Maranhão, Departamento de Engenharia Civil, São Luís, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-7053-9908>.

3 Professora efetiva, Universidade Estadual do Maranhão, Departamento de Engenharia Civil, São Luís, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3513-9534>.

4 Professor efetivo, Universidade Estadual do Maranhão, Departamento de Engenharia Civil, São Luís, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2504-3395>.

flexível, caracterizado por um sistema onde as cargas derivadas do tráfego veicular são distribuídas de forma equivalente em todas as camadas, resultando em deformações elásticas em cada uma delas (DNIT, 2006).

No Brasil os parâmetros de serviço dos pavimentos flexíveis são regidos pelo DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes), por meio de normas técnicas. O documento técnico utilizado nesta pesquisa para a fixação dos parâmetros de utilização das misturas asfálticas estudadas foi a norma DNIT 031/2024 – ES, que define a sistemática na execução da camada de revestimento do tipo CAUQ.

De acordo com DNIT (2006), que fixa os parâmetros de execução para misturas asfálticas do tipo CAUQ no Brasil, o concreto asfáltico é definido como uma mistura composta de agregado graduado, material de enchimento e cimento asfáltico, que é fabricada em usina a altas temperaturas e espalhada e compactada ainda quente, necessitando de temperaturas de campo maiores que 10°C para ser transportado e aplicado. Na sua mistura pode haver a presença de duas graduações diferentes de brita, pó de brita, cimento, areia e Cimento Asfáltico de Petróleo, o CAP. O traço da mistura foi definida tendo como referência a norma DNIT 031/2024 – ES. Dado que a dosagem de misturas asfálticas constitui um dos principais enfoques desta pesquisa, aborda-se este tema a seguir.

Dosagem

A dosagem de uma mistura asfáltica consiste basicamente na escolha de um teor de ligante dito como “ótimo”, a partir de uma faixa granulométrica predefinida. Essa escolha é feita utilizando procedimentos experimentais. Os principais métodos de dosagem são o Marshall e SuperPave, adotados nesta pesquisa.

O método de dosagem Marshall é o mais usual mundialmente e usa da compactação por impacto para fins experimentais (Bernucci *et al.*, 2022). Foi desenvolvido na década de 1940, durante a 2ª Guerra mundial, pelo engenheiro Bruce Marshall, com o intuito de definir proporções de ligante e agregado que pudessem resistir às tensões advindas dos pneus das aeronaves militares, utilizando trechos teste, que serviram como base de estudo para o desenvolvimento e aperfeiçoamento do método, onde são utilizados aparelhos que fazem

a compactação em laboratório por meio de golpes verticais em um corpo de prova cilíndrico, configurando-se assim como um método de compactação por impacto mecânico e, até os dias atuais, ainda é a metodologia mais utilizada no Brasil (Bernucci *et al.*, 2022).

Na década de 1980 nos Estados Unidos, muitas rodovias de tráfego pesado estavam apresentando problemas relacionados à deformação permanente de forma prematura. Esses problemas foram relacionados ao excesso de ligante nas misturas asfálticas. Na época muitos engenheiros acreditavam que o método de compactação por impacto produzia corpos de prova que não representavam valores de densidade fidedignos aos valores de campo. Por conta disto e com o aumento das solicitações nas rodovias americanas, os estudos do Strategic Highway Research Program (SHRP) foram desenvolvidos entre os anos de 1987 e 1992, tendo como um dos principais resultados o método de projeto de misturas asfálticas densas, denominado Superpave, que adota técnicas que proporcionam a confecção de corpos de prova mais fiéis às características encontradas em campo, por meio da compactação por amassamento. O método utiliza um equipamento chamado de Compactador Giratório Superpave (CGS) (Bernucci *et al.*, 2022), utilizando as normas para o sistema Superpave da AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials).

O desempenho das misturas asfálticas é avaliado por meio de ensaios destinados a analisar seu comportamento mecânico, apresentados a seguir.

Comportamento mecânico das misturas asfáltica

Nessa pesquisa foram verificados o comportamento mecânico das mistura a partir dos ensaios de estabilidade Marshall e do ensaio de resistência a tração por compressão diametral. A estabilidade Marshall se refere a carga máxima de compressão que um corpo de prova cilíndrico consegue suportar antes de se romper, de modo a ocasionar uma diminuição na carga necessária para fazer o prato da prensa mecânica continuar se movendo a uma taxa constante de 0,8 mm/segundo (Bernucci *et al.*, 2022).

De acordo com a mesma autora, o ensaio de resistência a tração por compressão diametral é uma forma de encontrar a tração de forma indireta, e é muito difundido nacionalmente pela rapidez e facilidade do ensaio, já que utiliza o mesmo equipamento do ensaio de estabilidade

Marshall. A metodologia começou a ser utilizada para misturas asfálticas há cerca de meio século, utilizando o mesmo equipamento do ensaio de estabilidade.

Materiais e Métodos

Materiais utilizados

Os materiais utilizados neste estudo, apresentados na Figura 1, foram doados pelo Grupo Edeconsil, que contribuiu com a doação de CAP e agregados, e pela empresa Itaquí Mix, que contribuiu com a doação de CAP. Esses materiais são: Brita 1, brita 0, pó de brita, areia, cimento Portland (fíler) e ligante asfáltico (CAP – 50/70).

Figura 1: Autor próprio, *Materiais utilizados no desenvolvimento da pesquisa, (2023)*



A brita 1 (Fig. 1A) é um agregado graúdo obtido por meio de britagem, caracterizado pelo seu tamanho, que compreende o material passante pela peneira de 19 mm e retido na peneira de 9,5 mm. Já a brita 0 (Fig. 1B), ou pedrisco, também é um agregado graúdo obtido por britagem, cujo tamanho compreende o material passante pela peneira de 9,5 mm e retido na peneira de 4,8 mm (Bernucci *et al.*, 2022).

Entre os agregados miúdos e materiais de enchimento utilizados, destaca-se o pó de brita, que resulta da fragmentação de uma rocha pelo processo de britagem, sendo o tipo de brita mais fino, com partículas menores que 2,0 mm (Bernucci *et al.*, 2022), conforme exemplificado na Fig. 1 C. A areia (Fig. 1D), por sua vez, é um material granular constituído principalmente por quartzo e feldspato (Das, 2014), e apresenta diferentes especificações e aplicações, como na construção civil.

Além dos agregados, utilizou-se o cimento Portland (Fig. 1E), um material finamente pulverizado que se destaca por suas propriedades aglomerantes e é produzido pela queima de calcário e argila a altas

temperaturas, sendo amplamente empregado na construção civil (Battagin, 2017). Para esta pesquisa, foi utilizado o cimento Portland do tipo CP II-F, com resistência à compressão de 32 MPa, fabricado de acordo com a norma técnica brasileira NBR 16697/2018. Para a seleção do material utilizou-se a norma DNER 367/1997-EM.

O ligante asfáltico utilizado foi o Cimento Asfáltico de Petróleo - CAP 50/70 (Fig. 1F), que é um produto obtido em sistemas de refino de petróleo, especialmente para a aplicação em obras de pavimentação, possuindo propriedades aglutinantes, impermeabilidade e flexibilidade, apresentando uma alta durabilidade (Bernucci *et al.*, 2022).

Ensaio realizados

Por desempenhar um importante papel na resistência final da mistura asfáltica, todos materiais foram caracterizados seguindo normas vigentes rodoviárias, a fim de resultarem em um revestimento duradouro e resistente a patologias (Castelo Branco *et al.*, 2006). Nesta pesquisa foram realizados ensaios para verificar as características dos agregados e para o ligante asfáltico.

O ensaio granulométrico foi realizado para todos os agregados de acordo com a norma DNIT 459/2025 -ME, sendo que a seleção das peneiras baseou-se nas recomendações da norma DNIT 031/2024-ES.

Foi realizado o ensaio de massa específica para o agregado graúdo e teve como objetivo aferir sua massa por volume unitário. Para esse agregado, também foi realizado o ensaio de absorção e objetivou mensurar o aumento de massa do agregado em decorrência da penetração de água nos poros do mesmo, sendo expressa em forma de porcentagem em relação a massa seca. No Brasil os dois ensaios são regidos pela norma DNIT 413/2021-ME.

Também foi realizado o ensaio de massa específica da areia e do pó de brita, onde adotou-se a norma DNER 194/98-ME, que fixa o procedimento a ser adotado na determinação da massa específica do agregado miúdo utilizando o frasco Chapman.

O ensaio de massa específica real do material de enchimento (Fíller) seguiu-se as descrições da norma DNER 085/1994-ME, que apresenta a metodologia para materiais finamente pulverizados, utilizando o frasco Le Chatelier. Nesta pesquisa utilizou-se Cimento Portland como material de enchimento para a mistura asfáltica.

Para os agregados graúdos foi realizado o ensaio de abrasão “Los Angeles”, regido pela norma DNIT 451/2024-ES, e teve como objetivo quantificar o desgaste sofrido pelo agregado quando submetido a uma carga abrasiva padrão. Para o traço da mistura asfáltica utilizada nesta pesquisa foram utilizadas duas graduações de britas (brita 1 e brita 0), classificadas como agregado graúdo.

A norma DNIT 450/2024-ME apresenta o procedimento para a determinação do equivalente de areia de um solo ou agregado miúdo, e define equivalente de areia como sendo a relação volumétrica correspondente a razão entre a altura do nível superior de areia e a altura do nível superior da suspensão argilosa de uma quantidade de solo dentro de uma proveta. Nesta pesquisa o ensaio foi realizado na areia, que se classifica como agregado miúdo.

O ensaio de adesividade foi realizado para o agregado graúdo, sendo regido pela norma DNIT 452/2024-ME que consiste em uma análise visual qualitativa da amostra. A norma define como adesividade a propriedade que um agregado tem de ser aderido por um material betuminoso, e deve ser verificado pelo deslocamento, ou não, de partículas de betume da superfície da rocha, quando imersa em água e submetido a temperatura específica. Por decorrência do fato de que as duas graduações de brita utilizadas na pesquisa foram extraídas da mesma jazida, entende-se que elas compartilham características advindas do material que as compõe, portanto o ensaio foi realizado apenas na brita 1, representando um resultado global para os agregados graúdos da mistura.

Ainda para o agregado graúdo foi realizado o ensaio de índice de forma tendo como referência a norma DNIT 425/2020 - ME, utilizando um paquímetro. O formato volumétrico dos agregados influencia na trabalhabilidade e na resistência ao cisalhamento e interfere na energia de compactação necessária para se alcançar certa densidade. Partículas como pedra britada, cascalhos e algumas areias de brita são irregulares e tendem a oferecer melhor intertravamento entre os grãos compactados, tanto maiores quanto mais cúbicas forem as partículas e mais afiladas forem suas arestas (Bernucci *et al.*, 2022).

Para o ligante asfáltico, o CAP 50-70, foi realizado o ensaio de penetração, onde seguiu a metodologia especificada na norma DNIT 155/2010-ME, dando como resultado a profundidade em décimos de milímetros que uma agulha padrão em situação de temperatura, tempo e carga controladas, penetram no ligante. Este ensaio é importante pois

está diretamente ligado a consistência da massa asfáltica, influenciando na interação do ligante com outros materiais da mistura.

Ainda para o ligante asfáltico foi realizado o ensaio de ponto de amolecimento. Para esse ensaio utilizou-se a norma DNIT 131/2010-ME que especifica a metodologia para a sua correta realização. No procedimento realizado para a presente pesquisa foi utilizada água destilada como líquido para submersão do conjunto anel e bola com o material.

Idealização da mistura asfáltica

Com os resultados do ensaio de granulometria foi possível estimar um traço de mistura asfáltica que se enquadra em uma das faixas da norma DNIT 031/2024 – ES, necessário para a confecção dos corpos de prova.

A norma DNIT 178/2018 – PRO fixa os procedimentos para a confecção de corpos de prova de misturas asfálticas a quente utilizando o compactador giratório Superpave (Fig. 2A) ou o Marshall por impacto (Fig. 2B). Para ambos foram atendidas as temperaturas necessárias para os agregados, bem como o do ligante asfáltico, necessário para atingirem constância de massa, definidas na norma em referência.

Após a confecção dos corpos de prova (Fig. 2C) obteve-se suas espessuras e diâmetros, utilizando um paquímetro, e seus pesos: o seco, utilizando uma balança convencional, e o submerso, onde utilizou-se uma balança hidrostática e um balde. Com os resultados obtidos procedeu-se os cálculos dos índices volumétricos e do teor de ligante para o CAUQ, utilizando as equações matemáticas expressas em Bernucci *et al* (2022).

Parte dos corpos de prova foram colocados no banho maria numa temperatura de 60°C por um período de tempo entre 30 e 40 minutos para a realização do ensaio de estabilidade Marshall. Os demais corpos de prova foram mantidos a uma temperatura de 25°C para serem utilizados no ensaio de resistência a tração por compressão diametral.

Figura 2: Autor próprio, *Imagens dos compactadores utilizados no ensaio, e corpos de prova, (2023)*



No Brasil o método de ensaio de estabilidade Marshall é regido pela norma DNIT 447/2024-ME, e o de resistência a tração por compressão diametral pela DNIT 136/2018 – ME. Segundo a norma DNIT 031/2024-ES, para camada de rolamento, os resultados de estabilidade e de resistência a tração por compressão diametral devem apresentar valores iguais ou maiores que 500 kgf e 0,65 Mpa, respectivamente, para serem considerados aceitáveis. Esses ensaios foram realizados utilizando a mesma prensa, somente alterando o molde de rompimento. No caso do ensaio de tração por compressão diametral se utilizaram frisos nas partes inferior e superior do corpo de prova.

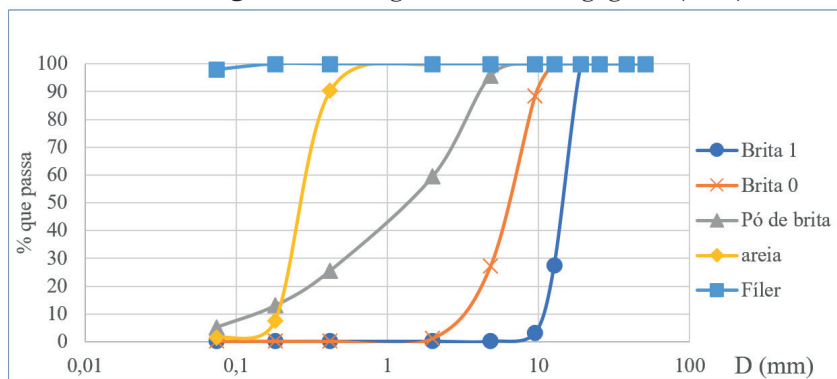
Caracterização dos agregados

Na Táb. 1 e Fig. 3 apresentam os resultados do ensaio de granulometria de cada agregado, onde se observa que as graduações da brita 1, brita 0 e areia são uniformes.

Tabela 1: Resultado do ensaio de granulometria de cada agregado, (2023)

#		Percentual passante (%)				
n°	mm	B1	B0	Pó de brita	Areia	Filer
2"	50,8	100%	100%	100%	100%	100%
1 1/2"	38,1	100%	100%	100%	100%	100%
1"	25,4	100%	100%	100%	100%	100%
3/4"	19,1	100%	100%	100%	100%	100%
1/2"	12,7	27,65	100%	100%	100%	100%
3/8"	9,5	3,18%	88,60%	100%	100%	100%
n° 4	4,8	0,07%	27,07%	95,69%	100%	100%
n° 10	2	0,07%	1,31%	59,56%	99,94%	100%
n° 40	0,42	0,07%	0,26%	25,62%	90,29%	100%
n° 80	0,18	0,07%	0,26%	12,94%	7,46%	100%
n° 200	0,074	0,07%	0,26%	5,20%	1,52%	97,92%

Figura 3: Curvas granulométrica dos agregados, (2023)



A Tabela 2 apresenta os resultados de alguns dos ensaios de caracterização dos agregados graúdos, referentes à brita 1 e à brita 0.

Tabela 2: Resultados dos ensaio de caracterização para os agregados graúdos, (2023)

Material	Massa específica (g/cm ³)	Absorção (%)	Abrasão Los Angeles (%)	Índice de forma
Brita 1	2,850	0,12	11,75	0,503
Brita 0	2,828	0,38	15,69	--

Os resultados do ensaio de absorção (Tab. 2) se mostraram satisfatórios, visto que de acordo com Leinhardt (2003) e Latham *et al.* (2006) (apud Bernucci *et al.*, 2022) e DNIT 031/2024-ES para que um agregado possa ser considerado de boa qualidade para uma mistura asfáltica, o mesmo deve ter uma absorção inferior a 2,0%.

Ainda de acordo com Bernucci *et al.* (2022) os valores desejáveis de abrasão Los Angeles para revestimento asfáltico são relativamente altos, limitados normalmente a valores máximos que ficam entre 40 e 55% (Tab. 2). Para o índice de forma, para a incorporação em misturas asfálticas, adota-se um limite mínimo de 0,5 (Tab. 2). Com isso os resultados obtidos para esta pesquisa se mostraram satisfatórios.

Outro ensaio realizado para o agregado graúdo foi a adesividade onde foi possível observar que a amostra se mostrou insuficiente em adesividade, visto que houve desprendimento de material betuminoso. Na Fig. 4A e B é possível observar as etapas do ensaio, com um parecer negativo em relação a usabilidade do agregado para concreto asfáltico. Visto que o resultado do ensaio não favoreceu o uso do material para concreto asfáltico novos ensaios foram realizados com o uso de aditivo melhorador de adesividade, o DOPE, que foi adicionado em 0,5% no ligante asfáltico. O uso do DOPE conseguiu contornar o problema, tornando o agregado usável para concreto asfáltico, como pode ser observado na Fig. 4C.

O resultado do ensaio de equivalente de areia (Tab. 3) foi considerado satisfatório, pois para que a areia seja considerada adequada para uso em concreto asfáltico, o valor deve ser de no mínimo 55% (Bernucci *et al.*, 2022). Com isso a areia é atestada como própria para o uso em concreto asfáltico e argamassa asfáltica.

Figura 4: Resultados dos ensaios de adesividade sem, e com adição de DOPE, (2023)

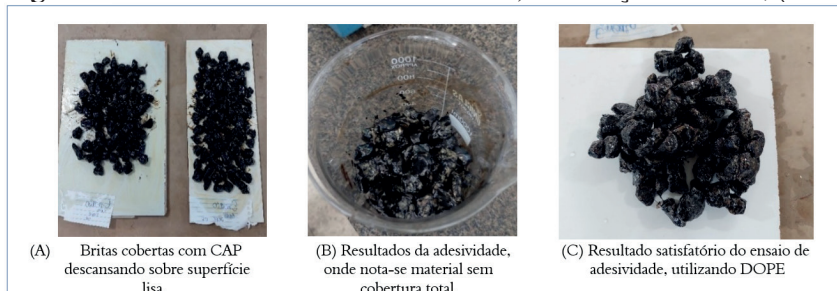


Tabela 3: Resultados dos ensaios de caracterização dos agregados miúdos e do filler, (2023)

Material	Densidade (g/cm ³)	Equivalente de areia
Areia	2,646	93,71
Pó de brita	2,770	--
Cimento (Fíller)	2,857	--

Caracterização do ligante asfáltico (CAP)

A Tabela 4 apresenta os resultados do ensaio de penetração realizado em triplicata, seguindo a norma DNIT 155/2010-ME.

Tabela 4: Resultado do ensaio de penetração, (2023)

Material	Leitura 1 (mm ⁻¹)	Leitura 2 (mm ⁻¹)	Leitura 3 (mm ⁻¹)	Média (mm ⁻¹)
CAP 50/70	69,00	69,00	70,00	69,33

Visto que se trata de uma amostra de CAP 50/70, a penetração está de acordo com a classificação. De acordo com a norma DNIT 155/2010-ME para o CAP 50/70 a diferença entre o maior e o menor

resultado não pode ser maior que 4, mostrando que os resultados se mostram satisfatórios, pois a média das leituras foi de $69,33 \text{ mm}^{-1}$ e a diferença entre a maior e a menor medida foi de 1 mm^{-1} .

Em relação ao ensaio de ponto de amolecimento, foi obtido como resultado do ensaio, uma temperatura de 46°C para o ensaio em duplicata. Esse resultado está de acordo com a norma DNIT 131/2010-ME.

A resolução da Agência Nacional do Petróleo, Gás natural e Biocombustíveis (ANP) ANP N° 19 estabelece que a temperatura mínima para o ponto de amolecimento deve ser de 46°C para o CAP 50/70, com isso, reafirma, que o resultado do ensaio está dentro do limite estabelecido.

Definição do traço e do teor ótimo de ligante

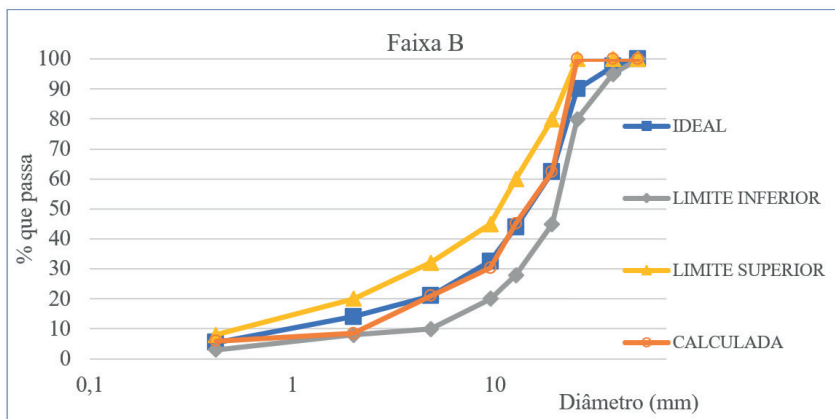
Para o cálculo do traço foram utilizados os resultados obtidos no ensaio de granulometria. Inicialmente arbitrou-se um traço, apresentado na Tab. 5, que teve assertividade no encaixe na faixa B da norma DNIT 031/2006 – ES. Para fins de aperfeiçoamento da curva foi utilizada a função “Solver” do Excel, que modificou as proporções de agregados a fim de ter um resultado o mais próximo possível da curva ótima. O traço calculado por meio da ferramenta computacional, e utilizado para a confecção dos corpos de prova do tipo CAUQ, é apresentado na Tab. 5.

Tabela 5: Traços de mistura asfáltica do tipo CAUQ, (2023)

Traço arbitrado					
B1	B0	Pó de B.	Areia	Fíler	Total
50%	16%	17%	12%	5%	100%
Traço calculado (SOLVER)					
B1	B0	Pó de B.	Areia	Fíler	Total
36%	25%	23%	11%	5%	100%

A Fig. 5 apresenta a curva granulométrica da mistura considerada, assim como os limites da norma e a curva ideal, onde é possível observar que a mistura calculada teve um bom encaixe na Faixa B.

Figura 5: Gráfico de encaixe na faixa granulométrica, (2023)



Os corpos de prova com as mesmas porcentagens de ligantes foram compactados nos dois compactadores, o Compactador Marshall e o Compactador Giratório Superpave, totalizando 18 corpos de prova, e em seguida, calculados seus índices volumétricos.

Para o cálculo do teor ótimo existem alguns métodos conforme consta em Bernucci *et. al.* (2022), dentre eles, a partir dos parâmetros de dosagem Vv e RBV utilizado nesta pesquisa. Com os três valores médios de Vv e RBV obtidos nos grupos de corpos de prova foi possível traçar os gráficos obtidos para o compactador Marshall e para o compactador giratório apresentados nas Fig. 6 e 7, respectivamente, onde apresenta em destaque o resultado obtido para o teor ótimo.

Os gráficos contêm, ainda, os limites específicos das duas variáveis, indicados pelas linhas tracejadas, e apresentados conforme consta na norma DNIT 031/2024 – ES. A partir da interseção das linhas de tendência do Vv e do RBV com os limites respectivos de cada um desses parâmetros foram determinados quatro teores de CAP (X1, X2, X3 e X4). O teor ótimo foi selecionado tomando a média dos dois teores centrais.

Figura 6: Gráfico apresentando o cálculo do teor ótimo de ligante utilizando compactador por impacto, (2023)

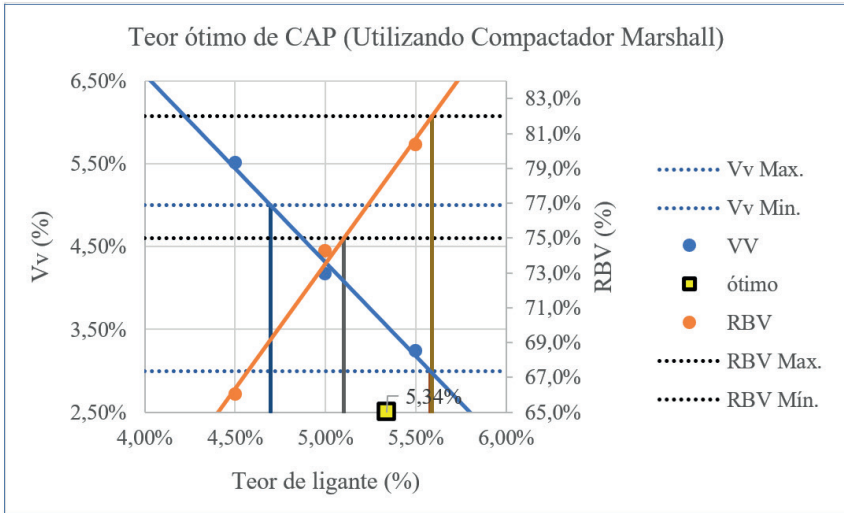
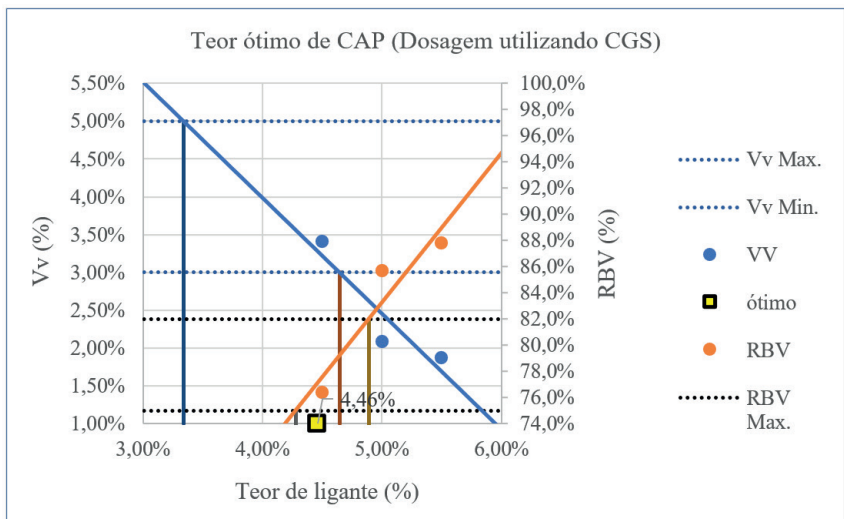


Figura 7: Gráfico apresentando o cálculo do teor ótimo de ligante utilizando compactador por amassamento, (2023)



Com isso obteve-se um teor ótimo de ligante de 5,34% para a dosagem feita com o uso do compactador Marshall e um teor de 4,5% para a dosagem feita com o uso do compactador giratório Superpave, para misturas do tipo CAUQ. Tais resultados corroboram com os apresentados na literatura. Leandro (2016) cita que a dosagem utilizando o compactador giratório resulta em teores de projetos menores, para corpos de prova cilíndricos de 150 milímetros. Gadler, Villela e Miranda (2018) citam que a dosagem utilizando o compactador giratório resultam em teores até 0,5% menores quando comparados aos obtidos pela compactação por impacto.

Ensaio mecânicos

Ensaio de Estabilidade Marshall

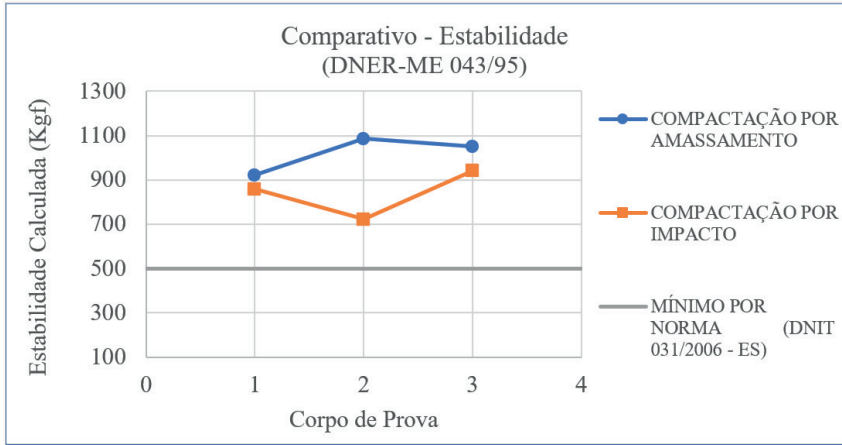
Para a realização do ensaio de estabilidade, foram confeccionados 3 (três) corpos de prova segundo a norma DNER 043/95-ME utilizando o teor ótimo de ligante, para cada dosagem. Os resultados obtidos com o rompimento dos corpos de prova confeccionados utilizando as duas metodologias de compactação estão dispostos na Tab. 6, onde se observa valores superiores para a mistura compactada por amassamento.

Como exposto, a norma DNIT 031/2024 –ES especifica que a estabilidade mínima exigida para uma mistura asfáltica do tipo CAUQ ser considerada utilizável é de 500 Kgf. Na Figura 8 é possível observar que todos os corpos de prova tiveram valores acima do exigido pela norma, e que a mistura asfáltica compactada por amassamento teve resultados melhores quando comparada a mistura compactada por impacto. O mesmo comportamento pode ser observado na literatura, de acordo com Gadler, Villela e Miranda (2018).

Tabela 6: Resultados do ensaio de Estabilidade para CAUQ, (2023)

	CORPO DE PROVA (CP)					
	Compactado por Impacto			Compactado por Amassamento		
	CP-1	CP-2	CP-3	CP-1	CP-2	CP-3
Estabilidade (Kgf)	857,85	722,23	940,96	921,60	1085,73	1050,31

Figura 8: Gráfico comparativo com resultados do ensaio de estabilidade para CAUQ, (2023)



Ensaio de tração por compressão diametral

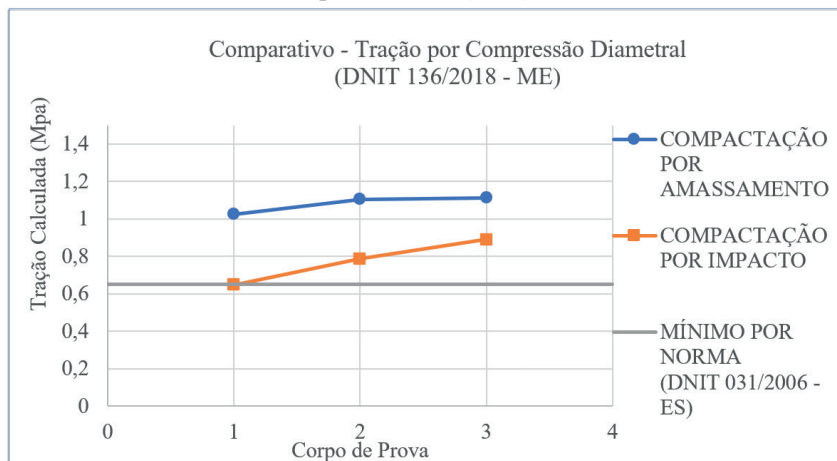
De forma similar ao ensaio de estabilidade, para a realização do ensaio de tração por compressão diametral, segundo a norma DNIT 136/2018 – ME, foram confeccionados 3 (três) corpos de prova com teor ótimo de ligante, para cada dosagem. Na Tab. 7 estão dispostos os resultados obtidos nos ensaios, e na Fig. 9 é possível observar o gráfico comparativo entre os corpos de prova utilizando os diferentes compactadores.

Observa-se ainda, que os corpos de prova compactados com o compactador giratório tiveram resultados melhores no ensaio de tração por compressão diametral. É válido ressaltar que todos os corpos de prova atingiram o valor mínimo de resistência a tração exigido pela norma DNIT 031/2006 –ES, maior que 0,65 MPa.

Tabela 7: Resultados do ensaio de tração por compressão diametral para CAUQ, (2023)

	CORPO DE PROVA (CP)					
	Compactação por Impacto			Compactação por Amassamento		
	CP-1	CP-2	CP-3	CP-1	CP-2	CP-3
Altura (mm)	61,22	60,8	58,52	61,67	61,8	61,9
Diâmetro (mm)	101,52	101,7	102,47	99,88	99,92	99,93
Tração calculada (MPa)	0,65	0,79	0,89	1,03	1,11	1,11

Figura 9: Gráfico comparativo de resultados do ensaio de tração por compressão diametral para CAUQ, (2023)



Considerações Finais

Os resultados desta pesquisa indicam que os corpos de prova submetidos à compactação no Compactador Giratório e empregados no processo de dosagem apresentaram índices de vazios inferiores em comparação com os corpos de prova compactados no Compactador Marshall por impacto, para os mesmos teores de ligante asfáltico. Tais constatações corroboram com a pesquisa de Flores (2021), que também registrou índices de vazios menores para amostras compactadas utilizando o Compactador Giratório Superpave (CGS).

Dado que os parâmetros empregados para a compactação dos corpos de prova neste estudo são equiparados para ambos os compactadores, conforme as prescrições da norma DNIT 178/2018 – PRO, infere-se que o método de compactação giratória induz a uma redução no teor ótimo de ligante, quando o volume de vazios é utilizado como parâmetro de dosagem. Nos ensaios de estabilidade e tração por compressão diametral, foram constatados valores maiores de resistência nos resultados obtidos para os corpos de prova dosados mediante a utilização do compactador giratório. Essa constatação evidencia a eficácia da metodologia, baseada na compactação por amassamento, ao sugerir que o teor de projeto foi mais preciso.

A metodologia convencional de dosagem empregando o Compactador Marshall por impacto é percebida como desfavorecida quando contrastada com a dosagem mediante a utilização do Compactador Giratório. O método de compactação por impacto demonstra proporcionar resultados caracterizados por teores de ligante superiores e resistências mecânicas inferiores, sugerindo que a aplicação do Compactador Giratório pode ser propícia em termos de otimização na utilização de ligante asfáltico em projetos de infraestrutura rodoviária.

Um maior volume de CAP pode desencadear patologias nas estradas, notadamente a exsudação e a antecipação do surgimento de trilhas de roda. Portanto, o teor ótimo de ligante, determinado por meio da dosagem utilizando o Compactador Giratório, revelou-se mais acurado. Esta metodologia proporcionou valores inferiores de ligante e resultados maiores nos ensaios de estabilidade e tração por compressão diametral, para misturas do tipo Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ). Essas constatações corroboram a eficácia do método de compactação giratória na concepção de dosagens mais refinadas, evidenciando a sua vantagem em termos de economia de ligante asfáltico e desempenho mecânico nas misturas asfálticas.

Cumprir destacar que o processo de confecção dos corpos de prova mediante a utilização do Compactador Giratório implica em menor exposição de riscos ao operador, uma vez que este equipamento emite níveis de ruído significativamente inferiores em comparação ao Compactador Marshall por impacto. Adicionalmente, os corpos de prova preparados com o emprego do Compactador Giratório SuperPave evidenciaram características superficiais melhores, sendo mais uniformes. Este fenômeno é atribuído à implementação de mecanismos operacionais baseados em ar comprimido durante os estágios de compactação e extração dos corpos de prova, resultando em uma conformidade mais substancial da massa asfáltica no interior do molde durante esses procedimentos.

Nesse contexto, verifica-se que, para as misturas asfálticas objeto de estudo, a dosagem utilizando o Compactador Giratório emerge como uma abordagem mais vantajosa, oferecendo resultados mais precisos no que concerne à estabilidade, tração por compressão diametral e teor ótimo de ligante.

REFERÊNCIAS

Battagin, A. F.; Battagin, I. L. S. (2017). Cimento Portland. In: *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais* (pp. 761–792). Volume 1. 3ª ed. São Paulo: IBRACON.

Bernucci, L.B.; Motta, L.M.G.; Ceratti, J.A.P. e Soares, J. B. (Eds.). *Pavimentação asfáltica: Formação básica para engenheiros*. 2ªed. Programa Asfalto nas Universidades, Petrobras Distribuidora S.A., 2022.

Castelo Branco, V. T. F.; E. Masad; D. N. Little; J. B. Soares E L. M. G. Motta (2006). *Caracterização de Forma, Angularidade e Textura de Agregado de Brita Granítica e Escórias de Aciaria Usando o Aggregate Imaging System (AIMS)*. In: XX Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes - ANPET, Brasília.

CNT - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES - *Pesquisa de rodovias 2022*. – Brasília: Confederação nacional do transporte - CNT: SEST SENAT, 2022.

Das, B.M. *Fundamentos da Engenharia Geotécnica*. São Paulo: Thomson Learning, 2014

DNER - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. 043/1994 – ME – Mistura betuminosa a quente – ensaio. Rio de Janeiro, 11p. 1994

_____. DNER 085/1994 – ME - Material finamente pulverizado - determinação da massa específica real. Rio de Janeiro, 6p. 1994

_____. DNER 194/1998-ME - Determinação da massa específica do agregado miúdo. Rio de Janeiro, 1994.

_____. DNER 367/1997-EM – Material de Enchimento para mistura asfáltica. Rio de Janeiro, 3p, 1997.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Manual de pavimentação. 3.ed. - Rio de Janeiro, 2006. 274p. 139

_____. DNIT 031/2024 – ES. Pavimentos Flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2018.

_____. DNIT 131/2010 – ME. Materiais asfálticos – Determinação do ponto de amolecimento – Método do Anel e Bola – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2010.

_____. DNIT 136/2018 – ME. Materiais asfálticos – Pavimentação asfáltica – Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2018.

_____. DNIT 155/2010 – ME. Material asfáltico – Determinação da penetração – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2010.

_____. DNIT 178/2018 – ME. Preparação de corpos de prova para ensaios mecânicos usando o compactador giratório Superpave ou o Marshall Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2018.

_____. DNIT 413/2021 - ME: Pavimentação – Massa específica, densidade relativa e absorção de agregado graúdo para misturas asfálticas – Método de ensaio. Brasília, 2021.

_____. DNIT 425/2020-ME: Solos – Determinação da Forma dos Agregados. Rio de Janeiro, 2020.

_____. DNIT 447/2024-ME: Solos – Ensaio de estabilidade e fluência Marshall. Rio de Janeiro, 9 p., 2024.

_____. DNIT 450/2024-ME: Equivalente de areia. Rio de Janeiro, 9 p., 2024.

_____. DNIT 451/2024-ME: Agregados – determinação da abrasão “Los Angeles”. Rio de Janeiro, 9 p., 2024.

_____. DNIT 452/2024-ME: Agregado graúdo - Adesividade ao ligante asfáltico. Rio de Janeiro, 2024. Rio de Janeiro, 6 p., 2024.

_____. DNIT 459/2025-ME: Solos – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 17 p, Rio de Janeiro.

Flores, G. *Influencia del método de compactación en las mezclas recicladas con emulsión. Diferencia entre la compactación proctor y la giratoria para la determinación de las propiedades volumétricas.* XI Congreso Mexicano del Asfalto – Cancún/México, 2021

Gardler, F., Villena, J., Miranda, L.F.R. *Efeito do tipo de compactação, por impacto ou por amassamento, no teor de ligante e comportamento mecânico de misturas asfálticas*. 1º Simpósio de Transportes do Paraná. 2º Seminários em Aeroportos e Transporte Aéreo. 2º Urbanidade. UFPR - Curitiba/PR, 2018.

Leandro, R. P. *Avaliação do comportamento mecânico de corpos de prova de misturas asfálticas usinadas a quente resultante de diferentes métodos de compactação*. Tese de doutorado apresentado na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2016.

**ANÁLISE DAS ESTRATÉGIAS ESTRUTURAIS
EMPREGADAS POR EQUIPES NA CONSTRUÇÃO
DE PONTES DE PALITO:
ESTUDO DE CASO DA 1ª COMPETIÇÃO DE PONTE
DE PALITO DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DO
MARANHÃO**

Davi Pedrosa da Silva

davi.20230001098@aluno.uema.br

Leonardo Calheiros

leonardocalheiros@professor.uema.br

Mariana da Conceição Araújo Sobrinho

mariana.20220058195@aluno.uema.br

Rodrigo de Azevedo Neves

rodrigoneves.fa@gmail.com

Introdução

A engenharia civil possui amplas áreas de atuação, tendo na análise estrutural um de seus principais alicerces. O domínio dos conceitos estruturais é fundamental para o projeto e a execução de sistemas estruturais, tais como vigas, pilares e demais elementos, sejam eles em concreto armado, estruturas metálicas ou sistemas mistos. Dessa forma, independentemente da área de atuação do engenheiro civil, a compreensão de análises estruturais básicas, como o comportamento de treliças, a flambagem, os momentos fletores e outros fenômenos associados, é indispensável. Ao longo da formação acadêmica, os estudantes são introduzidos tanto aos fundamentos teóricos quanto aos conceitos mais avançados da mecânica estrutural e da resistência dos materiais, com o objetivo de desenvolver a capacidade técnica necessária para projetar, executar e assegurar o desempenho seguro, estável e durável das estruturas.

Contudo, de forma predominante, esses conhecimentos ainda são transmitidos aos alunos por meio do modelo de ensino tradicional, no qual a aprendizagem ocorre de fora para dentro: o professor assume o papel central como principal detentor do conhecimento, enquanto os alunos se limitam a uma postura predominantemente passiva, como receptores de informações (Macedo; Macedo; Castro, 2007). Esse modelo contribui para lacunas no processo de ensino-aprendizagem, tais como a baixa participação discente, a despersonalização e a descontextualização dos conteúdos. Como consequência, o aprendizado tende a se concentrar na memorização, tornando os temas excessivamente teóricos e pouco relacionados à prática profissional. Segundo Guimarães (2019), essa abordagem, quando aplicada ao ensino da análise estrutural, compromete de forma significativa a formação dos futuros engenheiros, uma vez que dificulta a aplicação dos conhecimentos adquiridos às demandas reais do mercado de trabalho.

Diante dessas limitações, torna-se necessária a implantação de métodos de ensino capazes de sanar as dificuldades do modelo tradicional. Nesse contexto, o Aprendizado Baseado em Problemas (ABP) destaca-se como uma alternativa eficaz, por se fundamentar no ensino ativo e na inserção do aluno em situações-problemas semelhantes às que enfrentará no exercício profissional. Ao desenvolver os conteúdos conceituais na prática, o estudante é colocado como protagonista de seu próprio processo de aprendizado, promovendo autonomia, raciocínio lógico e criatividade na resolução de desafios. (Borochoviccius; Tortella; 2014).

Portanto, com o intuito de ampliar o engajamento dos discentes de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), aplicou-se a metodologia ABP por meio da I Competição de Pontes Treliçadas “Curso de Engenharia Civil (UEMA)”. Essas atividades são comumente utilizadas nos cursos de engenharia, dada a sua eficácia em integrar teoria e prática (Silva *et al.*, 2024; Noni *et al.*, 2022; Lamberti *et al.*, 2025). Essa perspectiva é reforçada por Botelho e Marchetti (2015, p. 20), ao relatarem a experiência de um estudante:

Só quando do fim do curso, é que ele era atraído pela beleza do tema e do assunto, mas nunca pela beleza didática (ou falta de didática) com que a matéria fora ensinada. Ele demorou a descobrir por que as matérias de engenharia eram mostradas de maneira tão insossa e desinteressante. Só um dia, ao sair de uma aula

de Resistência dos Materiais, em que mais uma vez não entendera nada de tensões principais, condições de cisalhamento, flambagem e índice de esbeltez, e passar ao lado do Viaduto Santa Efigênia, no Vale do Anhangabaú, em São Paulo, é que houve um estalo. Ao ver aquela estrutura metálica com todas as suas formas tentadoras e sensualmente à vista, ele viu, e pela primeira vez entendeu, tabuleiros (lajes) sendo carregados pelo peso das pessoas e veículos que passavam (carga); viu pilares sendo comprimidos, arcos sendo enrijecidos e fortalecidos nas partes onde recebiam o descarregamento dos pilares (dimensionamento ao cisalhamento); viu peças de apoio no chão que permitiam algumas rotações da estrutura (aparelho de apoio articulado). (Botelho; Marchetti, 2015, p. 20)

Esse relato evidencia como a observação e experimentação tornam o estudo de estruturas mais compreensível. Desse modo, a competição buscou inserir os alunos em uma situação-problema que exigia a análise, cooperação e aplicação dos conhecimentos de resistência dos materiais e mecânica para a concepção das pontes. Com isso, este artigo tem finalidade analisar as pontes construídas, apresentando observações, críticas construtivas, e recomendações voltadas aos aprimoramento dos projetos e execução das estruturas desenvolvidas pelos discentes na I Competição de Pontes Treliçadas “Curso de Engenharia Civil (UEMA)”. Além de determinar uma nova carga de colapso, obtida a partir da avaliação técnica.

Existem diversos tipos de pontes estruturais, tais como pontes em vigas, em arcos, suspensas, estaiadas e treliçadas, as quais podem ser concebidas a partir de diferentes materiais estruturais, como concreto armado, aço e madeira. Cada tipologia apresenta características próprias de comportamento estrutural, distribuição de esforços e critérios de dimensionamento, sendo escolhida em função das condições de carregamento, vão, viabilidade construtiva e desempenho estrutural desejado.

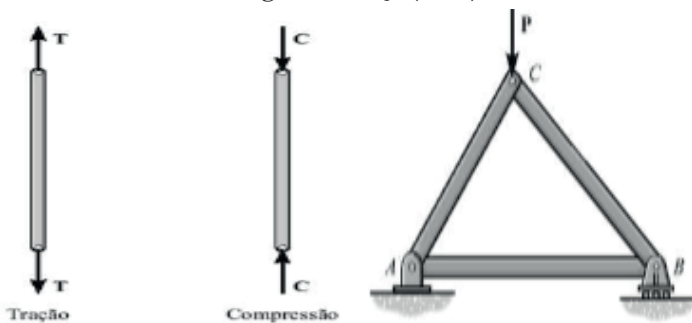
No contexto de competições acadêmicas, destacam-se as pontes treliçadas em madeira, em especial aquelas construídas com palitos de picolé, devido à simplicidade construtiva, ao baixo custo dos materiais e à facilidade de reprodução em ambiente didático. Nesse tipo de estrutura, cada barra da treliça é constituída por um ou mais palitos colados, assumindo predominantemente esforços axiais de tração ou compressão.

Dessa forma, a análise dessas pontes permite explorar, de maneira prática, conceitos fundamentais da mecânica estrutural e da resistência dos materiais, tais como a distribuição de esforços em treliças, a influência da geometria estrutural, a importância do momento de inércia das seções e os fenômenos de instabilidade associados à flambagem das barras comprimidas. Assim, este artigo concentra-se na discussão desses conceitos aplicados às pontes treliçadas de palitos de picolé, relacionando a modelagem teórica com o comportamento observado experimentalmente.

Treliça

Treliça é uma estrutura composta por membros esbeltos conectados entre si em suas extremidades (Hibbeler, 2010). Esse tipo de sistema estrutural é formado por barras articuladas nos nós, de modo que cada elemento não transmite momento fletor aos elementos com os quais compartilha nós. Dessa forma, as barras estão submetidas exclusivamente a esforços axiais, de tração ou de compressão (Figura 1).

Figura 1: HIBBELER, R. C., *Representação dos esforços sobre a barra e disposição triangular da treliça* (2010)



Além disso, as treliças são dispostas de forma a formar triângulos, garantindo que cada nó esteja geometricamente travado em todas as direções, o que aumenta a estabilidade da estrutura (Figura 1). Por meio das barras inclinadas que compõem os triângulos, as cargas aplicadas não são absorvidas por um único nó ou por uma única barra, mas distribuídas entre os elementos que compartilham o mesmo nó, permitindo que os esforços sejam compartilhados ao longo de toda a estrutura.

Para calcular os esforços internos desse tipo de estrutura, a forma mais simples é pelo método dos nós. Esse método consiste em fazer um diagrama de corpo livre para cada nó e aplicar as condições de equilíbrio da estática:

$$\sum F_v = 0; \sum F_h = 0 \quad (1)$$

Sendo F_v as forças verticais e F_h as forças horizontais, esse método permite identificar as barras mais solicitadas da ponte, possibilitando a verificação de eventuais esforços superiores à capacidade máxima resistente de cada elemento.

Flambagem

Dada a característica articulada das ligações, as barras sofrem apenas esforços axiais de tração ou compressão. As barras comprimidas estão sujeitas a um fenômeno muito importante e as vezes esquecido pelos alunos: a flambagem. Esse é um fator recorrente no colapso das pontes treliçadas.

Conforme apresentado por BEER E JOHNSTON (2008), em uma estrutura do tipo coluna, biarticulada nas extremidades e submetida a uma força axial de compressão, a ruptura do material não é o único modo de falha possível. Ainda que a tensão de compressão permaneça inferior à resistência última do material, o elemento pode perder estabilidade por flambagem quando a carga aplicada ultrapassa um valor crítico P_{cr} . Esse fenômeno é caracterizado como uma instabilidade elástica.

Nessa situação, a estrutura passa a apresentar deslocamentos laterais progressivos, caracterizando um estado de instabilidade global que pode comprometer sua capacidade resistente e funcional. A carga crítica de flambagem, é determinada exclusivamente pelas propriedades mecânicas do material e pela geometria do elemento estrutural, conforme expressa a formulação apresentada a seguir.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \quad (2)$$

Sendo E o módulo de elasticidade, I o momento de inércia e L o comprimento da barra. Esse parâmetro é muito útil para essa pesquisa, pois o acréscimo de carga sobre a ponte pode atingir a carga de flambagem, e assim romper a estrutura antes mesmo que os esforços atinjam o valor máximo de rompimento do material.

Esta pesquisa tem como objetivo realizar uma análise teórico-experimental da ruptura das pontes construídas na 1ª Competição de Ponte de Palito. Inicialmente, procedeu-se à seleção das equipes incluídas no estudo, considerando critérios como a viabilidade da análise e a qualidade dos materiais disponibilizados, tais como memoriais descritivos, registros fotográficos e vídeos dos ensaios de ruptura. A partir dos dados coletados, as pontes foram analisadas por meio da avaliação de fotos, vídeos e da modelagem estrutural no software FTOOL, verificando-se a conformidade entre o projeto e a execução, a eficiência das soluções estruturais adotadas pelas equipes e a correspondência entre as cargas de colapso estimadas e o comportamento real observado experimentalmente.

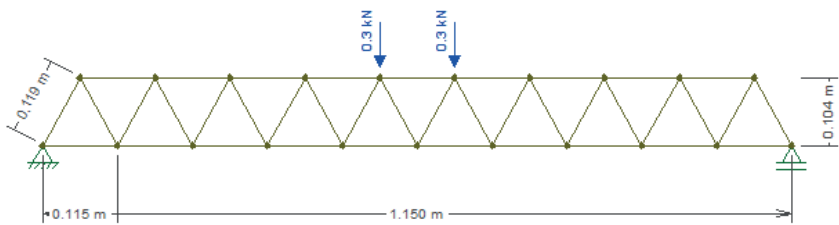
Com base nessa avaliação, foram elaboradas análises críticas, observações técnicas e recomendações voltadas ao aprimoramento do processo de projeto e construção das pontes, incluindo a proposição de uma nova carga de ruptura para cada estrutura analisada. O valor do módulo de elasticidade adotado nas análises foi considerado representativo para palitos de picolé, sendo fixado em 10 000 MPa.

Os resultados desta pesquisa apresentam comparações entre o desempenho real das pontes e as estimativas realizadas pelas equipes, permitindo avaliar a precisão dos métodos adotados e a qualidade da modelagem estrutural empregada. Inicialmente, foram realizadas análises dos modelos estruturais com o objetivo de identificar eventuais falhas de representatividade entre a modelagem teórica e as estruturas efetivamente construídas, conforme apresentado nos resultados a seguir.

Equipe Apollo

A equipe adotou uma treliça do tipo Warren, composta por três fileiras longitudinais. As barras diagonais foram constituídas por três palitos de picolé colados, enquanto os banzos superior e inferior foram executados com quatro palitos colados Figura (2). A modelagem estrutural utilizada para análise dos esforços se encontra Figura (3).

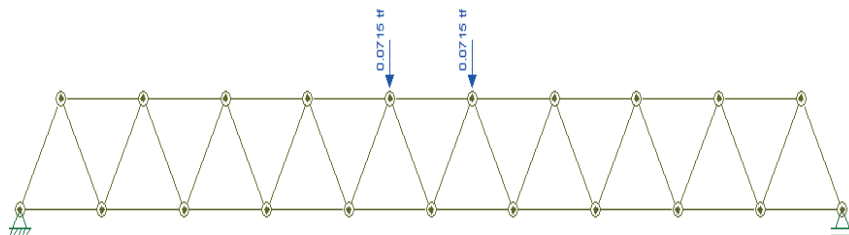
Figura 2 e 3: Autores, *Ponte real e modelo da ponte no FTOOL* (2025)



A equipe estimou uma carga de ruptura de 60 kg, enquanto a carga experimental de colapso foi de 143 kg, indicando que a previsão teórica não representou adequadamente o comportamento estrutural da ponte. Tal diferença decorre do fato de que a metodologia adotada baseou-se na escolha de uma carga arbitrária, seguida da verificação dos esforços atuantes, assumindo-se esse valor como carga última, sem a realização de uma análise progressiva até o colapso.

Adicionalmente, identificou-se um erro na modelagem estrutural no relatório da equipe, pois o modelo computacional apresentava barras com restrição de engastamento entre si, o que não representa o comportamento real de uma treliça, no qual as barras seriam articuladas.

Figura 4: Autores, Modelo mais representativo da ponte com a carga que a ponte se rompeu (ano)



A Figura 4 apresenta o modelo estrutural mais coerente com a ponte efetivamente construída. Nesse modelo, o peso total resistido foi dividido por dois, uma vez que o carregamento do ensaio foi aplicado por meio de uma chapa apoiada sobre dois nós da estrutura. Além disso, o software utilizado permite a modelagem de apenas uma fileira de treliça; assim, considerando que a ponte da equipe Apollo é composta por três fileiras longitudinais, adotou-se, nos cálculos, uma seção equivalente correspondente à soma das três fileiras coladas.

Para a determinação da carga máxima resistente, foram avaliados os esforços normais em todas as barras, comparando-os com os valores limites de resistência. Entretanto, mostrou-se essencial a verificação da flambagem das barras comprimidas, uma vez que esse modo de falha é recorrente em estruturas treliçadas esbeltas. Dessa forma, a carga crítica de flambagem de Euler foi adotada como parâmetro determinante para a análise dos resultados. Para tanto, foram consideradas as seguintes hipóteses de cálculo:

As barras possuem palitos isolados, portanto a carga crítica será referente a um único palito, não podendo considerar as dimensões de todos os palitos juntos;

- O comprimento destravado (L_{eq}) será considerado 11cm, pois a barra inclinada possui um pequeno pedaço por dentro do nó, em torno de 0,5 cm cada lado;
- Os banzos possuem um comprimento destravado de 3,5 cm, tendo em vista que o meio do palito está dentro do nó e as pontas estão travadas por cola pegando 1 cm de cada palito.

Com isso, utilizando dimensões convencionais de um palito, 8x2 mm de seção, as cargas críticas das barras diagonais são:

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{8 \cdot 6^3}{12} = 144\text{mm}^4$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} = \frac{9,87 \times 10000 \times 144}{110^2} = 1175\text{N} = 118\text{Kgf}$$

Para o Banzo superior:

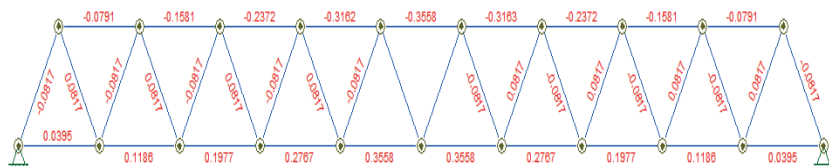
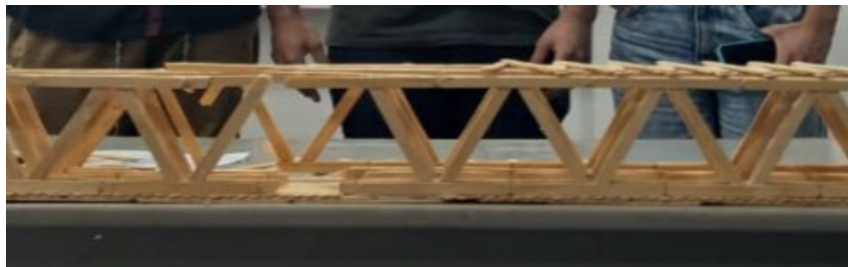
$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{8 \cdot 6^3}{12} = 144\text{mm}^4$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} = \frac{9,87 \times 10000 \times 144}{35^2} = 1175\text{N} = 118\text{Kgf}$$

A carga crítica de flambagem de 118 Kgf está condicionada à construção das pontes, com as barras articuladas e comprimento de flambagem conforme calculado. Ressalta-se que esse valor pode ser reduzido pela mobilidade dos apoios ou imperfeições no módulo de elasticidade ou ainda nas dimensões do palito, responsáveis pela rigidez geométrica da seção transversal. Ressalta-se que os banzos, devido ao seu baixo L_e , o que representa uma barra de elevada rigidez, não são elementos sensíveis à flambagem, não estando próximos de situações limites. Em se tratando de elementos tracionados, a resistência da seção é elevada porque não há fenômenos de instabilidade. Assim, um único palito resiste a cerca de 80 Kgf. A aplicação de grande número de palitos em barras tracionadas configura um erro de projeto, já que são barras em que os esforços não se aproximam das resistências limites. Esse resultado é evidenciado na figura (5), onde um palito da diagonal se encontra em ruptura proporcionada pela flambagem.

Percebe-se por meio desse resultado a relevância da flambagem nessa competição sendo a grande causadora das rupturas, tendo em vista que um só palito possui muita resistência à tração, mas sua característica esbelta torna o material pouco resistente à compressão. Portanto, reforçar barras que estão comprimindo é mais útil e eficiente que reforçar toda a ponte uniformemente.

Figura 5 e 6: Autores, *Imagem da ponte após a ruptura e diagrama de esforço normal para a carga de 145 kg (2025)*



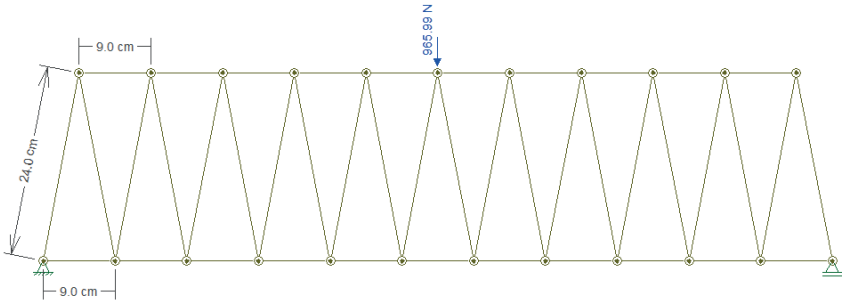
Equipe Picobridge

Figura 7: Autores, *Ponte construída da equipe (2025)*



Essa equipe também utilizou uma treliça Warren, mas com apenas duas fileiras de treliça, e cada barra possuindo 3 palitos grudados figura (7).

Figura 8: Autores, *Modelo da ponte no FTOOL* (2025)



Essa equipe também adotou uma treliça do tipo Warren, porém composta por apenas duas fileiras longitudinais, sendo cada barra formada por três palitos de picolé colados, conforme ilustrado na Figura 7. Entre todas as equipes analisadas, essa foi a que apresentou a melhor previsão de carga de ruptura.

A metodologia empregada consistiu no cálculo da resistência máxima de uma barra com seção transversal previamente definida, seguido da elevação gradual da carga aplicada de forma iterativa, até que a sollicitação em uma ou mais barras da treliça se aproximasse da resistência calculada. A carga sollicitante estimada para atingir essa condição limite foi de aproximadamente 100 kg, valor que se mostrou bastante próximo da carga de ruptura experimental, registrada em 118 kg. Com isso, utilizando dimensões convencionais de um palito, 8x2 mm de seção, as cargas críticas das barras diagonais são:

$$I = \frac{14 \cdot 8^3}{12} = 597 \text{mm}^4$$

$$P_{cr} = \frac{9,87 \times 10000 \times 597}{240^2} = 1024 \text{N} = 102 \text{Kgf}$$

Para o banzo superior:

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{12 \cdot 8^3}{12} = 512 \text{mm}^4$$

$$P_{cr} = \frac{9,87 \times 10000 \times 512}{90^2} = 6235 \text{N} = 623 \text{Kgf}$$

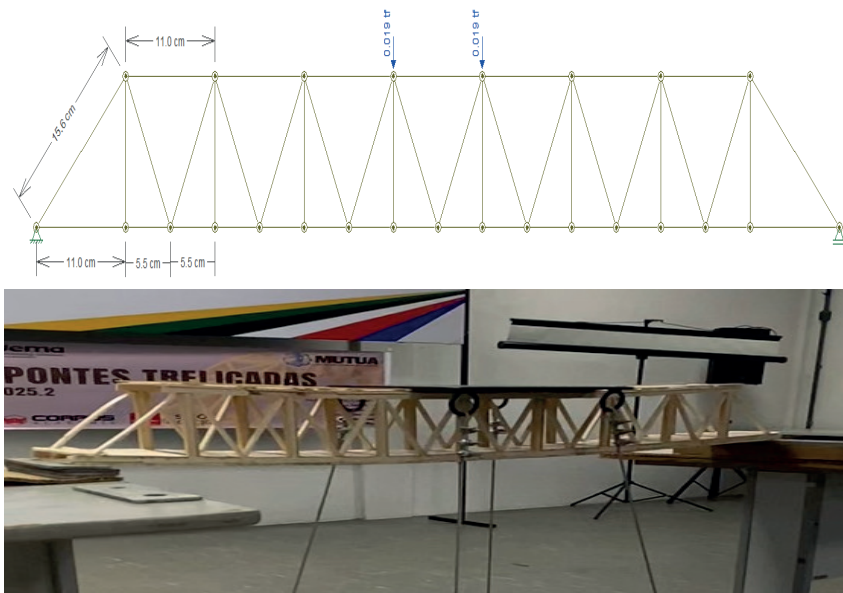
De acordo com a figura 8 é possível perceber que os resultados obtidos estão coerentes com a ruptura real, pois o esforço normal de ruptura está entre uma margem de confiança de 60 - 90% da carga calculada, ou seja, por volta de 118 kg o palito começava a se romper pois esse peso transmite uma carga de 60 kg para as barras inclinadas. Com isso, por meio do FTOOL, chega-se ao resultado de 115 kg de peso estimado.

Por meio desse resultado percebe-se a importância do momento de inércia para a ponte, pois ela tinha barras aparentemente esbeltas, com comprimentos longos e seção fina, no entanto, a associação de palitos, junto com o aumento de seção no meio mostrou ser uma ótima solução para a ponte, tornando-a bem resistente.

Equipe Apocalipse

Essa equipe utilizou uma treliça Warren, na qual as barras diagonais possuem dois palitos e os montantes (barras verticais) possuem 4 palitos. A ponte da equipe se rompeu com uma carga muito abaixo do normal, 38 kg, ressaltando pontos importantes na execução da ponte, como o travamento das barras e a eficiência das soluções adotadas.

Figura 9 e 10: Autores, *Ponte construída e modelo do FTOOL (2025)*



Aplicando-se a equação da carga crítica de Euler à barra mais solicitada — a barra diagonal mais externa, com comprimento de 15 cm — obteve-se uma carga crítica de flambagem de aproximadamente 38 kgf. Esse valor mostrou-se coerente com a ruptura observada experimentalmente, uma vez que a barra estava submetida a um esforço de cerca de 27 kgf (Figura 11), situando-se próxima à condição limite de instabilidade. Tal comportamento é evidenciado pela curvatura pronunciada das bielas observada na Figura 12.

Figura 12: Autores, *Imagem da ruptura da ponte* (2025)



Portanto, a ponte tem um comportamento treliçado, em que o arco de compressão representado pelos banzos superiores direciona a compressão para os extremos da ponte por meio das duas bielas (barras) que se apresentam inclinadas na direção dos apoios. Essas barras são submetidas a compressão crescente conforme se dá o carregamento. Na figura se observa que a ponte falha por flambagem das barras, que apresentam curvaturas de forma exagerada na imagem, apresentando a ruptura por curvatura excessiva da seção transversal. Isso significa que a carga crítica de flambagem desse elemento foi inferior àquela necessária para manter a estabilidade da ponte. Se observa ainda que a barra lateral não flambou, isso pode indicar uma diferença de seção transversal entre as barras justapostas, como também pode significar que a barra que não flambou apresentaria um nível de restrição à rotação diferente. Em todo caso, a falha se deu de uma forma inesperada, porém interessante do ponto de vista educacional e de engenharia.

Além disso, as soluções tomadas mostram falha na concepção da ponte, evidenciado pela baixa carga resistida por ela. A alta esbelteza da barra se tornou um ponto agravante para a falha, causada principalmente pela posição da barra, na qual foi posicionada na direção de menor inércia, tornando a altura o menor lado da barra. Além do mais, a

ponte foi muito reforçada, com 4 barras, nos montantes, barras que não possuem esforço axial, reforçando a falta de eficiência da solução adotada.

Titãs da Treliça

Cabe uma breve consideração a respeito dessa equipe. A ponte apresentou um bom desempenho estrutural, atingindo uma carga de ruptura de 88 kgf; entretanto, a estimativa teórica realizada foi significativamente superior, alcançando 150 kgf. Essa discrepância evidencia a relevância de outro aspecto fundamental para a resistência desse tipo de estrutura: a estabilidade global da ponte. A Figura 13 apresenta o registro do momento da falha estrutural.

Figura 13: Autores, *Imagem do momento da ruptura da ponte (2025)*



A ponte foi submetida a um carregamento com excentricidade lateral, o que induziu esforços de torção no sistema estrutural. Em decorrência disso, os palitos do banzo inferior passaram a ser solicitados de forma não uniforme, resultando em descolamento de alguma das ligações, caracterizado como falha de ancoragem dos elementos de barra.

Esse descolamento comprometeu o caminho das cargas ao longo das barras, tornando a estrutura hipostática e incapaz de manter o equilíbrio estático. A perda de estabilidade desencadeou a rotação global da ponte, com aproximação das tesouras laterais, culminando no colapso estrutural.

Conclusão

Este trabalho apresentou uma avaliação teórico-experimental das pontes de palitos de picolé construídas na primeira competição do Curso de Engenharia Civil da UEMA, realizada em 2025, com

ênfase na previsão da carga de ruptura e na análise dos modos de colapso observados. As estruturas treliçadas foram modeladas por meio de elementos de treliça, adotando-se hipóteses compatíveis com o comportamento real dos sistemas estruturais, em especial a consideração de nós articulados, conforme o princípio clássico das treliças.

A previsão teórica das cargas foi fundamentada na análise dos esforços normais obtidos por modelagem computacional, associada à verificação da flambagem elástica das barras comprimidas por meio da formulação de Euler. Os resultados evidenciaram que a carga crítica de flambagem é fortemente influenciada pelo comprimento efetivo das barras e pelo arranjo geométrico das seções transversais, demonstrando que pequenas variações nesses parâmetros podem provocar reduções significativas da capacidade resistente das estruturas.

Do ponto de vista educacional, os resultados reforçam a relevância de atividades práticas baseadas em problemas reais como ferramenta de ensino-aprendizagem em engenharia estrutural. A competição permitiu aos discentes confrontar modelos teóricos com o comportamento real das estruturas, promovendo a compreensão de conceitos fundamentais, como a correta modelagem estrutural, a identificação de modos de falha predominantes e a importância da estabilidade global.

Além disso, o estudo evidenciou que o reforço eficiente e direcionado das barras estruturalmente mais solicitadas contribui para soluções simultaneamente mais resistentes e racionais em termos de consumo de material. Assim, conclui-se que, tanto sob a ótica técnica quanto pedagógica, a identificação e a compreensão dos pontos de fragilidade estrutural do sistema são mais relevantes para a concepção eficiente de pontes treliçadas de palitos do que a simples adoção de modelos consagrados ou a proposição de soluções excessivamente inovadoras sem a devida análise do comportamento mecânico da estrutura.

REFERÊNCIAS

Beer, F. P.; Johnston, E. R. Resistência dos Materiais. 3. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2008.

Botelho, Manoel Henrique Campos; Marchetti, Osvaldemar. Concreto

armado eu te amo. 8. ed. São Paulo: Blucher, 2015.

De Noni, A., Machado, N. C., da Costa, A. F., Cavaler, L. C. de C., & Peruch, F. (2022). *Projeto pontes de palitos de picolé*. Revista Vincci – Periódico Científico do UniSATC, 7(1), 66–77.

Guimarães, G. G. . Entre a Teoria e a Prática: uma proposta no processo de aprendizagem de cálculo diferencial e integral em engenharia civil. Revista de Investigação e Divulgação em Educação Matemática , [S. l.], v. 2, n. 1, 2019.

Hibeller, R. C. Estática: Mecânica para Engenharia. 12. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

Lamberti, L. A.; Perius, C. F.; Carvalho, C. Anderson T. de; Silva, P. C. M. Ponte treliçada de palitos de picolé. Journal Of Exact Sciences and Technological Applications, [S. l.], v. 3, 2025.

Macêdo, L. N. de; Macêdo, A. A. M.; Castro, J. A. de; Avaliação de um objeto de aprendizagem com base nas teorias cognitivas. Anais do XXVII Congresso da SBC, 2007.

METODOLOGIAS DE INTERAÇÃO VEÍCULO- PONTE ACOPLADOS IMPLEMENTADAS NO ABAQUS PARA A ANÁLISE DINÂMICA DE PONTES FERROVIÁRIAS ISOSTÁTICAS

Jeremias Reis Pacheco¹
jeremiasreisp@gmail.com

Saymo Wendel de Jesus Peixoto Viana²
saymopeixoto@gmail.com

Clodoaldo Cesar Malheiros Ferreira³
clodoaldoferreira@professor.uema.br

Rafael Otávio Alves Abreu⁴
rafaeloabreu@professor.uema.br

Iêdo Alves de Souza⁵
iedosousa@professor.uema.br

“A persistência é o caminho do êxito”
— Charles Chaplin

1 Bacharel em Engenheiro Civil, Universidade Estadual do Maranhão, Departamento de Engenharia Civil, São Luís - MA, Brasil.

2 Mestre em Engenharia civil - Estruturas, Universidade Ceuma, Departamento de Engenharia Civil, São Luís - MA, Brasil.

3 Mestre em Engenharia civil-Estruturas, Universidade Estadual do Maranhão, Departamento de Engenharia Civil, São Luís - MA, Brasil.

4 Doutor em Engenharia civil - Estruturas, Universidade Estadual do Maranhão, Departamento de Engenharia Civil, São Luís - MA, Brasil.

5 Doutor em Química, Universidade Estadual do Maranhão, Departamento de Engenharia Civil, São Luís - MA, Brasil.

Introdução

A priori, é importante destacar que na esteira dos desenvolvimentos da ciência e da tecnologia, a construção de pontes está experimentando um período de expansão até então desconhecido. A necessidade de pontes de grande escala está em constante crescimento devido ao enorme desenvolvimento de infraestrutura em todo o mundo (Svensson, 2013). As últimas 3 décadas tem testemunhado o rápido crescimento na quantidade de pontes (Mei; Li; Lu, 2018). Nesse contexto, as pontes ferroviárias são estruturas sujeitas a cargas móveis de alta intensidade que variam de posição a cada intervalo de tempo e atua de forma repetida ao longo da vida útil.

Ademais, no que se refere ao comportamento de pontes ferroviárias quando solicitadas por cargas de trem é importante entender o funcionamento da estrutura. As pontes ferroviárias são estruturas submetidas a cargas intensas e variáveis, que se deslocam e se repetem ao longo de sua vida útil. Portanto, atuam esforços que variam com o tempo devido às vibrações causadas pelo veículo. Essas solicitações podem ser superiores às geradas em uma análise estática. Deste modo, é essencial compreender a natureza das ações aplicadas na ponte e os efeitos por elas gerados.

No Brasil, o projeto de estruturas de pontes de concreto armado é norteado pela norma NBR 7187 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2021), que estabelece procedimentos para análise estrutural e dimensionamento considerando os efeitos dinâmicos de forma indireta através do coeficiente de impacto vertical dado em função do comprimento do vão. Sabe-se, no entanto, que a resposta estrutural da ponte depende de diversos outros fatores não considerados pelo coeficiente de impacto vertical, como: a geometria da seção transversal, materiais empregados, condições de contorno, sistema estrutural, bem como do modelo do veículo, velocidade de tráfego, irregularidades da via, consideração dos ventos laterais e ações sísmicas que a estrutura pode esta solicitada. No corpo do texto, o título das publicações será grafado em itálico e o dos artigos, colocado entre aspas, não se utilizando sublinhados.

Portanto, o presente trabalho visa empregar métodos numéricos de elementos finitos para avaliar o comportamento estrutural em pontes ferroviárias isostáticas. Nesse contexto, a metodologia será implementada em modelos de massa suspensa para uma viga simplesmente apoiada, que será validada com a análise realizada por

Yang et al. (1997), e para o modelo de veículo de dois eixos, denotada com a análise realizada por Yang et al. (2004).

A priori, convém frisar que as pontes ferroviárias são estruturas submetidas a cargas intensas e variáveis, que se deslocam e se repetem ao longo de sua vida útil. Nesse contexto, avaliar os efeitos dinâmicos ocasionados nessas estruturas devido a interação veículo-ponte, é de fundamental relevância para garantir um pleno funcionamento e um maior tempo de durabilidade das mesmas. Dessa forma, é viável implementar metodologias para investigar o comportamento dinâmico de pontes para melhorar o seu desempenho e segurança, pois irá contribuir para uma melhor compressão dos efeitos dinâmicos e parâmetros que afetam o comportamento de pontes e manutenção, em particular para o Brasil já que os códigos normativos nacionais não levam em consideração os fatores citados anteriormente, apesar de o Brasil ter uma grande malha ferroviária e planeja investir de acordo com o Ministério dos Transportes cerca de 94,2 bilhões para expandir a malha ferroviária do Brasil nos próximos anos, tem-se poucos trabalhos na literatura nacional sobre o comportamento de pontes ferroviárias. Nesse sentido, é viável aplicar métodos numéricos de elementos finitos para avaliar o comportamento estrutural neste tipo de estrutura.

A priori, é importante elucidar que as pontes ferroviárias são estruturas críticas que exigem análises rigorosas para garantir sua segurança e estabilidade. A resposta dinâmica dessas estruturas é fundamental para avaliar seu comportamento sob cargas variáveis, especialmente aquelas geradas por trens em movimento. Não obstante, com o desenvolvimento tecnológico houve o desenvolvimento de novos trens capazes de atingir velocidades de circulação superiores a 200 km/h (Figueiredo et al., 2009). Nesse contexto, o aumento da velocidade nas linhas férreas impõe novos desafios na concepção estrutural de pontes, dando ênfase ao comportamento dinâmico, onde as vibrações induzidas pela passagem do tráfego ferroviário provocam, em geral, deslocamentos e esforços internos na estrutura significativamente superiores aos produzidos pela aplicação estática do carregamento, de modo a colocar em risco a segurança estrutural da ponte (Ticona Melo et al., 2014).

Outrossim, durante a passagem do veículo sobre a ponte, observa-se o comportamento do principio de ação e reação elaborado por Isaac Newton, onde, por um lado, o veículo se movimenta em velocidade constante, instiga a ponte por meio das forças de contato

(ação), por outro lado, a ponte influencia no comportamento do veículo por causa da sua deflexão, às forças de contato de reação e das irregularidades na via. Dessa forma, resposta dinâmica do conjunto pode ser considerada como a correspondente a uma única estrutura formada por estes dois sistemas interagando entre eles (Ticona Melo et al., 2014). Nesse contexto, essa resposta dinâmica depende de vários parâmetros importantes, como aqueles relativos à ponte e os relativos a metodologia de carga móvel e interação veículo-ponte.

Ademais, convém salientar que a resposta dinâmica de uma ponte ferroviária pode ser determinada por meio de duas abordagens: a metodologia de cargas móveis e a interação veículo-estrutura. Nesse contexto, de acordo com estudos realizados por Ticona Melo et al., (2018) em pontes ferroviárias sobre cargas de eixo pesado, utilizando metodologia de carga móveis e interação veículo estrutura considerando ou não as irregularidades da via para trens com velocidades abaixo da velocidade de ressonância, mostram que a metodologia de cargas móveis apresenta resultados praticamente coincidentes com o modelo de interação, para os deslocamentos globais da ponte avaliada. Os autores mostraram que as pequenas diferenças, com relação à resposta dinâmica dos modelos que consideram o efeito de iteração, é decorrente da passagem dos vagões e estão associadas à presença das forças inercias. Já para as acelerações, foram verificadas diferenças significativas nos resultados gerados pelas diferentes metodologias. Uma justificativa para essa diferença é que o modelo de cargas móveis não considera a massa suspensa dos veículos. Portanto, fisicamente ,a diferença para as repostas dinâmicas para o modelo de carga móvel e interação em função do vão está relacionada a troca de energia mecânica entre os subsistemas que ocorre quando o veículo atravessa a ponte.

Ademais, convém destacar que a análise dinâmica da interação veículo-ponte é um problema não linear. O equilíbrio dinâmico entre os dois subsistemas é definido por dois conjuntos de equações do movimento, uma para ponte e a outra para veículo. Nesse contexto, a solução dessas equações podem ser feitas de forma acoplada por intermédio de um processo interativo ou desacoplada , no qual ,a cada instante de tempo as equações de movimento da estrutura e veículos são resolvidas separadamente de forma simultânea , para cada incremento de tempo as equações são compatibilizadas em termos de força dinâmica de interações e deslocamentos das cargas móveis (Ribeiro, 2012).

Portanto, em relação aos parâmetros que influenciam na resposta dinâmica, Liu et al. (2009) mostrou que, quando a relação entre as frequências naturais do veículo e da ponte é menor que um, a resposta dinâmica pode ser estimada utilizando a metodologia de cargas móveis. Quando a frequência natural da ponte é muito menor comparada com a do veículo, a resposta dinâmica da ponte, em termos de velocidades de ressonância, alcança seu valor mínimo quando a interação veículo estrutura é considerada. No estudo supracitado, também foi apresentado que é importante considerar a interação veículo-estrutura quando a relação entre a massa do veículo e a massa da ponte for relativamente alta. Quando essa relação é pequena, pode-se assumir que o modelo de carga móvel gera resultados aceitáveis.

Algoritmos de Contato no Abaqus

Primordialmente, convém salientar que o contato geral no Abaqus sempre utiliza a formulação de contato de deslizamento finito, de superfície para superfície. Esta formulação também pode ser usada para pares de contato, mas não é a padrão. Dessa forma, em um domínio de contato geral, os papéis de mestre e escravo são atribuídos automaticamente às superfícies, embora seja possível sobrepor essas atribuições padrão. O comportamento das superfícies mestres e escravas é consistente em interações de contato geral e de pares de contato. A especificação das superfícies mestre e escrava em um domínio de contato geral é abordada em detalhes nos controles numéricos para contato geral no Abaqus (Abaqus, 2016).

Outrossim, o Abaqus aplica restrições condicionais em várias localizações em superfícies interativas para simular condições de contato. As localizações e condições dessas restrições dependem da discretização de contato utilizada na formulação geral de contato. O Abaqus oferece duas opções de discretização de contato: uma discretização tradicional “de nó a superfície” e uma discretização verdadeira “de superfície a superfície” (Abaqus, 2016). Nesse contexto, é importante destacar que durante as modelagens numéricas em elementos finitos utilizando o software Abaqus™, identificaram-se pequenas perturbações, especialmente nas respostas dinâmicas em termos de acelerações, com relação às soluções analíticas.

Dessa forma, na discretização nó-superfície para deslizamentos finitos, as interações de contato são impostas definindo uma superfície

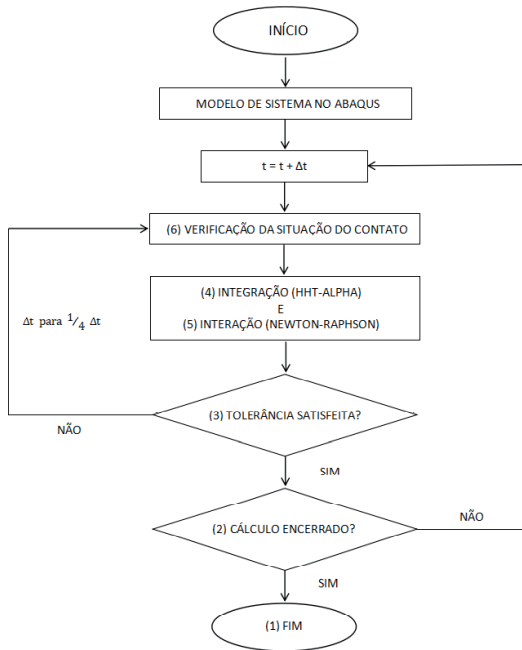
“mestre” (MASTER) e nós “escravos” (SLAVES). Nesta formulação, o programa calcula todos os nós das superfícies MASTER e SLAVE em contato, definindo uma área de contato para imposição das restrições (Abaqus, 2016). O contato é estabelecido em um nó particular na superfície SLAVE e em um ponto de projeção na superfície MASTER através de um vetor normal a esta. O algoritmo aplica um fator de suavização, que varia de 0.0 a 0.5, o qual funciona como um filtro para eliminar os ruídos numéricos, que surgem em virtude das fortes não linearidades associadas às descontinuidades que caracterizam o problema.

Além da definição dos pares de contato MASTER-SLAVE, na análise em elementos finitos também é necessário definir um método para imposição das restrições. O software Abaqus possui três algoritmos para este tipo de definição: o Método Direto, o Método da Rigidez de Penalização e o Método Lagrangeano Aumentado. (Abaqus, 2016). No método direto, impõe-se estritamente um comportamento de *pressure-overclosure* dado para cada restrição, sem aproximação ou uso de iterações de aumento. Devido à sua interpretação estrita das restrições de contato, simulações de contato rígido utilizando o método de aplicação direta são susceptíveis a problemas de restrição excessiva. Como resultado, o contato direto rígido não está disponível para pares de contato definidos usando autocontato tridimensional com discretização nó-superfície.

A priori, convém destacar que este trabalho tem uma metodologia de caráter descritivo, com uma abordagem quantitativa. Ademais, a mesma é dividida em três partes, sendo: (i) levantamento bibliográfico, (ii) desenvolvimento dos modelos bidimensionais de interação no software Abaqus (iii) avaliar resposta dinâmica de pontes ferroviárias isostáticas considerando a interação veículo-ponte. Inicialmente, será implementado no Abaqus o modelo de massa suspensa para uma viga simplesmente apoiada e o modelo de veículo de dois eixos com vigas de transição. Posteriormente, a análise dinâmica será realizada utilizando o algoritmo HHT disponível no próprio Abaqus™ e validadas através de exemplos simples com soluções de referências encontradas na literatura de Yang et al. (1997) e Yang et al. (2004). Nesse contexto, para a massa pontual do veículo será utilizado o elemento tipo MASS e para simular a rigidez da mola o elemento SPRING. Ademais, a fim de garantir o acoplamento entre os dois subsistemas, serão impostas restrições de contato entre os elementos da ponte e o nó inferior da mola. O algoritmo MASTER-SLAVE para

deslizamentos finitos (FINITE-SLIDING) será aplicado para a solução do problema de contato. Portanto, será utilizado o método de Lagrange Aumentado para imposição das restrições e a hipótese de contato severo (HARD CONTACT) para modelagem da relação pressão de contato-interpenetração. Por fim, segue o fluxograma da metodologia de implementação no software Abaqus.

Figura 1: Xuzhào Lu et al. (2020). Adaptada, *fluxograma da metodologia de implementação no software Abaqus (2020)*



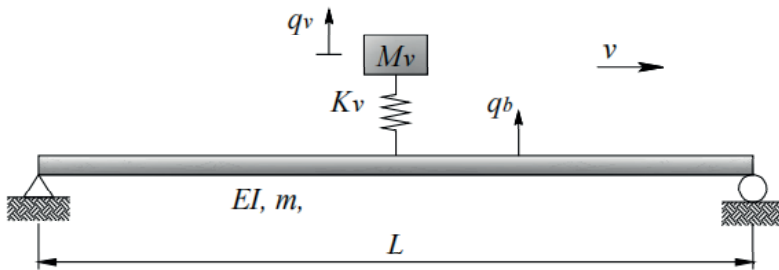
A priori, convém elucidar que a fim de validar a metodologia descrita na seção 5, foram processados dois exemplos, cujas soluções são referenciadas na literatura. O primeiro deles é o problema fundamental de uma viga simplesmente apoiada de vão submetida a uma massa suspensa em movimento que se desloca com velocidade constante conforme mostra a Figura 2. Ademais, o segundo exemplo é o problema fundamental de uma viga simplesmente apoiada de vão sujeita a um veículo de dois eixos separados por uma distância conforme mostrado na Figura 4.

Implementação computacional: Metodologias numéricas

Viga simplesmente apoiada de vão submetida a uma massa suspensa em movimento

Para avaliar a resposta deste exemplo, estudou-se a viga simplesmente apoiada analisada por Yang et al. (1997), cujo esquema é mostrado na Figura 2.

Figura 2: Yang et al., *Viga simplesmente apoiada com massa suspensa em movimento* (1977)



Ademais, é importante destacar que na modelagem foram consideradas as seguintes características da estrutura: módulo de elasticidade longitudinal, relação de Poisson, momento de inercia, massa da ponte por unidade de comprimento, massa suspensa, rigidez a suspensão, velocidade de passo do veículo, frequência da ponte, frequência da massa suspensa. Nesse contexto, segue esquema do modelo da viga simplesmente apoiada submetida a uma massa suspensa em movimento já modelada e com os dados acima já inseridos no software Abaqus conforme mostra a Figura 3.

Figura 3: Autor, *Modelo de viga simplesmente apoiada com massa suspensa em movimento no Abaqus* (2025)



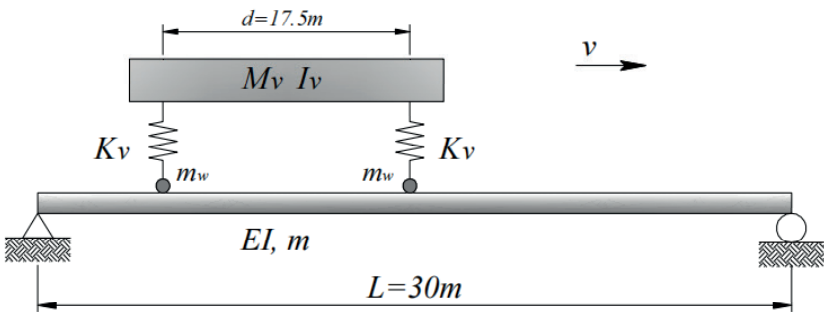
Dessa forma, com a modelagem já concluída e todos os dados da ponte já inseridos no software Abaqus™, a análise dinâmica foi realizada utilizando o algoritmo HHT (HUGHES, 1987). Ademais, a ponte foi modelada por meio de 10 elementos de viga tipo BEAM B23 (duas dimensões com função de interpolação cúbica). Para a massa pontual do veículo, utilizou-se o elemento tipo MASS e para simular a rigidez da mola, utilizou-se o elemento SPRING. A fim de garantir o acoplamento entre os dois subsistemas, foram impostas restrições de contato entre os elementos da ponte e o nó inferior da mola. O algoritmo MASTER-SLAVE para deslizamentos finitos (FINITESLIDING) foi aplicado para a solução do problema de contato. Utilizou-se o método de Lagrange Aumentado para imposição das restrições e a hipótese de contato severo (HARD CONTACT) foi adotada para modelagem da relação pressão de contato-interpenetração. O incremento de tempo foi atribuído para o procedimento de integração implícita.

Portanto, com a função FIELD OUTPUT REQUESTS os dados de saída, que são a aceleração e os deslocamentos, foram selecionados e por fim, o modelo foi submetido para análise por meio da função JOBS.

Viga simplesmente apoiada de vão sujeita a um veículo de dois eixos

Para avaliar a resposta deste exemplo, estudou-se a viga simplesmente apoiada analisada por Yang et al. (2004), cujo esquema é mostrado na Figura 4.

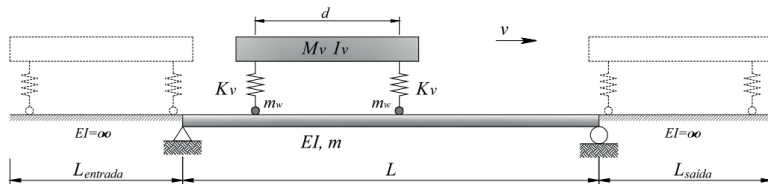
Figura 4: Yang et al., *Viga simplesmente apoiada sujeita a um veículo de dois eixos* (2004)



Ademais, é importante destacar que na modelagem foram consideradas as seguintes parâmetros da estrutura: massa do vagão $M_v = 180 \text{ t}$, inércia rotacional $I_v = 4600 \text{ t} - \text{m}^2$, rigidez da suspensão $K_v = 13783 \text{ kN/m}$, distância entre eixos $d = 17,5 \text{ m}$, velocidade do veículo $v = 100 \text{ km/h}$, módulo de elasticidade longitudinal $E = 29,43 \text{ GPa}$, relação de Poisson $\mu = 0,2$, momento de inércia $I = 2,88 \text{ m}^4$, massa da ponte por unidade de comprimento $m = 12 \text{ t/m}$ e primeira frequência da ponte $\omega_1 = 29,15 \text{ rad/s}$.

Outrossim, é fundamental ressaltar que o chassi do veículo foi modelado no software Abaqus™ como um corpo rígido, utilizando um elemento rígido plano de 2 nós do tipo RB2D2. A massa do veículo foi aplicada no centroide do corpo rígido através do elemento do tipo MASS e, para simular a rigidez da mola, utilizaram-se elementos do tipo SPRING. As molas da suspensão foram conectadas ao corpo rígido utilizando restrições do tipo TIE. A ponte modelada com 10 elementos de viga do tipo BEAM B23. Foram introduzidas vigas de transição no início e no final da ponte com comprimentos de 17,5 m cada, a fim de simular o trecho rígido da via (ver Figura 5) que suporta o veículo antes da entrada e a após à saída da viga. As vigas de transição foram modeladas por meio de barras rígidas continuamente apoiadas.

Figura 5: Ticona Melo, *Viga simplesmente apoiada sujeita a um veículo de dois eixos com vigas de transição* (2017)



Nesse contexto, segue esquema do modelo da viga simplesmente apoiada sujeita a um veículo de dois eixos já modelada e com os dados acima já inseridos no software Abaqus conforme mostra a Figura 6.

Figura 6: Autor, *Viga simplesmente apoiada sujeita a um veículo de dois eixos no Abaqus (2025)*



Ademais, vale destacar que para garantir o acoplamento entre os dois subsistemas, foram impostas restrições de contato entre os elementos da ponte e o nó inferior da mola. O algoritmo MASTER-SLAVE para deslizamentos finitos (FINITE-SLIDING) foi aplicado para a solução do problema de contato. Utilizou-se o Método da Rigidez de Penalização (Penalty Method) para simular as interações de contato molas-vigas de transição e molas-ponte. O incremento de tempo foi atribuído para o procedimento de integração implícita HHT. Portanto, com a função FIELD OUTPUT REQUESTS os dados de saída, que são a aceleração e os deslocamentos, foram selecionados e por fim, o modelo foi submetido para análise por meio da função JOBS.

Análise dos Resultados

Primordialmente, convém ressaltar que a análise das respostas dinâmicas foram concentradas no nó central da ponte, em termos de deslocamentos e acelerações, obtidas no software Abaqus™. Nesse contexto, foram analisados os resultados dos dois modelos estudados ao longo do trabalho, onde o primeiro é o referente ao que está seção 6.1.1. deste trabalho, que se trata da viga simplesmente apoiada de vão submetida a uma massa suspensa em movimento que se desloca com velocidade constante e o segundo é referente ao que está na seção 6.1.2., que se trata de uma viga simplesmente apoiada de vão sujeita a um veículo de dois eixos separados por uma distância.

Viga simplesmente apoiada de vão submetida a uma massa suspensa em movimento

A priori, convém destacar que após a modelagem, feito o processamento dos dados e analisando o ponto central da ponte, localizado na cota 12,5 m no eixo X, que é o foco central do estudo, e o nó que concentra a massa do veículo, obteve-se os seguintes resultados dos deslocamentos e acelerações obtidos pelo Abaqus comparados aos obtidos por Yang et al. (1997) por via analítica conforme mostram as figuras 7, 8, 9 e 10, respectivamente.

Figura 7: Autor, Resposta dinâmica da ponte no ponto central do vão: Deslocamentos (2025)

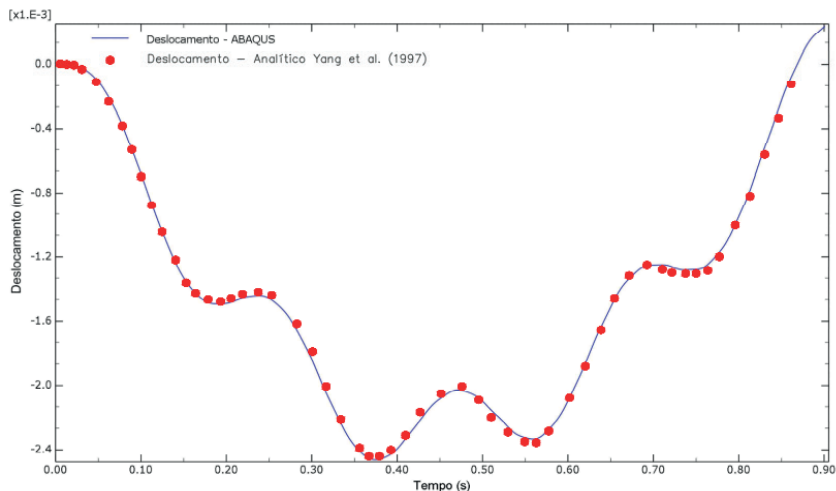


Figura 8: Autor, Resposta dinâmica no nó que concentra a massa do veículo: Deslocamentos (2025)

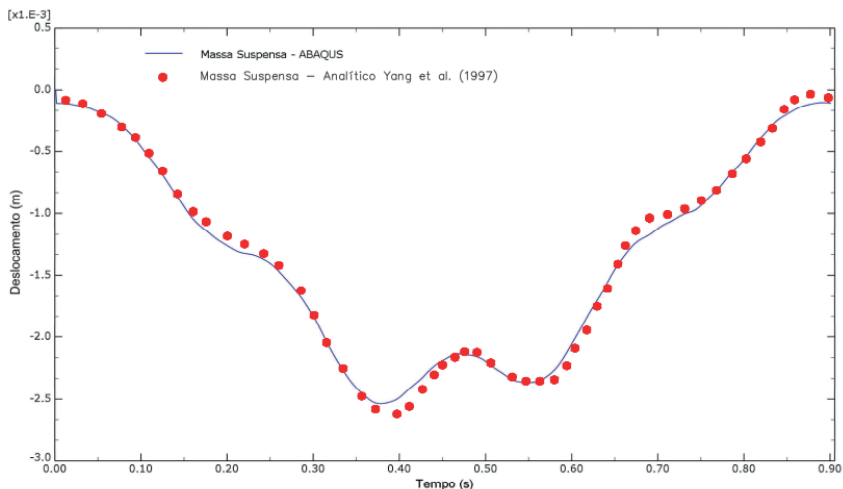


Figura 9: Autor, Resposta dinâmica da ponte no ponto central do vão:
Acelerações (2025)

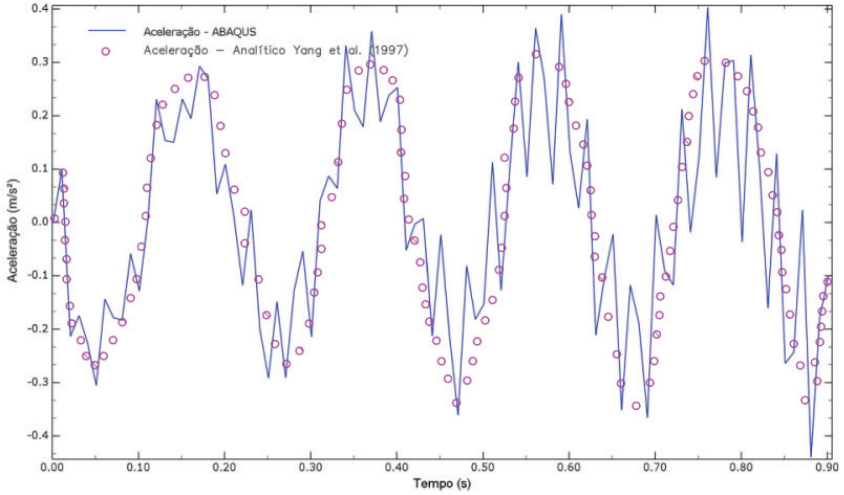
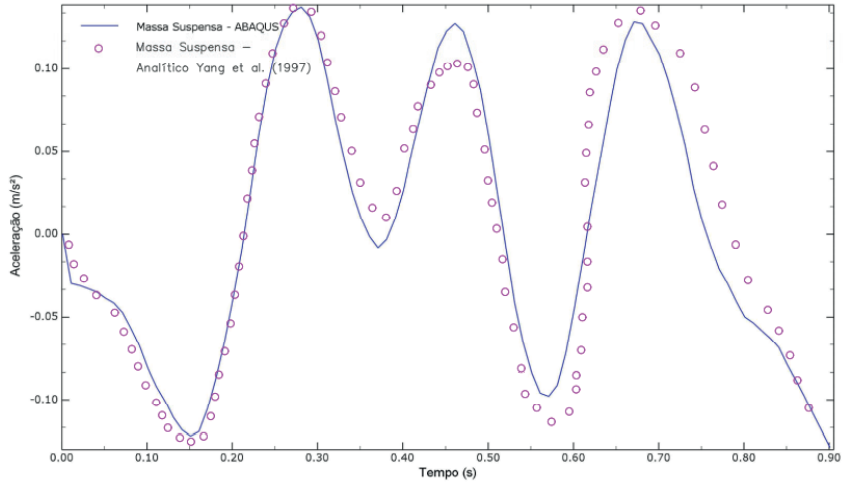


Figura 10: Autor, Resposta dinâmica no nó que concentra a massa do veículo:
Acelerações (2025)



Portanto, de acordo com os gráficos acima, onde tem-se a comparação dos resultados dos deslocamentos e acelerações entre os valores obtidos pelo Abaqus e os propostos por Yang et al. (1997), observa-se que a solução analítica para o primeiro modo de vibração proposta por Yang et al. (1997) apresenta uma boa concordância com as respostas para aceleração e deslocamento do veículo obtidos por meio do Abaqus. De fato, a similaridade das soluções está relacionada à consideração do acoplamento entre as equações do movimento do veículo e da ponte. A diferença relativamente pequena ocorre porque a solução considera apenas uma única interação (cálculo direto) entre o sistema ponte-veículo.

Viga simplesmente apoiada de vão sujeita a um veículo de dois eixos

A priori, convém destacar que após a modelagem, feito o processamento dos dados e analisando o ponto central da ponte, localizado na cota 15 m no eixo X, que é o foco central do estudo, e o no centroide do corpo rígido do veículo, obteve-se os seguintes resultados dos deslocamentos e acelerações obtidos pelo Abaqus comparados aos obtidos por Yang *et al.* (2004) por via analítica conforme mostram as figuras 11, 12, 13 e 14, respectivamente.

Figura 11: Autor, Resposta dinâmica da ponte no ponto central do vão: Deslocamentos (2025)

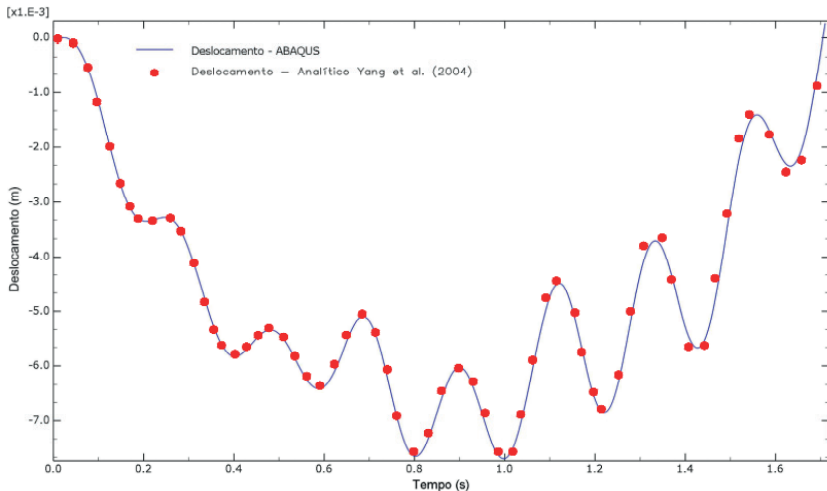


Figura 12: Autor, Resposta dinâmica no centroide do corpo rígido do veículo:
Deslocamentos (2025)

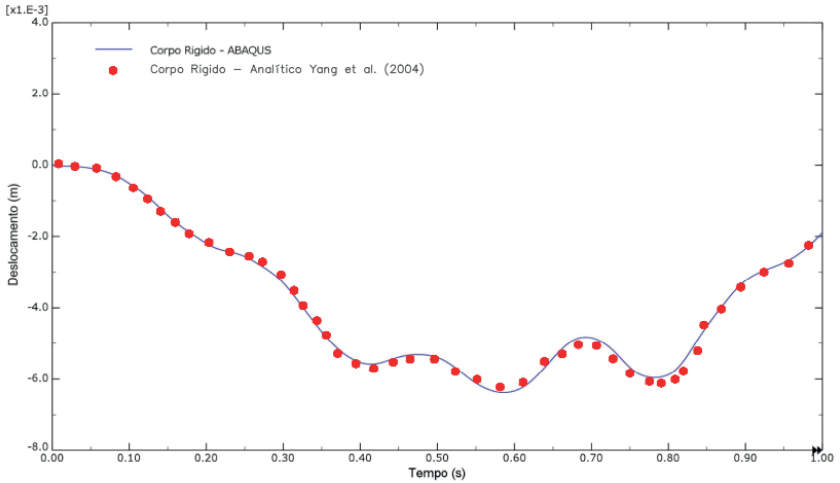


Figura 13: Autor, Resposta dinâmica da ponte no ponto central do vão:
Acelerações (2025)

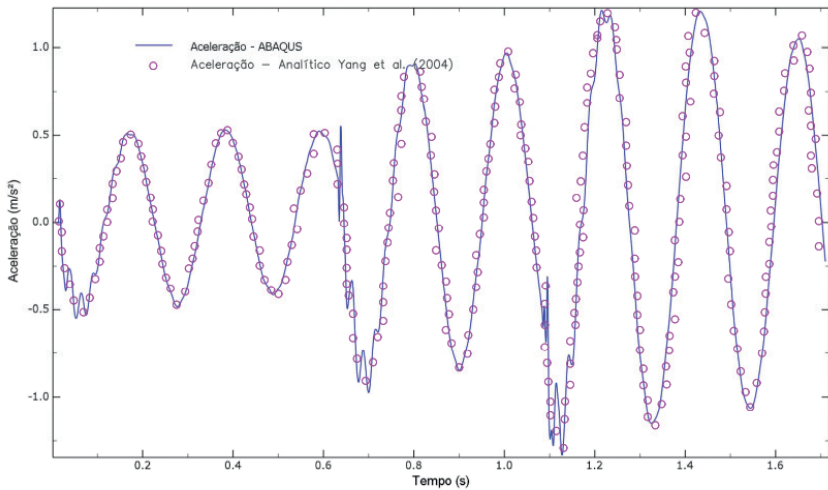
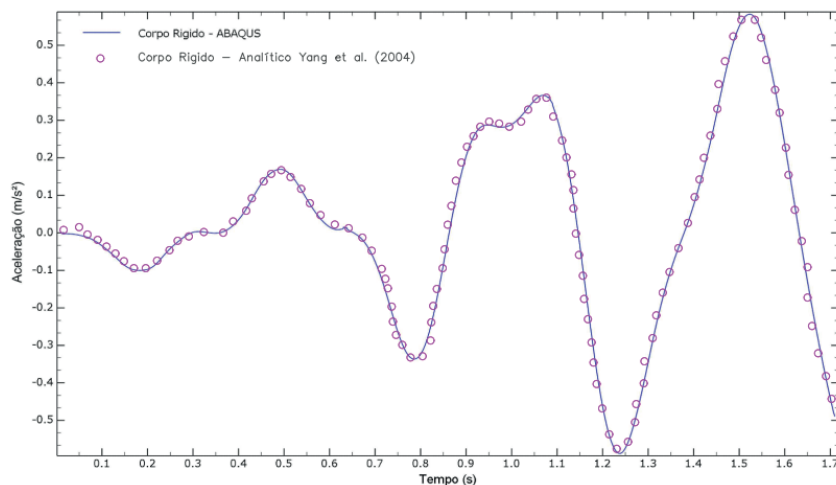


Figura 14: Autor, Resposta dinâmica no centroide do corpo rígido do veículo: Acelerações (2025)



Dessa forma, de acordo com a comparação dos resultados encontrados por meio do software Abaqus e os resultados obtidos por Yang et al. (2004) por via analítica, observa-se que há concordância entre as respostas dinâmicas simuladas entre ambos tanto para os deslocamentos quanto para as acelerações. Nesse contexto, convém salientar que as divergências existentes estão relacionadas, entre outros aspectos, aos erros gerados durante a extração dos dados a partir da literatura, uma vez que não se teve acesso diretamente aos dados originais, e às diferenças inerentes às metodologias distintas.

Conclusão

Portanto, o presente trabalho abordou e detalhou os principais parâmetros que influenciam a análise dinâmica de pontes ferroviárias. Ademais, foram estudadas metodologias analíticas simplificadas baseadas na interação veículo-ponte para análise dinâmica de pontes isostáticas. Outrossim, também foi estudado modelos numéricos via elementos finitos e analíticos considerando o problema de interação veículo-ponte no plano (2D). A análise do modelo da ponte foi realizada através da metodologia de interação veículo-estrutura e os resultados das simulações foram confrontados com dados da literatura especializada para fins de validação.

Outrossim, as simulações numéricas em duas dimensões evidenciaram que levar em conta a massa do veículo é essencial para uma análise precisa das acelerações críticas nas estruturas, especialmente sensíveis quando se trata da interação entre o veículo e a ponte. Além disso, ao modelar esse tipo de interação de forma acoplada no plano, observou-se que os algoritmos de contato disponíveis no software de elementos finitos exerceram pouca influência sobre as respostas dinâmicas obtidas. Por fim, constatou-se que, independentemente da escolha entre elementos de viga ou sólidos para representar a ponte, os resultados relacionados a deslocamentos e acelerações mostraram boa correspondência entre si.

Portanto, com o objetivo de obter uma investigação mais aprofundada do problema da interação veículo-estrutura e as respostas dinâmicas de pontes, sugere-se os seguintes pontos para trabalhos futuros conforme descritos por Viana (2021):

Implementar a metodologia desacoplada de interação veículo-ponte, testá-la com base em exemplos com soluções conhecidas na literatura e aplicá-la ao estudo de pontes já construídas.

Implementar as metodologias em modelos tridimensionais de pontes existentes.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 7187: Projeto de pontes, viadutos e passarelas de concreto*. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

Dassault Systèmes (2025, abril 23). *Abaqus 2016 Documentation*. Providence: Dassault Systèmes Simulia Corp., 2016. Consultado em <http://130.149.89.49:2080/v2016/index.html>

Figueiredo, H.; Calçada, R.; Delgado, R (2009). *Soluções Estruturais para Pontes Ferroviárias em Linhas de Alta Velocidade*. Portugal: Universidade do Porto.

Liu, K.; De Roeck, G.; Lombaert, G (2009). *The effect of dynamic train-bridge interaction on the bridge response during a train passage*. Journal of Sound and Vibration, v. 325, n. 1-2, p. 240-251.

Mei, K.; Li, Y.; Lu, Z (2015). *Application study on the first cable-stayed bridge*

with CFRP cables in China. J. Traffic Transp. Eng., [s. l.], v. 2, n. 4, p. 242-248.

Ribeiro, D. et al (2012). *Finite element model updating of a bowstring-arch railway bridge based on experimental modal parameters*. Engineering Structures, [s. l.], v. 40, p. 413-435.

Svensson, H. (2013). *Cable-stayed Bridges: 40 Years of Experience Worldwide*. [s. l.]: John Wiley & Sons.

Ticona Melo, L. R.; Bittencourt, T. N (2014). *Análise Dinâmica de Pontes Isostáticas para Trens de Alta Velocidade Considerando a Interação Veículo-Estrutura*. In: Iberain Latin American Congress on Computational Methods in Engineering, 35., 2014, Fortaleza. Anais [...]. Fortaleza: ABMEC, p. 23-26.

Ticona Melo, L. R. T; Bittencourt, T. N.; Ribeiro, D.; Calçada; R (2018). *Dynamic response of a railway bridge to heavy axle-load trains considering vehicle-bridge interaction*. International Journal of Structural Stability and Dynamics, v. 18, n. 1, p. 1850010.

Viana, S. W. J. P (2021). *Modelagem dos efeitos dinâmicos em pontes ferroviárias: metodologias analíticas e numéricas*. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Belém.

Xuzhao Lu, Kim C.W., Chang K. C (2020). *Estrutura de análise de elementos finitos para o sistema de interação dinâmico veicular-bridge baseado no Abaqus*. Departamento de Engenharia Civil e de Recursos Terrestres da Universidade de Kyoto, Kyoto 615-8540, Japão.

Yang, Y.-B., & Yau, J.-D (1997). *Vehicle-Bridge Interaction Element for Dynamic Analysis*. Journal of Structural Engineering, 1512-1518.

Yau, J., & Yang, Y (2004). *Vibration Reduction for cable-stayed Bridges Traveled by High Speed Trains*. Finite Elements in Analysis and Design, 341-359.

PROPOSTA DE OTIMIZAÇÃO DO MAPA DE RISCO DA MARCENARIA DA SEAP/MA

Juliana dos Santos Cunha
js.cunha97@gmail.com

Maria Amália Trindade de Castro
mariacastro@professor.uema.br

Kaio Henrique Ferreira Nogueira de Nogueira
kaionogueira7@gmail.com

Introdução

A segurança e a saúde no ambiente de trabalho constituem pilares fundamentais para a sustentabilidade das organizações, especialmente em atividades que envolvem o uso intensivo de máquinas, ferramentas e processos manuais, como ocorre nas oficinas de marcenaria. No âmbito da Secretaria de Estado de Administração Penitenciária do Maranhão (SEAP/MA), a marcenaria apresenta-se como uma importante ferramenta de ressocialização, ao promover a capacitação profissional de pessoas privadas de liberdade, favorecendo sua reintegração social por meio do trabalho. Contudo, as atividades inerentes a esse ambiente — tais como corte, lixamento, montagem e acabamento de peças de madeira — expõem os trabalhadores a diversos riscos ocupacionais de natureza física, química, ergonômica e de acidentes, que demandam uma gestão sistematizada e eficaz.

Nesse contexto, o mapa de risco configura-se como um instrumento essencial da gestão de Segurança e Saúde no Trabalho (SST), pois possibilita a identificação, classificação e representação gráfica dos riscos existentes no ambiente laboral, contribuindo para a conscientização dos trabalhadores e o direcionamento de medidas preventivas. Entretanto, para que o mapa de risco cumpra efetivamente sua função, torna-se imprescindível que sua elaboração esteja apoiada em metodologias estruturadas de análise de riscos, capazes de fornecer subsídios técnicos para sua otimização e atualização contínua.

A Análise Preliminar de Riscos (APR) destaca-se como uma metodologia sistemática amplamente utilizada na identificação de perigos, análise das causas e consequências, bem como na proposição de medidas de controle. Conforme a adaptação proposta por Amorim (2010) e Aguiar (2011), a aplicação da APR permite uma abordagem integrada e antecipatória dos riscos, favorecendo a hierarquização das situações perigosas a partir da avaliação da frequência e severidade dos eventos indesejados. Essa adaptação metodológica mostra-se especialmente relevante em ambientes produtivos como a marcenaria, onde a diversidade de atividades e equipamentos exige uma análise detalhada e dinâmica dos riscos ocupacionais.

Dessa forma, este trabalho propõe a aplicação da Análise Preliminar de Riscos, conforme a adaptação de Amorim (2010) e Aguiar (2011), como ferramenta de apoio à otimização do mapa de risco da marcenaria vinculada à SEAP/MA. A utilização da APR visa aprimorar os processos de identificação, avaliação e controle dos riscos ocupacionais, proporcionando maior confiabilidade às informações representadas no mapa de risco e fortalecendo a tomada de decisão em matéria de prevenção.

Ao longo deste estudo, serão abordados os principais riscos inerentes às atividades de marcenaria, a legislação e as normas regulamentadoras aplicáveis à segurança do trabalho, bem como os fundamentos teóricos da Análise Preliminar de Riscos. Como resultado, será proposto um modelo otimizado de mapa de risco, acompanhado de recomendações de medidas preventivas e corretivas, além de ações voltadas à capacitação e conscientização dos trabalhadores. O objetivo geral consiste em estabelecer diretrizes técnicas que contribuam para a melhoria contínua das condições de segurança e saúde no ambiente da marcenaria, reafirmando o compromisso institucional com a dignidade, o bem-estar e a efetiva ressocialização das pessoas privadas de liberdade. Bem como, os objetivos específicos como identificar riscos, propor medidas de controle, aplicar metodologia de análise de risco, propor melhorias.

A Marcenaria: Contexto e Importância

A Secretaria de Estado de Administração Penitenciária do Maranhão tem se destacado por suas iniciativas voltadas à ressocialização de internos do sistema prisional. Dentre essas iniciativas, a marcenaria

se configura como um dos pilares fundamentais, oferecendo um ambiente de trabalho e aprendizado que vai além da simples produção de bens. A marcenaria não é apenas uma unidade produtiva; é um espaço de transformação social, onde os internos têm a oportunidade de adquirir novas habilidades, desenvolver senso de responsabilidade e reconstruir suas vidas.

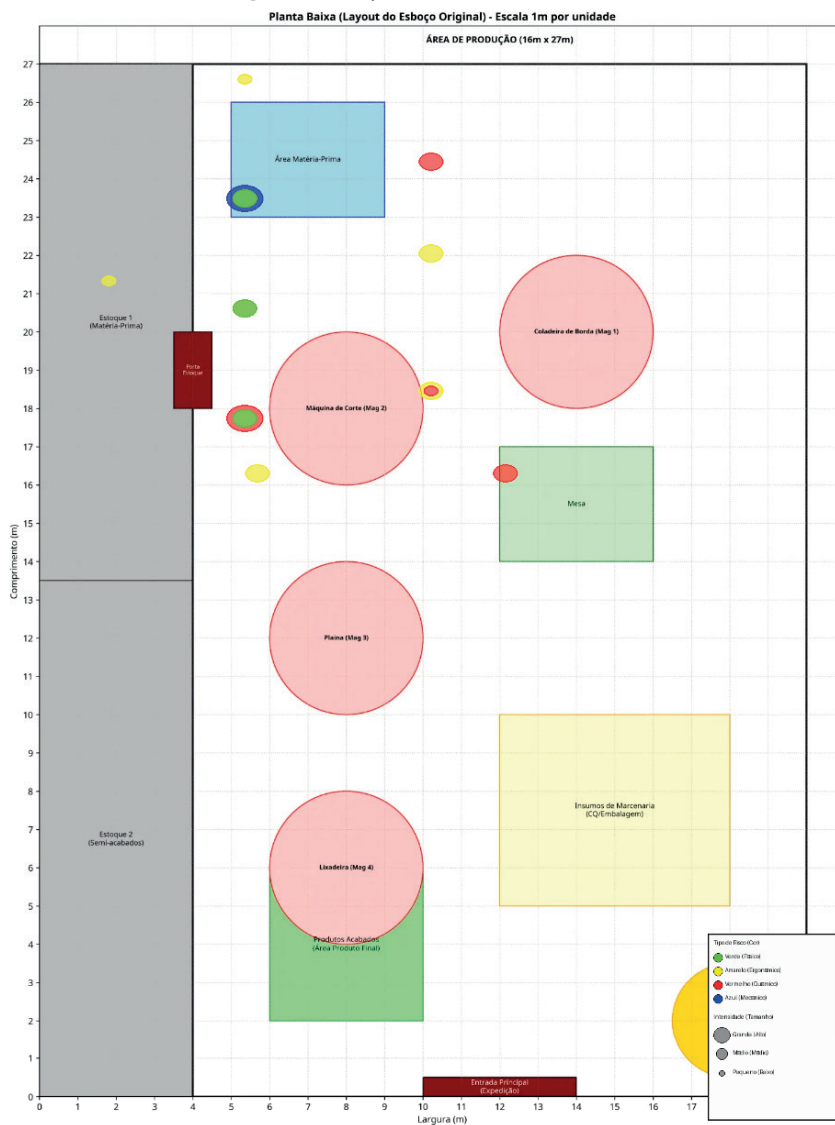
As atividades desenvolvidas na marcenaria são diversas e abrangem desde a produção de móveis planejados para órgãos públicos e outras secretarias de estado, até a confecção de itens específicos para promoção do turismo local, como as matracas para o São João. Essa variedade de produção demonstra a capacidade e a versatilidade da marcenaria, bem como o potencial de qualificação profissional que ela oferece aos internos. A mão de obra carcerária, ao ser empregada em atividades produtivas e com propósito, contribui para a redução da ociosidade, para o desenvolvimento de novas competências e para a diminuição da reincidência criminal.

Em razão dos riscos associados às atividades desenvolvidas no setor moveleiro e dos acidentes e doenças que podem advir da exposição do trabalhador a esses riscos, considera-se importante a execução do gerenciamento dos mesmos. Segundo Silva (2020), o gerenciamento permite a identificação, a avaliação e o controle dos riscos, o que pode impactar de forma positiva na segurança, na produtividade e na sustentabilidade das operações de uma organização.

Silveira et al. (2013) apontam que empresas de menor porte possuem maior dificuldade de sincronia entre a capacidade dos processos e as atividades da produção. Com o mesmo ponto de vista, Slack et al. (2007) destacam fatores como a escala de operações e a disponibilidade de tecnologia como limitadores de controle de produção e mão de obra especializada.

Atualmente o layout aplicado é conforme a Figura 1, pode-se verificar as disposições das máquinas no pátio havendo inadequações para a fluidez da linha de produção e tornando o ambiente desorganizado e criando várias situações de riscos.

Figura 1 - Layout atual da marcenaria



Fonte: Autor (2025)

Riscos Ocupacionais na Marcenarias

O ambiente de uma marcenaria, por sua natureza, apresenta uma série de riscos ocupacionais que podem comprometer a saúde e a segurança dos trabalhadores. A identificação e a compreensão desses riscos são o primeiro passo para a elaboração de um mapa de risco eficaz e para a implementação de medidas preventivas adequadas. Os riscos em marcenarias podem ser classificados em diferentes categorias, conforme a Norma Regulamentadora 9 (NR-9) do Ministério do Trabalho e Emprego, que estabelece a obrigatoriedade da elaboração e implementação do Programa de Gerenciamento de Riscos (PGR).

Riscos Físicos

Os riscos físicos são aqueles que podem causar danos à saúde do trabalhador em função de sua exposição a agentes físicos. Em marcenarias, os principais são: Ruído: O uso constante de máquinas como serras, lixadeiras, tupias e plainas gera níveis elevados de ruído, que podem causar perda auditiva induzida por ruído (PAIR), estresse, irritabilidade e dificuldade de comunicação. A exposição prolongada a ruídos acima dos limites de tolerância estabelecidos pela NR-15 é extremamente prejudicial; Vibração: Máquinas como lixadeiras e serras manuais transmitem vibração para as mãos e braços dos operadores, podendo causar problemas circulatórios, neurológicos e osteomusculares, como a Síndrome de Raynaud (dedos brancos) e lesões por esforços repetitivos (LER/DORT); Poeira de Madeira: A poeira gerada pelo corte, lixamento e manuseio da madeira é um dos riscos mais significativos. A inalação de partículas finas de madeira pode causar irritação nas vias respiratórias, rinite, asma, bronquite e, em casos mais graves e de exposição prolongada, câncer nas vias aéreas superiores.

Riscos Químicos

Os riscos químicos estão relacionados à exposição a substâncias químicas presentes em produtos utilizados na marcenaria: Colas e Adesivos: Muitas colas e adesivos contêm solventes orgânicos que, quando inalados, podem causar irritação nas mucosas, tontura, náuseas, dores de cabeça e, em casos de exposição crônica, danos ao sistema nervoso central e a órgãos como fígado e rins; Vernizes, Tintas e Solventes: Produtos de acabamento como vernizes, tintas e seus

respectivos solventes liberam vapores e gases que podem ser tóxicos. A exposição a esses agentes pode provocar irritação nos olhos e vias respiratórias, dermatites, e efeitos mais graves em caso de inalação prolongada ou contato direto com a pele. O corpo do texto é justificado e com espaçamento simples. A primeira linha de cada parágrafo tem recuo de 0,5 cm a partir da margem esquerda.

Riscos Biológicos

Embora menos comuns em marcenarias do que em outros ambientes, os riscos biológicos podem surgir da presença de fungos e bactérias em madeiras úmidas ou em ambientes com pouca ventilação, podendo causar infecções respiratórias ou alergias.

Riscos Ergonômicos

Os riscos ergonômicos estão associados à inadequação das condições de trabalho às características psicofisiológicas dos trabalhadores, podendo levar a doenças e lesões. Em marcenarias, destacam-se: Postura Inadequada: O trabalho em pé por longos períodos, a necessidade de se curvar ou de manter posições forçadas para operar máquinas ou manusear peças, pode levar a dores nas costas, pescoço e membros, além de LER/DORT; Levantamento e Transporte Manual de Cargas: O manuseio de chapas de madeira, peças e ferramentas pesadas sem o auxílio de equipamentos adequados ou técnicas corretas de levantamento pode causar lesões na coluna vertebral, hérnias e outros problemas musculoesqueléticos; Repetitividade: Tarefas que exigem movimentos repetitivos, como lixar, parafusar ou operar máquinas específicas, podem sobrecarregar tendões e músculos, resultando em LER/DORT.

Riscos de Acidentes

Os riscos de acidentes são os mais evidentes em uma marcenaria e podem resultar em lesões graves ou fatais: Máquinas e Ferramentas: Serras circulares, serras de fita, tupias, plainas, furadeiras e outras máquinas e ferramentas manuais elétricas ou pneumáticas representam um alto risco de cortes, amputações, esmagamentos e projeção de partículas. A falta de guardas de proteção, dispositivos de segurança e treinamento adequado aumenta exponencialmente esses riscos; Eletricidade: Instalações elétricas inadequadas, fiação exposta,

equipamentos sem aterramento ou com manutenção deficiente podem causar choques elétricos, queimaduras e incêndios. Incêndio e Explosão: A presença de poeira de madeira fina, produtos químicos inflamáveis (solventes, vernizes) e fontes de ignição (faíscas de máquinas, cigarros) cria um ambiente propício para incêndios e, em casos extremos, explosões de poeira; Quedas: Pisos escorregadios, desorganização do ambiente, presença de resíduos de madeira e obstáculos podem causar quedas com lesões diversas; Projeção de Partículas: Durante o corte, lixamento ou fresagem, pequenas partículas de madeira ou estilhaços podem ser projetadas, atingindo os olhos ou outras partes do corpo.

A identificação detalhada desses riscos é fundamental para a construção de um mapa de risco abrangente e para a implementação de um plano de ação que minimize a probabilidade de ocorrência de acidentes e doenças ocupacionais na marcenaria.

Legislação e Normas de Segurança do Trabalho

A segurança do trabalho no Brasil é regida por um conjunto de Normas Regulamentadoras (NRs) estabelecidas pelo Ministério do Trabalho e Emprego, que visam garantir a saúde e a integridade física dos trabalhadores. Para o ambiente de marcenaria, diversas NRs são aplicáveis, sendo fundamental o conhecimento e a aplicação de seus requisitos para a conformidade legal e, principalmente, para a prevenção de acidentes e doenças ocupacionais.

NR-12 – Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos

Conforme a NR-12 é uma das normas mais importantes para marcenarias, pois estabelece os requisitos mínimos para a prevenção de acidentes e doenças do trabalho nas fases de projeto e de utilização de máquinas e equipamentos de todos os tipos. Ela abrange desde a instalação e operação até a manutenção e desativação de máquinas. Para marcenarias, isso significa que todas as serras, plainas, tupias, lixadeiras e demais equipamentos devem possuir sistemas de segurança adequados, como proteções fixas e móveis, dispositivos de parada de emergência, sistemas de intertravamento e sinalização clara. A norma também exige capacitação dos operadores e a elaboração de um inventário de máquinas e equipamentos.

NR-6 – Equipamento de Proteção Individual (EPI)

De acordo com a NR-6 estabelece a obrigatoriedade do fornecimento e uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) adequados aos riscos existentes no ambiente de trabalho. Em marcenarias, o uso de EPIs é indispensável para proteger os trabalhadores dos riscos físicos, químicos e de acidentes. Os EPIs comumente necessários incluem: Proteção Auditiva: Protetores auriculares tipo concha ou plug, para mitigar os efeitos do ruído excessivo; Proteção Respiratória: Máscaras ou respiradores com filtros adequados para poeiras de madeira e vapores químicos (colas, vernizes); Proteção Ocular: Óculos de segurança ou protetores faciais para proteger contra projeção de partículas e respingos de produtos químicos; Proteção das Mãos: Luvas de segurança resistentes a cortes e abrasões, adequadas para o manuseio de madeira e ferramentas; Proteção dos Pés: Calçados de segurança com biqueira de aço para proteger contra queda de objetos e perfurações; Vestimentas de Segurança: Roupas adequadas que não ofereçam risco de serem agarradas por máquinas em movimento.

É responsabilidade do empregador fornecer os EPIs, garantir sua correta utilização, higienização e conservação, e treinar os trabalhadores sobre seu uso adequado.

NR-9 – Programa de Gerenciamento de Riscos (PGR).

Consoante com a NR-9 estabelece a obrigatoriedade da elaboração e implementação do PGR, que visa à preservação da saúde e da integridade dos trabalhadores através da antecipação, reconhecimento, avaliação e consequente controle da ocorrência de riscos ambientais existentes ou que venham a existir no ambiente de trabalho. Para a marcenaria, o PGR deve contemplar a identificação dos riscos físicos (ruído, vibração, poeira), químicos (colas, vernizes) e biológicos, bem como a definição de medidas de controle e o monitoramento da exposição dos trabalhadores.

NR-17 – Ergonomia

Segundo a NR-17 visa estabelecer parâmetros que permitam a adaptação das condições de trabalho às características psicofisiológicas dos trabalhadores, de modo a proporcionar o máximo de conforto, segurança e desempenho eficiente. Em marcenarias, a aplicação da NR-17 é crucial para prevenir riscos ergonômicos, como LER/

DORT e problemas de coluna. Isso envolve a adequação de bancadas, cadeiras, ferramentas, e a organização do trabalho para evitar posturas inadequadas, movimentos repetitivos e levantamento manual de peso excessivo.

Metodologias de Análise e Avaliação de Riscos

A elaboração de um mapa de risco eficaz depende da utilização de metodologias adequadas para a análise e avaliação dos riscos ocupacionais. Essas metodologias permitem identificar os perigos, estimar a probabilidade de ocorrência de acidentes e doenças, e avaliar a severidade das consequências, fornecendo subsídios para a tomada de decisões e a implementação de medidas de controle. Para a marcenaria, a combinação de diferentes ferramentas de análise de risco pode proporcionar uma visão mais completa e precisa do cenário de segurança e saúde no trabalho.

Dessa forma, foi realizada uma vasta revisão bibliográfica a partir da leitura de artigos, livros e demais trabalhos de cunho científico como forma de fundamentar teoricamente a pesquisa, onde foram pesquisados estudos de caso que tratavam a respeito da aplicabilidade da APR a partir de diferentes objetivos. Secundariamente, optou-se pela procura de artigos que abordavam sobre diferentes aspectos da marcenaria, como forma de conhecer o histórico de ocupação da área e suas principais problemáticas.

A análise preliminar de riscos - APR é uma metodologia qualitativa que se utiliza de mecanismos para avaliar, identificar os riscos e as suas causas e consequências (BARROS, 2013). A APR serve para avaliar os processos fabris em sua totalidade, sendo sua aplicação ideal em ambientes que apresentam um grau de risco maior (ROJAS, 2015).

Este estudo empregou uma abordagem descritiva, combinando visitas in loco realizadas entre setembro e outubro de 2025 para análise dos riscos (físicos, químicos, biológicos, ergonômicos e de acidentes) com entrevistas qualitativas. Foram ouvidos cerca de 20 internos (novos e antigos) da marcenaria, que forneceram um histórico das atividades e dos acidentes ocorridos ao longo dos anos. A Análise Preliminar de Riscos (APR) foi utilizada para identificar, classificar e hierarquizar esses perigos. (Quadro 1).

Quadro 1 - Classificação dos riscos no ambiente laboral

RISCOS	DESCRIÇÃO
Físicos	Consideram-se agentes de risco físico as diversas formas de energia a que possam estar expostos os trabalhadores (ruído, calor, frio, pressão, umidade, radiações ionizantes e não ionizantes, vibração etc.).
Químicos	Consideram-se agentes de risco químico as substâncias, os compostos ou produtos que possam penetrar no organismo do trabalhador pela via respiratória ou que, pela natureza da atividade de exposição, possam ter contato ou serem absorvidos pelo organismo através da pele ou por ingestão (poeiras, fumos, gases, vapores, névoas, neblinas e substâncias compostas ou produtos químicos em geral).
Biológicos	Consideram-se como agentes de risco biológico as bactérias, os vírus, fungos, parasitas, entre outros.
Ergonômicos	Qualquer fator que possa interferir nas características psicofisiológicas do trabalhador, causando desconforto ou afetando a sua saúde (levantamento de peso, ritmo excessivo de trabalho, monotonia, repetitividade, postura inadequada de trabalho, jornadas longas de trabalho, trabalho em turno e noturno, iluminação inadequada etc.).
Mecânicos ou de acidentes	Qualquer fator que coloque o trabalhador em situação vulnerável, afetando a sua integridade e/ou seu bem-estar físico e psíquico (probabilidade de incêndio e explosão, eletricidade, máquinas e equipamentos sem proteção, armazenamento inadequado, quedas e animais peçonhentos etc.).

Fonte: Adaptado de Silva (2018) e NR 9 (2019).

A APR foi realizada a partir de uma adaptação das metodologias propostas por Amorim (2010) e Aguiar (2011). As análises compreenderam a execução das seguintes etapas: (i) definição do objetivo e da finalidade da análise; (ii) visitas em campo para análise dos perigos (as anotações foram registradas no diário de campo); (iii) organização e tabulação das anotações; (iv) realização da APR a partir de preenchimento do formulário (Quadro 2); (v) elaboração das estatísticas de acordo com os cenários identificados por categoria de risco (frequência e severidade); e (vi) análise dos resultados com posteriores recomendações.

Quadro 2 - Modelo de formulário para a análise preliminar de riscos.

ANÁLISE PRELIMINAR DE RISCOS (APR)						
Perigo	Causa (s)	Efeito (s)	Categorias			Medidas Preventivas ou Corretivas
			Frequência	Severidade	Risco	

Fonte: Adaptado de Amorim (2010) e Aguiar (2011).

As colunas são preenchidas conforme as descrições a seguir (AMORIM, 2010; AGUIAR, 2011): Perigo: Identificação dos perigos (eventos com potencial de causar danos); Causa (s): Causa (s) de cada perigo identificado; e Efeito (s): Efeito (s) negativo (s) de cada perigo identificado;

Categorias de Frequência (F): Indicação qualitativa da frequência esperada de ocorrência para cada cenário identificado (Quadro 3).

Quadro 3 - Categorias de frequência dos cenários da análise preliminar de riscos.

CATEGORIA	DENOMINAÇÃO	DESCRIÇÃO
A	Extremamente remota	Conceitualmente possível, mas extremamente improvável.
B	Remota	Não esperado ocorrer, apesar de haver referências históricas.
C	Pouco provável	Possível ocorrer mais de uma vez.
D	Provável	Esperado ocorrer mais de uma vez.
E	Frequente	Esperado ocorrer muitas vezes.

Adaptado de Amorim (2010) e Aguiar (2011).

Categorias de Severidade (S): Indicação qualitativa do grau de severidade das consequências de cada um dos cenários identificados (Quadro 4).

Quadro 4 - Categorias de severidade dos cenários da análise preliminar de riscos.

CATEGORIA	DENOMINAÇÃO	DESCRIÇÃO
I	Desprezível	Sem danos ou danos insignificantes aos equipamentos, à propriedade e/ou ao meio ambiente; não ocorrem lesões/mortes de pessoas, o máximo que pode ocorrer são casos de primeiros socorros ou tratamento médico menor.
II	Marginal	Danos leves aos equipamentos, à propriedade e/ou ao meio ambiente (os danos materiais são controláveis e/ou de baixo custo); Lesões leves em prestadores de serviço ou de membros da comunidade.
III	Crítica	Danos severos aos equipamentos, à propriedade e/ou ao meio ambiente; Lesões de gravidade moderada em prestadores de serviço ou em membros da sociedade (probabilidade remota de morte); Exige ações corretivas imediatas para evitar seu desdobramento em catástrofe.
IV	Catastrófica	Danos irreparáveis aos equipamentos, à propriedade e/ou ao meio ambiente (reparação lenta ou impossível); provoca mortes ou lesões graves em várias pessoas.

Adaptado de Amorim (2010) e Aguiar (2011).

Categoria de Risco (R): Combinação das categorias de frequência com as de severidade, a qual fornece uma indicação qualitativa do nível de risco de cada cenário identificado na análise, permitindo visualizar os cenários de acidente de maior impacto (Quadro 5).

Quadro 5 - Matriz de classificação do grau de risco usado na análise preliminar de riscos.

FREQUÊNCIA						SEVERIDADE
A	B	C	D	E		
2	3	4	5	5	IV	
1	2	3	4	5	III	
1	1	2	3	4	II	
1	1	1	2	3	I	

Adaptado de Amorim (2010) e Aguiar (2011).

Medidas Preventivas ou Corretivas: Medidas que devem ser tomadas para diminuir a frequência ou severidade do acidente ou quaisquer observações pertinentes ao cenário de acidente em estudo.

As colunas “Efeito (s)” e “Medidas preventivas ou corretivas” foram preenchidas a partir de uma revisão sistemática da literatura. Assim como uma adaptação dos preceitos estabelecidos pelas Normas Regulamentadoras (NR) relativas à segurança e medicina do trabalho. Especificamente, NR 9 (programa de prevenção de riscos ambientais), NR 15 (atividades e operações insalubres) e NR 17 (ergonomia). Além da Norma de Higiene Ocupacional - NHO 6 (avaliação da exposição ocupacional ao calor).

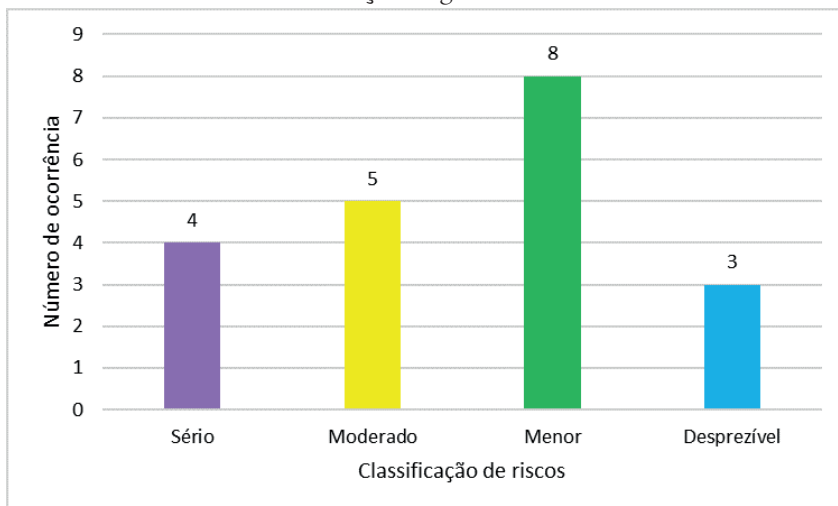
O mapa de risco é uma representação gráfica dos riscos presentes no ambiente de trabalho, utilizando cores e símbolos para facilitar a visualização e compreensão conforme Figura 2. Para a marcenaria, a otimização desse mapa não se resume apenas à sua elaboração, mas à sua transformação em uma ferramenta viva e dinâmica de gestão da segurança e saúde ocupacional. Um mapa de risco otimizado deve ser visualmente claro, de fácil interpretação e acessível a todos os trabalhadores, incluindo os internos em processo de ressocialização.

Tabela 1 - Análise Preliminar de Riscos (APR)

ANÁLISE PRELIMINAR DE RISCOS (APR)							
Perigo	Causa (s)	Efeito (s)	Categorias			Medidas Preventivas ou Corretivas	
			Frequência	Severidade	Risco		
Físicos	Calor	Ambiente laboral mal projetado; Calor gerado por equipamentos/ objetos (máquina de corte, lixadeiras, serras circulares); Ambiente laboral mal projetado; Calor do próprio ambiente.	Desidratação; Fadiga; Desconforto térmico; Mal-estar; Dor de cabeça; Insolação; Doenças de pele; Baixa produtividade	D	II	3	Disponibilização de água e sais minerais; Protetor solar; Educação e treinamento de trabalhadores (riscos, acimatização, hidratação, pausas, sinais e sintomas da exposição ao calor, condutas de introdução de pausas; Uso de barreiras refletoras ou absorventes; Sistemas de ventilação adequados; Fornecimento de vestimentas de trabalho adequadas e em condições de conforto; Avaliação da exposição dos trabalhadores; Controle médico.
	Ruído	Intenso fluxo de pessoas; Uso/ funcionamento de equipamentos (máquina de corte, lixadeiras, serras circulares).	Perda de audição; Estresse; Surdez; Alterações do sistema imunológico; Dificuldade de comunicação; Doenças cardiovasculares.	E	II	4	Educação e conscientização de trabalhadores e usuários; Substituição de equipamentos por outros menos ruidosos; Reduzir impactos, quando possível; Manutenção preventiva dos equipamentos; Mínimo de equipamentos ligados simultaneamente; Monitoramento do ruído; Barreiras sonoras; Rodízio de trabalhadores; Planejamento urbano; Fornecimento de EPI.
	Umidade	Falta de manutenção; Umidade do próprio ambiente; Piso molhado.	Infiltração; Problemas respiratórios e pulmonares; Doenças de pele. Doenças cardiovasculares.	A	I	1	Melhoria da infraestrutura local; Manutenção periódica; Fornecimento de EPI.
Químicos	Poeiras	Poeira de variação; A poeira gerada pelo corte, livamento e manuseio da madeira é um dos riscos mais significativos.	Alergias, desconforto, perda momentânea da visão; Doenças respiratórias; Problemas respiratórios e pulmonares.	D	III	4	Umidificação; Fiscalização periódica; Fornecimento de EPI.
	Produtos químicos	Produtos químicos; Manuseio de colas, tintas e vernizes; Falta de equipamento de proteção individual - EPI; Uso inadequado de EPI.	Doenças de pele; Tonturas; Cólicas abdominais; Náuseas; Vômitos; Dificuldades respiratórias; Tremores; Irritações na pele, nariz, garganta e olhos.	D	III	4	Educação e conscientização de trabalhadores; Substituição de produtos tóxicos ou nocivos; Fiscalização; Fornecimento de EPI.
Biológicos	Fungos e bactérias	Nos MDF ou madeiras dispostas no pátio.	Doenças respiratórias	B	I	1	Ambiente limpo; Controle médico; Fornecimento de EPI.
Ergonômicos	Postura inadequada	Uso de equipamentos /objetos; Ambiente de trabalho inadequado.	Dores/Lesões na coluna cervical e vertebral; Dores musculares; Estresse; Fadigas; Baixa produtividade.	D	II	3	Ginástica laboral; Educação e treinamento de trabalhadores.
	Levantamento e transporte manual de peso	Levantamento, transporte e descarga inadequada de materiais; Condições ambientais inadequadas.	Dores/Lesões na coluna cervical e vertebral; Tendinite; Dores musculares; Lesão por esforço repetitivo - LER/ Distúrbios Osteomusculares Relacionados ao Trabalho - DORT; Estresse; Fadigas; Baixa produtividade; Outros tipos de doenças (hérnia de disco, lombalgia, escoliose, artrose e outras)	C	II	2	Ginástica laboral; Intervalos regulares de descanso; Rotatividade de trabalhadores; Educação e treinamento de trabalhadores (postura adequada, posições ergonomicamente corretas para o levantamento de peso, tempo de pausa e outros); Exames médicos periódicos.
	Monotonia e repetitividade de atividades	Trabalho repetitivo	Dores musculares; LER/ DORT; Tendinite; Fadigas; Baixa produtividade.	D	I	2	
	Jornada excessiva de trabalho	Excesso de horas trabalhadas; Trabalho noturno.	Dores musculares; Fadiga; Estresse; Alteração no sono; Baixa produtividade.	C	I	2	-
	Estresse físico/ou psicológico	-	-	C	I	2	-
	Longos períodos em pé	Excesso de horas trabalhadas	Dores musculares; Estresse; Fadiga; Baixa produtividade	D	I	2	-
	Baixa luminosidade	Iluminação ineficiente ou inexistente; Ambiente laboral mal projetado.	Problemas visuais; Acidentes de trabalho; Fadiga.	B	I	1	Manutenção preventiva e corretiva do sistema (limpeza, substituição de lâmpadas e de outros componentes); Implantação de novas luminárias; Melhoria da infraestrutura local.
Mecânicos ou de acidentes	Incêndio ou explosão	Falta de atenção; Desorganização; Falta de manutenção; Vazamento de produto inflamável; Fiação elétrica e tomadas sem proteção; Ambiente laboral mal projetado.	Incêndios; Explosões; Lesões; Queimaduras; Danos materiais; Morte.	B	IV	3	Manutenção e troca regular de equipamentos e objetos (válvulas, mangueiras, registro e outros); Educação e treinamento de trabalhadores; Sistema de combate a incêndio; Melhoria da infraestrutura local.
	Queimaduras	Objetos aquecidos; Preparo de comidas; Falta de atenção; Desorganização; Manuseio incorreto de ferramentas/objetos; Falta de treinamento; Situações de estresse; Falta de EPI; Uso inadequado de EPI.	Lesões; Queimaduras; Morte.	C	III	3	Manutenção e troca regular de equipamentos e objetos; Educação e treinamento de trabalhadores; Melhoria da infraestrutura local; Fornecimento de EPI.
	Choque elétrico	Falta de manutenção; Fiações elétricas e tomadas sem proteção; Curto circuito; Fios desgastados; Falta de atenção; Desorganização; Ambiente laboral mal projetado; Falta de EPI; Uso inadequado de EPI.	Queimaduras; Fraturas; Perdas de membros; Danos materiais; Morte.	C	III	3	Manutenção preventiva dos equipamentos; Substituição das tomadas e da fiação elétrica; Educação e treinamento de trabalhadores; Melhoria da infraestrutura local.
	Tropeços e quedas	Quedas ou tropeços ao subir ou descer escadarias; Falta de atenção; Desorganização; Resíduos sólidos dispostos de forma imprópria; Desnivel do chão; Falta de estrutura adequada.	Lesões; Escoriações; Fraturas; Contusões; Morte.	C	II	2	Manutenção preventiva do ambiente laboral; Sinalização; Educação e treinamento de trabalhadores; Organização e limpeza do ambiente laboral; Fornecimento de EPI.
	Cortes e perfurações	Manuseio inadequado de ferramentas/objetos (ferramentas cortantes, perfurantes e outros); Falta de atenção; Falta de estrutura adequada; Falta de EPI; Uso inadequado de EPI.	Lesões; Escoriações; Fraturas; Contusões; Morte.	C	II	2	Manutenção preventiva dos equipamentos; Substituição de ferramentas/objetos (ferramentas cortantes, perfurantes e outros); Educação e treinamento de trabalhadores; Fornecimento de EPI.
	Legenda – Frequência:	A – Rara B – Pouco provável C – Provável	D – Muito provável E – Praticamente certa	Legenda – Severidade: I – Leve II – Moderada III – Grave IV – Catastrófica	Legenda – Risco: 1 – Baixo 2 – Médio 3 – Alto 4 – Muito alto	Observação: A classificação do risco é obtida pela combinação da Frequência com a Severidade, conforme metodologia da matriz de risco utilizada.	

Foram identificados 21 riscos relacionados às atividades desenvolvidas no ambiente do estudo conforme a Tabela 1. Dito isto, foi elaborada o Gráfico 1 a seguir é uma síntese dos resultados obtidos a partir da APR:

Gráfico 1 - Número de ocorrências de situações de perigo de acordo com a classificação do grau de risco.



Fonte: Autor (2025)

Conclusão

Em síntese, o estudo demonstra a imperativa necessidade de otimizar o mapa de risco da marcenaria, não apenas para cumprir as exigências legais das Normas Regulamentadoras (NRs), mas principalmente para fortalecer o pilar de segurança e saúde ocupacional no essencial programa de ressocialização de internos. A análise detalhada dos riscos, conduzida pela Análise Preliminar de Riscos (APR), revelou a complexidade dos perigos inerentes ao ambiente, desde a poeira de madeira e ruído até os riscos de acidentes com máquinas. A proposta de um Modelo de Mapa de Risco Otimizado, que é setorizado, detalhado e dinâmico, representa uma ferramenta de gestão proativa. Contudo, a eficácia dessa otimização reside na sua natureza contínua, exigindo o compromisso da liderança, a participação ativa dos internos e o investimento constante em treinamento e conscientização. A implementação bem-sucedida desta proposta é crucial para garantir

um ambiente de trabalho seguro e produtivo, reforçando a dignidade humana e maximizando o sucesso do percurso de reintegração social dos internos.

REFERÊNCIAS

AMORIM, E. D. Ferramentas de análise de risco. Apostila do curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Alagoas, CTEC. Alagoas, 2010.

BARROS, S. S. Análise de riscos. Curitiba: Instituto Federal do Paraná – Educação à Distância – e-Tec Brasil, 2013.

BENEDITO, L. F. Análise preliminar de risco (APR) em uma marcenaria do interior do estado de São Paulo. 2019. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/25898/1/PB_ESEP_IV_2019_11.pdf. Acesso em: 22 jan. 2026.

BRASIL. Norma Regulamentadora nº 01 (NR-01): disposições gerais e gerenciamento de riscos ocupacionais. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/assuntos/inspecao-do-trabalho/seguranca-e-saude-no-trabalho/ctpp-nrs/normas-regulamentadoras-nrs>. Acesso em: 22 jan. 2026.

BRASIL. Norma Regulamentadora nº 06 (NR-06): equipamento de proteção individual – EPI. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/assuntos/inspecao-do-trabalho/seguranca-e-saude-no-trabalho/ctpp-nrs/normas-regulamentadoras-nrs>. Acesso em: 22 jan. 2026.

BRASIL. Norma Regulamentadora nº 09 (NR-09): avaliação e controle das exposições ocupacionais a agentes físicos, químicos e biológicos. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/assuntos/inspecao-do-trabalho/seguranca-e-saude-no-trabalho/ctpp-nrs/normas-regulamentadoras-nrs>. Acesso em: 22 jan. 2026.

BRASIL. Norma Regulamentadora nº 10 (NR-10): segurança em instalações e serviços em eletricidade. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/assuntos/inspecao-do-trabalho/>

[seguranca-e-saude-no-trabalho/ctpp-nrs/normas-regulamentadoras-nrs](#). Acesso em: 22 jan. 2026.

BRASIL. Norma Regulamentadora nº 11 (NR-11): transporte, movimentação, armazenagem e manuseio de materiais. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/assuntos/inspecao-do-trabalho/seguranca-e-saude-no-trabalho/ctpp-nrs/normas-regulamentadoras-nrs>. Acesso em: 22 jan. 2026.

BRASIL. Norma Regulamentadora nº 12 (NR-12): segurança no trabalho em máquinas e equipamentos. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/assuntos/inspecao-do-trabalho/seguranca-e-saude-no-trabalho/ctpp-nrs/normas-regulamentadoras-nrs>. Acesso em: 22 jan. 2026.

BRASIL. Norma Regulamentadora nº 15 (NR-15): atividades e operações insalubres. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/assuntos/inspecao-do-trabalho/seguranca-e-saude-no-trabalho/ctpp-nrs/normas-regulamentadoras-nrs>. Acesso em: 22 jan. 2026.

BRASIL. Norma Regulamentadora nº 17 (NR-17): ergonomia. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/assuntos/inspecao-do-trabalho/seguranca-e-saude-no-trabalho/ctpp-nrs/normas-regulamentadoras-nrs>. Acesso em: 22 jan. 2026.

BRASIL. Norma Regulamentadora nº 23 (NR-23): proteção contra incêndios. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/assuntos/inspecao-do-trabalho/seguranca-e-saude-no-trabalho/ctpp-nrs/normas-regulamentadoras-nrs>. Acesso em: 22 jan. 2026.

BRASIL. Norma Regulamentadora nº 26 (NR-26): sinalização de segurança. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/assuntos/inspecao-do-trabalho/seguranca-e-saude-no-trabalho/ctpp-nrs/normas-regulamentadoras-nrs>. Acesso em: 22 jan. 2026.

COSTA, T. T. Análise dos riscos ocupacionais no ambiente de trabalho de uma marcenaria. São Paulo, 2018.

FUNDACENTRO. Norma de higiene ocupacional NHO 06: procedimento técnico: avaliação da exposição ocupacional ao calor. 2.

ed. São Paulo: Fundacentro, 2017.

GUIAR, L. A. Metodologias de análise de riscos – APP & HAZOP. Rio de Janeiro, 2011.

REVISTA FT. Análise preliminar de riscos (APR) aplicada a uma empresa de fabricação e montagem de móveis de madeira. 2025. Disponível em: <https://revistaft.com.br/analise-preliminar-de-riscos-apr-aplicada-a-uma-empresa-de-fabricacao-e-montagem-de-moveis-de-madeira/>. Acesso em: 22 jan. 2026.

ROJAS, P. Técnico em segurança do trabalho. Porto Alegre: Bookman, 2015.

SILVA, A. P. Gestão de riscos ocupacionais em marcenarias. 2020. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) – Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2020.

SILVEIRA, R. I. M.; MARTINS, R. S.; LOPES, A. L. M.; ALVES, A. F. Antecedentes da eficiência produtiva na manufatura: experiências do setor moveleiro brasileiro. *Revista de Ciências da Administração*, v. 15, n. 37, 2013.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. Operations management. 5. ed. Harlow: FT Prentice Hall, 2007.

CORROSÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO

ARMADO: Uma breve atualização bibliográfica para
entendimento prático

Lucas Alberto Morais Muniz

Universidade Estadual do Maranhão – UEMA
lucas_muniz@hotmail.com

Jorge Creso Cutrim Demétrio

Universidade Estadual do Maranhão – UEMA
jresco@hotmail.com

Fernando Jorge Cutrim Demétrio

Universidade Estadual do Maranhão – UEMA
fernandojcd@hotmail.com

Introdução

As manifestações patológicas em edificações são recorrentes na construção civil, inclusive em obras recentes. Segundo Gonçalves (2015), isso ocorre, em parte, pela permanência de métodos construtivos ultrapassados e pela resistência em adotar inovações tecnológicas, o que favorece o surgimento precoce de falhas logo após a entrega das edificações.

O termo “patologia” é utilizado na engenharia civil para designar o estudo das falhas, deteriorações ou anomalias que comprometem o desempenho das construções. Essa abordagem é comparável à medicina, na medida em que busca compreender as causas, evolução e efeitos das degradações nos sistemas construtivos (LIMA et al., 2020).

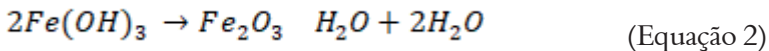
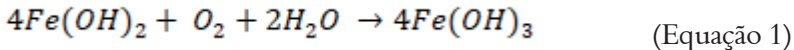
Conforme Ferreira (2018), praticamente todas as construções apresentam manifestações patológicas em algum grau. Tais manifestações são, geralmente, reflexo de falhas cometidas nas etapas de projeto, execução ou manutenção das edificações.

A NBR 16747 (2020) define manifestação patológica como a evidência visível da degradação de componentes construtivos, resultando na redução do desempenho da estrutura. Entre os sinais

mais comuns estão fissuras, corrosão, infiltrações, manchas superficiais, deslocamento do concreto e armaduras expostas.

Dentre essas manifestações, a corrosão das armaduras em estruturas de concreto armado é uma das mais preocupantes. De acordo com Martins (2022), a corrosão é um processo resultante da interação entre o material e o ambiente que degradam gradualmente o aço das armaduras. Quando as armaduras de aço perdem sua condição de passividade, ou seja, a proteção alcalina proporcionada pelo concreto, torna-se inevitável o avanço da corrosão.

A propagação da corrosão ocorre conforme demonstrado nas Equações 1 e 2, em que o hidróxido de ferro é convertido em hidróxido férrico, o qual posteriormente se transforma em óxido férrico hidratado. Durante esse processo, há um aumento significativo de volume: o hidróxido férrico apresenta cerca do dobro da seção original do aço, e, após a hidratação, seu volume pode atingir de seis a dez vezes o inicial. Essa expansão volumétrica provoca elevadas tensões de tração no concreto, resultando em fissuração e favorecendo a entrada de agentes agressivos que intensificam o processo corrosivo (FÉLIX et al., 2018).



Os indícios visuais da corrosão incluem manchas de ferrugem, fissuras, desprendimento da camada de concreto e perda de seção transversal das armaduras (NUNES, 2024). Esses sintomas ocorrem, frequentemente, quando não há o devido respeito ao cobrimento mínimo especificado em projeto, condição essencial para a passivação do aço.

O mecanismo eletroquímico no concreto armado

Passivação

Conforme apresentado por Ribeiro (2010), a passivação corresponde à redução da atividade química apresentada por determinados metais e ligas quando submetidos a condições específicas. Esse estado ocorre em meios de elevada alcalinidade, que favorecem o desenvolvimento de uma película protetora muito fina, responsável por conferir caráter passivo ao material. No caso do concreto, seu alto nível de alcalinidade resulta das reações de hidratação dos compostos de silicato de cálcio (c) e resulta na liberação de hidróxido de cálcio (o) garantindo a passivação da armadura.

No entanto, essa camada protetora pode ser comprometida, Carmona (2005) explica que a presença de íons cloreto na profundidade da armadura, ao atingir concentrações críticas, é capaz de romper pontualmente a película passivadora do aço. Os íons cloreto podem ingressar na estrutura por diferentes caminhos, seja pela contaminação dos componentes utilizados na fabricação do concreto, pela aplicação de aditivos aceleradores de pega à base de cloretos ou ainda pela exposição a ambientes marinhos, industriais ou a águas agressivas. Em termos de risco, a corrosão induzida por cloretos é considerada mais grave que a causada pela carbonatação, pois os cloretos não são consumidos durante as reações, permanecendo disponíveis para iniciar novos ciclos de degradação (BOLINA, 2025).

Reações eletroquímicas e consequências

O fenômeno da corrosão da armadura é um processo eletroquímico, que pode ser resumido em reações fundamentais, segundo Ribeiro (2010):

- **Ânodo (Oxidação):** O ferro perde elétrons, levando à dissolução do metal: $2Fe \rightarrow 2Fe^{2+} + 4e^{-}$;
- **Cátodo (Redução):** A redução ocorre em ambientes neutros e aerados: $2H_2O + O_2 + 4e^{-} \rightarrow 4OH^{-}$;
- **Reação Global e Formação da Ferrugem:** A reação global de corrosão e a subsequente formação da ferrugem se dão por:

$2Fe + 2H_2O + O_2 \rightarrow 2Fe^{2+} + 4OH^-$. Isso leva à formação de hidróxido ferroso: $2Fe^{2+} + 4OH^- \rightarrow 2Fe(OH)_2$ ou $2FeO \cdot H_2O$. O produto final da corrosão (ferrugem) é formado pela reação: $2Fe(OH)_2 + H_2O + 1/2O_2 \rightarrow 2Fe(OH)_3$ ou $e_2O_3 \cdot H_2O$.

Os produtos de corrosão gerados ocupam um volume substancialmente maior (de 3 a 10 vezes) do que o volume original do aço. Esse aumento volumétrico cria elevadas tensões internas de tração no concreto circundante, que podem ultrapassar 15 MPa. Tais esforços radiais causam a fissuração e o eventual deslocamento do concreto na direção paralela à armadura, o que, por sua vez, facilita a entrada de outros agentes agressivos, como o e (BARRETTO e PARENTE, 2018).

Figura 1 - Esforços produzidos pelos produtos de corrosão

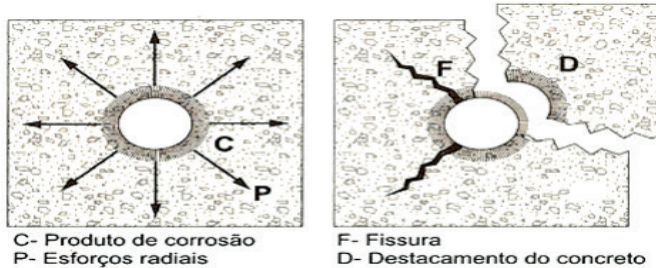


Figura 2. Esforços produzidos pelos produtos de corrosão, levando à ruptura do concreto. (10).

Fonte: CASCUDO, 1997.

As principais manifestações patológicas decorrentes da corrosão incluem: a perda de aderência entre o concreto e o aço, a diminuição da área da seção transversal das barras de armadura, o desenvolvimento de tensões de tração que afetam o concreto, o deslocamento do cobrimento e a conseqüente redução da capacidade resistente à tração (BARRETTO e PARENTE, 2018). O efeito dos esforços produzidos

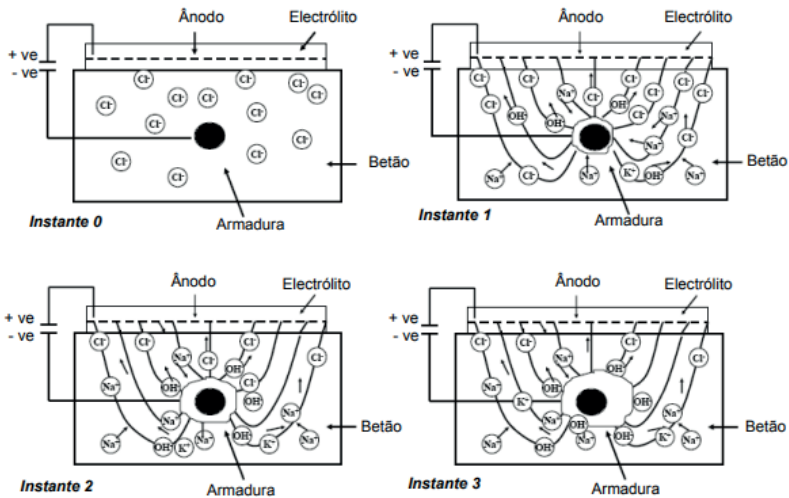
pelos produtos de corrosão, resultando na ruptura do concreto, é ilustrado na Figura 1.

Dessalinização e realcalinização

Segundo Lourenço (2020), a dessalinização consiste em um procedimento eletroquímico, de efeito temporário, voltado à remoção de íons cloreto presentes em estruturas de concreto já contaminadas. O processo funciona pela aplicação de uma corrente elétrica contínua entre a armadura, que atua como cátodo, e um ânodo externo instalado sobre a superfície do concreto e imerso em uma solução eletrolítica. Durante essa etapa, ocorrem simultaneamente fenômenos de eletrólise e eletromigração iônica. Entre os materiais utilizados como ânodos, destacam-se a malha de titânio ativado, considerada inerte, e a malha de aço carbono, de caráter consumível. Embora a água seja o eletrólito mais frequentemente empregado, podem ser usadas soluções alcalinas, como hidróxido de cálcio ou borato de lítio, para evitar a acidificação decorrente das reações no ânodo. Ao término do tratamento, a corrente é interrompida, o ânodo e sua estrutura de suporte são retirados e a superfície é higienizada antes da aplicação do revestimento final.

Embora seja indicada para estruturas expostas apenas a respingos ocasionais de água do mar, a dessalinização não é viável em situações de contato contínuo com a água, nem quando o concreto já apresenta alto grau de deterioração. Durante esse procedimento, os íons livres responsáveis por intensificar a corrosão são submetidos ao processo de migração iônica (SILVA, 2007). Isso ocorre devido ao equilíbrio entre os íons livres e os combinados, onde uma diminuição nos íons livres implica, necessariamente, que os íons sob a forma de compostos se liberem para que o equilíbrio seja restabelecido (SILVA, 2007).

Figura 2 - Evolução da dessalinização



Fonte: Adaptado de Silva, 2007.

Silva (2007) destaca que, na Figura 2, observa-se o movimento dos íons cloreto, de carga negativa, em direção ao ânodo. Ao mesmo tempo, os íons sódio (Na^+) e potássio (K^+), que atuam como contra-íons, migram para a região próxima às armaduras. Essa movimentação favorece a retenção dos íons hidróxido (OH^-), o que possibilita a preservação das condições de passividade após o término do processo.

A realcalinização, segundo Lourenço (2020), é uma técnica que se assemelha à dessalinização por também empregar um método eletroquímico temporário; porém, seu objetivo é restabelecer a alcalinidade do concreto. O procedimento consiste na aplicação de uma corrente contínua entre a armadura, que funciona como cátodo, e uma malha metálica externa, que atua como ânodo, posicionada dentro de um eletrólito. Durante o tratamento, vários fenômenos físico-químicos ocorrem simultaneamente, embora com velocidades distintas. Entre eles estão a geração de íons hidróxido e o transporte eletrosmótico da solução alcalina para o interior do concreto. A produção de OH^- promovida pela corrente elétrica eleva o pH ao redor das armaduras para valores superiores a 13,5. Já a eletrosmose favorece a migração dos íons presentes no eletrólito externo para dentro da estrutura, e, devido ao alto número de transporte desses íons, eles acabam se deslocando ligeiramente para fora da região imediata das armaduras, ampliando assim a zona

reconstituída de alcalinidade. Dessa forma, garante-se a manutenção da passividade por períodos prolongados após a aplicação do tratamento.

Regiões e condições mais suscetíveis à corrosão

Conforme Araruna (2023), o fenômeno da corrosão nas armaduras está diretamente ligado à perda da camada de proteção alcalina natural oferecida pelo concreto, denominada passividade. Essa camada atua como uma barreira tanto física quanto química, dificultando a entrada de agentes agressivos, como o dióxido de carbono (CO_2) e os íons cloreto. Quando esta barreira é rompida, o aço torna-se vulnerável ao processo de oxidação e consequente deterioração.

Para Martins (2022), a falha dessa proteção ocasiona o início de um processo contínuo de degradação, capaz de comprometer a durabilidade e a segurança das estruturas de concreto armado.

Como explica Vagheti (2005), o aço inserido em um meio aquoso, como o existente nos poros do concreto, está sujeito a reações eletroquímicas que envolvem a perda de elétrons (oxidação) e a dissolução metálica. Esse processo se estabelece quando ocorre a ruptura da película passiva de óxidos, que normalmente protege o aço em ambientes de elevada alcalinidade.

Entre os fatores que mais favorecem a corrosão do aço, destacam-se principalmente a carbonatação e a presença de íons cloreto.

Corrosão por carbonatação

A carbonatação é desencadeada por um processo físico-químico que ocorre quando o dióxido de carbono (CO_2) presente no ambiente reage com o hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) existente no concreto (VAGHETTI, 2005). Bazzan (2014) explica que o hidróxido de cálcio é um dos principais produtos liberados durante a hidratação do cimento e desempenha papel essencial na manutenção da elevada alcalinidade típica do concreto.

Essa reação química reduz a reserva alcalina do material, ocasionando a queda do pH da solução que preenche os poros do concreto (VAGHETTI, 2005). Com a diminuição da alcalinidade, a camada passiva que protege as armaduras é rompida, permitindo o início da corrosão.

Embora seja um mecanismo que afeta a durabilidade das estruturas, Helene (1986) ressalta que a carbonatação ocorre de forma lenta e progressiva, apresentando tendência de redução em sua

velocidade ao longo do tempo. Isso se deve à continuidade da hidratação da pasta de cimento, que aumenta a compacidade do concreto, e ao fechamento natural dos poros superficiais. Esses fatores dificultam a penetração do dióxido de carbono à medida que a estrutura envelhece. A evolução da frente de carbonatação pode ser observada na Figura 3.

Figura 3 - Representação do avanço da frente de carbonatação no concreto armado

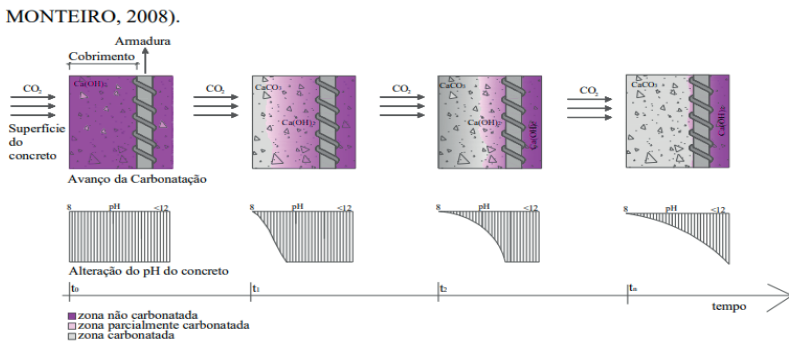


Figura 13: representação do avanço da frente de carbonatação e alteração do pH do concreto no tempo

Fonte: Adaptado de Possan, 2010.

Influência de materiais, cura e concentração de CO_2

O tipo de cura aplicado ao concreto exerce influência no fenômeno da carbonatação, podendo ser ao ar ou úmida. Em estudo de Younsi (2011) sobre a influência do modo de cura na porosidade e carbonatação de concreto com alto teor de cinzas, foi verificado que, após 28 dias, as amostras curadas sob água apresentaram porosidade de 10% a 20% menor do que as armazenadas ao ar. Isso se deve ao fato de que a conservação submersa favorece a hidratação do cimento. Em relação à carbonatação, a cura úmida demonstrou um efeito benéfico, resultando em profundidades de carbonatação de 20% a 50% menores em comparação com a cura ao ar.

Visando reduzir a quantidade de clínquer e, ao mesmo tempo, alcançar desempenho igual ou superior ao do cimento Portland tradicional, diversos estudos têm sido realizados com cimentos que incorporam diferentes tipos de adições. Entre os materiais cimentícios suplementares mais empregados na fabricação desses cimentos mistos

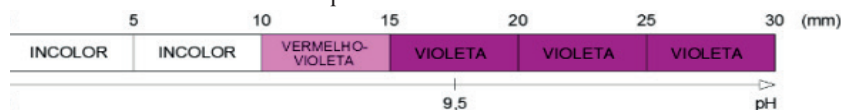
destacam-se a cinza volante e a escória, além de outros como a sílica ativa, o metacaulim, a cinza da casca de arroz e as pozolanas naturais (SHAH; BISHNOI, 2018).

Em pesquisa com ensaios acelerados, Cui et al. (2015) constataram que, sob a mesma idade, a profundidade de carbonatação foi maior em amostras expostas a baixa concentração de (de 2% a 20%) e menor quando as concentrações eram altas (de 50% a 100%). Quando o suprimento de dióxido de carbono é suficiente, os poros da camada mais externa do concreto são preenchidos e obstruídos com partículas, tornando-se menos permeável à difusão do . Por esta razão, não se observa diferença significativa nas profundidades de carbonatação quando as amostras são expostas a concentração de gás superior a 20%.

Diagnóstico e reabilitação pós carbonatação

A profundidade da carbonatação é verificada por meio da aplicação de uma solução aquoso-alcoólica de fenolftaleína em uma área recém-exposta do concreto (GENTIL, 1996). A região não carbonatada (com pH entre 10 e 12,5) adquire uma cor róseo-avermelhada, enquanto a área carbonatada (com pH entre 8,3 e 10) permanece incolor (figura 4). Os indicadores utilizados (fenolftaleína ou timolftaleína) adquirem coloração específica ao entrar em contato com a solução alcalina do concreto, rica em hidróxido de cálcio, modificando sua cor de acordo com o valor do pH (GONÇALVES, 2015; CASCUDO; CARASEK, 2011).

Figura 4 - Escala de coloração obtida a partir dos ensaios com fenolftaleína aplicados ao concreto



Fonte: Adaptado de Rodrigues e Junior, 2019.

Pesquisas científicas também têm buscado compreender os fatores que influenciam a taxa de realcalinização, considerando aspectos como o tipo de eletrólito utilizado e as características do concreto a ser restaurado. Em um estudo que avaliou a eficiência de três eletrólitos (e na repassivação das armaduras, por meio de ensaios eletroquímicos (potencial de corrosão e) observou-se que o eletrólito à

base de proporcionou a melhor recuperação do filme passivo em todas as combinações de concretos testadas, seguido pelo e, posteriormente, pelo (ARAÚJO, 2009).

Corrosão por cloretos em ambientes litorâneos

A água do mar possui cerca de 3,4% de cloreto de sódio e apresenta leve alcalinidade, com pH em torno de 8. Por ser um eletrólito eficiente, pode favorecer processos de corrosão galvânica. Esse processo é influenciado pela disponibilidade de oxigênio, pela movimentação e temperatura da água e também pela presença de organismos biológicos (Tavares, 2006).

Nessas regiões de clima litorâneo, as estruturas de concreto armado apresentam maior suscetibilidade à corrosão, principalmente em virtude da elevada umidade relativa do ar e da constante presença de partículas salinas. Tais condições criam um ambiente propício à degradação do concreto e à oxidação das armaduras.

- **Ação da Maresia:** Segundo Lima (2016), a maresia é uma névoa fina e úmida composta por minúsculas gotículas de água do mar em suspensão no ar, formadas a partir do impacto das ondas. Por conter sais dissolvidos, essa névoa acelera o processo de ferrugem em materiais metálicos e em estruturas de concreto armado, reduzindo sua durabilidade.
- **Processo de Oxidação:** Como explica Lima (2016), o fenômeno da ferrugem ocorre quando os átomos de ferro reagem com o oxigênio presente no ar, em uma reação de oxidação. A presença de sais provenientes da maresia intensifica essa reação, pois aumenta a condutividade elétrica do meio, favorecendo o transporte de elétrons e acelerando a corrosão.
- **Penetração dos Cloretos:** Segundo o mesmo autor, em regiões litorâneas, os sais de magnésio, sulfatos e cloretos constituem os principais agentes de degradação. Entre eles, os íons cloreto se destacam por apresentarem alta mobilidade na matriz do concreto, o que favorece sua infiltração e acelera a corrosão das armaduras. Carregados pelo vento, esses sais podem se acumular na superfície do concreto e, ao adentrarem a estrutura, elevam a condutividade do eletrólito, intensificando o processo corrosivo.
- **Corrosão Puntiforme:** Os íons cloreto, ao atingirem as armaduras, rompem a camada passiva de proteção do aço, originando pontos localizados de corrosão de elevada periculosidade. De

acordo com Medeiros e Helene (2003), a presença desses íons no interior do concreto aumenta a condutividade elétrica do meio, favorecendo o desenvolvimento de ataques pontuais que reduzem a seção resistente das barras de aço e comprometem a integridade estrutural do elemento.

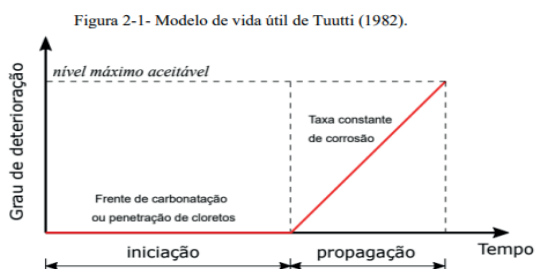
Vida Útil de Projeto (VUP) e modelo de Tuutti

Para compreender a deterioração de estruturas de concreto armado decorrente da corrosão das armaduras, pode-se recorrer ao modelo proposto por Tuutti (1982), amplamente reconhecido e aplicado na área da engenharia estrutural. Segundo o autor, a vida útil da estrutura exposta à corrosão divide-se em dois períodos: o de iniciação e o de propagação (Figura 5).

O primeiro corresponde ao tempo necessário para que os agentes agressivos atinjam a armadura em concentração suficiente para despassivar o aço, sendo influenciado por fatores como cobrimento inadequado, baixa qualidade do concreto, deficiências de cura e presença de fissuras. O segundo período tem início após a despassivação, quando o aço passa a sofrer perda de seção e conseqüente redução da capacidade resistente. Nesse estágio, formam-se produtos de corrosão com volume maior que o material original, o que gera fissuras e, posteriormente, o destacamento do concreto, caracterizando o fim da vida útil (SILVA, 2023).

Figura 5 – Modelo de vida útil de Tuutti (1982)

A fim de compreender o processo de corrosão em armaduras durante a vida útil de estruturas de concreto armado, Tuutti (1982) propôs um modelo simples que se tornou amplamente utilizado no meio técnico. Nesse modelo, a vida útil da estrutura submetida à corrosão é dividida em dois períodos, iniciação e propagação (Figura 2-1).



Fonte: Souza (2021).

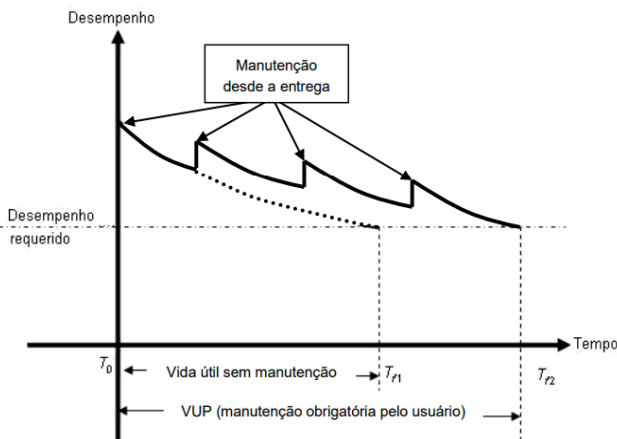
Fonte: Adaptado de Silva, 2023.

Em consonância com essa concepção, a NBR 15575-1 (2024) define Vida Útil (VU) como o período em que a edificação e/ou seus sistemas conseguem desempenhar as atividades para as quais foram projetados, atendendo aos níveis de desempenho estabelecidos pela norma, desde que sejam cumpridos os procedimentos de manutenção previstos. Já a Vida Útil de Projeto (VUP) é apresentada pela NBR 15575-1 (ABNT, 2024, item 3.101) como:

Período estimado de tempo para o qual um sistema é projetado, a fim de atender aos requisitos de desempenho estabelecidos nesta Norma, considerando o atendimento aos requisitos das normas aplicáveis, o estágio do conhecimento no momento do projeto e supondo o atendimento da periodicidade e correta execução dos processos de manutenção especificados no respectivo manual de uso, operação e manutenção (a VUP não pode ser confundida com o tempo de vida útil, durabilidade, e prazo de garantia).

A norma ainda reforça que a VUP constitui apenas uma previsão teórica, cuja confirmação depende diretamente das condições reais de uso da edificação e da adequada execução das manutenções ao longo do tempo, não devendo ser confundida com durabilidade, vida útil efetiva ou prazos de garantia.

Figura 6 – Avaliação da Vida Útil de Projeto com e sem realização de manutenções periódicas



Fonte: Adaptado da NBR 15575-1 (2024).

Segundo Nascimento (2021), quando as manutenções periódicas não são realizadas, torna-se praticamente inviável atingir a VUP estabelecida em projeto, pois as estruturas de concreto não possuem caráter eterno ou indestrutível. Assim como qualquer outro material, necessitam de intervenções sistemáticas para preservar suas características e seu desempenho ao longo do tempo. A ausência dessas ações preventivas favorece o aparecimento de manifestações patológicas que, por vezes, são interpretadas de forma equivocada como falhas executivas, quando, na realidade, resultam do uso inadequado e da negligência em relação à manutenção.

Medidas preventivas e manutenção estrutural

A durabilidade das estruturas de concreto armado é diretamente condicionada ao atendimento dos requisitos de durabilidade estabelecidos pela NBR 6118 (2023), os quais visam assegurar a Vida Útil de Projeto (VUP) da edificação. Para que esse objetivo seja alcançado, é indispensável a adoção de medidas preventivas desde a concepção do projeto até a fase de uso e manutenção da estrutura.

Nesse contexto, a ABNT NBR 14037:2014 – Diretrizes para elaboração de manuais de uso, operação e manutenção das edificações estabelece que o Manual de Uso, Operação e Manutenção é o documento essencial que orienta o proprietário e os usuários quanto às atividades necessárias à conservação da edificação. Esse manual deve detalhar as tarefas de manutenção, sua periodicidade e forma de execução, garantindo o desempenho e a segurança da estrutura ao longo do tempo.

Complementarmente, a ABNT NBR 5674:2012 – Manutenção de edificações – Requisitos para gestão e planejamento define os critérios para a organização e o planejamento das atividades de manutenção. A norma determina a elaboração de um Programa de Manutenção, que deve ser executado de forma sistemática e com base em inspeções periódicas abrangendo todos os sistemas construtivos. O objetivo principal é preservar o desempenho original da edificação e prevenir a degradação precoce de seus elementos estruturais.

Além das ações de manutenção e gestão, as medidas preventivas adotadas ainda na fase de projeto são fundamentais para garantir a durabilidade da estrutura. Entre elas, destaca-se o dimensionamento adequado do cobrimento das armaduras, conforme estabelece a NBR

6118 (2023), essa camada de concreto atua como barreira de proteção contra a penetração de agentes agressivos, garantindo a manutenção da passividade do aço e contribuindo diretamente para a durabilidade da estrutura.

Tabela 1 - Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $\Delta c = 10$ mm

Tabela 7.2 – Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $\Delta c = 10$ mm

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ^c
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga ^b /pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ^d	30		40	50
Concreto protendido ^a	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

^a Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

^b Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

^c Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

^d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

Fonte: Tabela 7.2. da NBR 6118:2023 - Projetos de estruturas de concreto

A espessura dessa camada é determinada de acordo com a Classe de Agressividade Ambiental (CAA) a que a edificação estará exposta. Em regiões litorâneas, geralmente classificadas como CAA II e III, a norma estabelece cobrimentos nominais mínimos de 40 mm para pilares e vigas e de 35 mm para lajes, conforme apresentado na Tabela 1.

De acordo com Oliveira (2014), o cobrimento exerce papel fundamental na proteção das armaduras, funcionando como uma camada de impermeabilização que reduz a difusão de substâncias agressivas, como dióxido de carbono e íons cloreto, principais agentes responsáveis pelos processos de corrosão no concreto armado. O autor ressalta ainda que, sempre que possível, é recomendável adotar valores de cobrimento ligeiramente superiores aos mínimos normativos,

desde que isso não comprometa o desempenho nem acarrete custos excessivos.

Tecnologias de concreto para durabilidade: Relação água/cimento e adições minerais

O principal mecanismo para garantir a durabilidade do concreto e, conseqüentemente, a proteção da armadura contra a corrosão é o controle de sua permeabilidade, que está intrinsecamente ligada à relação água/cimento (*a/c*). A permeabilidade elevada permite o ingresso facilitado de agentes agressivos no interior do concreto. Nesse sentido, a NBR 6118 (2023) estabelece limites máximos para o fator *a/c* conforme a Classe de Agressividade Ambiental (CAA), reconhecendo que a redução deste fator é a medida mais eficiente para aumentar a compacidade do concreto, dificultando a penetração de agentes agressores.

A pesquisa realizada por Medeiros et al. (2017) analisou de forma direta como diferentes relações água/cimento (0,43; 0,50 e 0,59) influenciam o potencial de corrosão das armaduras. Os autores observaram que, em ambientes com presença de cloretos, os concretos com maior relação *a/c* (0,59) apresentaram potenciais significativamente mais negativos, indicando maior tendência à corrosão ativa, quando comparados aos concretos com relação *a/c* mais baixa (0,43). Esses achados demonstram que concretos produzidos com menor fator *a/c* apresentam porosidade reduzida e, por consequência, maior capacidade de resistir à penetração de íons cloreto. Tal propriedade retarda a chegada desses íons à armadura, prolongando o período de iniciação da corrosão e contribuindo para o aumento da vida útil da estrutura.

Para otimizar ainda mais a durabilidade em ambientes de alta agressividade, é recomendada a utilização de adições minerais ao cimento, que modificam e refinam a microestrutura da matriz cimentícia. Entre os materiais de alta reatividade empregados, destacam-se a sílica ativa e o metacaulim. Esses compostos são incorporados na dosagem do concreto para elevar a quantidade total de aglomerante, melhorando as propriedades de transporte de massa (MEDEIROS, RAISDORFER E HOPPE FILHO, 2017).

A inclusão dessas adições promove o refinamento dos poros e um aumento significativo da compacidade do concreto. Estruturas cimentícias mais compactas e com menor absorção apresentam maior

resistência à penetração de substâncias externas. Embora Medeiros, Raisdorfer e Hoppe Filho (2017) tenham focado a pesquisa na velocidade de carbonatação, a melhoria microestrutural proporcionada pela sílica ativa e pelo metacaolim é um fator que beneficia a durabilidade de maneira geral, sendo essencial para garantir um revestimento de maior qualidade e eficiência contra a difusão de cloretos em regiões litorâneas (CAA III e IV).

Tratamento e recuperação de estruturas corroídas

Investigação e diagnóstico

Antes de implementar qualquer intervenção de reparo ou reforço estrutural, torna-se essencial realizar uma investigação minuciosa da edificação. Essa etapa busca reconstruir a “memória da obra”, reunindo informações sobre os projetos originais, as especificações dos materiais utilizados e as resistências previstas em projeto. Além disso, é necessário comparar o estado atual da estrutura com as condições inicialmente estabelecidas, a fim de compreender seu comportamento real (REIS, 2001).

De acordo com Reis (2001), o diagnóstico técnico deve englobar inspeções e ensaios que permitam determinar o nível de deterioração e identificar as origens das manifestações patológicas. Entre os métodos mais utilizados estão a verificação da profundidade de carbonatação, a análise dos teores de cloretos e sulfatos, a extração de corpos de prova de concreto e amostras de armaduras, além do mapeamento de potenciais elétricos, técnica empregada para localizar áreas com corrosão ativa.

Tipos e etapas de intervenção

As intervenções destinadas à recuperação de estruturas corroídas podem ser classificadas em métodos tradicionais e não tradicionais.

Os processos tradicionais envolvem a remoção do concreto deteriorado, a limpeza mecânica da corrosão presente nas armaduras, tratamento e a posterior recomposição do volume removido. Já as técnicas não tradicionais utilizam abordagens químicas ou eletroquímicas, com o propósito de interromper o processo corrosivo e restabelecer a condição de passividade do aço (OLIVEIRA et al., 2017).

A execução da intervenção, especialmente quando se utiliza o método tradicional, inicia-se com a remoção criteriosa do concreto

comprometido. É importante salientar que a retirada excessiva ou simultânea em diversos pontos pode comprometer a estabilidade estrutural, sendo imprescindível o acompanhamento de um engenheiro responsável (MARQUES, 2015).

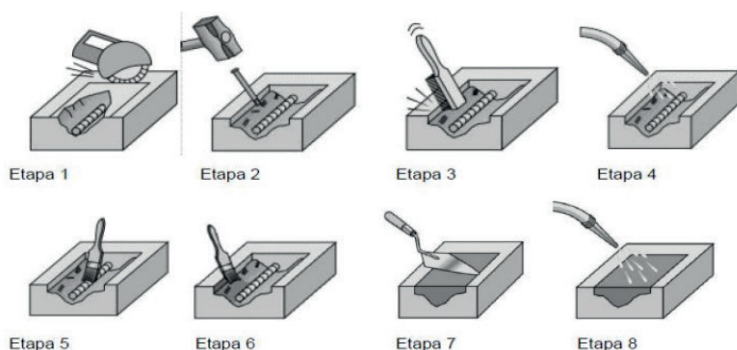
Nos casos em que há contaminação por cloretos ou carbonatação, a remoção pode ser realizada por escarificação, jateamento ou hidrojateamento, sendo esta última técnica vantajosa por auxiliar na lixiviação de sais, contribuindo para a descontaminação do concreto remanescente (REIS, 2001).

Tratamento da armadura e seleção de materiais

Após a limpeza mecânica das armaduras, recomenda-se a aplicação de inibidores de corrosão antes da recomposição da seção, a fim de criar uma barreira protetora adicional (MARQUES, 2015). Essas substâncias químicas são aplicadas na superfície do concreto e migram até as armaduras, atuando principalmente por meio de três mecanismos: Formação de uma barreira física protetora; repassivação da superfície metálica oxidada; e modificação das propriedades químicas do meio ao redor do aço (OLIVEIRA et al., 2017). Na figura 7, é possível observar como funciona o processo de tratamento da armadura por etapas.

Como alternativa de proteção localizada, podem ser utilizadas pastilhas anódicas, geralmente compostas por zinco, que funcionam como ânodos de sacrifício, promovendo proteção eletroquímica temporária nas regiões mais suscetíveis (MARQUES, 2015).

Figura 7 – Etapas do processo de tratamento estrutural de armadura pós corrosão



Fonte: Medeiros (2013)

A escolha do material e da técnica de correção deve estar alinhada ao diagnóstico realizado e às condições de uso da estrutura. De acordo com Helene (1992), quando há necessidade de rápida liberação da estrutura para uso, recomenda-se o emprego de sistemas à base de epóxi ou poliéster; em intervenções com prazos intermediários, é adequado o uso de argamassas ou grautes de base mineral; para condições normais de solicitação e prazos de cura superiores a 28 dias, podem ser utilizados argamassas e concretos convencionais devidamente dosados.

Embora existam métodos mais sofisticados, como a remoção eletroquímica de cloretos, sua aplicação prática ainda é limitada por fatores de custo e complexidade operacional em canteiros de obras (REIS, 2001).

Conclusão

A partir da análise desenvolvida, foi possível compreender de forma aprofundada os fatores que contribuem para o surgimento e o avanço da corrosão em estruturas de concreto armado, identificando-a como uma das principais causas de deterioração e perda de desempenho das edificações. Essa compreensão foi fortalecida à medida que, ao longo do trabalho, tornou-se possível identificar claramente os elementos que favorecem o início da corrosão, as circunstâncias que intensificam seu avanço e a forma como essas condições se manifestam, atendendo ao propósito estabelecido no desenvolvimento dessa pesquisa.

A aplicação dos ensaios de esclerometria e carbonatação possibilita obter uma avaliação quantitativa e qualitativa mais precisa do estado de degradação do concreto. Esses resultados permitem consolidar a relação entre o que se encontra em campo e os parâmetros normativos e conceituais estudados, fortalecendo a interpretação técnica do diagnóstico.

A análise detalhada das condições observadas permitiu identificar como causas prováveis a ausência de manutenção preventiva, o uso de cobrimentos abaixo dos valores normativos e falhas construtivas associadas ao adensamento inadequado do concreto. Essa correlação entre as manifestações constatadas e os fatores construtivos e de manutenção permitiu aprofundar a compreensão das origens das patologias, evidenciando a importância de um ciclo adequado de projeto, execução e conservação. A comparação com os critérios técnicos reforçou ainda mais essa leitura, mostrando como a aderência às normas influencia diretamente a durabilidade das estruturas.

Com base nas constatações levantadas, destaca-se a necessidade da elaboração de um projeto de manutenção e recuperação estrutural abrangente, que inclua a remoção do concreto deteriorado, a limpeza e o tratamento das armaduras, a recomposição das seções com materiais de baixa permeabilidade e a substituição das barras comprometidas pela corrosão severa. Além disso, recomenda-se a aplicação de sistemas de proteção superficial e a implantação de um plano contínuo de manutenção periódica, conforme previsto na NBR 5674 (2012).

Em síntese, o estudo permitiu compreender, de forma integrada, os fatores que desencadeiam a corrosão, as causas ligadas ao desempenho estrutural e às etapas construtivas, bem como a conexão entre os achados obtidos no caso analisado e os fundamentos técnicos e normativos. Dessa forma, o trabalho alcança seu propósito ao mostrar, na prática, como esses elementos se relacionam e se traduzem em manifestações patológicas concretas, contribuindo para diagnósticos mais precisos e intervenções mais eficazes.

Reafirma-se que a durabilidade e o desempenho das estruturas de concreto armado dependem da integração eficiente entre as etapas de concepção, execução e conservação. A negligência em qualquer uma dessas fases compromete significativamente a vida útil da edificação, sobretudo em ambientes litorâneos, onde a agressividade ambiental é elevada. Assim, este trabalho contribui para a reflexão sobre a importância das medidas preventivas, da manutenção periódica e da observância rigorosa das normas técnicas, como instrumentos fundamentais para garantir a segurança, a funcionalidade e a longevidade das construções.

REFERÊNCIAS

ARARUNA, Júlio César Messias. **Prevenção e recuperação de estruturas de concreto armado submetidas ao processo de corrosão da armadura: revisão de literatura.** Revista Principia, v. 60, n. 4, p. 1339-1358, 2023.

ARAÚJO, Andre Lucas Rocha de; SILVA, Natacha Stephany Sousa da. **Desenvolvimento de uma câmara de Névoa salina para simulação e análise da ação da maresia na região litorânea da cidade de São Luís-projeto de viabilidade da implementação do**

primeiro laboratório de corrosão da Universidade Estadual do Maranhão. São Luís, 2019.

ARAÚJO, F.W.C., **Estudo da repassivação da armadura em concretos carbonatados através da técnica de realcalinização química**, Tese de D.Sc., Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7584: Concreto endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão.** Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento.** Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14037: Diretrizes para elaboração de projetos de edificações – arquitetura.** Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1: Edificações habitacionais – Desempenho - parte 1: Requisitos gerais.** Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16747: Acessibilidade em edificações – diretrizes, requisitos e procedimentos.** Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5674: Manutenção de edificações - Requisitos para o sistema de gestão de manutenção.** Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento.** Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7680-1: Concreto - Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto**

Parte 1: Resistência à compressão axial. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9452: Inspeção de pontes, viadutos e passarelas - Procedimento.** Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

BARRETTO, Tatiana Conceição Machado; DA SILVA PARENTE, Igor Machado. **Distintas formas de corrosão das armaduras de estruturas em concreto armado: uma revisão.** 2018.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Fundamentos do concreto armado.** Bauru: Unesp, 2006.

BAZZAN, Giselle Christine da Graça. **Análise do cobrimento e carbonatação em obras de arte especiais no estado de São Paulo.** São Paulo, 2014.

BOLINA, Fabricio Longhi. **Mecanismos químicos de deterioração das estruturas de concreto armado.** Engenharia estrutural: design, análise e inovações tecnológicas. Editora Científica Digital, 2025. p. 8-24.

C.J., Escobar, D.A. Cruz, G. Fabro. **Avaliation of Concrete Rebound Hammer Performance of the tests with Hardened Concrete.** ANAIS DO 50º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO – CBC, 2008.

CARMONA, Thomas Garcia. **Modelos de previsão da despassivação das armaduras em estruturas de concreto sujeitas à carbonatação.** Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

CASCUDO O., CARASEK H. (2011), **Concreto: Ciência e Tecnologia**, v. 1, Ipsilon, São Paulo, cap. 24, p. 849-885.

CASCUDO, O, **O controle da corrosão de armaduras em concreto – inspeção e técnicas eletroquímicas.** Goiânia, GO: Editora UFG, 1997. 237p.

CPC-18. Medição da profundidade de carbonatação do concreto endurecido. Materiais e Estruturas, 453–455 (1988).

DUTRA, Evandro Rocha et al. **Manifestação patológicas: fissuras causas/ diagnósticos/ recuperação.** 2017.

FÉLIX, Emerson Felipe et al. **Análise da vida útil de estruturas de concreto armado sob ação da corrosão utilizando um modelo com redes neurais artificiais acoplado ao método dos elementos finitos.** Anais. Asunción, Paraguay: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2017.

FELIX, Emerson Felipe; CARRAZEDO, Rogério. **Análise probabilística da vida útil de lajes de concreto armado sujeitas à corrosão por carbonatação via simulação de Monte Carlo.** Matéria (Rio de Janeiro), v. 26, p. e13043, 2021.

FERREIRA, Jackeline Batista et al. **Manifestações patológicas na construção civil.** Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-SERGIPE, v. 5, n. 1, p. 71-71, 2018.

GONÇALVES, E. A. B. **Estudo de patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado de obras de edificações.** Rio de Janeiro: UFRJ, 2015.

GROSSI, Marcus Vinícius Fernandes. **Análise de um edifício em concreto armado com problemas de corrosão de armaduras.** 2º Simpósio Paranaense de Patologia das Construções (2º SPPC), p. 34-47, 2017.

HELENE, P. R. L. **Manual para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto.** 2 ed. São Paulo: Ed. Pini, 1992. p. 10-28.

HELENE. P.R.L. **Corrosão em armaduras para concreto armado.** São Paulo. PINI/IPIT, 1986.

J.J.O. López, L.V. Reyes, C.O.Vera. **Structural health assessment of a R/C building in the coastal area of Concepción, Chile.** Procedia Engineering 199 (2017) 2214–2219.

LIMA, N. M.V.,Neto, A. C.N.,Nascimento, M. L. M. & Sena, G. O. **Patologia das Construções**. 2B Educação. 2020.

LIMA, Sandovânio Ferreira et al. **Cuidados ao construir em áreas litorâneas**. Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-ALAGOAS, v. 3, n. 3, p. 83-83, 2016.

LOTTERMANN, A. **Patologias em estruturas de concreto: Estudo de caso**. (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado de Rio Grande do Sul), 2013.

LOURENÇO, M. Zita. **Uso de técnicas eletroquímicas para a reabilitação de estruturas**. 2020.

MARQUES, Vinícius Silveira. **Recuperação de estruturas submetidas à corrosão de armaduras: definição das variáveis que interferem no custo**. 2015.

MARTINS, D. K. G. **Corrosão de armaduras em concreto armado**. Construindo, Belo Horizonte, v. 14, p. 33-50, 2022.

MATILDES, C.M. **Concreto armado e suas patologias**. Fortaleza-CE. Edição 225. v.10. Ano, 2022.

MEDEIROS, Marcelo H. F. **Corrosão do concreto é causada por umidade e gases nocivos**. Revista digital AECweb, Brasília. 2013. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/revista/materias/corrosao-do-concreto-e-causada-por-umidade-e-gases-nocivos/6412>. Acesso em: 06 de outubro de 2025.

MEDEIROS, Marcelo Henrique Farias de; HELENE, Paulo RL. **Migração de ions cloretos no concreto-influência da consistência, relação água/cimento e consumo de cimento**. Revista Ibracon, v. 11, n. 32, p. 53-66, 2003.

MEDEIROS, Marcelo HF et al. **Potencial de corrosão: influência da umidade, relação água/cimento, teor de cloretos e cobrimento**. Revista IBRACON de estruturas e materiais, v. 10, p. 864-885, 2017.

MORAIS, J.M.P., SILVA, A.M., BARBOZA, E.N., SILVA, E.M.; OLIVEIRA, B.B. **Análise de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado: uma revisão.** Research, Society and Development, 9(7): 1-32, 2020.

MOURA, Cintya Luana de O. **Medidas de potencial de corrosão de armaduras de reforço no concreto armado de construções na cidade de Mossoró/RN.** Mossoró, 2021.

NUNES, Sarah Victorya Bernardes; GREGÓRIO, Thamyris Moreira. **Análise de manifestações patológicas em uma estrutura de concreto armado: um estudo de caso em uma instituição de ensino.** 2024.

OLIVEIRA, André Batista. **Cobrimento de Armaduras de Estruturas de Concreto Armado: levantamento de critérios adotados na utilização de espaçadores.** 2014.

OLIVEIRA, Fábio; OLIVEIRA, Flávio; ARAËJO, Wendell. **Avaliação e Recuperação de Estrutura de Concreto Armado: Um Estudo de Caso.** In: Conferência nacional de patologia e recuperação de estruturas. 2017. p. 1-14.

FELIX, Emerson Felipe et al. **Análise da vida útil de estruturas de concreto armado sob a ação da corrosão uniforme por meio de um modelo com RNA acoplado ao MEF.** Revista Alconpat, v. 8, n. 1, p. 1-15, 2018.

POSSAN, E. **Modelagem da carbonatação e previsão de vida útil de estruturas de concreto em ambiente urbano.** Universidade Federal do Rio Grande do sul, 2010.

REIS, Lilia Silveira Nogueira. **Sobre a recuperação e reforço das estruturas de concreto armado.** 2001.

REZENDE, Michel Fernando; MAIRINK, Carlos Henrique Passos. **Manifestações patológicas em edificações litorâneas.** PARAMÉTRICA, v. 16, n. 2, 2024.

RIBEIRO, D.V. **Influência da Adição da Lama Vermelha nas propriedades e na corrosibilidade do concreto armado.** Tese de Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2010. 260 p.

RIBEIRO, Daniel Vêras. **Corrosão e Degradação em Estruturas de Concreto: Teoria, controle e técnicas de análise e intervenção.** 2.ed. Rio de Janeiro: GEN, 2020. p.351-370.

RODRIGUES, Lucas Albuquerque; JUNIOR, Adilson Côrte Souza. **Carbonatação em estruturas de concreto.** Revista Eletrônica da Faculdade de Alta Floresta, v. 8, n. 1, p. 90-107, 2019.

SILVA, J. M. M. F. **Métodos electroquímicos para prevenção da deterioração e reparação de estruturas de betão armado: protecção catódica, dessalinização e realcalinização.** Lisboa, 2007.

SILVA, Ray Calazans dos Santos. **Análise tridimensional multifísica da difusão de cloretos em estruturas de concreto armado: uma abordagem pelo método dos elementos finitos.** 2023. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SOUZA, DIEGO JESUS et al. **Obtenção da resistência à compressão do concreto de viadutos localizados na região de Curitiba por métodos de ensaios não destrutíveis: esclerometria e ultrassom.** 44ª Reunião Anual de Pavimentação e 18º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária, 2015.

TORRES, A. S. **Corrosão por cloreto em estruturas de concreto armado: uma meta análise.** (Tese de doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

VAGHETTI, Marcos Alberto Oss. **Estudo da corrosão do aço, induzida por carbonatação, em concretos com adições minerais.** 2005.

IMPLANTAÇÃO DO PLANO DE RIGGING NA CONSTRUÇÃO CIVIL: CONTRIBUIÇÕES DA NR-18 PARA A SEGURANÇA EM OPERAÇÕES DE IÇAMENTO

Manoel Guterlam Araujo dos Reis Junior

Maria Amália Trindade de Castro
mariacastro@professor.uema.br

Introdução

A implantação do Plano de *Rigging* na construção civil insere-se no contexto da crescente complexidade das operações de içamento de cargas em obras de pequeno, médio e grande porte. O uso de guindastes, gruas, muncks e outros equipamentos de elevação tornou-se indispensável para atender às exigências de produtividade, prazos reduzidos e execução de estruturas cada vez mais robustas. Entretanto, essas operações envolvem riscos elevados, uma vez que falhas no planejamento, na escolha dos equipamentos ou na capacitação da equipe podem resultar em acidentes graves, danos materiais e perdas humanas (Rocha *et al.*, 2019).

Nesse cenário, o mesmo surge como uma ferramenta técnica essencial, pois sistematiza o levantamento prévio das condições da operação, contemplando cálculos de carga, análise do terreno, definição de acessórios, rotas de movimentação e responsabilidades dos envolvidos (Paiva, 2022).

Associado a esse planejamento, a Norma Regulamentadora nº 18 (NR-18) desempenha papel fundamental ao estabelecer diretrizes voltadas à segurança e à saúde dos trabalhadores da construção civil. A norma reforça a necessidade de controle rigoroso das operações de içamento e movimentação de materiais, exigindo medidas preventivas, procedimentos operacionais e a atuação de profissionais qualificados (Quesado *et al.*, 2020).

A integração entre o Plano de *Rigging* e a NR-18 contribui para a padronização das práticas de segurança, promovendo uma cultura organizacional baseada na prevenção de acidentes e no cumprimento

da legislação trabalhista. Dessa forma, o planejamento técnico aliado às exigências normativas torna-se um elemento estratégico para a gestão segura das obras.

A pergunta-problema deste é: “De que forma a implantação do Plano de *Rigging*, em conformidade com a NR-18, contribui para o aumento da segurança e para a redução de riscos e acidentes nas operações de içamento na construção civil?”. Sendo objetivo geral analisar a importância da implantação do plano na construção civil, evidenciando suas contribuições para a segurança das operações de içamento à luz das diretrizes estabelecidas pela NR-18, com foco na prevenção de acidentes e na conformidade com as normas de segurança do trabalho.

A metodologia adotada neste estudo caracteriza-se como uma revisão de literatura de natureza qualitativa e exploratória, com o objetivo de compreender e analisar as contribuições da implantação do Plano de *Rigging* para a segurança nas operações de içamento na construção civil, à luz da NR-18.

PLANO DE RIGGING NA CONSTRUÇÃO CIVIL: CONCEITOS, ETAPAS E APLICAÇÃO PRÁTICA

O Plano de *Rigging* na construção civil constitui um instrumento técnico fundamental para o planejamento e a execução segura das operações de içamento e movimentação de cargas. Trata-se de um documento elaborado previamente, que reúne informações detalhadas sobre a carga a ser movimentada, os equipamentos de elevação, os acessórios de amarração e as condições do ambiente de trabalho. Sua adoção visa garantir que todas as etapas do içamento sejam executadas de forma controlada, reduzindo riscos de acidentes, falhas operacionais e danos materiais, além de assegurar a integridade física dos trabalhadores envolvidos (Araújo, 2025; Paiva, 2022)

No contexto das obras, ele ganha relevância diante da diversidade de cargas e da complexidade estrutural dos empreendimentos. Elementos pré-moldados, estruturas metálicas, equipamentos pesados e materiais de grandes dimensões exigem um planejamento criterioso, pois qualquer erro pode resultar em consequências graves. Assim, o plano funciona como uma ferramenta de gestão do risco, ao antecipar possíveis falhas e estabelecer procedimentos claros para a execução das atividades de içamento, alinhando-se às boas práticas de segurança do trabalho (Siqueira, 2024).

Entre os conceitos centrais destaca-se a análise detalhada da carga, que envolve a identificação do peso real, do centro de gravidade e das dimensões do objeto a ser içado. Esses fatores são determinantes para a escolha adequada do equipamento de elevação e dos acessórios, como cabos de aço, cintas, manilhas e ganchos. O desconhecimento ou a estimativa incorreta dessas informações pode comprometer toda a operação, tornando imprescindível a precisão técnica nessa etapa do planejamento (Junior *et al.*, 2019).

As etapas de elaboração do mesmo, detalhadas no quadro 1, iniciam-se com o levantamento das condições do local da obra, incluindo análise do solo, interferências físicas, proximidade de redes elétricas e circulação de pessoas. Em seguida, define-se o equipamento mais apropriado para a operação, considerando sua capacidade nominal, alcance, raio de trabalho e limitações operacionais. Essa etapa é essencial para evitar sobrecargas e garantir que o equipamento opere dentro dos limites de segurança estabelecidos pelos fabricantes e pelas normas técnicas (Junior *et al.*, 2019).

Outro aspecto relevante refere-se à definição dos métodos de amarração e içamento da carga. A escolha do tipo de amarração deve levar em conta a geometria do objeto, os pontos de pega e a distribuição das forças durante o içamento. Além disso, o plano deve especificar o posicionamento dos trabalhadores, os sinais de comunicação e os procedimentos de emergência, assegurando que todos os envolvidos compreendam suas funções e atuem de forma coordenada (Silva, 2024).

Quadro 1 - Etapas para a Elaboração e Aplicação do Plano de Rigging na Construção Civil

Etapa	Descrição
1. Análise da carga	Identificação do peso real, dimensões e centro de gravidade da carga a ser içada, garantindo precisão técnica para o planejamento e evitando estimativas incorretas que possam comprometer a segurança da operação.
2. Levantamento das condições do local	Avaliação do ambiente da obra, incluindo análise do solo, presença de interferências físicas, proximidade de redes elétricas, circulação de pessoas e condições climáticas que possam impactar o içamento.

Etapa	Descrição
3. Seleção do equipamento de elevação	Definição do guindaste ou equipamento adequado, considerando capacidade nominal, raio de operação, alcance da lança e limitações operacionais, assegurando operação dentro dos limites de segurança.
4. Escolha dos acessórios de amarração	Seleção de cabos de aço, cintas, manilhas, ganchos e demais acessórios compatíveis com a carga, respeitando a geometria do objeto e a distribuição correta das forças durante o içamento.
5. Definição do método de amarração e içamento	Estabelecimento dos pontos de pega, tipo de amarração, sequência de içamento e posicionamento da carga, garantindo estabilidade e controle durante toda a operação.
6. Planejamento operacional	Elaboração da memória de cálculo, definição da sequência das atividades, posicionamento dos trabalhadores, áreas de isolamento e rotas de movimentação da carga.
7. Comunicação e sinalização	Definição dos sinais de comunicação entre operador, sinaleiro e equipe de apoio, bem como procedimentos de emergência e contingência.
8. Capacitação e briefing da equipe	Orientação prévia dos trabalhadores envolvidos, esclarecendo funções, responsabilidades, uso de EPIs e procedimentos de segurança antes do início da operação.
9. Execução e supervisão	Realização do içamento conforme o plano elaborado, com acompanhamento de profissionais qualificados para assegurar o cumprimento das etapas previstas.
10. Monitoramento e revisão do plano	Avaliação contínua da operação e atualização do plano sempre que houver alterações nas condições da obra, da carga ou dos equipamentos, mantendo o caráter preventivo do documento.

Fonte: autoria própria (2026).

A aplicação prática demanda a participação de profissionais qualificados, como engenheiros, técnicos de segurança e operadores devidamente capacitados. Esses profissionais são responsáveis por

elaborar, validar e supervisionar a execução do plano, garantindo que as condições previstas sejam respeitadas durante a operação. A capacitação da equipe é um fator determinante para o sucesso do plano, pois a interpretação correta das orientações e o cumprimento dos procedimentos estabelecidos contribuem para a redução de erros humanos (Junior *et al.*, 2019; Silva, 2024).

Além disso, o mesmo deve ser entendido como um documento dinâmico, passível de revisão sempre que houver alterações nas condições da obra ou nas características da carga. Mudanças no layout do canteiro, variações climáticas ou substituição de equipamentos exigem a reavaliação do planejamento, reforçando o caráter preventivo do plano. Essa flexibilidade permite que o documento se mantenha atualizado e adequado à realidade da operação, evitando improvisações (Junior *et al.*, 2019; Silva, 2024).

NR-18 E SEGURANÇA NAS OPERAÇÕES DE IÇAMENTO

A Norma Regulamentadora nº 18 (NR-18) estabelece medidas de controle e sistemas preventivos de segurança voltados especificamente às atividades desenvolvidas na indústria da construção (Brasil, 2020). Seu objetivo central é garantir condições de trabalho seguras e saudáveis, considerando os riscos inerentes às diferentes etapas da obra, entre elas as operações de içamento e movimentação de cargas. Essas atividades são reconhecidas como de alto risco, exigindo planejamento, supervisão e adoção de procedimentos rigorosos para evitar acidentes graves e fatais (Rodrigues, 2024).

No que se refere às operações de içamento, a NR-18 enfatiza a necessidade de utilização de equipamentos adequados e em perfeitas condições de funcionamento. A norma determina que guindastes, gruas, elevadores e demais dispositivos de elevação passem por inspeções periódicas e manutenção regular, conforme orientações dos fabricantes e das normas técnicas aplicáveis. Essa exigência busca prevenir falhas mecânicas que possam comprometer a segurança da operação e colocar em risco a integridade dos trabalhadores e do ambiente da obra (Dias, 2021).

Outro ponto fundamental da norma é a qualificação e capacitação dos trabalhadores envolvidos nas operações de içamento. A norma prevê que operadores de equipamentos de elevação, sinaleiros e demais profissionais diretamente ligados à movimentação

de cargas sejam devidamente treinados e habilitados. A capacitação contínua contribui para o correto manuseio dos equipamentos, para a interpretação adequada dos sinais de comunicação e para a adoção de condutas seguras durante a execução das atividades (Cavalcanti, 2022; Brasil, 2020).

A NR-18 também estabelece critérios relacionados ao planejamento das operações de içamento, reforçando a importância da análise prévia dos riscos (Brasil, 2020). Esse planejamento deve considerar fatores como o peso e as dimensões da carga, o raio de operação, as condições do solo, a presença de obstáculos e as interferências externas, como redes elétricas. Ao exigir essa avaliação antecipada, a norma contribui para a redução de improvisações e para a execução mais segura das atividades de elevação (Cavalcanti, 2022).

Complementa-se aqui que a Norma Regulamentadora nº 1 (NR-01) estabelece as disposições gerais sobre segurança e saúde no trabalho, determinando que o empregador é responsável por adotar medidas preventivas, promover treinamentos e implementar uma análise prévia de riscos em todas as atividades laborais, incluindo a construção civil. Já a Norma Regulamentadora nº 11 (NR-11) trata especificamente do transporte, movimentação, armazenamento e manuseio de materiais, destacando a importância de procedimentos seguros e de equipamentos adequados para prevenir acidentes (Brasil, 2020).

No âmbito da organização do canteiro de obras, a NR-18 determina medidas voltadas ao isolamento e à sinalização das áreas de içamento (Brasil, 2020). A delimitação de zonas de risco, a restrição de circulação de pessoas não envolvidas na operação e o uso de sinalização adequada são medidas essenciais para evitar acidentes por queda de cargas ou deslocamentos inesperados. Essas orientações reforçam a necessidade de controle do espaço físico durante as operações de elevação (Coimbra, 2020).

A norma também aborda a utilização de acessórios de içamento, como cabos de aço, correntes, cintas e ganchos, exigindo que esses componentes sejam compatíveis com a carga e estejam em boas condições de uso. A inspeção visual antes de cada operação e a substituição imediata de acessórios danificados são práticas incentivadas, uma vez que falhas nesses elementos representam um dos principais fatores de risco nas operações de içamento (Brasil, 2020; Coimbra, 2020; Cavalcanti, 2022).

Além das exigências técnicas, a NR-18 contribui para o fortalecimento da cultura de segurança na construção civil. Ao estabelecer responsabilidades claras para empregadores e trabalhadores, a norma promove a conscientização sobre a importância do cumprimento das medidas de segurança e do respeito aos procedimentos operacionais. Esse aspecto é fundamental para a redução de comportamentos inseguros e para a prevenção de acidentes decorrentes de negligência ou desconhecimento (Brasil, 2020; Coimbra, 2020; Cavalcanti, 2022).

Ainda, no contexto da segurança do trabalho, a Norma Regulamentadora nº 01 (NR-01) assume papel estruturante ao estabelecer as disposições gerais aplicáveis a todas as atividades laborais, incluindo aquelas desenvolvidas na construção civil. Com a atualização da norma, destaca-se a obrigatoriedade da implementação do Gerenciamento de Riscos Ocupacionais (GRO), que tem como instrumento central o Programa de Gerenciamento de Riscos (PGR). Esse programa exige a identificação, avaliação e controle dos riscos existentes nos ambientes de trabalho, sendo a análise prévia de riscos uma exigência fundamental antes do início de qualquer atividade, especialmente aquelas classificadas como de alto risco, como as operações de içamento (Brasil, 2020).

A exigência da análise prévia de riscos prevista na NR-01 é diretamente aplicável às operações de içamento, pois permite antecipar perigos relacionados à movimentação de cargas, à interação homem-máquina e às condições ambientais. Essa análise deve considerar riscos físicos, mecânicos e organizacionais, possibilitando a definição de medidas preventivas eficazes, como a escolha adequada dos equipamentos, a delimitação das áreas de risco e a definição clara das responsabilidades dos trabalhadores envolvidos. Dessa forma, a NR-01 complementa a NR-18 ao fornecer a base metodológica necessária para o planejamento seguro dessas operações (Brasil, 2020; Júnior, 2021).

Já a Norma Regulamentadora nº 11 (NR-11) trata especificamente do transporte, movimentação, armazenamento e manuseio de materiais, sendo altamente relevante para as atividades de içamento realizadas nos canteiros de obras. A norma estabelece que a movimentação de cargas deve ser realizada de maneira segura, utilizando equipamentos adequados e operados por trabalhadores capacitados. Além disso, a NR-11 reforça a necessidade de procedimentos operacionais padronizados, visando reduzir esforços excessivos, falhas

operacionais e riscos de acidentes durante o deslocamento e a elevação de materiais (Brasil, 2020; Franco, 2016).

A articulação entre as NR-01, NR-11 e NR-18 fortalece o sistema de prevenção de acidentes na construção civil, ao integrar planejamento, gestão de riscos e execução segura das atividades. Enquanto a NR-01 estabelece a obrigatoriedade da análise prévia e do gerenciamento contínuo dos riscos, a NR-11 orienta sobre a movimentação segura de materiais e a NR-18 detalha as medidas específicas para o setor da construção. Essa integração normativa contribui para a redução de improvisações, para a melhoria das condições de trabalho e para a consolidação de uma cultura organizacional voltada à segurança e à preservação da vida no ambiente laboral.

INTEGRAÇÃO ENTRE O PLANO DE RIGGING E A NR-18: IÇAMENTO DE CARGAS

A integração entre o Plano de *Rigging* e a NR-18 nas operações de içamento de cargas na construção civil deve ser compreendida como uma articulação complementar entre o planejamento técnico-operacional e o cumprimento das exigências normativas de segurança do trabalho (Rocha *et al.*, 2019). Embora a literatura apresente poucos estudos que abordem explicitamente esses dois instrumentos de forma conjunta, ambos compartilham o mesmo objetivo central: a prevenção de acidentes e a proteção da integridade física dos trabalhadores envolvidos nas atividades de elevação e movimentação de cargas.

O Plano de *Rigging*, enquanto ferramenta técnica de planejamento, antecipa os riscos inerentes às operações de içamento por meio da análise detalhada da carga, dos equipamentos, dos acessórios e das condições do ambiente. Já a NR-18 estabelece diretrizes obrigatórias que orientam a execução segura dessas atividades, definindo responsabilidades, requisitos mínimos de segurança e medidas de controle. Dessa forma, a conexão entre ambos ocorre quando o planejamento técnico do *rigging* é elaborado em consonância com as exigências legais da norma.

Um dos principais pontos de convergência entre o Plano de *Rigging* e a NR-18 está na exigência do planejamento prévio das operações de içamento. A norma reforça a necessidade de avaliação antecipada dos riscos, enquanto o plano operacionaliza essa exigência ao detalhar procedimentos, cálculos e estratégias específicas para cada operação.

Assim, o *rigging* pode ser compreendido como um instrumento prático que viabiliza o atendimento aos princípios de prevenção previstos na norma (Dias, 2021; Mendes, 2024).

A escolha adequada dos equipamentos de elevação representa outro elo importante entre o Plano de Rigging e a NR-18. O plano define tecnicamente o tipo de guindaste, grua ou equipamento mais adequado, considerando capacidade, alcance e raio de operação. Paralelamente, a NR-18 exige que esses equipamentos estejam em conformidade com normas técnicas, passem por inspeções periódicas e sejam operados dentro de seus limites de segurança. A integração ocorre quando o planejamento respeita e incorpora essas exigências normativas (Siqueira, 2024; Silva, 2024; Cassiolato, 2023).

No que se refere aos acessórios de içamento, como cabos, cintas e manilhas, o Plano de Rigging detalha sua seleção e forma de utilização, enquanto a NR-18 estabelece critérios de segurança, inspeção e substituição desses componentes. A conexão entre ambos fortalece o controle sobre esses elementos, reduzindo falhas decorrentes do uso inadequado ou do desgaste dos materiais, que figuram entre as principais causas de acidentes em operações de içamento (Silva *et al.*, 2021; Dias, 2021; Costa, 2020).

A capacitação dos trabalhadores constitui outro ponto de articulação relevante. A NR-18 determina que operadores, sinaleiros e demais profissionais envolvidos sejam qualificados e treinados (Melo, 2023), enquanto o Plano de *Rigging* define funções, responsabilidades e procedimentos específicos para cada membro da equipe (Osada, 2017). Dessa forma, o plano atua como um guia prático que orienta a atuação dos trabalhadores capacitados, promovendo maior clareza operacional e redução de erros humanos.

A comunicação durante as operações de içamento também evidencia a integração entre o plano e a norma. O plano descreve os sinais, comandos e fluxos de comunicação entre os envolvidos (Melo, 2023), enquanto a norma reforça a importância da sinalização adequada e do controle do ambiente de trabalho (Osada, 2017). Essa articulação contribui para a coordenação das ações, evitando movimentos inesperados e situações de risco durante a elevação das cargas.

Outro aspecto de convergência refere-se à organização do canteiro de obras. A NR-18 estabelece medidas para isolamento de áreas, controle de circulação e sinalização de zonas de risco (Silva *et al.*, 2023). O Plano de *Rigging*, por sua vez, identifica as áreas de içamento,

trajetos da carga e pontos críticos da operação (Mishra *et al.*, 2022). A integração entre ambos permite uma organização espacial mais eficiente e segura, minimizando a exposição de trabalhadores não envolvidos diretamente na atividade.

As condições ambientais e do terreno também são consideradas tanto pela NR-18 quanto pelo Plano de *Rigging*. A norma exige atenção às condições do solo e à estabilidade dos equipamentos (Brasil, 2020), enquanto o *rigging* avalia tecnicamente esses fatores para definir posicionamento e limites operacionais (Mishra *et al.*, 2022). Essa conexão reforça a importância da análise do ambiente como elemento essencial para a segurança das operações de içamento.

A integração entre o Plano de *Rigging* e a NR-18 também favorece a gestão da segurança do trabalho, ao permitir maior controle e rastreabilidade das operações de içamento. Documentar o planejamento e associá-lo às exigências normativas facilita auditorias, fiscalizações e processos de melhoria contínua, além de demonstrar o comprometimento da empresa com a prevenção de acidentes (Rocha *et al.*, 2019).

Outro ponto relevante é que essa articulação contribui para o fortalecimento da cultura de segurança nas organizações. Quando o plano é elaborado considerando as diretrizes da NR-18, a segurança deixa de ser vista apenas como obrigação legal e passa a integrar o processo produtivo de forma estruturada, promovendo maior conscientização entre gestores e trabalhadores (Rocha *et al.*, 2019).

O estudo desenvolvido por Dias (2021) teve como principal achado a identificação de não conformidades normativas em operações de içamento de cargas, decorrentes, sobretudo, da ausência de um Plano de *Rigging* formalizado. Embora a empresa analisada adotasse procedimentos operacionais básicos e realizasse inspeções rotineiras, o trabalho evidenciou fragilidades no planejamento técnico, como a inexistência de memória de cálculo, análise detalhada de riscos e definição precisa dos esforços envolvidos no içamento. Essa lacuna resultou em maior dependência da experiência empírica dos operadores e aumentou a exposição a riscos ocupacionais, além de potencial descumprimento das exigências previstas nas Normas Regulamentadoras.

Silva (2024) demonstrou que a elaboração e aplicação do Plano de *Rigging* constituem elementos centrais para a segurança e eficiência das operações de içamento de grandes equipamentos. Os achados evidenciaram que o planejamento prévio, com cálculos estruturais,

definição adequada dos acessórios de içamento, análise do solo e organização da sequência operacional, permitiu a execução controlada da atividade, sem ocorrência de falhas ou acidentes. Além disso, o plano mostrou-se fundamental para a padronização dos procedimentos, redução da improvisação e atendimento às exigências normativas, reforçando a importância do planejamento técnico como estratégia preventiva na construção civil e em operações industriais.

De modo mais específico, Siqueira (2024) também reforça a importância de realização do plano:

Os galpões podem ser produzidos e montados no local da obra ou fabricados em partes na empresa especializada e, posteriormente, levados para o local onde serão montados. As montagens de estruturas metálicas se caracterizam pela rapidez, precisão, adaptabilidade e confiabilidade. Uma montagem bem feita necessita de um bom planejamento, para isso, o projetista deve escolher o método de montagem, conforme o prazo e os equipamentos disponíveis, além de levar ao conhecimento dos montadores orientações básicas como, diagrama de montagem, indicação de contra-flechas, quando necessárias, lista de parafusos, lista de eletrodos de solda e desenhos de detalhamento, o que torna o plano de Rigging extremamente importante para a montagem dos galpões (Siqueira, 2024, p. 08).

De modo mais sistematizado, o quadro 2 realiza uma análise comparativa baseada nos dados dos estudos selecionados para esse artigo.

Quadro 2 - Comparativo: Operações de Içamento Com e Sem Plano de Rigging

Aspectos Avaliados	Com Plano de Rigging (Planejado)	Sem Plano de Rigging (Não Planejado)
Segurança dos trabalhadores	Alto nível de segurança, com identificação prévia dos riscos e medidas preventivas	Elevado risco de acidentes, quedas de carga e falhas operacionais
Análise de riscos	Realizada antecipadamente, com mapeamento de perigos e controle	Inexistente ou superficial, ocorrendo reações apenas após incidentes

Aspectos Avaliados	Com Plano de Rigging (Planejado)	Sem Plano de Rigging (Não Planejado)
Escolha de equipamentos	Equipamentos adequados à carga, capacidade do guindaste e acessórios certificados	Uso inadequado ou improvisado de equipamentos
Capacitação da equipe	Equipe treinada, com funções definidas (rigger, operador, sinaleiro)	Falta de definição de responsabilidades e treinamento insuficiente
Conformidade legal (NRs)	Atende às exigências da NR-01, NR-06, NR-11, NR-18 e NR-12	Alto risco de não conformidade e penalidades legais
Eficiência operacional	Operação mais rápida, organizada e com menor retrabalho	Atrasos frequentes, paralisações e improvisações
Custos da operação	Redução de custos com acidentes, danos materiais e paralisações	Aumento de custos com reparos, indenizações e multas
Impacto na produtividade	Maior previsibilidade e controle do cronograma	Baixa produtividade e interrupções inesperadas

Fonte: autoria própria (2026).

Nesse sentido, a análise integrada permite compreender que o Plano de *Rigging* não substitui a NR-18, nem a norma esgota as necessidades de planejamento das operações de içamento. Ambos se complementam, atuando de forma sinérgica para reduzir riscos, padronizar procedimentos e promover ambientes de trabalho mais seguros.

Considerações Finais

Mesmo não sendo explicitamente exigido pela NR-18 em todos os contextos, o Plano de *Rigging* pode ser entendido como uma boa prática que fortalece o cumprimento da norma. Ao detalhar procedimentos e antecipar riscos, o mesmo contribui para que as exigências normativas sejam efetivamente aplicadas no cotidiano das obras, reduzindo a distância entre o que está previsto na legislação e o que é executado na prática.

A integração entre estes no içamento de cargas pode representar uma estratégia eficaz para a prevenção de acidentes e para a melhoria

das condições de trabalho na construção civil. Ao alinhar planejamento técnico e exigências legais, cria-se um modelo de atuação que prioriza a segurança, a responsabilidade e a sustentabilidade das atividades, contribuindo para a proteção da vida e para a qualificação das práticas no setor.

Além disso, o estudo evidencia que a adoção do Plano de *Rigging*, quando articulada às diretrizes da NR-18, favorece uma abordagem mais sistemática da segurança do trabalho, deslocando a prática do improvisado para o planejamento técnico estruturado. Essa mudança de perspectiva contribui para a padronização das operações de içamento, para a redução de falhas operacionais e para o fortalecimento dos processos de gestão de riscos nos canteiros de obras, refletindo positivamente na organização e na eficiência das atividades construtivas.

Outro aspecto relevante refere-se à importância da capacitação contínua dos profissionais envolvidos nas operações de içamento. A integração pode reforçar a necessidade de equipes qualificadas, conscientes de suas responsabilidades e aptas a interpretar corretamente tanto os procedimentos técnicos quanto as exigências normativas. Nesse sentido, investir em treinamento e atualização profissional configura-se como um elemento indispensável para a consolidação de práticas seguras e para a promoção de uma cultura organizacional voltada à prevenção de acidentes.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Rerisson Thyago Bidô de. Simulação da montagem de estruturas pré-moldadas de concreto por meio da aplicação do BIM 4D. 2025.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Normas Regulamentadoras nº 1, 11 e 18. Disposições gerais, transporte e manuseio de materiais, e condições e meio ambiente de trabalho na construção. Brasília: MTE, 2020.

CASSIOLATO, Gustavo. Formas para eliminar riscos na operação de ponte rolante. **Formas para eliminar riscos na operação de ponte rolante**, 2023.

CAVALCANTI, Arthur William Pereira. Inspeção e testes em elevadores de obras segundo a NR-18. 2022.

COIMBRA, Bruna Ferreira. NR 18: uma revisão frente as alterações da segurança do trabalho na construção civil. 2020.

COSTA, Marcus de Paiva. Desenvolvimento de um sistema experimental para a movimentação de cargas. 2020.

DIAS, Pedro Lucas Bezerra. Análise de conformidade normativa: estudo de caso em operação de içamento de carga. 2021.

FRANCO, Aydil de Jesus. Segurança do trabalho na movimentação de carga em canteiros de obras: aplicação do método FS/QCA. 2016.

JUNIOR, Antonio Ghizzo; MAZUCO, Fernando Medeiros; MATHIAS, Rafael Vieira. IÇAMENTO DE GRANDES ESTRUTURAS POR MEIO DO PLANO RIGGING: estudo realizado em uma termelétrica do sul de santa catarina. 2019.

JUNIOR, Cléber Nilson Amorim. Segurança e saúde no trabalho: princípios norteadores. **LTr Editora**, 2021.

MELO, Keven Felipe de Brito Neves. Diretriz da NR 18, principais acidentes da construção civil e tecnologias emergentes para a garantia da segurança e saúde do trabalho: uma revisão bibliográfica. 2023.

MENDES, Gabriel Gemio. A construtibilidade na etapa de montagem de estruturas pré-fabricadas de concreto armado. 2024.

MISHRA, Rajesh Kumar; SAHU, Dileshwar Kumar; PATLE, Dulendra Kumar. Assessment of Lifting & Rigging Operations for Unloading Heavy Consignments. 2022.

OSADA, Danilo Akio Monobi. Planejamento de montagem de pré-Moldados: análises e sugestão de melhorias. 2017.

PAIVA, Zaira Pereira de. Segurança na movimentação de cargas pesadas em parques de energia eólica: uma revisão da literatura. 2022.

QUESADO FILHO, Nelson de O.; NOGUEIRA, Filipe Jorge ISM Moura; DUTRA FILHO, Marcos Antônio. O custo do atendimento à norma regulamentadora 18: um estudo de caso. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 27327-27356, 2020.

ROCHA, Francisco Celso Silva; LIVI, Luiz Otávio Baggio; LEITE, Mairon Goulart. **Manual de montagem das estruturas pré-moldadas de concreto**. Oficina de Textos, 2019.

RODRIGUES, Gabriel Germano Vieira. **SEGURANÇA DO TRABALHO NA CONSTRUÇÃO CIVIL: ANÁLISE DAS NORMAS REGULAMENTADORAS APLICADAS EM CANTEIROS DE OBRA DE PEQUENO PORTE**. 2024.

SILVA, Diogo Ribeiro de Almeida. **Elaboração e aplicação de Planos de Rigging para içamento de equipamentos industriais**. 2024.

SILVA, Evelyn Pacheco da et al. **PCMAT: programa de controle e meio ambiente NR-18**. 2023.

SILVA, Jaqueline Azevedo Alheiro da et al. Planejamento matemático para otimização de içamento em operações offshore Mathematical planning for lifting optimization in offshore operations. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 9, p. 93435-93450, 2021.

SIQUEIRA, Ricardo Bruno de Alencar. **Planejamento de movimentação de cargas para montagem de galpão metálico de proteção de tubos**. 2024.

WESTOVER, L. et al. Analysis of rigging assembly for lifting heavy industrial modules. **Canadian Journal of Civil Engineering**, v. 41, n. 6, p. 512-522, 2014.

O PATRIMÔNIO CULTURAL: RISCOS, VULNERABILIDADES ESTRUTURAIS E OS DESAFIOS DA PRESERVAÇÃO DO CENTRO HISTÓRICO DE SÃO LUÍS - MA

João Pedro Saraiva de Andrade
engjpsaraiva@hotmail.com

Carlos David Veiga França
veigappgeouema@gmail.com

Jorge de Jesus Passinho Segundo
jotasegengenharia@gmail.com

Laécio Gil Coelho Santos
lg2022pesquisa@gmail.com

Introdução

O patrimônio cultural representa um recurso não renovável, tanto em termos de singularidade sociocultural como econômica; logo, precisa ser preservado. Segundo o Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), o Brasil possui um total de 88 conjuntos urbanos protegidos que foram reconhecidos como Patrimônio Cultural Brasileiro, e sua preservação é de responsabilidade compartilhada da União, dos estados, dos municípios e da sociedade civil organizada.

As cidades e os núcleos históricos tombados representam referências urbanas do processo de colonização portuguesa, como é o caso de São Luís - MA, que adquiriu o título de Patrimônio da Humanidade pela UNESCO em 1997. Entretanto, com o passar dos anos, a má preservação desse patrimônio põe em risco a continuidade do título. Pesquisas caracterizam o Centro Histórico da capital maranhense como significativo, porém não preservado.

Nos últimos anos, a Coordenadoria Estadual de Proteção e Defesa Civil do Maranhão (CEPDECMA) registrou 24 acidentes de desabamentos em sistemas construtivos dos imóveis históricos, sendo 37,50% dos casos ocorridos em 2023. O cenário descrito é um diagnóstico da vulnerabilidade do conjunto edificado, ratificado na categorização geográfica do risco de colapso estrutural nas áreas de tombamento federal e estadual, onde se encontram aproximadamente 95 edificações com risco crítico.

O Centro Histórico da capital maranhense apresenta-se como um território vulnerável aos riscos tecnológicos de colapso de estrutura e incêndios, devido à carência de manutenção preventiva e corretiva, associada à incidência sazonal de chuvas e à ausência de sistemas básicos de segurança. Além disso, a dificuldade de governança, considerando os 160 hectares e aproximadamente 5.000 imóveis, impõe desafios para a intersectorialidade entre as políticas públicas e os órgãos responsáveis.

MEMÓRIA E PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO CULTURAL

Conceitos fundamentais: História, Memória e Identidade

Os conceitos de memória, história e identidade correlacionam-se e estão intrinsecamente ligados aos subsídios que fundamentam a implementação de políticas públicas para gestão de riscos e desastres. Segundo Ferreira (2010), o termo patrimônio deriva do latim *patrimonium* e significa herança paterna ou bens de família. Contemporaneamente, ampliou-se o entendimento de patrimônio para vertentes imateriais, estendendo-se às artes, linguagens e modos de vida. Bogéa, Brito e Pestana (2007) definem patrimônio cultural como o conjunto de bens que possuem valores históricos, artísticos ou científicos e que definem a identidade de uma comunidade.

Assim, o patrimônio cultural se relaciona com três conceitos fundamentais: memória, história e identidade, e, considerando os enfoques citados, memória pode ser entendida como:

[...] a imagem viva de tempos passados ou presentes. Os bens, que constituem os elementos formadores do patrimônio, são ícones repositórios da memória, permitindo que o passado interaja com o presente, transmitindo conhecimento e formando a identidade de um povo (GHIRARDELLO et al., 2008, p.13).

Do ponto de vista histórico, Pollak (1989) traça uma cronologia sobre as percepções da memória baseadas nas contribuições de autores como Durkheim e Halbwachs. Resgata as contribuições de Durkheim definidas na delimitação de uma Ciência do Social que visa a igualdade com as Ciências Naturais. Dentro da proposta do entendimento dos fatos sociais como coisas, Durkheim entende a percepção da memória manifestadas em indicadores empíricos, isto é, elementos concretos, visíveis e palpáveis representados por monumentos, formas arquitetônicas, etc.

Na perspectiva de Halbwachs (2006), ocorre sofisticação das diretrizes enunciadas por Durkheim na inserção da dimensão imaterial para percepção da memória. Advém ainda, o enunciado incipiente de memória coletiva como fator de coesão social sendo manifestada na memória nacional, a seletividade e negociação dinâmica entre a memória nacional e coletiva considerando a construção da memória como constante movimento entre o individual e coletivo (POLLAK, 1989). Por este ângulo, Halbwachs (2006) ratifica que a memória não apresenta apenas a dimensão individual, pois as memórias individuais não coexistem de forma isolada de um grupo social.

Os conceitos de memória e história, combinados ao processo de identidade dialogam intimamente com os instrumentos de proteção do patrimônio cultural, e muitas vezes, fundamentam as tomadas de decisões dos gestores nas ações de gestão da diversidade dos riscos. A exemplo disso, Ulpiano (1992), discorre que os movimentos de preservação da memória relativos ao patrimônio cultural, são valorosos, importantes e salutares, pois funcionam como difusor de reivindicações de vários campos culturais. Deste modo, a preservação de algo do passado transcende a ideia de sua existência contínua, sendo legitimado pelas relações humanas e/ou práticas sociais que lá se estabelecem.

Monumentalidade e Imaginário Social

A arquitetura vista como monumento denota uma carga simbólica e abstrata, denominada monumentalidade. Segundo Oliveira e Lopes (2018), a arquitetura possui uma força que transcende o objeto físico, refletindo-se no imaginário social por meio de ideias e crenças. Os bens patrimoniais propiciam às pessoas a possibilidade de “viajar no imaginário”, sendo frutos e sementes das imagens transpostas ao espaço urbano. Essa monumentalidade é o que fundamenta a preservação de algo do passado, transcendendo a ideia de sua existência contínua e

sendo legitimada pelas práticas sociais. Bogéa e Pereira (2006) ressaltam que prédios tombados e seus acervos são depositários de nossa memória, e a sensibilização da sociedade é o que garantirá a manutenção do que é irreproduzível e não renovável.

A preservação da memória é fundamental para que a sociedade civil organizada salvguarde sua identidade. Contemporaneamente, a memória é entendida como um processo em construção, entretanto, especialmente no Brasil, existe a materialização de uma memória em risco por exposição do patrimônio cultural as ameaças de incêndios tecnológicos e desastres naturais, associado à carência de manutenção preventivas e corretivas dos sistemas construtivos basilares ou pelo próprio ambiente vulnerável à diversidade de riscos em que os patrimônios culturais, principalmente os conjuntos arquitetônicos representam e se inserem.

INSTRUMENTOS DE PROTEÇÃO E DE GESTÃO DE RISCO

O Tombamento e a Legislação de Preservação

Existem diversos instrumentos de preservação do patrimônio cultural, destacando-se os inventários, registros e o tombamento. O tombamento é um ato administrativo realizado pelo Poder Público com o objetivo de preservar bens de valor histórico e afetivo, impedindo sua destruição ou descaracterização (BOGÉA; BRITO; PESTANA, 2007). Em São Luís, a Lei nº 3. 836 /1999 garante isenção de IPTU para imóveis tombados, funcionando como um incentivo à conservação. Entretanto, o tombamento legaliza a preservação, mas não é suficiente por si só. São necessárias medidas subsequentes como a revitalização e manutenção permanentes. Políticas públicas como o Programa Nosso Centro, do Governo do Maranhão, buscam implementar essas práticas de conservação ativa.

Memória em Risco e Vulnerabilidade Tecnológica

Especialmente no Brasil, existe a materialização de uma “memória em risco” devido à exposição do patrimônio a ameaças como incêndios tecnológicos e desastres naturais. A carência de manutenção preventiva nos sistemas construtivos básicos torna os conjuntos arquitetônicos vulneráveis. O risco tecnológico, nesse contexto, refere-se às ameaças associadas a anomalias estruturais,

intervenções inadequadas e ao abandono das edificações. A Operação Caça Riscos (2021), desenvolvida pela CEPDECMA, constituiu-se como uma ação estratégica para monitorar essa vulnerabilidade. O uso de geotecnologias, como GPS e drones, permitiu georreferenciar 261 edificações e identificar padrões de degradação, subsidiando tecnicamente os processos decisórios dos órgãos estatais.

A estratégia metodológica adotada nesta pesquisa fundamenta-se em uma abordagem de cunho exploratório e descritivo, integrando métodos quantitativos e qualitativos para diagnosticar os riscos tecnológicos no Centro Histórico de São Luís. O percurso investigativo iniciou-se com um levantamento bibliográfico e documental, pautado na análise de normativas do IPHAN e UNESCO, além do referencial teórico sobre a vida útil das edificações e a “Lei de Sitter”, que correlaciona a falta de manutenção à progressão geométrica dos custos de recuperação. Essa base teórica permitiu fundamentar a análise das vulnerabilidades estruturais diante da sazonalidade climática da região, especificamente sob a influência dos fenômenos El Niño e La Niña.

A coleta de dados secundários foi realizada a partir do banco de dados da Coordenadoria Estadual de Proteção e Defesa Civil do Maranhão (CEPDECMA), abrangendo o período de 2019 a 2025. O foco recaiu sobre 24 registros de desabamentos e os resultados da “Operação Caça Riscos” de 2021, que forneceu o diagnóstico de 261 edificações. Para a avaliação física desses imóveis, aplicou-se o método de Inspeção Predial Nível 1, de acordo com as diretrizes da norma ABNT NBR 16.747, priorizando a identificação visual e sensorial de anomalias nos sistemas de cobertura, vedação e elementos ornamentais de fachada.

Complementarmente, a pesquisa utilizou o geoprocessamento como ferramenta central para a espacialização dos riscos. Os imóveis inspecionados foram georreferenciados em campo com o auxílio de receptores GPS e documentados por meio de imagens aéreas capturadas por drones. O processamento desses dados espaciais foi conduzido nos softwares QGIS e My Maps, permitindo a criação de cartografia temática e mapas de calor com raio de influência de 30 metros.

Nesta análise espacial, as edificações foram categorizadas em níveis de risco mínimo, médio e crítico, possibilitando a identificação de zonas de calor que correlacionam a densidade de degradação com variáveis como o uso do imóvel, o tipo de proprietário e a localização dentro das poligonais de tombamento federal e estadual. Por fim,

os dados foram tabulados e cruzados para evidenciar os padrões de comportamento do patrimônio edificado frente ao abandono e à ausência de políticas públicas de conservação, consolidando o diagnóstico final da vulnerabilidade tecnológica da área de estudo.

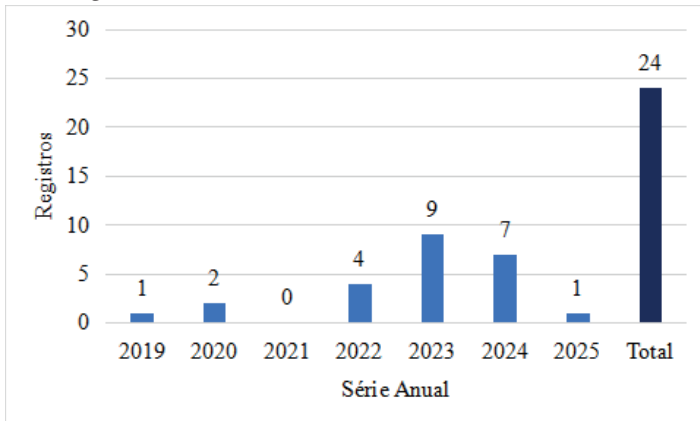
Desabamentos no Patrimônio Histórico de São Luís – MA: impactos, causas e desafios da preservação

O Centro Histórico de São Luís é o maior conjunto arquitetônico colonial português homogêneo presente na América Latina. As discussões sobre sua preservação emergiram no Século XX impulsionadas pelo reconhecimento histórico e cultural da capital maranhense associado às pressões internacionais para a preservação dos bens materiais.

O cenário descrito reflete os conflitos e desafios para a preservação patrimonial com destaque para os imóveis em situação de degradação e abandono, a mudança na dinâmica sociocultural da região resultantes dos processos de Gentrificação, além da dificuldade na condução equilibrada entre as práticas do turismo, as diretrizes patrimoniais dos órgãos estatais e o respeito a identidade local.

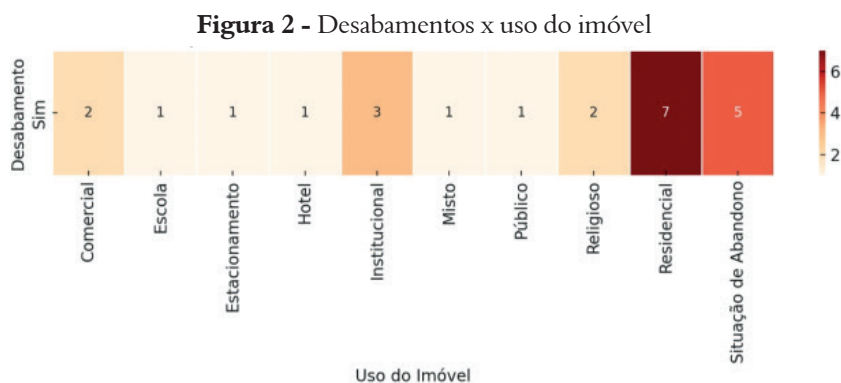
A situação de degradação estrutural do patrimônio construído pode ser evidenciada nos relatos da Coordenadoria Estadual de Proteção e Defesa Civil do Maranhão (CEPDECMA) quando apresenta a série histórica das ocorrências de desabamentos registradas em seu banco de dados, conforme demonstra a Figura 1 a seguir:

Figura 1 - Registros de desabamentos no Centro Histórico de São Luís – MA



Fonte: Adaptado de Maranhão (2025)

O Gráfico representa 24 registros de desabamento para algum tipo de sistema construtivo. É perceptível o acúmulo de ocorrências no decorrer dos anos de 2023 e 2024, isto é, concentração de 66,67% da amostra em virtude da exposição dos imóveis às fases de alternância dos padrões climáticos do El Nino e La Nina. Dados do Maranhão (2025) apontam que as tipologias de ocorrência estão distribuídas nos bairros do Centro com 17 casos, seguido dos bairros da Praia Grande (3), Desterro (3) e Madre Deus (1). Ademais, 17 ruas apresentaram pelo menos um registro de desabamento com destaque para as ruas da Palma (3), Estrela (2), Mocambo (2), Nazaré (2), Sol (2) e Avenida Senador João Pedro (2). A seguir, a Figura 2 exemplifica a distribuição dos desabamentos em relação aos usos dos imóveis.



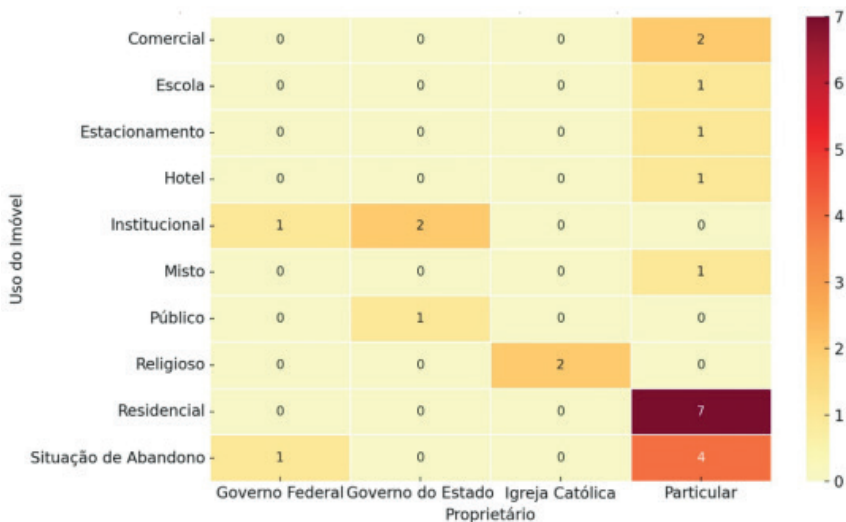
Fonte: Adaptado de Maranhão (2025)

Foi demonstrado que 50% da amostra é formada por imóveis residenciais ou em situação de abandono. Essa é uma peculiaridade da área de estudo, pois muitos deles estão em situação crítica de degradação e/ou habitados por uma população flutuante na modalidade espólio, fomentando riscos à segurança pública por meio da prática de ilícitos; à segurança patrimonial em virtude dos riscos tecnológicos (incêndios e desabamentos); à segurança física do cidadão face ao risco de acidentes por desabamentos, quedas e projeções; e à saúde pública devido ao ambiente torna-se propício ao desenvolvimento de vetores para a eclosão de doenças tropicais como Dengue, Zika e Chikungunya (MARANHÃO, 2025).

A análise reflete ainda estabelecimentos com carência de manutenção preventiva e corretiva ou com presença de anomalias em

seus sistemas construtivos. São os casos das edificações institucionais, religiosas, mista (comercial e residencial), escolar, serviço de hotelaria, estacionamento, pública e comerciais. No contexto das falhas citam-se os deslocamentos de ornamentos da fachada da Igreja de São João que já encontra-se em fase de reforma, enquanto para as anomalias, à execução sem criticidade técnica para abertura de vão de entrada em estacionamento na rua Nazaré, de maneira semelhante em reforma residencial sito a rua do Ribeirão. Nesse contexto, Sitter (1983) pontua que a durabilidade de uma edificação depende não apenas dos materiais utilizados, mas do tempo e qualidade da manutenção. Outra discussão oportuna é a relação entre os desabamentos e os atores proprietários das edificações, conforme demonstra a Figura 3:

Figura 3 - Mapa de calor: uso do imóvel x tipo de proprietário



Fonte: Adaptado de Maranhão (2025)

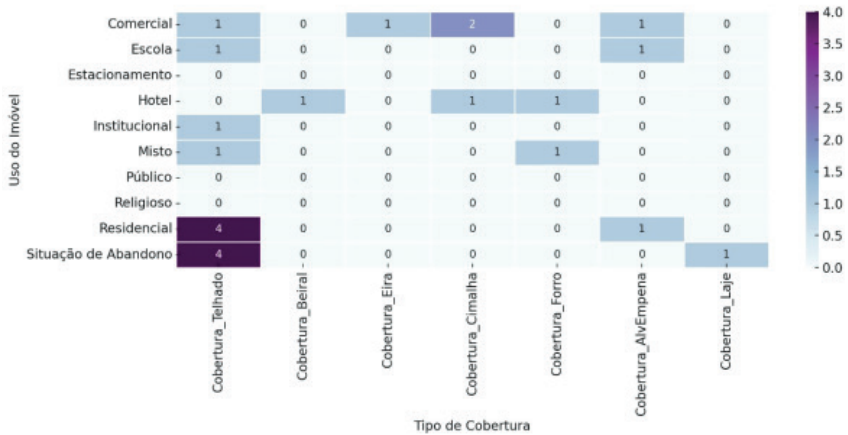
Ante ao exposto a propriedade é definida em 04 tipologias de domínio, a saber: particular, Governo Federal, Governo Estadual e Igreja Católica. Nota-se um predomínio 70,83% para desabamentos em construções particulares, sendo 29,17% àqueles referentes às autarquias federais, estaduais e Igreja Católica. Ocorre maior concentração de imóveis particulares em situação crítica sugerindo dificuldades do setor privado na manutenção das edificações antigas. Dentre os demais

atores pontua-se que os imóveis públicos institucionais estão ligados às autarquias federais e estaduais, enquanto a Igreja Católica, para o período e banco de dados utilizado, não apresentou nenhum registro de desabamento em suas instalações.

O predomínio de casos para imóveis residenciais degradados e em situação de abandono é reflexo da burocracia de tramitação estatal para aprovação de projetos e suas respectivas execuções; a dificuldade encontrada pelos proprietários na disponibilidade de investimentos que permeiam mão de obra especializada, técnicas e materiais específicos; a carência de apropriação do espaço construindo por sentimentos tofofóbicos de proprietários não radicados em território nacional e/ou herdeiros sem o sentimento de pertencimento da dinâmica social local; além, da apropriação por espólio por pessoas de baixo poder aquisitivo que se expõem a uma situação de risco tecnológico por falta de opção.

Destarte, essa conjuntura possibilita a repetição de um padrão de comportamento em relação ao patrimônio construído, isto é, o abandono do imóvel a níveis crítico de degradação fomentando seu colapso estrutural por exposição dos elementos construtivos às ações sazonais e interferências antrópicas com o objetivo de desabamento total ou parcial do imóvel, que quando preservado, mantém apenas as divisas perimetrais das fachadas. O objetivo dessa prática é fugir da responsabilidade de preservação patrimonial e dos trâmites de regularização propondo, à luz da clandestinidade, diversos novos usos, principalmente, os serviços de estacionamentos. A discussão quanto à degradação do patrimônio construído se amplia mediante a análise do Mapa de calor, abaixo:

Figura 4 - Mapa de calor: uso do imóvel x sistema de cobertura



Fonte: Adaptado de Maranhão (2025)

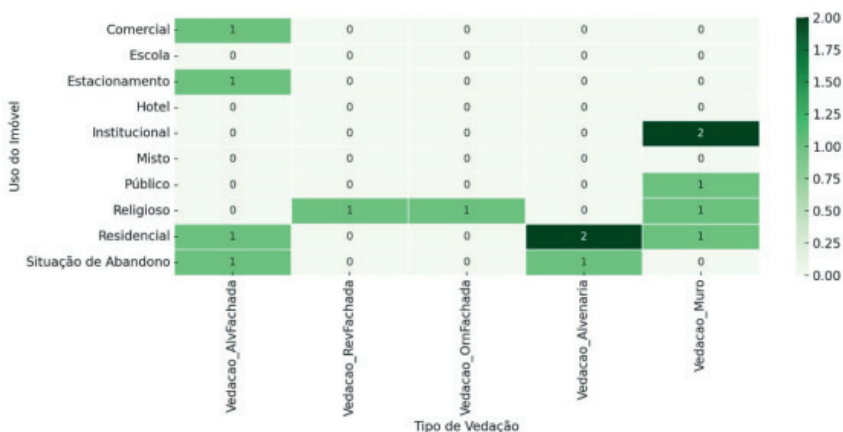
Os imóveis classificados como residenciais e em situação de abandono apresentam maior incidência de registros sugerindo que são as tipologias de usos mais propensas aos problemas estruturais relacionados à cobertura. Destaca-se que os problemas de cobertura nos elementos de telhado são mais comuns em imóveis residenciais e em situação de abandono, já os relativos à cimalha aparecem principalmente em imóveis comerciais, enquanto aqueles de forro e laje apresentam menor incidência e distribuição dispersa nos diferentes usos.

A situação de abandono está intimamente associada à degradação das coberturas, padrão semelhante aos imóveis residenciais da amostra, sendo um indicador que a deterioração do sistema de cobertura pode ter relação com a falta de manutenção. Com esse enfoque, França et al. (2024) observa que a intensificação da degradação do sistema de cobertura está diretamente associada ao aumento da deterioração dos demais sistemas construtivos.

Destarte, os principais sistemas construtivos atingidos por ameaças meteorológicas e ou em situação de vulnerabilidade por falhas foram os sistemas de cobertura e vedação. Destacam-se 22 registros de desabamentos parciais ou totais distribuídos em 06 elementos de cobertura a saber: telhado (12), cimalha (3), alvenaria de empena (3), forro (2), eira e beiral (1). Para este sistema ocorre o agravante da materialização de riscos ao entorno por acidentes de quedas e projeções, principalmente, quando da tipologia construtiva de um sobrado com

gabaritos variando em média entre 2 a 3 pavimentos. A situação descrita pode ser exemplificada com o registro em 2023 de um acidente de desabamento parcial do telhado e alvenaria de empena, do imóvel n° 559 localizado na Rua da Palma, em situação de abandono, sobre o imóvel residencial n° 449. A degradação patrimonial também apresenta indicadores significativos para o sistema de vedação como verifica-se abaixo:

Figura 5 - Mapa de calor: uso do imóvel x sistema de vedação



Fonte: Adaptado de Maranhão (2025)

Quanto aos desabamentos por elementos de vedação pontuam-se 14 registros distribuídos em 5 elementos de vedação: muro (5), alvenaria de fachada (4), alvenaria interna (3), revestimentos e ornamentos de fachada (1). Os imóveis residenciais e em situação de abandono são os mais afetados sugerindo que a tipologia construtiva aliada a falta de manutenção está diretamente associada aos processos de degradação. As ocorrências com os elementos de vedação constituintes da fachada estão dispersas em diferentes usos, indicando um padrão construtivo comum. Esses padrões podem indicar quais tipos de vedação são mais vulneráveis à degradação e onde intervenções de preservação podem ser mais necessárias.

O cenário torna-se agravado em virtude do partido arquitetônico e tipologia construtiva adotados, ou seja, edificações geminadas, com gabarito variando entre pavimentos de subsolo, térreo a mirantes,

constituídas em materiais higroscópicos, expostas a uma sazonalidade de intempéries pluviométricas e de estiagem bem definidas, e sobretudo, devido a carência de manutenções preventivas e corretivas. Outro fator preponderante é a característica topográfica do local. O relevo por vezes irregular proporciona a disposição desses imóveis em condições topográficas íngreme, o que facilita a ocorrência de desabamentos dos elementos de vedação, principalmente os muros de divisas e fachadas, pois a técnica utilizada de alvenaria de pedra argamassada ou tijolo responde adequadamente aos esforços solicitantes de compressão, deixando a desejar na reação aos esforços de tração.

As consequências desses desabamentos são amplas. Além dos riscos evidentes à integridade física de transeuntes e moradores, observa-se também a ocorrência de usos irregulares dos imóveis, como a instalação clandestina de estacionamentos, aproveitando a estrutura colapsada como justificativa para fugir das normativas de preservação.

O cenário analisado ratifica a opinião de França et al. (2023), Wall e Braga (2014) quanto ao Centro Histórico de São Luís ser mais significativo que preservado. A incidência de 24 desabamentos no intervalo de sete anos ainda não reflete a realidade, pois contabilizou apenas os registros na agência estatal CEPDECMA, não contemplando subnotificações sem cadastros. Logo, infere-se que o número de desabamentos seja maior.

Risco Tecnológico e a Degradação no Centro Histórico de São Luís: uma análise das vulnerabilidades do patrimônio construído

A vulnerabilidade à degradação do patrimônio histórico no Centro Histórico de São Luís – MA tem se tornado uma questão urgente diante dos recorrentes episódios de desabamentos em edificações antigas. Esse cenário ratifica o risco tecnológico como um dos principais agentes catalisadores da deterioração do patrimônio construído, em particular em um território marcado pela riqueza arquitetônica e urbanística herdada do período colonial.

O risco tecnológico, neste contexto, refere-se às ameaças naturais e antrópicas associadas às irregularidades de uso, anomalias estruturais, ausência de manutenção, intervenções inadequadas e a situação de abandono das edificações. Essas situações tornam os

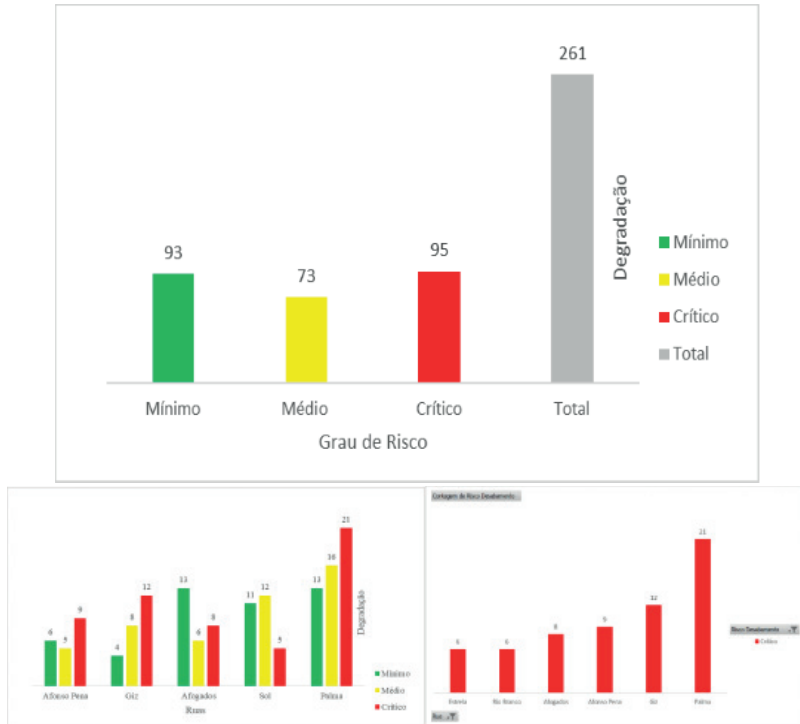
imóveis mais suscetíveis a colapsos parciais ou totais, colocando em risco a integridade física das construções, a segurança pública e o valor histórico-cultural da área.

Nesse mote, a Operação Caça Riscos de Desabamentos no Sítio Histórico de São Luís, Maranhão, constitui-se como um indicador de vulnerabilidade ao colapso estrutural do patrimônio construído, tanto quanto como uma ação estratégica voltada à identificação e monitoramento de riscos tecnológicos relacionados à degradação das edificações históricas. Desenvolvida pela Coordenadoria Estadual de Proteção e Defesa Civil do Maranhão (CEPDECMA), a operação é um desdobramento das ações denominadas “Casarões” (2018) e “Casas da Cultura” (2019), além das inspeções rotineiras realizadas pela Defesa Civil estadual.

O objetivo central foi identificar e monitorar a vulnerabilidade das edificações históricas ao risco e degradação e colapso, além de subsidiar tecnicamente os processos decisórios dos órgãos estatais quanto à preservação do patrimônio cultural, à segurança urbana e ao controle social, conforme as diretrizes da gestão de riscos. A iniciativa ocorreu nos meses de fevereiro e março de 2021, tendo seu relatório técnico consolidado (Relatório nº 05/2021/CEPDECMA) publicado em abril do mesmo ano. O recorte espacial contemplou 33 ruas do Centro Histórico de São Luís, abrangendo imóveis em avançado estado de degradação.

As atividades foram desenvolvidas com base na elaboração de um Plano de Ação, seguido por inspeções visuais, sensoriais, isto é Nível 1 do Instituto Brasileiro de Perícias (IBAPE), conforme os parâmetros estabelecidos pela NBR 16.747 – Inspeções Prediais da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Os imóveis foram georreferenciados com uso de GPS Garmin Etrex 10 e documentados com imagens aéreas produzidas por drone (Eachine Pro). Os dados, organizados em planilhas eletrônicas e analisados com suporte das ferramentas geotecnológicas como o QGIS e My Maps, possibilitam a produção de mapas temáticos e banco de dados especializados. Desta forma, a vulnerabilidade do Centro Histórico de São Luís aos riscos de desastres tecnológicos por colapso ou queda de estrutura civil pode ser descrita conforme o mosaico abaixo:

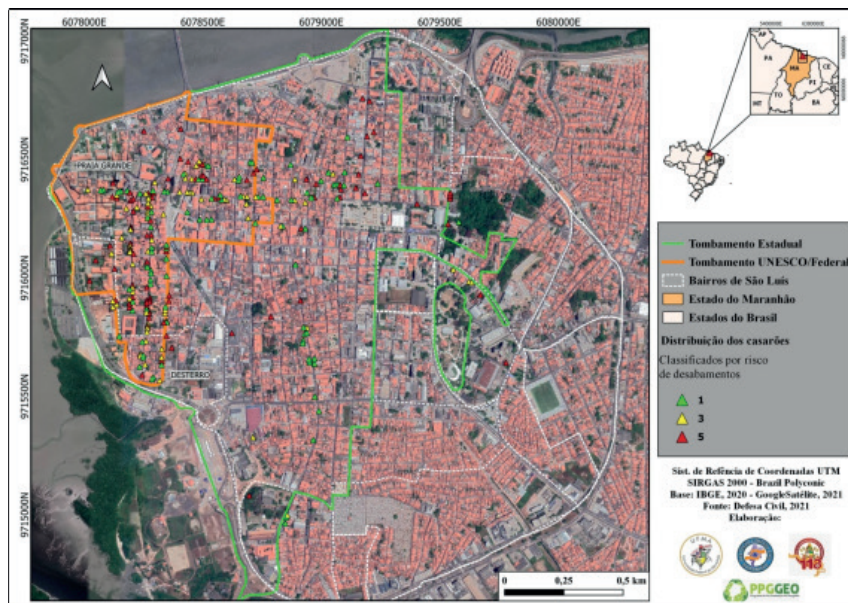
Figura 6 - Mosaico da Operação Caça Riscos de desabamentos (2021)



Fonte: Adaptado de Maranhão (2025)

De acordo com o Maranhão (2021) foram inspecionadas 261 edificações, das quais 95 apresentaram risco crítico de degradação, 73 riscos médio e 93 riscos mínimos. No que se refere à concentração espacial dos imóveis em situação de risco, as cinco ruas com maior número de edificações em qualquer grau de degradação foram: Rua da Palma (50), Rua do Sol (28), Rua dos Afogados (27), Rua do Giz (24) e Rua Afonso Pena (20). Considerando exclusivamente os imóveis com risco crítico, destacam-se as ruas da Palma (21), do Giz (12), Afonso Pena (9), dos Afogados (8) e Rio Branco e Estrela (6 cada). O risco de degradação dos imóveis do Centro Histórico de São Luís apresenta as seguintes relações espaciais:

Figura 7 - Espacialização dos riscos de degradação no Centro Histórico de São Luís – MA



Fonte: França et al. (2023)

A figura cartográfica representa a distribuição espacial dos riscos tecnológicos dos casarões do Centro Histórico de São Luís, classificados de acordo com o grau de risco de desabamento, conforme levantamento realizado pela Maranhão (2021). As edificações históricas foram categorizadas por níveis de risco com simbologia triangular com cores distintas, a saber: verde – risco mínimo (peso 1), amarelo risco médio (peso 3) e vermelho – risco crítico (peso 5).

É perceptível que a maior concentração dos imóveis com risco crítico localiza-se nos bairros históricos de Praia Grande e Desterro, abrangidos pelo tombamento federal e reconhecidos como Patrimônio Mundial pela UNESCO. Essa área, representada pelo polígono laranja, coincide com a zona de maior densidade de edificações históricas e, conseqüentemente, também com as maiores demandas de manutenção, conservação e intervenção técnica especializada.

A análise espacial revela que a maioria dos casarões em estado crítico de degradação encontra-se próxima ao perímetro tombado federal, reforçando a necessidade de priorização de investimentos públicos e ações integradas de proteção patrimonial. A presença

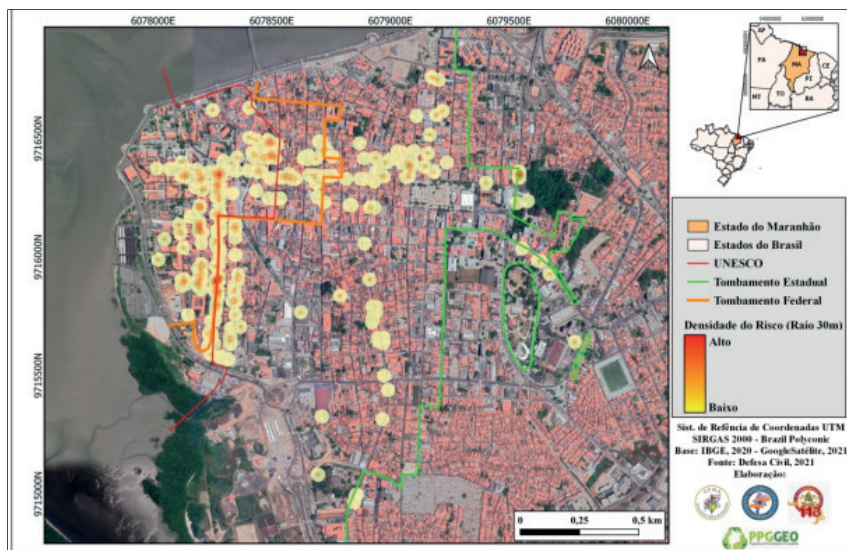
maciça de triângulos vermelhos nestes setores evidencia um cenário de vulnerabilidade tecnológica e social, exigindo medidas imediatas de mitigação de riscos, sob pena de perdas irreversíveis do acervo arquitetônico e histórico.

Por outro lado, observa-se que as áreas periféricas ao núcleo tombado, especialmente os setores ao leste e sudeste do mapa (compreendendo partes do entorno dos bairros Desterro, Belira e região próxima ao Parque do Bom Menino), concentram maior número de imóveis com nível de risco mínimo (nível 1). Esses locais, embora ainda dentro do perímetro histórico, apresentam edificações menos degradadas, indicando maior potencial de recuperação com intervenções preventivas e políticas públicas de reabilitação urbana.

A sobreposição dos limites dos tombamentos estadual e federal (em verde e laranja, respectivamente), combinada com os bairros de São Luís, possibilita compreender a sobreposição de jurisdições e responsabilidades administrativas. Tal complexidade institucional reforça a importância de ações coordenadas entre esferas municipal, estadual e federal para garantir a efetividade das políticas de proteção e gestão do patrimônio cultural.

Em suma, o mapa revela uma clara correlação entre a localização dos bens culturais e o nível de risco estrutural, indicando que os setores mais históricos enfrentam também os maiores desafios de conservação. A utilização de recursos geotecnológicos, como o mapeamento por imagens de satélite e georreferenciamento, demonstra-se essencial para subsidiar a tomada de decisão técnica, promovendo estratégias sustentáveis de intervenção no sítio histórico ludovicense. O Mapa de densidade por risco de degradação aborda a amplitude do impacto das tipologias de risco e as relações espaciais do ambiente construído.

Figura 8 - Espacialização dos riscos de degradação no Centro Histórico de São Luís – MA



Fonte: França et al. (2023)

Com o atributo de geotecnologias e produção de mapas temáticos, foi possível identificar zonas de maior vulnerabilidade estrutural dentro dos limites de tombamento federal, estadual e da área de inscrição da UNESCO. A metodologia aplicada pelos autores com a análise espacial por raio de 30 metros, utilizando uma escala cromática de calor (de amarelo a vermelho) para indicar os níveis de risco, onde o vermelho representa o risco mais elevado, revelou um padrão espacial crítico em regiões específicas como Praia Grande, Desterro e adjacências ao Largo do Carmo.

As áreas, inseridas no perímetro de tombamento federal e inscritas pela UNESCO, apresentam agregação de riscos críticos formando extensas manchas vermelhas, indicando degradação intensa. Destacam-se os núcleos de risco elevado no bairro do Desterro e nas proximidades da Avenida Magalhães de Almeida. Ademais, mais de 60% dos registros de risco estão concentradas em um raio de 1km dentro da área tombada federal. A densidade de risco reduz-se significativamente à medida que se afasta dos limites do tombamento, embora manchas isoladas também ocorram em outras regiões urbanas.

A distribuição espacial dos riscos de desabamento evidencia a necessidade urgente de intervenções estruturais e políticas públicas integradas. As regiões identificadas como zonas críticas devem ser priorizadas em planos de restauração e revitalização urbana. A atuação conjunta entre os órgãos estatais de proteção patrimonial, poder público municipal e estadual, e organismos internacionais, sobretudo, sociedade civil organizada, é fundamental para evitar perdas da incolumidade da vida e patrimoniais.

A análise espacial da densidade de risco no Sítio Histórico de São Luís confirma o avançado estado de degradação de parte significativa do patrimônio edificado. Considerando este panorama Sitter (1983), discorre que a falta de manutenção preventiva acelera o processo de degradação, pois cada unidade monetária não investida na fase de manutenção pode representar até cinco unidades de custo na fase de recuperação. Logo, os imóveis sem manutenção adequada incorrem em uma progressão geométrica de razão 5 para deterioração, e conseqüentemente, desabamentos. Os resultados reforçam a urgência de medidas técnicas e políticas voltadas à conservação do acervo histórico-cultural, bem como a implementação de monitoramento contínuo e assistência às comunidades locais.

Conclusão

A discussão proposta pautou-se na inquietude sobre as causas e os fatores de riscos tecnológicos que contribuem para a degradação e desabamentos no Centro Histórico de São Luís e de que forma as vulnerabilidades impactam na preservação do patrimônio cultural e o direito à cidade. Nesse contexto, a pesquisa demonstrou que o Centro Histórico de São Luís representa um ambiente construído propício para a materialização de ocorrências de desabamentos e degradação dos sistemas construtivos.

A análise dos desabamentos no Centro Histórico de São Luís – MA revela uma conjuntura crítica de degradação patrimonial, impulsionada por fatores estruturais, socioeconômicos e administrativos. O levantamento estatístico, com base nos registros da Maranhão (2025), evidenciou a concentração de ocorrências nos anos de 2023 e 2024 (66,67%), o que sugere forte correlação com eventos climáticos extremos, como os fenômenos El Niño e La Niña. No entanto, esses fatores naturais atuam sobre um ambiente já fragilizado por décadas

de negligência, abandono e ausência de políticas públicas efetivas de preservação.

A maior parte dos desabamentos recai sobre imóveis residenciais e em situação de abandono, os quais representam 50% da amostra. Tal condição denuncia a precarização do uso habitacional no centro histórico, agravada pela ocupação irregular, presença de espólios e dificuldades financeiras dos proprietários, especialmente do setor privado, que detém cerca de 70,83% das edificações afetadas. Os sistemas construtivos mais comprometidos foram os de cobertura e vedação, sendo o telhado, os muros e as fachadas os elementos mais vulneráveis à degradação estrutural, reforçando a tese de que a ausência de manutenção preventiva é um fator determinante para o colapso das edificações.

A precariedade das coberturas e vedações está diretamente ligada ao risco tecnológico, especialmente quando se trata de construções geminadas, com múltiplos pavimentos e inseridas em áreas de relevo acidentado. A recorrência de desabamentos demonstra que a deterioração física do patrimônio não é um evento isolado, mas o resultado de um padrão recorrente de abandono, informalidade e descaso institucional.

A situação se agrava pela prática estratégica de proprietários que, diante das dificuldades legais e financeiras para conservação dos imóveis, permitem – ou provocam – o colapso das estruturas como forma de viabilizar novos usos, muitas vezes irregulares, como estacionamentos clandestinos. Essa prática evidencia a fragilidade dos mecanismos de fiscalização, bem como a falta de incentivos para a preservação ativa e sustentável do patrimônio.

A análise da vulnerabilidade estrutural das edificações no Centro Histórico de São Luís, com base na Operação Caça Riscos (2021), evidencia um cenário preocupante de degradação progressiva do patrimônio edificado. A expressiva quantidade de imóveis em risco crítico, especialmente concentrados nas áreas tombadas federalmente e reconhecidas como Patrimônio Mundial pela UNESCO, revela a urgência de ações integradas e articuladas entre os diferentes níveis de governo e a sociedade civil.

O risco tecnológico, neste contexto, configura-se como um agente catalisador da deterioração urbana, resultado direto de fatores como abandono, uso irregular, intervenções inadequadas e ausência de manutenção contínua. A espacialização dos dados obtidos com o

apoio de geotecnologias permitiu identificar padrões de risco, mapear áreas prioritárias de intervenção e subsidiar tecnicamente o processo decisório na formulação de políticas públicas de conservação.

A sobreposição de competências entre os entes federativos e a complexidade da gestão do sítio histórico apontam para a necessidade de um novo modelo de governança patrimonial, mais colaborativo, preventivo e centrado na preservação da vida e da memória urbana. A permanência do atual quadro de degradação compromete não apenas a integridade física dos bens culturais, mas também a segurança pública e o desenvolvimento sustentável da área central da capital maranhense.

Portanto, os resultados apresentados reforçam a importância da manutenção de ações sistemáticas de monitoramento, avaliação e restauração das edificações históricas, com ênfase na articulação entre planejamento urbano, proteção patrimonial e engajamento social. Somente por meio de uma abordagem técnica, intersetorial e territorializada será possível garantir a continuidade e o legado do acervo histórico-cultural de São Luís para as futuras gerações.

REFERÊNCIAS

BOGÉA, S.; BRITO, R.; PESTANA, A. Patrimônio Cultural: Conceito e Preservação. São Luís: IPHAN/MA, 2007.

BOGÉA, S.; PEREIRA, M. T. Centro Histórico de São Luís: patrimônio e memória cultural. São Luís: IPHAN/MA, 2006.

BRANDÃO, C. R. O que é educação. São Paulo: Brasiliense, 1990. (Coleção Primeiros Passos)

BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal, 1988.

CHARTIER, R. À Beira da Falésia: A História entre Certidões e Incertezas. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2007.

FERREIRA, A. B. H. Novo Dicionário da Língua Portuguesa. 4. ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2010.

FRANÇA, Carlos David Veiga; SILVA, Yanca dos Santos da; AQUINO JUNIOR, José; RODRIGUES, Zulimar Márita Ribeiro.

INDICADORES DE MONITORAMENTO DOS RISCOS AO PATRIMÔNIO HISTÓRICO : o caso de São Luís-MA. *InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade*, p. e202313, 12 Ago 2023 Disponível em: <https://periodicoseletronicos.ufma.br/index.php/interespaco/article/view/19210>. Acesso em: 7 abr 2025.

FRANÇA, Carlos David Veiga; RORIGUES, Zulimar Márita Ribeiro; CALDAS, Camila Mendes. Avaliação de risco de desabamento dos casarões no Centro Histórico do Município de São Luís, MA. In: LOUZEIRO, Andreza dos Santos (Org.); SANTOS, Luiz Carlos Araújo dos Santos (Org.). *Geografia na pós-graduação: natureza e dinâmica do espaço [recurso eletrônico]*. São Luís: EDUEMA, 2024. p. 86-104.

GADOTTI, M. *História das ideias pedagógicas*. São Paulo: Ática, 1983.

GHIRARDELLO, C. M. et al. *Patrimônio Cultural: Memória, Identidade e Preservação*. São Paulo: Ed. Senac, 2008.

GONDAR, J.; DODEBEI, V. *Memória e Patrimônio: ensaios contemporâneos*. Rio de Janeiro: DP&A, 2005

HALBWACHS, M. *A memória coletiva*. São Paulo: Vértice, 2006.

INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL (IPHAN). *Patrimônio Mundial*. 2014a. Disponível em: <<https://portal.iphan.gov.br/pagina/detalhes/24>>. Acesso em: 01 mar. 2022.

JACQUES, P. A. Identidade e diferença: a constituição do sujeito e a produção da alteridade cultural. In: SILVA, T. T. (Org.). *Identidade e diferença: a perspectiva dos estudos culturais*. Petrópolis: Vozes, 1998. p. 153-174.

LE GOFF, J. *História e Memória*. Campinas: UNICAMP, 2003.

LOPES, M. I. V. B.; GALVÃO, A. *História e historiadores: estudos sobre teoria da história e metodologia da pesquisa*. São Paulo: Contexto, 2001.

MARANHÃO. *Coordenadoria Estadual de Proteção e Defesa Civil do Maranhão. Relatório Técnico de Engenharia nº 05/2021/CEPDECMA*.

São Luís: Coordenadoria Estadual de Proteção e Defesa Civil do Maranhão, 2021.

MARANHÃO. Coordenadoria Estadual de Proteção e Defesa Civil do Maranhão. Relatório Técnico de Engenharia nº 10/2025/CEPDECMA. São Luís: Coordenadoria Estadual de Proteção e Defesa Civil do Maranhão, 2025.

MARX, K. Manuscritos econômico-filosóficos. São Paulo: Boitempo, 1978.

NEVES, L. M. W. A produção da identidade e a cultura escolar. In: CANDAU, V. M. (Org.). Identidade, diferença e educação: desafios teóricos e práticos. Petrópolis: Vozes, 2005.

NORA, P. Entre Memória e História: a problemática dos lugares. Revista Projeto História, São Paulo, n. 10, p. 7-28, dez. 1993.

OLIVEIRA, F. M.; LOPES, M. A. P. Patrimônio Cultural e Monumentalidade: as imagens da cidade e os discursos da preservação. Revista História & Perspectivas, Uberlândia, v. 31, n. 59, p. 13-34, jan./jun. 2018.

POLLAK, M. Memória, esquecimento, silêncio. Estudos Históricos, Rio de Janeiro, v. 2, n. 3, p. 3-15, 1989.

POLLAK, M. Memória e identidade social. Estudos Históricos, Rio de Janeiro, v. 5, n. 10, p. 200-212, 1992.

SÁ, L. F. C. O campo da memória social: desafios para a pesquisa e para a ação social. In: ABREU, R.; GOUVÊA, M. C. Memória Social: Teoria, Métodos e Desafios. Rio de Janeiro: DP&A, 2007. p. 287-300.

SÃO LUÍS (Município). Lei nº 3.836 de 21 de junho de 1999. Dispõe sobre isenção do IPTU para imóveis do acervo arquitetônico, histórico e paisagístico. São Luís, 1999.

SILVA, S. H.; LIMA, G. M. História: a ilusão do fato e a retórica do discurso. Revista Educação e Linguagem, São Paulo, v. 12, n. 1, p. 75-86, jan./jun. 2009.

SITTER, W. R. Costs of service life optimization, the design phase. In:

Durability of Concrete. Delft: Report of the CEB/RILEM International Workshop, 1983.

ULPIANO, M. B. Memória e História: entre o individual e o coletivo. Revista Estudos Históricos, Rio de Janeiro, v. 5, n. 9, p. 121-140, 1992.

WALL, M.; BRAGA, I. Indicador para Avaliação do Estado de Conservação de Sítios Urbanos Patrimoniais: o caso de São Luís do Maranhão. In: ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO, 3., 2014. São Paulo. Anais... São Paulo: ANPARQ, 2014. Disponível em: <<https://www.anparq.org.br/dvd-enanparq-3/htm/Artigos/ST/ST-PCI-003-04-WALL-BRAGA.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2022.

**SEGURANÇA DO TRABALHO NO RESTAURO
DE EDIFICAÇÕES HISTÓRICAS: ANÁLISE DE
PROTOCOLOS DE PREVENÇÃO CONTRA COLAPSOS
ESTRUTURAIS NO CENTRO HISTÓRICO DE SÃO LUÍS
- MA**

Cesar Leandro Santos Jansen
eng.cesarjansen@outlook.com

Jorge Creso Cutrim Demétrio
jresco@hotmail.com

Fernando Jorge Cutrim Demétrio
fernandojcd@hotmail.com

Introdução

A segurança do trabalho no restauro de edificações históricas constitui um campo de atuação que demanda atenção redobrada, em razão das especificidades estruturais, construtivas e simbólicas desses bens. Diferentemente das obras convencionais, intervenções em patrimônios históricos envolvem estruturas antigas, frequentemente degradadas pelo tempo, por ações ambientais e por intervenções anteriores inadequadas, o que amplia significativamente os riscos de colapsos parciais ou totais. Nesse contexto, a preservação da integridade física dos trabalhadores deve ser tratada como um eixo central do planejamento das obras, articulando-se à salvaguarda do valor histórico, cultural e arquitetônico das edificações (Albuquerque Rodrigues, 2012; Beber *et al.*, 2025).

Os protocolos de prevenção contra colapsos estruturais no restauro histórico compreendem um conjunto de medidas técnicas, normativas e operacionais voltadas à identificação, avaliação e mitigação de riscos. Esses protocolos incluem inspeções preliminares detalhadas, diagnósticos estruturais, escoramentos provisórios, monitoramento contínuo de fissuras e deformações, além da adoção de métodos construtivos compatíveis com os materiais originais. A aplicação desses

procedimentos permite antecipar situações de instabilidade, reduzir a probabilidade de acidentes graves e orientar decisões técnicas mais seguras, evitando intervenções improvisadas que possam comprometer tanto a segurança dos trabalhadores quanto a estabilidade do patrimônio edificado (Coelho; Carvalho, 2025).

Nesse sentido, a análise crítica dos protocolos de segurança do trabalho no restauro de edificações históricas revela a necessidade de uma abordagem integrada, que considere simultaneamente aspectos estruturais, organizacionais e humanos. A prevenção de colapsos não se limita ao cumprimento formal de normas de segurança, mas exige planejamento técnico rigoroso, capacitação específica das equipes envolvidas e articulação entre engenheiros, arquitetos, restauradores e profissionais de segurança do trabalho, segundo Bolina *et al.* (2019). Assim, a segurança passa a ser compreendida como parte indissociável do processo de conservação do patrimônio, contribuindo para intervenções mais responsáveis, sustentáveis e alinhadas aos princípios da preservação histórica.

O estado do Maranhão, em especial o Centro Histórico de São Luís, apresenta um dos mais expressivos conjuntos arquitetônicos coloniais do país, reconhecido por seu valor histórico, cultural e urbanístico. Com edificações datadas majoritariamente dos séculos XVIII e XIX, construídas com técnicas tradicionais e materiais como alvenaria de pedra, cal e madeira, esse patrimônio encontra-se submetido a processos contínuos de degradação decorrentes do envelhecimento estrutural, das condições climáticas locais e da ocupação urbana intensa (Marques *et al.*, 2021). Nesse contexto, as intervenções de restauro tornam-se recorrentes e necessárias, porém realizadas em um cenário de elevada vulnerabilidade estrutural, o que amplia os riscos de colapsos parciais ou totais durante as obras (Figueiredo, 2012).

A segurança do trabalho no restauro dessas edificações assume relevância estratégica, exigindo a adoção de protocolos específicos de prevenção que considerem as particularidades construtivas do patrimônio histórico ludovicense e as condições reais de trabalho nos canteiros de intervenção. Desse modo a pergunta-problema deste artigo é: De que forma os protocolos de segurança do trabalho e de preservação patrimonial descritos na literatura técnico-científica e em estudos de caso sobre o Centro Histórico de São Luís – MA contribuem para a prevenção de colapsos estruturais em obras de restauro de edificações históricas?

Ainda, o objetivo geral é analisar, por meio de revisão bibliográfica, a eficácia dos protocolos de prevenção contra colapsos estruturais aplicáveis às obras de restauro de edificações históricas no Centro Histórico de São Luís – MA, sob a perspectiva da Engenharia de Segurança do Trabalho. Sendo objetivos específicos: (i) identificar, a partir da literatura técnica e de estudos de caso documentados, os principais riscos estruturais recorrentes em edificações históricas do Centro Histórico de São Luís – MA durante intervenções de restauro; (ii) analisar os protocolos de segurança do trabalho e as diretrizes de preservações patrimoniais descritas nos estudos selecionados, com ênfase nas Normas Regulamentadoras NR-18 e NR-35, nas orientações do IPHAN e nos princípios do ICOMOS; (iii) avaliar a aplicabilidade das metodologias de análise e priorização de riscos estruturais, com destaque para o método GUT, como instrumento de apoio à prevenção de colapsos estruturais em contextos de restauro de edificações históricas.

A metodologia adotada neste artigo caracteriza-se como uma pesquisa de abordagem qualitativa, de natureza descritiva e analítica, desenvolvida a partir de uma revisão bibliográfica sistematizada. Essa escolha metodológica justifica-se pela necessidade de analisar criticamente produções técnico-científicas, documentos normativos e relatos de estudos de caso que abordam situações de risco estrutural e intervenções de restauro em edificações históricas, sem a realização de levantamento empírico *in loco*. A pesquisa busca compreender padrões recorrentes de instabilidade estrutural e as estratégias preventivas descritas na literatura, sob a ótica da Engenharia de Segurança do Trabalho aplicada ao patrimônio histórico.

O levantamento bibliográfico foi realizado no Scielo e Google Acadêmico, contemplando artigos científicos, dissertações, teses, relatórios técnicos, normas regulamentadoras e documentos orientadores de preservação patrimonial. No entanto, para fins de análise, foram selecionados exclusivamente estudos de caso que descrevessem situações reais de instabilidade estrutural, intervenções de restauro ou medidas de prevenção adotadas em edificações históricas. Foram priorizados estudos que abordassem explicitamente o Centro Histórico de São Luís – MA ou contextos urbanos históricos com características construtivas semelhantes, possibilitando o estabelecimento de relações comparativas e analíticas. A seleção das fontes considerou critérios de

relevância temática, consistência metodológica e aderência ao recorte da segurança do trabalho e da estabilidade estrutural.

Como critérios de inclusão, foram adotados exclusivamente estudos de caso que tratassem de obras de restauro, reabilitação ou intervenções emergenciais em edificações históricas, contendo descrição técnica de riscos estruturais, ocorrência ou iminência de colapsos parciais ou totais, bem como a adoção de medidas preventivas, tais como escoramentos, consolidações e estabilizações estruturais. Também foram incluídos estudos de caso que analisassem a aplicação de normas de segurança do trabalho, diretrizes de preservação patrimonial e metodologias de avaliação de risco no contexto do patrimônio edificado. Foram excluídas publicações sem abordagem empírica baseada em casos concretos, estudos puramente arquitetônicos sem interface com segurança estrutural e trabalhos que não apresentassem detalhamento técnico suficiente para a análise dos riscos estruturais e das estratégias preventivas adotadas. “Estabelecido o prognóstico, parte-se para a tomada de decisão sobre o que fazer, analisando-se as possíveis alternativas de intervenção frente aos problemas patológicos. [...] Prognóstico – rompimento e colapso da laje. [...] É a correção dos danos. Pode ser um reforço, reparo, restauro, retrofit” (Helene, 2019).

A análise dos dados bibliográficos ocorreu por meio de leitura exploratória, analítica e interpretativa dos materiais selecionados, buscando identificar recorrências, convergências e lacunas nos protocolos de prevenção contra colapsos estruturais descritos nos estudos de caso. Os riscos estruturais foram sistematizados a partir de categorias analíticas, como patologias construtivas, condições de conservação, tipos de intervenção, falhas de planejamento e ausência de medidas de segurança, permitindo compreender como esses fatores se articulam na geração de situações de perigo durante obras de restauro.

Como instrumento auxiliar de análise, foi incorporado o método GUT (Gravidade, Urgência e Tendência), amplamente utilizado em contextos de gestão de riscos e pela Defesa Civil, com o objetivo de hierarquizar os riscos estruturais descritos nos estudos analisados. A aplicação do método ocorreu de forma qualitativa, a partir das informações disponíveis na literatura, permitindo classificar os riscos segundo seu potencial de dano, necessidade de intervenção imediata e probabilidade de agravamento ao longo do tempo. Essa abordagem contribuiu para a compreensão das prioridades técnicas no gerenciamento de riscos estruturais em edificações históricas.

No protocolo proposto, o método GUT da Defesa Civil (BRASIL, s.d.) quantifica riscos iminentes em áreas urbanas históricas via matriz Gravidade-Urgência-Tendência, calculando $R = P \times C$ ajustado por gerenciamento, essencial para priorizar inspeções em São Luís - MA. Inspirado em Varnes (1984), hierarquiza zonas de alto potencial de falha estrutural, promovendo ações preventivas”. Adota-se GUT do Manual da Defesa Civil para classificar riscos em edificações históricas, focando urgência em patologias progressivas. O risco é calculado pela fórmula $R = P(A) \times C(V) \times g^{-1}$, onde P representa probabilidade, A ameaça, C consequências, V vulnerabilidade e g grau de gerenciamento. Para riscos iminentes em áreas urbanas, utiliza-se métodos matriciais como GUT (Gravidade x Urgência x Tendência), priorizando ações em setores de alto risco (R1-R4), especialmente em contextos consolidados como centros históricos, onde medidas preventivas como monitoramento e contenção evitam colapsos e perdas patrimoniais”.

O método GUT, validado por Cutrim et al. (2025) em templos do Centro Histórico de São Luís, hierarquiza riscos via Gravidade \times Urgência \times Tendência, classificando patologias como corrosão (GUT alto) em R1-R4. Aplicado aqui para priorizar inspeções prediais (ABNT NBR 16747), conecta-se ao Manual da Defesa Civil para riscos iminentes em áreas patrimoniais.

Por fim, a interpretação dos resultados baseou-se na articulação entre os achados da revisão bibliográfica, as exigências das normas de segurança do trabalho e as diretrizes de preservação patrimonial, buscando avaliar a coerência e a aplicabilidade dos protocolos descritos ao contexto do Centro Histórico de São Luís – MA. A metodologia adotada possibilita uma análise crítica integrada, evidenciando a importância do planejamento preventivo, da avaliação contínua de riscos e da compatibilização entre segurança do trabalho e conservação do patrimônio histórico em cenários de elevada vulnerabilidade estrutural.

Caracterização do Centro Histórico de São Luís - MA

O Centro Histórico de São Luís (figura 1 e 2) constitui um dos mais relevantes conjuntos urbanos históricos do Brasil, reunindo um expressivo acervo arquitetônico formado majoritariamente por edificações dos séculos XVIII e XIX. O conjunto reflete a ocupação colonial portuguesa, marcada por sobrados, casarões e edificações

institucionais que expressam valores históricos, culturais e urbanísticos singulares. Essa área representa não apenas um patrimônio material de grande valor simbólico, mas também um espaço vivo, inserido na dinâmica urbana contemporânea, onde convivem usos residenciais, comerciais, turísticos e institucionais (Pereira Júnior, 2016).

Figura 1 e 2 - Casarões do Centro Histórico de São Luís – MA



O traçado urbano do Centro Histórico caracteriza-se por ruas estreitas, quarteirões compactos e edificações geminadas, configurando um ambiente construído denso e interdependente do ponto de vista estrutural. Essa configuração favorece a transmissão de esforços entre edificações vizinhas, o que implica riscos ampliados em situações de instabilidade localizada. Em obras de restauro ou intervenções emergenciais, qualquer falha estrutural pode gerar efeitos em cadeia, comprometendo edificações adjacentes e aumentando significativamente os riscos para trabalhadores e usuários do espaço urbano (Santos; Gândara, 2019).

Do ponto de vista construtivo, predominam edificações erguidas com técnicas tradicionais, utilizando materiais como alvenaria de pedra e cal, tijolos maciços, argamassas à base de cal, estruturas de madeira e sistemas de cobertura com telhas cerâmicas. Embora esses materiais apresentem elevada durabilidade quando adequadamente conservados, muitos imóveis encontram-se em avançado estado de degradação devido à ação do tempo, à umidade, à salinidade do ar e à ausência de manutenção sistemática, fatores que impactam diretamente a estabilidade estrutural (Figueiredo *et al.*, 2011).

As patologias construtivas observadas com maior recorrência incluem fissuração generalizada, deslocamento de elementos estruturais, apodrecimento de componentes de madeira, recalques diferenciais, desprendimento de revestimentos e colapso parcial de paredes e coberturas. Tais manifestações patológicas, amplamente descritas em estudos de caso sobre a área, indicam a perda progressiva da capacidade resistente das edificações, configurando cenários de elevado risco estrutural, especialmente durante intervenções que envolvem remoção de elementos, sobrecargas temporárias ou alterações no equilíbrio original das estruturas (Costa; Silva, 2022).

Abordam-se as várias causas de formação de fissuras nos edifícios: recalques de fundação, deflexões de componentes estruturais, movimentações higrotérmicas dos materiais [...], retração de secagem de argamassas e concretos, e também alterações químicas dos materiais de construção. Essas patologias podem evoluir para riscos progressivos se não diagnosticadas precocemente (Thomaz, 2020).

Outro fator relevante na caracterização do Centro Histórico de São Luís é o histórico de abandono e subutilização de parte significativa do seu acervo edificado. Muitos imóveis permanecem desocupados por longos períodos, o que acelera processos de degradação e amplia a vulnerabilidade estrutural. A ausência de uso contínuo dificulta a identificação precoce de problemas estruturais e favorece a ocorrência de colapsos inesperados, tanto em situações de rotina quanto durante tentativas de reabilitação ou restauro (Freitas; Melo, 2024).

As ocupações irregulares e intervenções não compatíveis com as características originais das edificações também contribuem para o agravamento dos riscos estruturais. Modificações internas sem acompanhamento técnico, remoção de paredes portantes, sobrecargas introduzidas por novos usos e substituição inadequada de materiais tradicionais por soluções modernas incompatíveis comprometem o comportamento estrutural dos imóveis. Essas práticas aumentam a complexidade das intervenções posteriores e exigem maior rigor na adoção de protocolos de segurança do trabalho (Freitas; Melo, 2024).

Do ponto de vista normativo e institucional, o Centro Histórico de São Luís é protegido por legislações específicas de preservação patrimonial, o que impõe restrições técnicas às intervenções e demanda a compatibilização entre conservação do patrimônio e segurança dos trabalhadores. Essa condição torna indispensável o planejamento detalhado das obras, com diagnósticos estruturais prévios, definição

de métodos construtivos adequados e implementação de medidas preventivas voltadas à estabilidade das edificações durante todo o processo de intervenção (Carvalho, 2022).

A dinâmica urbana intensa da área, com circulação constante de moradores, comerciantes, turistas e veículos, amplia ainda mais a complexidade das intervenções no Centro Histórico. Obras de restauro frequentemente ocorrem em ambientes com circulação ativa, o que exige estratégias adicionais de isolamento, sinalização, escoramento e controle de riscos, não apenas para os trabalhadores, mas também para transeuntes e edificações vizinhas, reforçando a centralidade da segurança do trabalho nesses contextos (Carvalho, 2022).

Dessa forma, a caracterização do Centro Histórico de São Luís – MA evidencia um cenário marcado pela combinação de elevado valor patrimonial, vulnerabilidade estrutural e intensa interação urbana. Essas características tornam a área um campo particularmente sensível para intervenções em edificações históricas, justificando a necessidade de análises aprofundadas sobre protocolos de prevenção contra colapsos estruturais, capazes de articular preservação do patrimônio, segurança do trabalho e gestão eficiente dos riscos associados às obras de restauro.

Segurança do Trabalho e Preservação Patrimonial: fundamentos normativos e diretrizes técnicas

A segurança do trabalho aplicada às intervenções em edificações históricas constitui um campo que exige articulação entre normas de proteção ao trabalhador e diretrizes de preservação do patrimônio cultural. Diferentemente das obras convencionais, o restauro de bens tombados envolve estruturas antigas, frequentemente degradadas, cujas condições de estabilidade não são plenamente conhecidas antes das intervenções. Nesse contexto, a adoção de fundamentos normativos sólidos torna-se indispensável para reduzir riscos de acidentes, especialmente aqueles associados a colapsos estruturais parciais ou totais (Albuquerque Rodrigues, 2012).

A Engenharia de Segurança do Trabalho assume papel estratégico nesse cenário, ao integrar a análise de riscos estruturais ao planejamento das atividades construtivas. Em edificações históricas, os riscos extrapolam a esfera ocupacional clássica, alcançando moradores, transeuntes e o próprio patrimônio cultural. Assim, os protocolos de segurança não devem ser tratados como instrumentos isolados, mas

como parte integrante de uma abordagem preventiva que considere simultaneamente a proteção da vida humana e a integridade do bem edificado (Albuquerque Rodrigues, 2012).

As Normas Regulamentadoras brasileiras, em especial a NR-18 e a NR-35, oferecem diretrizes fundamentais para o controle de riscos em obras da construção civil. Embora não tenham sido elaboradas especificamente para o contexto do patrimônio histórico, essas normas estabelecem requisitos mínimos de segurança aplicáveis às atividades de restauro, tais como organização do canteiro, proteção coletiva, capacitação dos trabalhadores e controle de riscos em atividades críticas. Sua aplicação em edificações históricas demanda, contudo, interpretação técnica cuidadosa e adaptação às condições específicas dessas estruturas (Brasil, 2019, 2020).

A NR-18, ao tratar da segurança e saúde no trabalho na indústria da construção, apresenta dispositivos relevantes para a prevenção de acidentes em intervenções estruturais. Aspectos como escoramentos, demolições parciais, circulação em áreas de risco e organização do canteiro são particularmente sensíveis em edificações antigas, onde a estabilidade global pode estar comprometida. A ausência de planejamento adequado dessas etapas pode desencadear colapsos inesperados, colocando em risco trabalhadores e terceiros (Brasil, 2020).

No que se refere à NR-35, que regulamenta o trabalho em altura, sua importância é ampliada no contexto do restauro de edificações históricas. Intervenções em coberturas, fachadas, torres e elementos ornamentais elevados são frequentes nesses imóveis, muitas vezes executadas em estruturas fragilizadas. A norma estabelece critérios para análise de risco, sistemas de proteção coletiva e individual, bem como procedimentos de emergência, contribuindo para a redução de acidentes associados a quedas e instabilidades estruturais (Brasil, 2019).

Entretanto, a aplicação isolada das Normas Regulamentadoras mostra-se insuficiente quando dissociada das diretrizes específicas de preservação patrimonial. As intervenções em bens tombados devem respeitar princípios como a mínima intervenção, a reversibilidade e a compatibilidade de materiais e técnicas construtivas. Tais princípios influenciam diretamente as estratégias de segurança adotadas, uma vez que soluções convencionais nem sempre são compatíveis com as características históricas das edificações (Soares; Oliveira, 2013).

“Esta Norma fornece diretrizes, conceitos, terminologia e procedimentos relativos à inspeção predial, visando uniformizar

metodologia, estabelecendo métodos e etapas mínimas da atividade. [...] A inspeção predial ocupa a função de um exame que avalia as condições globais da edificação e detecta a existência de problemas de conservação ou funcionamento, com base em uma análise fundamentalmente sensorial por profissionais habilitados ABNT NBR 16747:2020 – Inspeção predial — Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento. item 1 - Escopo e procedimentos, p. 1-2).

Nesse sentido, as orientações técnicas do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional desempenham papel central na definição de parâmetros para intervenções em edificações históricas. O IPHAN estabelece diretrizes que orientam desde o diagnóstico do estado de conservação até a execução das obras, enfatizando a necessidade de estudos prévios, acompanhamento técnico especializado e adoção de medidas preventivas que garantam a estabilidade das estruturas durante o processo de restauro (Paiva, 2019; Silva, 2023).

As diretrizes do IPHAN reforçam a importância do diagnóstico estrutural como etapa preliminar indispensável. A identificação de patologias construtivas, como fissuras, recalques, deformações e degradação de materiais, permite antecipar riscos e orientar a definição de escoramentos, contenções e consolidações provisórias. Sob a ótica da segurança do trabalho, esses diagnósticos constituem instrumentos essenciais para a prevenção de colapsos e acidentes graves (Paiva, 2019; Silva, 2023).

No plano internacional, os princípios estabelecidos pelo *International Council on Monuments and Sites* contribuem para o fortalecimento das práticas de preservação aliadas à segurança. As cartas e recomendações do ICOMOS enfatizam a necessidade de intervenções fundamentadas em conhecimento técnico, respeito à autenticidade do bem e adoção de soluções compatíveis com os sistemas construtivos originais, evitando ações que possam comprometer a estabilidade estrutural (Silva, 2023).

Conforme ICOMOS (2003), medidas de consolidação em patrimônio devem priorizar causas profundas de patologias para prevenir colapsos, complementado por Feilden (2003), que defende intervenções mínimas e reversíveis para manter a integridade estrutural histórica. Nenhuma ação deve ser empreendida sem prévia avaliação dos seus efeitos negativos sobre o patrimônio arquitetônico, exceto no caso de medidas urgentes de salvaguarda necessárias para prevenir o colapso iminente de estruturas [...]. As medidas de consolidação de elementos

estruturais do patrimônio arquitetônico devem dirigir-se às causas profundas das patologias, e não aos seus sintomas. [...] A manutenção preventiva é a melhor terapia para evitar futuras intervenções de consolidação. [...] As medidas de consolidação devem ser proporcionais aos objetivos de segurança fixados, mantendo os níveis essenciais de segurança e durabilidade com o mínimo de efeitos negativos sobre o valor patrimonial.

Os princípios do ICOMOS também destacam a importância da gestão de riscos em intervenções no patrimônio histórico. Embora não tratem diretamente da segurança do trabalho nos moldes das normas ocupacionais, suas diretrizes contribuem para a redução de situações de instabilidade estrutural ao defender intervenções planejadas, monitoradas e fundamentadas em estudos técnicos aprofundados. Essa abordagem converge com os objetivos da Engenharia de Segurança do Trabalho ao priorizar a prevenção de danos humanos e materiais (Coelho; Carvalho, 2025).

A integração entre Normas Regulamentadoras, diretrizes do IPHAN e princípios do ICOMOS exige atuação interdisciplinar. Engenheiros, arquitetos, restauradores e profissionais de segurança do trabalho devem atuar de forma articulada, compartilhando informações e responsabilidades. A fragmentação dessas atuações tende a gerar lacunas no gerenciamento de riscos, aumentando a probabilidade de acidentes estruturais durante as obras.

Outro aspecto relevante diz respeito às intervenções emergenciais em edificações históricas em situação de risco iminente. Nessas circunstâncias, a adoção de medidas provisórias de escoramento e estabilização deve obedecer tanto às normas de segurança quanto às diretrizes patrimoniais, evitando soluções improvisadas que possam agravar a instabilidade estrutural. O alinhamento entre segurança do trabalho e preservação patrimonial torna-se ainda mais crítico nesses cenários.

Dessa forma, os fundamentos normativos e as diretrizes técnicas analisados evidenciam que a segurança do trabalho e a preservação patrimonial não devem ser compreendidas como campos antagônicos, mas como dimensões complementares de um mesmo processo. A prevenção de colapsos estruturais em edificações históricas depende da articulação entre normas de segurança, diretrizes institucionais e princípios internacionais de conservação, contribuindo para intervenções mais seguras, responsáveis e alinhadas à proteção do patrimônio cultural.

Segurança do Trabalho e Preservação Patrimonial: fundamentos normativos e diretrizes técnicas

Para a análise dos estudos de caso, foram selecionadas seis publicações relevantes, identificadas a partir dos critérios metodológicos previamente estabelecidos, todas voltadas à investigação de situações reais de risco estrutural, degradação e intervenções em edificações históricas no Centro Histórico de São Luís – MA. As publicações selecionadas abrangem artigos científicos, dissertações e trabalhos acadêmicos que descrevem manifestações patológicas, diagnósticos estruturais, estratégias de recuperação e metodologias de monitoramento aplicadas ao patrimônio edificado. O quadro 1 apresenta de forma sistematizada os principais estudos analisados, destacando seus objetivos, enfoques metodológicos e contribuições para a compreensão dos riscos de colapso estrutural e das medidas preventivas adotadas no contexto estudado.

Quadro 1 - Publicações selecionadas

Título/Autor/ Ano	Autor/ Ano	Objetivo	Método	Conclusão
Indicadores de monitoramento dos riscos ao patrimônio histórico: o caso de São Luís-MA	França <i>et al.</i> (2023)	Propor um indicador de densidade de risco e um Sistema Gerenciador de Banco de Dados para monitorar as áreas tombadas em São Luís-MA. Os procedimentos metodológicos	Inspeção <i>in loco</i>	O estudo evidencia altos níveis de degradação estrutural no Centro Histórico de São Luís, indicando a necessidade de monitoramento contínuo para a prevenção de colapsos.
Expressões e desafios do restauro arquitetônico em edificações da arquitetura luso-brasileira no centro antigo da cidade de São Luís (MA/Brasil)	Figueiredo (2012)	Analisar e propor indicadores de monitoramento dos riscos ao patrimônio histórico no Centro Histórico de São Luís – MA, com vistas à identificação de áreas e edificações em situação de maior vulnerabilidade estrutural.	Estudo de Caso.	O estudo evidencia elevados níveis de degradação estrutural no Centro Histórico de São Luís, indicando a necessidade de monitoramento contínuo e sistematizado para a prevenção de colapsos e danos ao patrimônio histórico.

<p>Manifestações patológicas em fachadas de construções históricas: estudo de caso da Igreja de Nossa Senhora do Carmo em São Luís-MA</p>	<p>Costa; Silva (2022)</p>	<p>Identificar e analisar as manifestações patológicas presentes na fachada da Igreja de Nossa Senhora do Carmo, no Centro Histórico de São Luís – MA, bem como propor possíveis causas e terapias de restauro compatíveis com a preservação do patrimônio histórico.</p>	<p>Estudo de Caso.</p> <p>O estudo conclui que, embora a edificação apresente estado geral de conservação satisfatório, há manifestações patológicas recorrentes que exigem intervenções técnicas adequadas para evitar a progressão da degradação e riscos à segurança estrutural. O estudo</p>
<p>Recuperação estrutural de edificações no centro histórico de São Luís do Maranhão/ Brasil</p>	<p>Marques <i>et al.</i> (2025)</p>	<p>Avaliar a viabilidade técnica e econômica da utilização de estruturas metálicas na recuperação estrutural de uma edificação histórica localizada no Centro Histórico de São Luís – MA, em comparação com o uso tradicional da madeira.</p>	<p>Estudo de Caso.</p> <p>demonstra que a utilização do aço na recuperação estrutural apresenta vantagens técnicas, econômicas e ambientais, configurando-se como alternativa viável e segura para intervenções em edificações históricas do Centro Histórico de São Luís.</p>

<p>Um estudo sobre a aplicabilidade de softwares e equipamentos utilizados para ensaios não destrutivos (END) em edificações do centro histórico de São Luís–MA</p>	<p>Ferres (2024)</p>	<p>Analisar a aplicabilidade de softwares e equipamentos de ensaios não destrutivos (END) no diagnóstico e monitoramento de edificações do Centro Histórico de São Luís – MA, com foco na preservação da integridade estrutural do patrimônio edificado.</p>	<p>Revisão bibliográfica e documental, com análise de estudos técnicos, normas e referências da engenharia diagnóstica, associada à descrição e avaliação de ferramentas tecnológicas e métodos de ensaios não destrutivos aplicáveis a edificações históricas.</p>	<p>O estudo demonstra que o uso integrado de ensaios não destrutivos e ferramentas tecnológicas contribui de forma significativa para o diagnóstico preciso, a prevenção de danos estruturais e a tomada de decisão segura em intervenções em edificações históricas.</p>
<p>Estudo de caso de uma edificação histórica em São Luís–MA</p>	<p>Salazar <i>et al.</i> (2025)</p>	<p>Analisar e avaliar as principais manifestações patológicas estruturais identificadas no Casarão do Arquivo Público do Maranhão, localizado no Centro Histórico de São Luís – MA, bem como identificar suas causas e indicar diretrizes técnicas para a conservação da edificação histórica.</p>	<p>Estudo de caso de abordagem qualitativa, baseado em inspeção visual e fotográfica, levantamento das manifestações patológicas, análise técnica fundamentada em normas da ABNT, diretrizes do IPHAN e princípios da Carta de Veneza, com foco na engenharia diagnóstica aplicada ao patrimônio edificado.</p>	<p>O estudo conclui que a edificação apresenta diversas manifestações patológicas decorrentes, sobretudo, da ausência de manutenção preventiva, evidenciando riscos à estabilidade estrutural e a necessidade de diagnóstico técnico aprofundado para a prevenção de danos mais graves e possíveis colapsos.</p>

O trabalho de França *et al.* (2023) insere-se no debate sobre a vulnerabilidade do patrimônio histórico urbano ao propor instrumentos técnicos de monitoramento dos riscos estruturais no Centro Histórico de São Luís – MA. Ao evidenciar elevados níveis de degradação em edificações localizadas, sobretudo, nas áreas de tombamento federal e

da UNESCO, o estudo contribui para a compreensão de que os riscos de colapso não são eventos pontuais ou aleatórios, mas resultado de processos contínuos de deterioração associados a fatores construtivos, ambientais e antrópicos. A utilização de indicadores e ferramentas de análise espacial reforça a importância do diagnóstico sistemático como etapa fundamental para a gestão preventiva do patrimônio edificado.

No contexto do presente artigo, esse trabalho dialoga diretamente com a temática da segurança do trabalho no restauro de edificações históricas, ao evidenciar cenários concretos de risco estrutural que impactam não apenas a preservação do patrimônio, mas também a integridade física de trabalhadores, moradores e transeuntes. A identificação de áreas com maior concentração de imóveis em condição crítica reforça a necessidade de protocolos preventivos integrados, que articulem normas de segurança do trabalho, diretrizes de preservação patrimonial e metodologias de avaliação de risco. Dessa forma, o estudo analisado subsidia a discussão sobre a prevenção de colapsos estruturais, contribuindo para fundamentar a adoção de estratégias técnicas mais seguras e planejadas em intervenções realizadas no Centro Histórico de São Luís – MA (França *et al.*, 2023).

Figueiredo (2012) contribui de forma significativa para a compreensão da vulnerabilidade estrutural do Centro Histórico de São Luís ao evidenciar, por meio de indicadores técnicos, a concentração de riscos em áreas tombadas e edificações em avançado estado de degradação. A identificação de padrões espaciais de risco demonstra que os processos de deterioração não ocorrem de maneira isolada, mas resultam de fatores estruturais, ambientais e antrópicos associados ao abandono, à ausência de manutenção e à ocupação inadequada do patrimônio edificado.

No contexto do presente artigo, esse estudo dialoga diretamente com a temática da segurança do trabalho no restauro de edificações históricas, ao fornecer subsídios técnicos para a antecipação de cenários de colapso estrutural. A sistematização de indicadores de risco reforça a importância do planejamento preventivo e da adoção de protocolos integrados de segurança, capazes de proteger trabalhadores, usuários e o próprio patrimônio durante intervenções de restauro. Assim, o trabalho analisado fundamenta a necessidade de articular monitoramento estrutural, normas de segurança do trabalho e diretrizes de preservação patrimonial como estratégia central para a redução de acidentes e falhas estruturais no Centro Histórico de São Luís – MA (Figueiredo, 2012).

O estudo de Costa e Silva (2022) discute sobre a compreensão dos processos de degradação que afetam edificações históricas no Centro Histórico de São Luís ao analisar, de forma detalhada, as manifestações patológicas presentes na fachada da Igreja de Nossa Senhora do Carmo (Figura 3). A identificação de fissuras, gretamentos, destacamentos de revestimentos e infiltrações evidencia que, mesmo em edificações consideradas relativamente conservadas, persistem patologias capazes de comprometer o desempenho estrutural e a durabilidade dos sistemas construtivos ao longo do tempo.

Figura 3 - Igreja Nossa Senhora do Carmo em São Luís – MA



No contexto do presente artigo, esse trabalho dialoga diretamente com a temática da segurança do trabalho no restauro de edificações históricas, uma vez que tais manifestações patológicas representam fatores de risco potencial durante intervenções em fachadas, coberturas e elementos elevados. A necessidade de inspeções sistemáticas, planejamento das terapias de restauro e adoção de medidas preventivas reforça a importância de protocolos integrados de segurança, capazes de minimizar riscos de desprendimentos, colapsos localizados e acidentes envolvendo trabalhadores e transeuntes no ambiente urbano histórico (Costa; Silva, 2022).

Marques *et al.* (2025), de modo relevante, investiga e contribui para a compreensão das estratégias de recuperação estrutural em edificações históricas ao analisar, de maneira sistemática, as patologias construtivas e as soluções técnicas aplicáveis a um casarão localizado no Centro Histórico de São Luís. Ao comparar estruturas tradicionais

em madeira com sistemas metálicos, o estudo evidencia como decisões projetuais influenciam diretamente a estabilidade estrutural, a durabilidade da edificação e a segurança durante as intervenções de restauro.

No âmbito do presente artigo, essa pesquisa dialoga diretamente com a temática da segurança do trabalho no restauro de edificações históricas, uma vez que a escolha de sistemas estruturais mais eficientes e duráveis impacta a redução de riscos de colapso, desprendimentos e falhas estruturais durante a execução das obras. A adoção de soluções estruturais tecnicamente fundamentadas, associada ao cumprimento das normas técnicas e diretrizes patrimoniais, reforça a importância de protocolos preventivos capazes de proteger trabalhadores, usuários e o patrimônio edificado em contextos urbanos históricos de elevada vulnerabilidade estrutural (Marques *et al.*, 2025).

Complementando, Ferres (2024) evidencia a importância da engenharia diagnóstica como instrumento fundamental para a identificação de riscos estruturais em edificações históricas do Centro Histórico de São Luís. Ao destacar o uso de ensaios não destrutivos e tecnologias de monitoramento, o estudo reforça a necessidade de abordagens técnicas que priorizem a segurança das estruturas sem comprometer o valor patrimonial, aspecto central nas intervenções de restauro. Além disso, os achados do estudo contribuem para a compreensão dos desafios enfrentados em contextos urbanos históricos, especialmente no que se refere à prevenção de colapsos estruturais e à proteção dos trabalhadores envolvidos nas intervenções. Essa perspectiva complementa a análise dos protocolos de segurança do trabalho discutidos neste artigo, fortalecendo a articulação entre preservação patrimonial, estabilidade estrutural e práticas seguras no restauro de edificações históricas.

O estudo de caso de Salazar *et al.* (2025) sobre o Casarão do Arquivo Público do Maranhão (figura 4) contribui de forma direta para a compreensão dos riscos estruturais presentes em edificações históricas do Centro Histórico de São Luís. A identificação de fissuras, trincas, rachaduras, infiltrações e deslocamentos evidencia um quadro de degradação progressiva que, se não tratado de forma sistemática, pode comprometer a estabilidade da edificação. A abordagem da engenharia diagnóstica adotada pelos autores reforça a importância do levantamento técnico detalhado como etapa essencial para a identificação de riscos estruturais latentes.

Figura 4 - Casarão do Arquivo Público do Maranhão



No contexto do presente artigo, esse trabalho dialoga diretamente com a temática da segurança do trabalho no restauro de edificações históricas, uma vez que as manifestações patológicas identificadas representam potenciais fatores de risco durante intervenções de conservação e restauro. A ausência de manutenção preventiva e de diagnósticos estruturais aprofundados amplia a probabilidade de colapsos localizados e acidentes envolvendo trabalhadores e usuários. Dessa forma, o estudo analisado reforça a necessidade de protocolos preventivos integrados, capazes de articular diagnóstico técnico, normas de segurança do trabalho e diretrizes de preservação patrimonial em contextos de elevada vulnerabilidade estrutural (Salazar *et al.*, 2025).

A análise dos estudos selecionados evidencia que os riscos estruturais presentes nas edificações históricas do Centro Histórico de São Luís não decorrem apenas do envelhecimento natural dos materiais, mas de um conjunto de fatores acumulativos associados à ausência de manutenção preventiva, ao abandono prolongado e à adoção de intervenções incompatíveis com as técnicas construtivas originais (Figueiredo, 2012; Freitas; Melo, 2024). Esse cenário cria condições propícias à ocorrência de colapsos estruturais, especialmente durante obras de restauro, quando as estruturas são submetidas a sobrecargas temporárias, remoção de elementos e alterações no equilíbrio original.

Sob a perspectiva da Engenharia de Segurança do Trabalho, torna-se evidente que os riscos associados ao restauro de edificações históricas extrapolam o escopo tradicional da construção civil. Diferentemente de obras novas, o restauro lida com estruturas cuja capacidade resistente é,

muitas vezes, desconhecida ou comprometida, exigindo protocolos de segurança mais rigorosos e adaptados às particularidades do patrimônio edificado (Albuquerque Rodrigues, 2012; Bolina *et al.*, 2019).

Os estudos de caso analisados demonstram que a ausência de diagnósticos estruturais aprofundados figura como um dos principais fatores agravantes dos riscos de colapso. A identificação tardia de patologias como fissuras ativas, recalques diferenciais, degradação de elementos de madeira e destacamentos de revestimentos compromete a eficácia das medidas preventivas e amplia a exposição dos trabalhadores a situações de risco iminente (Costa; Silva, 2022; Salazar *et al.*, 2025).

Nesse contexto, a literatura destaca a importância do diagnóstico técnico como etapa preliminar indispensável às intervenções em edificações históricas. Ferramentas da engenharia diagnóstica, como ensaios não destrutivos e monitoramento estrutural, apresentam-se como instrumentos estratégicos para a antecipação de falhas, permitindo a definição de escoramentos, contenções e consolidações provisórias de forma mais segura e fundamentada (Ferres, 2024; França *et al.*, 2023).

A aplicação das Normas Regulamentadoras NR-18 e NR-35 revela-se essencial para a organização do canteiro, o controle de riscos e a proteção dos trabalhadores durante as intervenções. Entretanto, os estudos analisados indicam que a aplicação dessas normas, de forma isolada e descontextualizada, mostra-se insuficiente diante das especificidades do patrimônio histórico, demandando interpretação técnica criteriosa e adequações às condições estruturais preexistentes (Brasil, 2019; Brasil, 2020).

As diretrizes do IPHAN assumem papel complementar e indispensável nesse processo, ao estabelecer princípios que orientam a compatibilização entre segurança do trabalho e preservação patrimonial. A exigência de mínima intervenção, reversibilidade e compatibilidade de materiais influencia diretamente a definição dos métodos construtivos e das estratégias de proteção coletiva e individual, reforçando a necessidade de planejamento integrado das obras de restauro (Paiva, 2019; Silva, 2023).

Os princípios internacionais de conservação, sistematizados pelo ICOMOS, reforçam essa abordagem ao defender intervenções fundamentadas em conhecimento técnico, planejamento rigoroso e monitoramento contínuo. Embora não tratem diretamente da segurança do trabalho, essas diretrizes contribuem de forma indireta para a redução de riscos estruturais, ao priorizar ações que preservem

a estabilidade e a autenticidade das edificações históricas (Soares; Oliveira, 2013; Coelho; Carvalho, 2025).

Outro aspecto relevante evidenciado nos estudos refere-se às intervenções emergenciais realizadas em edificações históricas em situação de risco iminente. Nessas circunstâncias, a pressão por respostas rápidas frequentemente resulta na adoção de soluções improvisadas, sem o devido respaldo técnico e normativo, ampliando a probabilidade de acidentes e colapsos durante a execução das obras (Figueiredo, 2012; Marques *et al.*, 2025).

A análise integrada dos estudos de caso também evidencia que a dinâmica urbana do Centro Histórico de São Luís amplia significativamente os riscos associados às intervenções. A intensa circulação de moradores, comerciantes e turistas impõe a necessidade de protocolos adicionais de isolamento, sinalização e controle de áreas de risco, de modo a proteger não apenas os trabalhadores, mas também transeuntes e edificações vizinhas (Santos; Gândara, 2019; Carvalho, 2022).

Nesse sentido, a adoção de metodologias sistematizadas de avaliação e priorização de riscos, como o método GUT, mostra-se relevante como instrumento de apoio à tomada de decisão em cenários de elevada vulnerabilidade estrutural. A hierarquização dos riscos permite direcionar recursos e ações preventivas para situações mais críticas, contribuindo para a redução da probabilidade de colapsos e acidentes graves (França *et al.*, 2023).

Os estudos analisados convergem ao indicar que a fragmentação entre os campos da engenharia, da preservação patrimonial e da segurança do trabalho constitui uma das principais fragilidades das intervenções em edificações históricas. A ausência de atuação interdisciplinar compromete a eficácia dos protocolos preventivos e dificulta a construção de estratégias integradas de gestão de riscos (Albuquerque Rodrigues, 2012; Beber *et al.*, 2025).

Dessa forma, a discussão apresentada neste artigo evidencia que a prevenção de colapsos estruturais no restauro de edificações históricas do Centro Histórico de São Luís – MA depende da articulação efetiva entre normas de segurança do trabalho, diretrizes de preservação patrimonial e metodologias técnicas de diagnóstico e monitoramento. A integração desses elementos configura-se como condição essencial para a realização de intervenções mais seguras, responsáveis e alinhadas à proteção da vida humana e do patrimônio cultural.

Considerações Finais

A análise desenvolvida ao longo deste estudo evidenciou que a segurança do trabalho no restauro de edificações históricas constitui um desafio complexo, especialmente em contextos urbanos marcados por elevado grau de vulnerabilidade estrutural. As particularidades construtivas, o envelhecimento dos materiais e a degradação progressiva das edificações tornam as intervenções nesse tipo de patrimônio significativamente mais arriscadas do que aquelas realizadas em obras convencionais, exigindo planejamento técnico rigoroso e abordagem preventiva contínua.

Observou-se que os riscos de colapso estrutural não estão associados apenas a eventos pontuais, mas resultam de processos acumulativos de deterioração, frequentemente agravados pela ausência de manutenção preventiva, abandono e intervenções inadequadas ao longo do tempo. Durante as obras de restauro, esses fatores tendem a se intensificar, ampliando a exposição de trabalhadores, usuários e transeuntes a situações de perigo, o que reforça a centralidade da segurança do trabalho como elemento estruturante do processo de conservação patrimonial.

Os resultados indicam que a adoção de protocolos preventivos fundamentados em diagnósticos estruturais detalhados constitui etapa indispensável para a mitigação de riscos. A identificação prévia de patologias construtivas e de instabilidades potenciais possibilita a definição de medidas de escoramento, contenção e estabilização mais adequadas, reduzindo a probabilidade de acidentes e falhas estruturais durante as intervenções. A prevenção, nesse contexto, mostrou-se mais eficaz do que ações corretivas adotadas de forma emergencial.

Outro aspecto relevante refere-se à necessidade de compatibilização entre as exigências de segurança do trabalho e as diretrizes de preservação patrimonial. A aplicação de soluções técnicas padronizadas, sem consideração pelas características históricas das edificações, pode comprometer tanto a estabilidade estrutural quanto o valor cultural do bem. Dessa forma, torna-se essencial o desenvolvimento de estratégias integradas que conciliem proteção à vida humana e conservação do patrimônio edificado.

A discussão também evidenciou a importância da atuação interdisciplinar nas intervenções em edificações históricas. A integração entre profissionais das áreas de engenharia, arquitetura, restauro e

segurança do trabalho mostrou-se fundamental para o gerenciamento adequado dos riscos estruturais. A fragmentação dessas atuações tende a gerar lacunas no planejamento e na execução das obras, aumentando a probabilidade de acidentes e colapsos.

No contexto específico do Centro Histórico de São Luís, a intensa dinâmica urbana e a presença constante de usuários ampliam a complexidade das intervenções e exigem medidas adicionais de controle e sinalização das áreas de risco. A proteção de trabalhadores e transeuntes deve ser compreendida como parte indissociável do processo de restauro, demandando protocolos que extrapolem os limites do canteiro de obras e considerem o entorno imediato das edificações.

Por fim, conclui-se que a segurança do trabalho no restauro de edificações históricas deve ser compreendida como componente essencial da preservação do patrimônio cultural. A prevenção de colapsos estruturais depende da articulação entre planejamento técnico, avaliação sistemática de riscos e adoção de práticas seguras ao longo de todo o processo de intervenção. Ao integrar segurança do trabalho e conservação patrimonial, torna-se possível promover intervenções mais responsáveis, seguras e sustentáveis, assegurando a proteção da vida humana e a continuidade do patrimônio histórico para as gerações futuras.

REFERÊNCIAS

Albuquerque Rodrigues, A.M., 2012. *Segurança e saúde ocupacional na reabilitação sustentável de edifícios históricos*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Portugal. Disponível em: <https://www.proquest.com/openview/35bc35dd8dc3bbc3320def06bd247355/1>. Acesso em: 30 jan. 2026.

Beber, L.A., et al., 2025. Planejamento da segurança do trabalho em sítios históricos: estudo de caso em um canteiro nas ruínas missionárias. In *Proceedings of the Encontro Latino-americano e Europeu sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis (EuroELECS)*, Vol. 6, pp. 1–11.

Bolina, F.L., Tutikian, B.F. and Helene, P., 2019. *Patologia de estruturas*. Oficina de Textos, São Paulo, Brazil.

Brasil, 2019. *Norma Regulamentadora NR-35 – Trabalho em Altura*. Ministério do Trabalho e Emprego, Brasília, Brazil.

Brasil, 2020. *Norma Regulamentadora NR-18 – Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção*. Ministério do Trabalho e Emprego, Brasília, Brazil.

Carvalho, N.L., 2022. *Tombamento e função socioambiental da propriedade: um estudo jurídico do patrimônio arquitetônico na cidade de São Luís/MA*. Dissertação de Mestrado, Universidade Portucalense, Portugal.

Coelho, C.M.T. and Carvalho, C.S.R., 2025. *Conservação preventiva de edifícios históricos: princípios e práticas*. Mórula Editorial, São Paulo, Brazil.

Costa, L.S. and Silva, W.A., 2022. Manifestações patológicas em fachadas de construções históricas: estudo de caso da Igreja de Nossa Senhora do Carmo em São Luís–MA. *Research, Society and Development*, Vol. 11, No. 2, pp. e24011225819–e24011225819.

Ferreira, D.D., 2025. *Roteiro pelo Centro Histórico de São Luís do Maranhão*. Turista Profissional. Disponível em: <https://turistaprofissional.com/centro-historico-de-sao-luis/>. Acesso em: 30 jan. 2026.

Ferres, E.C.G., 2024. *Um estudo sobre a aplicabilidade de softwares e equipamentos utilizados para ensaios não destrutivos (END) em edificações do centro histórico de São Luís–MA*. Trabalho acadêmico, Brazil.

Figueiredo, M.G., Varum, H. and Costa, A., 2011. Caracterização das técnicas construtivas em terra edificadas nos séculos XVIII e XIX no centro histórico de São Luís (MA, Brasil). *Arquiteturarevista*, Vol. 7, No. 1, pp. 81–93.

Figueiredo, T.N.S.C., 2012. *Expressões e desafios do restauro arquitetônico em edificações da arquitetura luso-brasileira no centro antigo da cidade de São Luís (MA/Brasil)*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, Brazil. Disponível em: <https://www.teses.usp.br>. Acesso em: 30 jan. 2026.

França, C.D.V., Silva, Y.S., Aquino Junior, J. and Rodrigues, Z.M.R., 2023. Indicadores de monitoramento dos riscos ao patrimônio

histórico: o caso de São Luís–MA. *Revista InterEspaço*, Vol. 9, No. 2, pp. 1–18. doi:10.18764/2446-6549.e2023.13.

Freitas, A.R. and Melo, S.N., 2024. Patrimônio histórico-cultural: casos e descasos do Centro de São Luís do Maranhão. *Geographia Opportuno Tempore*, Vol. 10, No. 1, pp. e50234–e50234.

Marques, M., et al., 2025. Recuperação estrutural de edificações no centro histórico de São Luís do Maranhão/Brasil. *Egitania Scientia*, pp. 144–165.

Marques, W.R., et al., 2021. O patrimônio cultural e as políticas públicas para o centro histórico de São Luís do Maranhão. *Brazilian Journal of Development*, Vol. 7, No. 3, pp. 29853–29870.

Paiva, M.C., 2019. *O Brasil segundo o IPHAN: a preservação do patrimônio cultural brasileiro durante a gestão de Gilberto Gil no MinC (2003–2008)*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, Brazil.

Pereira Junior, M.V., 2016. *Construção e transformação do centro urbano de São Luís-MA: uma análise do patrimônio histórico*. Disponível em: <https://diposit.ub.edu/items/318f4383-81d5-4224-9cf1-1fb9e16e5ee7>. Acesso em: 30 jan. 2026.

Salazar, J.L.A., Mendes, M.F.R. and Barbosa, R.N.S., 2025. *Estudo de caso de uma edificação histórica em São Luís–MA*. Trabalho acadêmico, Brazil.

Santos, S.R. and Gândara, J.M.G., 2019. Mobilidade urbana no centro histórico de São Luís do Maranhão (Brasil): análises dos usuários do TripAdvisor. *TURYDES – Turismo y Desarrollo Local Sostenible*, Vol. 12, No. 26.

Silva, A.B., 2023. *Conservação de bens arqueológicos no Brasil: análise da Portaria IPHAN nº 196/2016*. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brazil.

Silva, F.C.G., 2023. *Obrigações em tempos de paz dos Estados Partes das Convenções da UNESCO para proteção internacional do patrimônio cultural*.

Trabalho acadêmico, Brazil.

Soares, I.S.R. and Oliveira, C.T.A., 2013. Preservação arquitetônica: teoria, legislação e prática. *Revista CPC*, No. 15, pp. 137–162.

ABNT NBR 16747:2020.

ABNT: BRASIL. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. Manual de análise

VARNES, D. J. Landslide hazard zonation, 1984.

CUTRIM, L. D. S. et al. Manifestações patológicas em igrejas do patrimônio histórico de São Luís. São Luís: EDUEMA, 2025.

NT 01/2021; NT 08/2021; NT16/2021; NT40/2021; NT 43/2021.

GESTÃO DE RISCOS DE INCÊNDIO EM ESPAÇO URBANO COMERCIAL: UM ESTUDO DE CASO DA VULNERABILIDADE NA RUA GRANDE, SÃO LUÍS (MA)

Danyelle Lopes da Rocha
danylrocha21@gmail.com

Carlos David Veiga França
veigappgeouema@gmail.com

Jorge de Jesus Passinho Segundo
jotasegengenharia@gmail.com

Wellington Cardoso da Silva
wellcardoso21@gmail.com

Introdução

A preservação do patrimônio histórico ultrapassa a dimensão estética da manutenção das fachadas, demandando a adoção de estratégias sistemáticas de gestão de riscos que atuem sobre as causas estruturais da vulnerabilidade. No contexto da cidade de São Luís (MA), esse desafio é intensificado pelas características construtivas predominantes, uma vez que, grande parte dos edifícios históricos é composta por estruturas antigas de alvenaria associada com muita madeira, material que apresenta elevada combustibilidade e contribui para a rápida propagação de incêndios.

Conforme destacado por França et al. (2023a), a vulnerabilidade dessas áreas está fortemente relacionada à pressão exercida pelo processo de urbanização, bem como, à recorrente postergação histórica das ações de manutenção voltadas à segurança. Para além dos riscos inerentes às edificações antigas, a efetividade da proteção desses espaços depende, sobretudo, da atuação das instituições responsáveis. Nesse contexto, a adoção de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), aliada à utilização de indicadores adequados, constitui ferramenta fundamental para a identificação das áreas de maior risco, contribuindo para a otimização do tempo de resposta em emergências (França et al., 2023b).

A área que atualmente apresenta maior grau de preocupação corresponde à Rua Oswaldo Cruz, popularmente conhecida como Rua Grande, principal eixo comercial do centro da capital. Sob a perspectiva da análise de risco, esse logradouro concentra fatores que potencializam a probabilidade e a severidade de eventos adversos, tais como, elevada densidade de edificações históricas, intenso fluxo de pessoas, atividades comerciais diversificadas e presença de materiais com alto potencial inflamável.

Dados oficiais do Corpo de Bombeiros Militar do Maranhão (CBMMA, 2025) indicam a necessidade urgente de intensificação das ações de fiscalização, principalmente diante da ocorrência de três incêndios de grande relevância registrados ao longo de 2025. O primeiro evento ocorreu em agosto, na própria Rua Grande; o segundo, em outubro, atingiu um galpão de armazenamento de materiais inflamáveis nas proximidades do Mercado Central; e o terceiro, em dezembro, alcançou estabelecimentos situados no Mercado das Tulhas.

Esses episódios evidenciam não apenas a recorrência do perigo, mas também a elevada exposição e vulnerabilidade da área, reforçando a necessidade de medidas preventivas, monitoramento contínuo e fortalecimento da capacidade institucional de resposta, a fim de reduzir os impactos potenciais sobre o patrimônio histórico, a atividade econômica e a segurança da população.

Diante desse histórico recente, impõe-se o seguinte questionamento: em que medida a fragilidade da cultura de prevenção e a irregularidade técnica dos estabelecimentos comerciais da Rua Grande podem culminar em um desastre patrimonial de caráter irreversível no Centro Histórico? Parte-se da hipótese de que a elevada rotatividade dos empreendimentos comerciais, aliada ao limitado conhecimento dos proprietários acerca das normas técnicas e de segurança, contribuiu para a consolidação de uma “vulnerabilidade silenciosa”.

Com base nos registros apresentados pelo Corpo de Bombeiros Militar do Maranhão (CBMMA, 2025), infere-se que, na ausência de uma gestão de riscos efetiva e diante da permanência de instalações elétricas obsoletas e da insuficiência de ações de manutenção preventiva, o conjunto edificado não apresenta capacidade de resistência a um incêndio de média proporção. Nessa perspectiva, falhas pontuais em estabelecimentos individuais extrapolam o âmbito privado e configuram-se como ameaças de caráter coletivo, colocando em risco a integridade do acervo patrimonial reconhecido pela UNESCO.

O objetivo geral deste artigo consiste em analisar o panorama da segurança contra incêndio na Rua Grande, à luz dos resultados da Operação Guardiões (2025). Para o alcance desse objetivo, estabelecem-se como objetivos específicos: diagnosticar o nível de regularização documental dos estabelecimentos comerciais; identificar das principais não conformidades vinculadas aos sistemas de prevenção; e discutir como a contribuição de indicadores de desempenho ajudam na preservação do acervo patrimonial.

A Vulnerabilidade do Patrimônio Urbano e as Diretrizes da UNESCO

A preservação de centros históricos reconhecidos como Patrimônio Mundial pela UNESCO requer a adoção de uma abordagem de gestão de riscos que transcenda a conservação estética. Conforme Stovel (1998), referência fundamental do International Centre for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property (ICCROM), o risco de incêndio configura-se como a ameaça de maior potencial catastrófico para esses sítios, uma vez que, diferentemente dos processos de degradação natural, o fogo pode resultar na destruição completa da “autenticidade material” dos bens culturais, constituindo uma perda irreversível que nenhuma técnica de reconstrução moderna consegue recuperar ao seu estado original.

No contexto brasileiro, a vulnerabilidade desses sítios é intensificada pelo fenômeno definido por Khoury (2003) como “pressão de uso”, caracterizado pela conversão de edificações residenciais coloniais em estabelecimentos comerciais de elevada rotatividade. Tal processo impõe cargas de incêndio e demandas elétricas incompatíveis com as características construtivas originais dos edifícios dos séculos XVIII e XIX. Em São Luís, essa dinâmica manifesta-se de forma particularmente acentuada na Rua Grande, em razão de sua centralidade econômica e do intenso fluxo diário de consumidores, configurando um cenário no qual os requisitos de segurança contra incêndio frequentemente não acompanham a velocidade das transformações funcionais dos imóveis.

Para além dos danos materiais, a UNESCO ressalta que a perda de bens patrimoniais compromete não apenas a integridade física do acervo cultural, mas também a identidade coletiva e a sustentabilidade econômica do turismo. Nesse sentido, a gestão de desastres aplicada ao estudo de caso demanda a elaboração de planos de contingência integrados, envolvendo não só o Corpo de Bombeiros, bem como, os

comerciantes e a comunidade local, de modo a fortalecer a cultura de prevenção e reduzir a exposição ao risco. Ademais, sem uma cultura preventiva, o patrimônio vive sob ameaça constante e qualquer curto-circuito pode gerar uma crise internacional para a imagem da cidade.

As diretrizes mundiais indicam que a resiliência de centros históricos depende da capacidade de resposta rápida, da atualização permanente das normas de segurança e da compatibilização entre tecnologias contemporâneas e materiais construtivos tradicionais, como pedra, cal e madeira. Aplicadas ao contexto da Rua Grande, essas diretrizes evidenciam a necessidade de articulação entre as políticas de segurança pública e de preservação cultural, reconhecendo o risco de incêndio como prioridade estratégica no planejamento urbano de São Luís.

Engenharia de Segurança contra Incêndio em Edificações Antigas

Watts (2001) adverte que a aplicação indiscriminada de normas contemporâneas em edificações históricas pode produzir efeitos desastrosos quanto ao próprio sinistro. O autor defende ainda a adoção da denominada “Engenharia de Desempenho”, abordagem com foco em soluções sem a necessidade de intervenções, como a demolição de elementos construtivos históricos ou a descaracterização das fachadas. Tais soluções classificadas como medidas compensatórias, buscam compatibilizar os requisitos de segurança com a preservação do valor patrimonial.

No contexto específico de São Luís, Santos (2019) identifica a “continuidade construtiva” como um dos principais fatores de agravamento do risco de incêndio. As edificações, frequentemente geminadas, compartilham estruturas de cobertura em madeira (caibros e ripas), o que favorece a criação de um corredor de fogo livre por cima das lojas. Na ausência de barreiras corta-fogo, um foco inicial de incêndio em um ponto da Rua Grande pode disseminar-se rapidamente pelo telhado, atingindo múltiplos imóveis antes mesmo da chegada das equipes do Corpo de Bombeiros.

A complexidade do cenário é ampliada pelas limitações técnicas impostas às edificações históricas, que dificultam a instalação de sistemas convencionais de combate a incêndio, como hidrantes e sprinklers, os quais demandam reservatórios de grande capacidade e tubulações de

elevado peso. Considerando a fragilidade estrutural, o espaço reduzido e as fundações antigas desses imóveis, alternativas tecnológicas como sistemas de detecção de fumaça e de supressão por névoa de água (water mist), apresentam-se como soluções mais adequadas. Esses sistemas possibilitam o controle do incêndio em sua fase inicial, com menor impacto físico sobre o acervo edificado e reduzidos danos colaterais.

A engenharia aplicada à proteção contra incêndio em sítios históricos deve considerar o comportamento térmico dos materiais construtivos tradicionais, como madeiras (pau-d'arco e angelim) e pedras, cujas respostas ao calor intenso diferem de estruturas de concreto armado e aço. O conhecimento dessas particularidades é fundamental para subsidiar a adoção de técnicas do Corpo de Bombeiros, contribuindo para a aplicabilidade de estratégias quem possam combater e minimizar o risco de colapso estrutural durante o incêndio, assegurando simultaneamente a proteção das guarnições e a preservação das estruturas arquitetônicas.

Gestão de Riscos e Indicadores de Desempenho Operacional

A ciência aplicada à gestão de emergências tem ampliado seu foco para além da resposta aos incêndios, priorizando estratégias preventivas e ações de antecipação ao risco. França et al. (2023a) demonstram que o monitoramento de centros históricos demanda de indicadores de risco claro, tais como: carga de incêndio, condições das instalações elétricas e o histórico de ocorrências registradas. Nessa perspectiva, a gestão de riscos deixa de se restringir a vistorias documentais esporádicas e passa a configurar-se como um processo contínuo de vigilância, fundamentado em dados reais atualizados por sistemas inteligentes de informação.

Nesse contexto, França et al. (2023b) ressaltam a relevância dos Mapas Digitais e dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) como ferramentas estratégicas para a atuação do Corpo de Bombeiros militares. A espacialização das irregularidades observadas em operações como a “Guardiões”, possibilita a identificação de áreas críticas de concentração de risco, comumente denominadas “manchas de calor”, associadas à ausência de extintores ou à obsolescência das instalações elétricas. Essa abordagem subsidia o processo decisório do comando operacional, permitindo a priorização de áreas para fiscalização e intervenção, com otimização dos recursos e do tempo de resposta das guarnições.

A utilização de indicadores também se mostra fundamental para a avaliação da efetividade das ações preventivas implementadas. A análise comparativa dos dados oriundos de vistorias realizadas em períodos anuais distintos, permite verificar a evolução do nível de regularização dos estabelecimentos comerciais ou, alternativamente, a persistência de condições de risco na Rua Grande. Essa cultura orientada por métricas possibilita ao Corpo de Bombeiros Militar do Maranhão (CBMMA) ajustar as normas técnicas à realidade física, histórica e econômica do Centro Histórico, sem comprometer os níveis mínimos de segurança exigidos para a proteção da vida humana.

Ademais, a governança do risco em sítios históricos pressupõe a articulação institucional contínua entre órgãos como o Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) e o poder público municipal. A efetividade da gestão está condicionada à integração de bases de dados e à utilização dos resultados das fiscalizações do Corpo de Bombeiros como subsídio para decisões relativas à concessão de alvarás de funcionamento e licenças comerciais. O monitoramento permanente e o emprego de geotecnologias configuram-se como instrumentos essenciais para assegurar a preservação do Centro Histórico de São Luís como legado cultural, mitigando o risco de que eventos extremos convertam a memória urbana em perdas irreversíveis.

A Rua Oswaldo Cruz, consagrada pelo uso popular como Rua Grande, constitui-se como o principal eixo de vitalidade econômica e fluxo social do Centro Histórico de São Luís, funcionando como um organismo urbano pulsar onde convergem a memória arquitetônica colonial e a intensa dinâmica comercial contemporânea. Do ponto de vista da Engenharia de Segurança, este logradouro apresenta um cenário de complexidade ímpar: a densidade do edificado geminado, as estruturas de cobertura em madeira com elevada continuidade construtiva e a alta rotatividade ocupacional criam um ambiente de vulnerabilidade latente. A transmutação funcional desses imóveis, que outrora serviam como residências aristocráticas e hoje albergam depósitos e lojas de elevada carga de incêndio, exige uma gestão de riscos que harmonize o valor patrimonial reconhecido pela UNESCO com a necessidade imperativa de protocolos de segurança contra incêndio e pânico, sob pena de qualquer sinistro pontual propagar-se de forma incontrolável por este corredor histórico.

Procedimentos Metodológicos

A presente metodologia se caracteriza como um estudo de caso descritivo e exploratório, utilizando uma abordagem mista que combina a análise quantitativa dos dados com uma percepção qualitativa sobre os riscos patrimoniais. A fundamentação do trabalho se deu por meio da coleta de dados técnicos durante a Operação Guardiões do Patrimônio Histórico, realizada pelo CBMMA entre os dias 10 e 17 de dezembro de 2025.

O foco central foi o eixo comercial mais pulsante do Centro Histórico de São Luís, a Rua Oswaldo Cruz (Rua Grande) e as vias que a circundam imediatamente. O universo da pesquisa compreendeu 113 prédios históricos mapeados previamente no perímetro comercial, mas a amostragem final foi consolidada em 97 estabelecimentos que apresentavam ocupação ativa e permitiram a entrada das equipes para uma vistoria detalhada *in loco*.

A coleta de dados foi realizada por nove equipes vinculadas à Diretoria de Atividades Técnicas (DAT). As atividades de campo seguiram um protocolo metodológico baseado na aplicação de checklists elaborados em conformidade com os dispositivos da Lei Estadual nº 11.390/2020, que estabelece as normas de segurança contra incêndio e pânico no Estado. Adicionalmente, os dados obtidos *in loco* foram sistematicamente confrontados e validados por meio do cruzamento com informações registradas no Sistema de Atividades Técnicas (SAT/CBMMA).

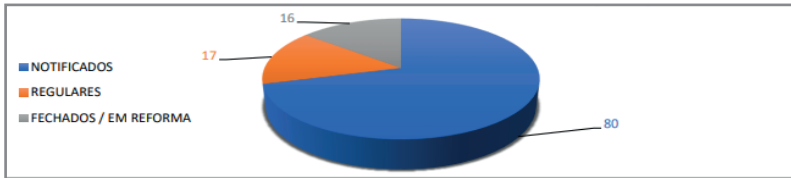
Durante as vistorias, as variáveis auditadas focaram nos principais vetores de risco: estado das fiações elétricas (NBR 5410), validade de extintores e funcionalidade dos sistemas de iluminação e sinalização de emergência. Cada ocupação foi enquadrada conforme sua carga de incêndio real (NT 01/2024). Todo o material gerado foi tabulado e submetido à análise estatística descritiva, confrontando os achados com o referencial teórico de FRANÇA et al. (2023a; 2023b) para validar os indicadores de vulnerabilidade encontrados na área.

Diagnóstico do nível de regularização documental dos estabelecimentos comerciais

Após a realização dos procedimentos de vistoria entre os dias 10 a 17 de dezembro de 2025, foi possível verificar o cadastramento de 113 edificações analisadas na Rua Oswaldo Cruz, com *status* operacional

de segurança física de suas instalações de segurança contra incêndios e emergências, conforme demonstrado na Figura 1 a seguir:

Figura 1 - Demonstrativo de regularidade das edificações sito a Rua Grande (2025).



Fonte: CBMMA (2025)

Figura 1 especifica que apenas 15,04% da amostra apresenta regularização documental junto ao Corpo de Bombeiros Militar do Maranhão; 70,79% foram notificadas por alguma não conformidade de projeto, execução ou instalação dos preventivos fixos e móveis de proteção contra incêndios e emergências; e em 14,17% dos estabelecimentos comerciais não foi possível realizar a ação de vistoria em virtude de estarem fechados ou em reforma.

Descritivamente, dos 17 estabelecimentos comerciais regulares, apenas 10 apresentaram Certificado de Aprovação mediante Processo Técnico Normal (PT), 4 por Processo Técnico Simplificado (PTS – médio risco), além de 3 com dispensa de certificação por estarem classificados em baixo risco. Destaca-se que todos os estabelecimentos comerciais vistoriados munidos de certificação do CBMMA apresentaram algum tipo de irregularidade. Esse panorama evidencia pontos de discussão como a alteração dos dispositivos preventivos móveis pós vistoria de aprovação do CBMMA; a obstrução dos dispositivos fixos e móveis, principalmente extintores e caixas de hidrantes de canalização preventiva; o aumento da carga de incêndio por acondicionamento de materiais combustíveis em desconformidade com o projeto aprovado; e a indisponibilidade de adaptabilidade da edificação às recentes mudanças legislativas de segurança contra incêndio no Estado do Maranhão.

A regularização documental junto ao Corpo de Bombeiros transcende o caráter de mera exigência administrativa, configurando-se como um instrumento essencial para a verificação da existência de condições mínimas de segurança previamente projetadas nas edificações.

O processo de certificação possibilita à corporação o conhecimento sistematizado da configuração interna dos riscos, contribuindo para o aprimoramento dos sistemas de apoio à decisão operacional. Todavia, a análise do histórico de ocupação da Rua Grande evidencia a persistência de uma resistência cultural ao cumprimento das normas técnicas, resultando em uma lacuna crítica entre o uso comercial efetivamente praticado e o nível de segurança jurídica e técnica requerida para a adequada preservação do patrimônio edificado histórico.

Identificação das não conformidades vinculadas aos sistemas de prevenção

Outro fator determinante para a análise da segurança contra incêndios e emergências da Rua Oswaldo Cruz é a identificação das principais não conformidades dos sistemas de prevenção. Destacam-se como principais não conformidades as identificadas na carência de licenças para funcionamento dos estabelecimentos comerciais e a operacionalização dos sistemas preventivos de extintores, iluminação, sinalização, hidrantes, escadas, central de gás, sistema elétrico, elevador e SPDA. A Figura 2 a seguir, exemplifica as não conformidades identificadas.

Figura 2 - Principais não conformidades de segurança contra incêndio identificadas na Rua Oswaldo Cruz (2025)



Fonte: CBMMA (2025)

A Figura 2 evidencia a existência de 340 não conformidades de segurança contra incêndio na Rua Oswaldo Cruz. Os principais

itens foram a inexistência ou certificação vencida compondo 22,05% da amostra, seguido pelos inoperância dos sistemas basilares para edificações no Estado do Maranhão como: sinalização (18,23%) e iluminação de emergência (17,35%); extintores leves e portáteis (14,41%); e saídas de emergências (10,90%). A configuração dessas não conformidades compreendem 82,94% da amostra. Considerando o Princípio de Pareto, no qual 80% dos resultados provém de 20% das causas, logo para a resolução da segurança contra incêndio e emergências da Rua Grande pontua-se a resolução das não conformidades relativas a certificações, sinalizações, iluminações, extintores e saídas de emergências.

Discussão como a contribuição de indicadores de desempenho ajudam na preservação do acervo patrimonial

A utilização de indicadores de desempenho, fundamentada nos resultados da Operação Guardiões (2025), permite transmutar a percepção subjetiva de perigo em uma métrica objetiva de vulnerabilidade territorial. Ao observar que a inoperância de sistemas básicos de sinalização e iluminação de emergência atinge patamares superiores a 35% da amostra, estabelece-se um indicador de “cegueira operacional” em caso de sinistros. Conforme preconizado por França et al. (2023a), o emprego de indicadores claros de risco permite que a gestão do Centro Histórico abandone o modelo reativo e adote uma postura preditiva. No caso da Rua Grande, o índice de irregularidade documental de 70,79% funciona como um indicador antecedente de desastre, sinalizando que a maioria das ocupações opera à margem dos protocolos de segurança, o que compromete a eficácia de qualquer plano de contingência integrado.

Ademais, a espacialização desses indicadores por meio de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) possibilita a geração de “manchas de calor” que correlacionam a carga de incêndio real com a precariedade das instalações elétricas obsoletas. Essa análise espacial revela que a “vulnerabilidade silenciosa” mencionada na hipótese deste trabalho não é uniformemente distribuída, mas concentrada em polos de alta rotatividade comercial. A integração desses indicadores ao monitoramento contínuo permite ao CBMMA e aos órgãos de preservação, como o IPHAN, priorizar intervenções estruturais nos pontos de maior potencial de propagação. A eficácia da salvaguarda patrimonial, portanto, é diretamente proporcional à precisão dos

indicadores, que servem como suporte técnico para a tomada de decisão estratégica e para a otimização do tempo de resposta operacional.

Por fim, a consolidação de indicadores de desempenho operacional atua como um indutor de resiliência ao fomentar uma cultura de responsabilidade compartilhada entre o poder público e o setor privado. A transparência dos dados estatísticos sobre as não conformidades nas saídas de emergência e extintores expõe a fragilidade da integridade física do acervo reconhecido pela UNESCO perante a comunidade e investidores. Conclui-se que os indicadores não são apenas ferramentas de controle, mas instrumentos de governança do risco que validam a necessidade de investimentos em tecnologias de supressão menos invasivas e em manutenções preventivas rigorosas. Somente através de uma gestão baseada em evidências georreferenciadas será possível mitigar a probabilidade de um incêndio de média proporção converter a memória urbana de São Luís em cinzas irreversíveis.

Conclusão

A presente investigação permite responder de forma assertiva à questão central proposta deste estudo, ao evidenciar que a fragilidade técnica das edificações, aliada à ausência de uma cultura preventiva consolidada na Rua Oswaldo Cruz (Rua Grande), insere o acervo reconhecido como Patrimônio Mundial pela UNESCO em um contexto de vulnerabilidade crítica, no qual a probabilidade de ocorrência de um desastre de caráter irreversível se apresenta como real e iminente. Os dados coletados corroboram integralmente a hipótese de que o Centro Histórico de São Luís se encontra submetido a uma condição de “vulnerabilidade silenciosa”, resultante da combinação entre elevada rotatividade comercial e limitado conhecimento ou cumprimento das normas de segurança contra incêndio. Nesse cenário, falhas técnicas pontuais, como as 19 redes elétricas classificadas como críticas, deixam de representar riscos isolados e passam a configurar ameaças de natureza coletiva à integridade do patrimônio edificado.

A análise dos resultados da Operação Guardiões (2025) revela um cenário de vulnerabilidade crítica no Centro Histórico de São Luís, evidenciado por um índice de irregularidade documental de 70,79%, onde apenas 15,04% da amostra possui certificação ativa junto ao CBMMA. A investigação identificou 340 não conformidades técnicas, com destaque para a inoperância de sistemas vitais como sinalização,

iluminação de emergência e extintores, que somados à precariedade das instalações elétricas e à elevada carga de incêndio (81% na classe C2), configuram uma ‘vulnerabilidade silenciosa’. A aplicação de indicadores de desempenho e geotecnologias, conforme proposto por França et al. (2023a), permite converter esses dados em inteligência territorial e ‘manchas de calor’, fundamentais para transmutar a gestão reativa em uma governança preditiva.

Esta pesquisa apresenta limitações, dentre as quais, se destacam o recorte temporal restrito a uma semana de operação e a impossibilidade de vistoria em 14% das edificações mapeadas, em razão de se encontrarem fechadas durante a execução da ação, o que pode indicar a existência de vulnerabilidades ainda não identificadas. Como perspectivas para pesquisas futuras, recomenda-se a ampliação do mapeamento para áreas residenciais do Centro Histórico, bem como a realização de estudos voltados à análise da viabilidade econômica de mecanismos de subsídio público destinados à modernização das instalações elétricas em edificações tombadas. Conclui-se que a salvaguarda do Centro Histórico de São Luís requer a incorporação da segurança contra incêndio ao planejamento urbano como política pública de caráter permanente, de modo a assegurar que a continuidade da história maranhense não seja comprometida por sinistros potencialmente evitáveis.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

BRASIL. Lei Estadual nº 11.390, de 21 de dezembro de 2020. Dispõe sobre a segurança contra incêndio e pânico no Estado do Maranhão e dá outras providências. São Luís: Assembleia Legislativa, 2020.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO MARANHÃO. Norma Técnica nº 01/2024: Procedimentos Administrativos. São Luís: CBMMA, 2024.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO MARANHÃO. Relatório Técnico Operacional: Operação Guardiões do Patrimônio Histórico. São Luís: DAT/CBMMA, 2025.

FRANÇA, C. D. V.; JUNIOR, J. R. P.; OLIVEIRA, A. S. Indicadores de monitoramento dos riscos ao patrimônio histórico: o caso de São Luís-MA. *InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade*, v. 9, n. 22, p. 1-18, 2023a.

FRANÇA, C. D. V.; SILVA, M. G.; PEREIRA, T. C. Sistema de informação geográfica e indicadores de desempenho da atividade bombeiro militar no território maranhense. *Formação (Online)*, v. 30, n. 57, p. 115-134, 2023b.

KHOURY, E. *Patrimônio Imaterial e Gestão de Riscos*. São Paulo: Edusp, 2003.

SANTOS, D. R. S. Edificações históricas no centro de São Luís: importância da prevenção contra incêndio e pânico no Mercado das Tulhas. 2019. 65 f. Monografia (Curso de Formação de Oficiais) - Academia de Bombeiro Militar, Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2019.

STOVEL, H. *Risk Preparedness: A Management Manual for World Cultural Heritage*. Rome: ICCROM, 1998.

WATTS, J. M. Fire safety code determinations for historic buildings. *Fire Technology*, v. 37, n. 3, p. 221-232, 2001.

ANÁLISE DA EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL A ÓLEO DIESEL E FLUIDO HIDRÁULICO EM OFICINA MECÂNICA: UM ESTUDO DE CASO

Willian Moraes Santos
wsengenharia2020@gmail.com

Kaio Henrique Ferreira Nogueira de Nogueira
kaionogueira7@gmail.com

Introdução

A segurança do trabalho constitui um dos pilares essenciais da saúde ocupacional, atuando diretamente na prevenção de acidentes, doenças e agravos decorrentes das condições ambientais e organizacionais. Seu objetivo principal é preservar a integridade física, mental e social dos trabalhadores por meio da identificação, avaliação e controle dos riscos presentes nas diversas atividades produtivas. Em setores como manutenção industrial, oficinas mecânicas e construção civil, onde a manipulação de agentes químicos, físicos e mecânicos é frequente, a implementação de medidas preventivas torna-se indispensável para garantir ambientes laborais seguros, produtivos e em conformidade com a legislação vigente.

Entre os diferentes agentes presentes nos ambientes ocupacionais, os riscos químicos exigem atenção especial devido ao seu caráter oculto, à possibilidade de absorção por múltiplas vias e aos efeitos tóxicos que podem se manifestar de forma imediata ou cumulativa. Nas oficinas mecânicas, destacam-se substâncias amplamente utilizadas como óleo diesel e fluido hidráulico, ambos derivados de petróleo e associados a impactos adversos à saúde humana quando manipulados sem controle adequado.

O óleo diesel é composto por uma mistura complexa de hidrocarbonetos e é reconhecido internacionalmente como agente cancerígeno. A *International Agency for Research on Cancer* (IARC) classifica a exposição a vapores e partículas da combustão de diesel como carcinogênica para humanos (Grupo 1), especialmente relacionada ao câncer de pulmão. Embora sua função original seja como combustível,

é comum observar seu uso inadequado em oficinas como agente desengraxante, expondo trabalhadores ao contato dérmico e respiratório sem proteção adequada.

O fluido hidráulico, por sua vez, é uma substância menos volátil, porém potencialmente perigosa. Quando novo, já contém aditivos irritantes, quando usado, pode estar contaminado com partículas metálicas, resíduos combustos e outros agentes tóxicos. Sua exposição ocorre principalmente por via dérmica durante o manuseio de peças contaminadas, podendo causar irritações, dermatites e, em casos extremos, acidentes graves como injeção hidráulica, que representa risco de necrose e amputação quando não tratada imediatamente.

Embora o Brasil disponha de caráter normativo robusto como as Normas Regulamentadoras NR-7, NR-9 e NR-15 sua aplicação prática, especialmente em pequenas empresas, ainda encontra barreiras. Fatores como ausência de treinamento, uso inadequado ou inexistente de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) e inexistência de sistemas de controle coletivo contribuem para exposição desnecessária dos trabalhadores.

Diante desse cenário, este estudo de caso tem como objetivo analisar os riscos químicos ocupacionais relacionados à exposição ao óleo diesel e ao fluido hidráulico em uma oficina mecânica, avaliando as práticas adotadas, as vias de exposição, os efeitos potenciais à saúde e o grau de conformidade com as normas de segurança do trabalho. A relevância da pesquisa reside na necessidade de ampliar o debate sobre proteção aos trabalhadores de pequenos estabelecimentos, onde práticas informais e ausência de gestão estruturada de segurança ainda são predominantes.

Riscos Químicos e Condições de Exposição em Oficinas Mecânicas

O ambiente de oficinas mecânicas expõe o trabalhador a misturas complexas de hidrocarbonetos aromáticos e alifáticos. O **óleo diesel** é um agente lipossolúvel que degrada a barreira cutânea natural, facilitando a absorção sistêmica de compostos tóxicos. A Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer (IARC, 2024) classifica a exposição ocupacional a esses agentes no Grupo 1, confirmando-os como carcinogênicos para humanos.

A vulnerabilidade dos trabalhadores nesse setor é acentuada pela natureza cumulativa da exposição. Estudos epidemiológicos

indicam que o setor de manutenção automotiva concentra uma das maiores incidências de doenças de pele, onde estima-se que entre **80% a 90% das dermatoses ocupacionais** sejam causadas por agentes químicos irritantes, como óleos e solventes (LORENZI et al., 2024). Essa prevalência estatística revela que a dermatite de contato não é apenas um risco eventual, mas uma consequência direta da degradação da camada lipídica, que, ao perder sua proteção, torna-se uma via de entrada para infecções e processos inflamatórios severos.

Fundamentação Legal e a Nova NR-1 (PGR)

A modernização das Normas Regulamentadoras, especialmente a NR-1 (2020), estabeleceu o Gerenciamento de Riscos Ocupacionais (GRO) como o pilar central da segurança. O Programa de Gerenciamento de Riscos (PGR) substituiu o antigo PPRA, exigindo agora um processo contínuo de identificação, avaliação e controle, com planos de ação documentados e revisados periodicamente.

Conforme a Hierarquia de Controle de Riscos:

- **Eliminação/Substituição:** Prioriza-se a troca de agentes perigosos, como o uso de diesel para limpeza, por desengraxantes químicos biodegradáveis.
- **Controles de Engenharia:** Implementação de sistemas de exaustão e ventilação para redução da concentração de vapores (NR-9).
- **Controles Administrativos:** Treinamentos e consulta obrigatória à FDS (ABNT NBR 14725) para o manuseio seguro.
- **EPI:** Fornecimento de luvas nitrílicas ou de PVA e proteção respiratória adequada, conforme a NR-6.

Essas normas fornecem a base legal para o reconhecimento dos perigos, avaliação das exposições, definição de controles, vigilância à saúde e reconhecimento da insalubridade.

Figura 1 – Representação visual das Normas Regulamentadoras



Vigilância à Saúde e Insalubridade (NR-15)

A NR-7 determina que o monitoramento clínico através do PCMSO deve ser fundamentado nos perigos identificados no PGR, visando detectar precocemente agravos como a dermatite de contato. Legalmente, a exposição a hidrocarbonetos e óleos minerais sem a efetiva neutralização caracteriza insalubridade de grau máximo (40%), conforme o Anexo 13 da NR-15 (BRASIL, 1978). A ausência dessa gestão estruturada não apenas compromete a integridade do trabalhador, mas gera um passivo jurídico e previdenciário significativo para a organização.

Práticas de Trabalho que Potencializam os Riscos

A exposição aos agentes químicos não decorre apenas da sua presença, mas principalmente de hábitos culturais e práticas inadequadas, como:

- Uso do diesel como agente de limpeza para peças e mãos;
- Manipulação de peças impregnadas sem EPI adequado;
- Ventilação deficiente;
- Armazenamento irregular de produtos químicos;
- Ausência de treinamentos e procedimentos formais.

A soma desses fatores rompe a Hierarquia de Controle de Riscos, resultando em forte dependência do uso de EPIs quando disponíveis e aumento da probabilidade de agravos à saúde.

Normas e Sistemas de Controle

A estrutura normativa vigente exige:

- Identificação prévia dos agentes (NR-1 e NR-9);
- Adoção de controles coletivos e administrativos;
- Fornecimento obrigatório de EPIs (NR-6);
- Monitoramento clínico ocupacional (NR-7);
- Reconhecimento da insalubridade (NR-15);
- Consulta às FDS (NBR 14725).

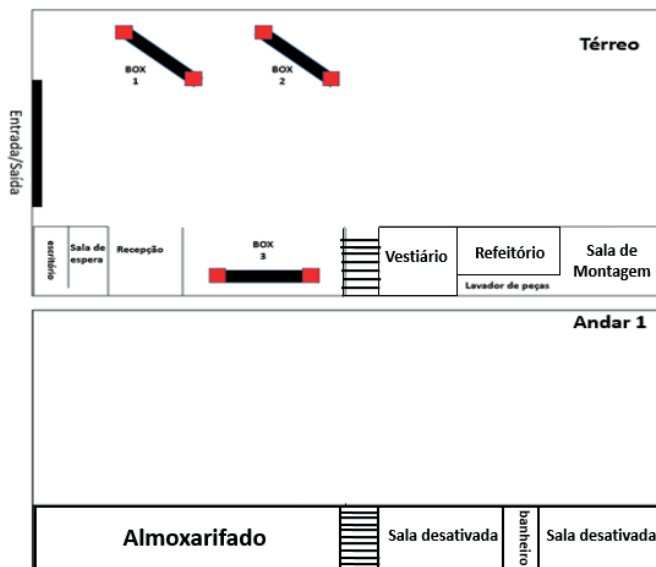
O não cumprimento dessas diretrizes configura um ambiente laboral insalubre e propício ao adoecimento.

Esta pesquisa caracteriza-se como um estudo de caso com abordagem qualitativa e descritiva, voltado à análise das condições de exposição ocupacional a óleo diesel e fluido hidráulico em uma oficina hidráulica localizada em São Luís/Maranhão. A escolha desse delineamento possibilita compreender, em profundidade, as práticas de trabalho, os comportamentos operacionais e as condições ambientais que influenciam a exposição química dos trabalhadores.

O estudo foi conduzido em uma oficina especializada na manutenção e reparo de componentes hidráulicos, composta por térreo e andar superior. O térreo abriga setores como: escritório com sala de espera, recepção, sala de montagem, vestiário, refeitório e lavador de peças. O andar superior contém apenas o almoxarifado e outras duas salas desativadas.

A vista superior é representada no layout a seguir:

Figura 2 – Layout da oficina (Térreo e Andar 1)



Participou do estudo o trabalhador que exerce a função de mecânico hidráulico, atuando com desmontagem, lavagem, análise, correção e remontagem de componentes hidráulicos. As atividades desse profissional envolvem contato direto e repetitivo com óleo diesel e fluido hidráulico, especialmente durante os processos de manutenção, limpeza e desengraxe.

A coleta de dados ocorreu ao longo de 60 dias úteis, utilizando as seguintes estratégias:

- **Observação participante:** acompanhando a rotina do mecânico durante todas as etapas do processo produtivo.
- **Registro fotográfico:** para documentar práticas de risco, condições ambientais e vias de exposição.
- **Análise documental:** consulta às Fichas com Dados de Segurança (FDS) e Normas Regulamentadoras aplicáveis.
- **Comparação legal:** confrontando as práticas com NR-1, NR-6, NR-7, NR-9 e NR-15.

Procedimentos de Análise

As informações coletadas foram organizadas e analisadas com base na Hierarquia de Controle de Riscos, considerando:

- Mecanismos de exposição.
- Ausência ou ineficácia de controles.
- Uso e adequação de EPIs.
- Requisitos legais aplicáveis.
- Potenciais efeitos à saúde dos trabalhadores.

A análise foi estruturada por categorias temáticas, permitindo compreender a interação entre ambiente, tarefas e agentes químicos presentes na oficina.

Caracterização Geral do Ambiente de Trabalho

A oficina analisada apresenta estrutura típica de estabelecimentos de pequeno porte do setor mecânico, marcada por organização limitada, ventilação deficiente e acúmulo de agentes contaminantes provenientes das atividades de manutenção hidráulica. Durante o período de observação, foram registradas condições que favorecem a exposição dérmica e inalatória aos agentes químicos, principalmente devido ao uso frequente de óleo diesel para limpeza de peças e superfícies, além do contato constante com fluido hidráulico usado.

Figura 3 – Vista geral da oficina



A configuração do ambiente e a disposição dos setores não contribuem para a dispersão de vapores e odores, especialmente na sala de montagem, onde há pouca circulação de ar e grande manipulação de componentes contaminados.

Sala de Montagem e Organização do Trabalho

A sala de montagem concentra a maior parte das atividades de desmontagem, análise e remontagem dos componentes hidráulicos. Observou-se acúmulo de peças impregnadas com graxa, resíduos de óleo e fluido hidráulico, além da falta de sinalização, contenção e organização adequada.

Figura 4 – Aspectos da organização do trabalho e do manuseio de fluidos contaminados na oficina



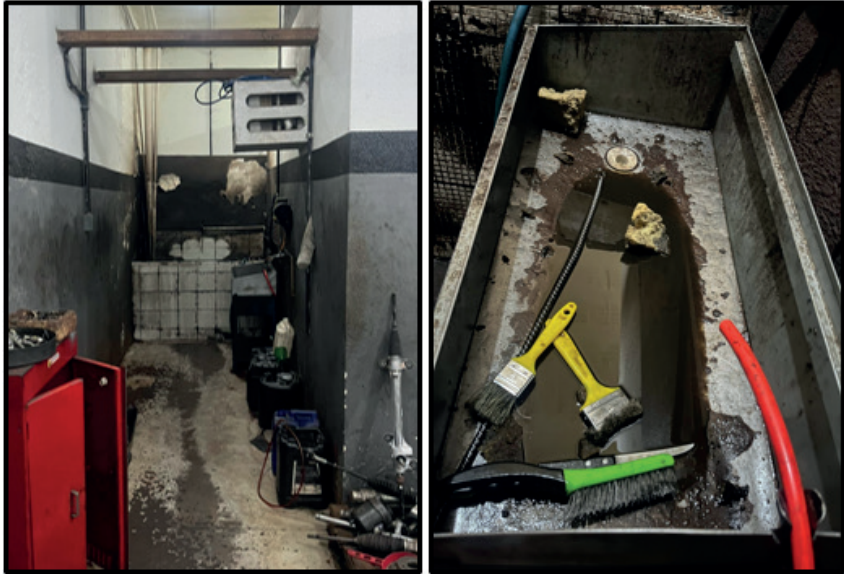
A presença de ferramentas espalhadas, recipientes sem identificação e peças contaminadas sobre as bancadas representa risco direto aos trabalhadores, que mantêm contato manual constante com agentes químicos irritantes e potencialmente tóxicos.

Área do Lavador de Peças

O lavador de peças é um dos pontos mais críticos do ambiente. O equipamento utilizado é uma cuba aberta, sem sistema de exaustão

ou contenção de vapores. Foi observado o uso de óleo diesel como principal agente de limpeza, prática que intensifica significativamente a exposição.

Figura 5 – Lavador de peças



A ausência de ventilação local exaustora e de cabine fechada potencializa a inalação de vapores e aumenta a probabilidade de contaminação dérmica durante o manuseio das peças contaminadas.

Exposição Dérmica

A exposição dérmica foi uma das condições mais evidentes durante a análise. O mecânico manipula peças impregnadas com óleos e fluidos contaminados, muitas vezes sem o uso adequado de luvas resistentes a hidrocarbonetos. Uma prática recorrente observada foi a imersão das mãos dentro de óleo diesel para facilitar a remoção de sujeira e resíduos.

Figura 06 – Evidência da exposição dérmica: contaminação por graxa e óleo contaminado (esquerda) e imersão das mãos em óleo diesel para limpeza (direita)



Essa conduta amplia drasticamente o risco de dermatites ocupacionais, fissuras e processos inflamatórios, representando clara violação das normas de segurança.

Exposição por Via Inalatória

A exposição respiratória ocorre principalmente em ambientes pouco ventilados, como a sala de montagem, onde peças impregnadas com fluido hidráulico e diesel permanecem expostas, liberando vapores. A área do lavador de peças, por sua vez, constitui um ambiente semi-confinado, sem sistema de exaustão, aumentando a concentração de vapores orgânicos no ar.

Figura 07 – Sala de montagem sem renovação de ar (esquerda) e lavador de peças semi-confinado e sem exaustão (direita)



Tais condições configuram risco respiratório significativo, especialmente pela inalação contínua de compostos orgânicos voláteis (COVs), hidrocarbonetos e névoas oleosas.

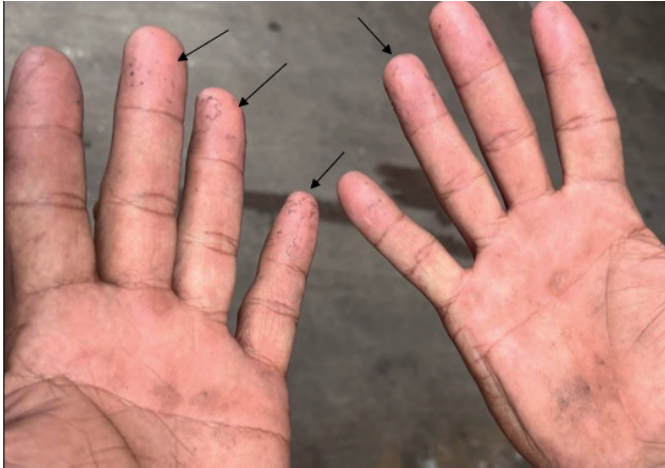
Discussão

A análise das condições observadas na oficina mecânica revela um cenário crítico de exposição ocupacional a agentes químicos, especialmente óleo diesel e fluido hidráulico. As práticas operacionais adotadas pelos trabalhadores, somadas à ausência de medidas de controle coletivo, configuram um ambiente com elevada probabilidade de agravos à saúde. Os resultados obtidos demonstram que as falhas encontradas não se caracterizam como eventos isolados, mas como parte de uma cultura organizacional que naturaliza comportamentos de risco e ignora procedimentos básicos de segurança.

Do ponto de vista da exposição dérmica, verificou-se contato direto e repetitivo dos trabalhadores com fluidos contaminados, bem como o uso inadequado de óleo diesel para limpeza das mãos. Essa prática, além de violar as diretrizes de segurança estabelecidas pela NR-6 e pelas FDS dos produtos manipulados, evidencia ausência de conscientização sobre os perigos associados aos hidrocarbonetos. A

literatura aponta que a exposição contínua a esses agentes está associada ao desenvolvimento de dermatites irritativas e inflamatórias, condição corroborada pelas evidências visuais observadas no trabalhador avaliado.

Figura 8: Manifestação de dermatite de contato em trabalhador exposto



Do ponto de vista respiratório, as condições de ventilação insuficientes, especialmente na sala de montagem e no lavador de peças, favorecem a concentração de vapores orgânicos e partículas suspensas contendo resíduos oleosos. A NR-9 determina que ambientes com agentes químicos voláteis devem adotar medidas de ventilação mecânica ou exaustão localizada — controles totalmente ausentes no local estudado. A manutenção de atividades em ambientes parcialmente confinados, sem renovação adequada de ar, intensifica o risco de inalação de compostos orgânicos voláteis (COVs), podendo desencadear cefaleias, irritação das vias aéreas e desconfortos respiratórios.

Outro aspecto relevante observado foi a inadequação dos EPIs, tanto em quantidade quanto em especificidade. O uso de luvas inadequadas ou a completa ausência delas demonstra falhas no fornecimento e na gestão dos equipamentos obrigatórios. De acordo com a NR-6, cabe ao empregador assegurar que os EPIs fornecidos sejam adequados aos riscos e que os trabalhadores sejam treinados quanto ao seu uso, higienização e substituição. No entanto, a realidade observada indica ausência de orientação formal, inexistência de registros e falta de fiscalização interna.

Além disso, notou-se que o estabelecimento não possui Programa de Gerenciamento de Riscos (PGR) nem Plano de Ação, em descompasso com o que exige a NR-1. A falta desse documento compromete toda a estrutura de prevenção, pois impede que os riscos sejam identificados, monitorados e controlados de forma sistemática. Essa deficiência contribui diretamente para a perpetuação de práticas inseguras e para a ocorrência de agravos à saúde, como a dermatite constatada.

De forma geral, os achados deste estudo confirmam que a soma de práticas inadequadas, ausência de controles de engenharia, uso insuficiente de EPIs, ausência de treinamentos e falta de gestão estruturada da segurança cria um ambiente de trabalho onde a exposição química é elevada, desnecessária e completamente evitável. A correção dessas falhas exige uma abordagem integrada que envolva medidas de engenharia, administrativas e de conscientização dos trabalhadores.

Conclusão

A avaliação das condições de trabalho na oficina mecânica estudada permitiu identificar falhas significativas no gerenciamento dos riscos químicos associados ao uso de óleo diesel e fluido hidráulico. As observações realizadas ao longo do período de coleta evidenciaram práticas inadequadas profundamente incorporadas à rotina operacional, como o uso de diesel para limpeza manual e o contato direto e repetitivo com fluidos contaminados, sem a adoção de medidas de proteção adequadas.

As análises demonstraram que a ausência de controles de engenharia, a ventilação insuficiente, o uso inadequado de EPIs e a inexistência de procedimentos formais constituem fatores que intensificam a exposição dérmica e inalatória dos trabalhadores. Constatou-se, ainda, que o estabelecimento não possui Programa de Gerenciamento de Riscos (PGR), em desacordo com a NR-1, e que não realiza monitoramento sistemático da saúde dos trabalhadores, conforme previsto na NR-7. Tais lacunas estruturais contribuem diretamente para o surgimento de agravos, como a dermatite de contato observada no mecânico avaliado.

Os resultados evidenciam a necessidade urgente de implantação de um sistema de gestão de segurança efetivo, baseado na identificação dos riscos, na implementação de controles de engenharia, na reorganização das práticas de trabalho e no fornecimento e uso

adequado de EPIs. Medidas simples, como substituição do diesel por desengraxantes apropriados, instalação de exaustão localizada no lavador de peças e implementação de treinamentos periódicos, são fundamentais para reduzir a exposição e prevenir agravos à saúde.

Conclui-se que a oficina analisada apresenta condições que configuram risco significativo e evitável à saúde ocupacional, sendo imprescindível a adoção de estratégias preventivas alinhadas às Normas Regulamentadoras. A pesquisa reforça a importância da promoção de uma cultura de segurança voltada não apenas ao cumprimento legal, mas à preservação efetiva da integridade e do bem-estar dos trabalhadores.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 14725: Produtos químicos — Informações sobre segurança, saúde e meio ambiente — Ficha com dados de segurança (FDS) e rótulo. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência. Norma Regulamentadora nº 1 (NR-1): Disposições gerais e gerenciamento de riscos ocupacionais. Portaria SEPRT nº 6.730, de 09 mar. 2020. Brasília, DF: MTP, 2020.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência. Norma Regulamentadora nº 6 (NR-6): Equipamento de Proteção Individual – EPI. Portaria MTb nº 3.214, de 08 jun. 1978, e atualizações. Brasília, DF: MTP, 2021.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência. Norma Regulamentadora nº 7 (NR-7): Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional – PCMSO. Portaria SEPRT nº 6.734, de 09 mar. 2020. Brasília, DF: MTP, 2020.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência. Norma Regulamentadora nº 9 (NR-9): Avaliação e controle das exposições ocupacionais a agentes físicos, químicos e biológicos. Portaria SEPRT nº 6.735, de 10 mar. 2020. Brasília, DF: MTP, 2020.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência. Norma Regulamentadora nº 15 (NR-15): Atividades e operações insalubres. Portaria MTb nº 3.214, de 08 jun. 1978, e atualizações. Brasília, DF: MTP, 1978.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER. Diesel engine exhaust carcinogenic. Lyon: IARC, 12 jun. 2012. (Press Release, n. 213).

LORENZI, C. et al. Dermatoses ocupacionais em trabalhadores de oficinas mecânicas: uma revisão sistemática. *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional*, 2024.

ULTRAX DO BRASIL INDÚSTRIA QUÍMICA LTDA. Motorfix DH Tipo A. FISPQ – Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos. Pederneiras, SP, 07 dez. 2020.

VIBRA ENERGIA S.A. **Óleo Diesel B S10**. FDS – Ficha com Dados de Segurança. Rio de Janeiro, 04 dez. 2024.

SEGURANÇA DO TRABALHO EM VÁRIAS ETAPAS DA CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA ABORDAGEM DA ENGENHARIA DE SEGURANÇA

Arthur Thalisson Maciel Brito

Introdução

A Indústria da Construção Civil representa um pilar fundamental para a economia global, sendo um motor de desenvolvimento e geração de emprego. O segmento abrange um conjunto diversificado de atividades, incluindo a edificação de empreendimentos residenciais, comerciais e industriais (Santos, 2025). Contudo, este setor é historicamente reconhecido pelos seus elevados índices de acidentes de trabalho (Melo, 2023).

De acordo com a Lei 8.213/91, acidente do trabalho é o que ocorre pelo exercício do trabalho a serviço de empresa ou de empregador doméstico ou pelo exercício do trabalho dos segurados, provocando lesão corporal ou perturbação funcional que cause a morte, a perda ou redução, permanente ou temporária, da capacidade para o trabalho.

No contexto nacional, dados oficiais divulgados pelo Ministério do Trabalho e Emprego – MTE, indicam que, desde 2021, o número de acidentes de trabalho no Brasil apresenta tendência contínua de crescimento. Registros apontam aumentos sucessivos entre os anos de 2021 e 2024, bem como elevação de 8,98% na comparação entre os primeiros semestres de 2024 e 2025. Embora se observe uma desaceleração no ritmo de crescimento, os dados evidenciam a persistência do problema e reforçam a necessidade de fortalecimento das políticas públicas e das ações preventivas voltadas à promoção da saúde e segurança nos ambientes de trabalho. (Brasil, 2025).

A segurança do trabalho no âmbito da engenharia civil constitui um elemento essencial para a sustentabilidade dos empreendimentos e para a proteção da vida dos trabalhadores envolvidos nas diversas etapas do processo construtivo. Além de preservar a integridade física dos trabalhadores, a segurança do trabalho contribui para o aumento da produtividade, a redução de custos decorrentes de afastamentos e indenizações e o cumprimento das exigências legais, configurando-

se como um fator estratégico para a engenharia civil contemporânea (Borges et al., 2021)

Este estudo se fundamenta na necessidade de aprofundar a compreensão sobre os dois principais instrumentos normativos que regem a segurança no setor: a Norma Regulamentadora nº 18 (NR 18), que estabelece as diretrizes de ordem administrativa, de planejamento e de organização para a implementação de medidas de controle e sistemas preventivos de segurança nos processos, nas condições e no meio ambiente de trabalho na indústria da construção; e o Programa de Gerenciamento de Riscos – PGR, instituído pela nova NR 1, que representa uma evolução ao centralizar a gestão de todos os riscos ocupacionais de forma contínua e proativa.

A transição do antigo Programa de Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção - PCMAT para a integração com o PGR trouxe mudanças significativas na forma como as empresas devem identificar, avaliar e controlar seus riscos. No entanto, a aplicação prática desses novos conceitos ainda gera dúvidas e desafios para gestores, engenheiros de segurança e trabalhadores. Portanto, este artigo se justifica pela urgência em analisar criticamente a interface entre a NR 18 e o PGR, investigando como essa sinergia pode (ou não) potencializar a eficácia das ações preventivas nos canteiros de obras. A pesquisa visa preencher uma lacuna ao oferecer uma análise detalhada dos pontos de convergência, dos desafios de implementação e das melhores práticas, contribuindo com conhecimento técnico-científico que pode subsidiar a tomada de decisões mais seguras e eficientes, reduzindo a ocorrência de acidentes e doenças ocupacionais e promovendo um ambiente de trabalho mais justo e seguro

Mediante isso, o objetivo deste estudo, por meio de uma revisão de literatura, é analisar a interface entre a Norma Regulamentadora nº 18 - NR 18 e o Programa de Gerenciamento de Riscos - PGR, avaliando como a aplicação integrada e rigorosa desses instrumentos nas diversas etapas da construção (da fundação ao acabamento) se traduz em um ambiente de trabalho mais seguro e produtivo. Os objetivos específicos são: (I) - Apresentar as principais exigências da NR 18 e do PGR, destacando as mudanças introduzidas com a substituição do antigo PCMAT. (II) - Comparar, com base na literatura, dados de gestão de segurança do trabalho na construção civil antes e depois da implementação do PGR. (III) - Relacionar os riscos de cada etapa da obra (da fundação ao acabamento) com as soluções de segurança propostas

pela integração da NR 18 e do PGR demonstrando a contribuição para o ambiente de trabalho.

Panorama atual de Acidentes na Construção Civil

O setor da Construção Civil é marcado por um elevado grau de risco, resultado da combinação de fatores como a alta rotatividade de pessoas, a exposição a agentes físicos, químicos e biológicos (Silva, 2023). Segundo estudos de Martins 2025, este conjunto de variáveis contribui diretamente para o cenário de acidentalidade que historicamente afeta o segmento.

A análise estatística dos acidentes é ferramenta crucial para o engenheiro de segurança, pois permite a identificação de padrões de ocorrência e a priorização de intervenções preventivas. Dados do Observatório Digital de Saúde e Segurança do Trabalho (SmartLab, 2012 a 2024) indicam que a Construção Civil, apesar dos avanços regulatórios e tecnológicos, ainda figura entre os setores com maior número de acidentes graves no Brasil. A taxa de letalidade neste setor é superior à média nacional, sendo as quedas de altura a principal causa de óbitos, seguidas por acidentes envolvendo máquinas e equipamentos. Na construção civil especificamente, as principais causas de acidentes fatais estão relacionadas à queda de altura, ao soterramento e ao choque elétrico. Essa realidade estatística reforça a necessidade de uma intervenção técnica e especializada, como a provida pela engenharia de segurança (Brasil, 2024).

Ao analisar a causa dos acidentes, a engenharia de segurança identifica que a maioria dos eventos está ligada a falhas de gestão, à falta de treinamento adequado e, principalmente, à ausência ou inadequação de Sistemas de Proteção Coletiva - EPCs e Equipamentos de Proteção Individual - EPIs (Silva, 2023). No trabalho de Nóbrega e Pereira (2025) ressaltam que, apesar dos desafios enfrentados na implementação dos EPIs, como a resistência dos trabalhadores e a falta de manutenção adequada, o uso eficaz desses equipamentos é indispensável para a prevenção de acidentes e a proteção da saúde ocupacional. Os autores enfatizam ainda a necessidade de investimentos contínuos em educação e treinamento, além do fortalecimento de uma cultura de segurança robusta, para assegurar a aplicação consistente e correta dos EPIs no setor da construção civil.

O Papel Estratégico do Engenheiro de Segurança

O Engenheiro de Segurança atua de forma estratégica, integrando a segurança ao planejamento e ao projeto da obra, e sua função transcende a mera fiscalização. O escopo de sua atuação abrange a elaboração e implementação do Programa de Gerenciamento de Riscos

PGR, a condução de Análises Preliminares de Risco – APR e Análises de Risco do Trabalho – ART para tarefas específicas, a especificação técnica de EPCs e EPIs, e a promoção contínua do treinamento e capacitação dos trabalhadores.

A participação deste profissional desde a fase de concepção do projeto é fundamental, pois permite a aplicação do conceito de «Prevenção Através do Projeto» (Prevention through Design - PtD). Martins (2023) demonstra em seu estudo sobre boas práticas na indústria da construção civil que esta abordagem proativa busca eliminar ou reduzir os riscos na fonte, antes mesmo que a construção se inicie, influenciando a escolha de métodos construtivos mais seguros e a previsão de dispositivos de segurança permanentes na estrutura final. A integração da segurança no projeto estrutural garante que os riscos sejam mitigados desde a concepção, resultando em ambientes de trabalho mais seguros e eficientes.

Schocair et al., (2023) demonstram através de um estudo de caso em construtoras da cidade de Volta Redonda-RJ que o processo de gerenciamento de riscos em projetos de construção civil, quando realizado de forma empírica e intuitiva, sem planejamento formal, resulta em lacunas significativas na gestão de riscos. A pesquisa evidencia que muitas empresas construtoras, apesar de conhecerem e praticarem algumas ações de gestão de riscos, não necessariamente as formalizam em processos estruturados, influenciando diretamente em seu desempenho e eficácia. Regis (2023) corrobora essa importância ao apresentar uma ferramenta de gestão de riscos aplicada especificamente na fase de pré-construção de empreendimentos, evidenciando que a identificação e mitigação de riscos antes do início das obras é essencial para o sucesso do projeto e para a proteção dos trabalhadores.

A importância da ergonomia como componente fundamental para a segurança e saúde ocupacional na construção civil é ressaltada por Araújo et al., (2025), que investigam como a ausência ou invisibilidade da ergonomia nos canteiros de obras compromete o bem-estar dos

trabalhadores. Os autores propõem diretrizes para integrar a ergonomia ao planejamento e execução das atividades laborais, visando à prevenção de doenças ocupacionais e à efetiva implementação em práticas de gestão de segurança. Essa abordagem multidisciplinar, que considera tanto os aspectos técnicos quanto os ergonômicos e psicossociais, representa um avanço significativo na compreensão holística da segurança na construção civil brasileira. O Quadro 1, detalha as principais responsabilidades do Engenheiro de Segurança na gestão de riscos do canteiro de obras.

Quadro 1 - Responsabilidades do Engenheiro de Segurança na gestão de riscos do canteiro de obras

Área de Atuação	Responsabilidade Primária	Impacto na Segurança
Concepção (PtD)	Integração da segurança ao projeto estrutural e arquitetônico.	Prevenção na fonte: Eliminação de riscos antes mesmo do início da obra.
Planejamento	Elaboração e gestão de documentos (PGR, APR e ART).	Mitigação proativa: Identificação de perigos e definição de controles antecipados.
Técnica	Especificação, dimensionamento e fiscalização de EPCs e EPIs.	Proteção física: Garantia da integridade coletiva e individual no canteiro.
Formação	Treinamento, capacitação e diálogos de segurança (DDS).	Cultura e Comportamento: Redução de erro humano e conscientização das normas.

Fonte: Elaborado pelo autor com base na NR-18 e literatura técnica

Utilização do Programa de Gerenciamento de Riscos – PGR

O arcabouço regulatório de segurança e saúde no trabalho na indústria da construção civil brasileira passou por uma significativa evolução com a atualização da Norma Regulamentadora nº 18 (NR-18) em 2020. Esta revisão estabeleceu a obrigatoriedade PGR nos canteiros de obras, substituindo o antigo Programa de Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção - PCMAT (CBIC, 2022). Essa alteração reflete uma abordagem moderna, integralmente alinhada com os princípios do Gerenciamento de Riscos Ocupacionais

GRO definidos na Norma Regulamentadora nº 01 (NR-01), o que enfatiza um processo contínuo e integrado de gestão de riscos, em detrimento do mero cumprimento de requisitos mínimos (Borges, 2022 Silva, 2022).

O PGR se caracteriza como um documento de natureza dinâmica e processual, superando o caráter mais estático de seu antecessor. Sua estrutura se baseia em dois componentes fundamentais: o Inventário de Riscos Ocupacionais e o Plano de Ação. O Inventário exige a identificação sistemática de perigos, a avaliação de riscos e a classificação de severidade, frequentemente utilizando matrizes de risco para quantificar probabilidade e impacto (Travassos et al., 2024). O Plano de Ação, por sua vez, detalha o cronograma e as responsabilidades para a implementação das medidas de controle, garantindo que os riscos sejam especificados de acordo com cada etapa da obra (CBIC, 2022).

O sucesso deste novo modelo de gestão depende criticamente da expertise técnica do Engenheiro de Segurança. Este profissional assume um papel central na elaboração e coordenação do PGR, assegurando que a avaliação de riscos seja tecnicamente fundamentada e que as medidas de controle propostas sejam eficazes e viáveis no contexto operacional do canteiro de obras (Silva, 2023). Tal envolvimento estratégico, desde a fase de planejamento, é crucial para garantir a efetiva implementação das novas diretrizes regulatórias.

O presente estudo caracteriza-se por uma abordagem qualitativa, de natureza exploratória e descritiva, com o objetivo de aprofundar a compreensão sobre a gestão de riscos e a segurança do trabalho na indústria da construção civil. A pesquisa foi desenvolvida por meio de procedimentos técnicos de revisão bibliográfica e documental, conforme delineado por Gil (2019) e Marconi e Lakatos (2017), permitindo a análise crítica e a síntese de informações relevantes sobre o tema.

A revisão bibliográfica abrangeu um levantamento de literatura especializada em Engenharia de Segurança no Trabalho, gestão de riscos na Construção Civil e estudos focados na aplicação da Norma Regulamentadora nº 18 (NR-18) e do Programa de Gerenciamento de Riscos (PGR). As fontes consultadas incluíram artigos científicos publicados em periódicos nacionais e internacionais, livros, teses, dissertações, monografias e anais de congressos, com ênfase em publicações dos últimos cinco anos, embora referências clássicas e marcos regulatórios anteriores também tenham sido consideradas

para contextualização histórica e conceitual. A busca foi realizada em bases de dados acadêmicas como Scielo, Google Scholar e periódicos específicos da área de engenharia e segurança do trabalho.

Paralelamente, a pesquisa documental concentrou-se na análise de documentos oficiais e normativos. Foi examinada a legislação brasileira pertinente à segurança e saúde no trabalho, com destaque para a a NR-18 (Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção). Adicionalmente, foram consultados dados estatísticos de acidentes de trabalho no setor da construção civil, disponibilizados por órgãos oficiais como o Ministério do Trabalho e Emprego - MTE e o Observatório Digital de Saúde e Segurança do Trabalho - SmartLab, bem como publicações da Câmara Brasileira da Indústria da Construção - CBIC.

Os critérios de seleção do material bibliográfico e documental basearam-se na relevância para o tema central do estudo, na credibilidade das fontes e na atualidade das informações, priorizando pesquisas que apresentassem análises teóricas consistentes e discussões sobre as melhores práticas de gestão de segurança. A análise dos dados coletados foi realizada por meio de análise de conteúdo, com o objetivo de identificar padrões, convergências e divergências entre os autores, bem como lacunas de pesquisa, o que permitiu a construção de uma argumentação sólida e fundamentada para as seções de desenvolvimento do trabalho.

Mudança na Gestão de Segurança na Construção Civil

A análise da literatura mostra que a maior mudança na gestão da segurança na construção civil não foi o fim da NR 18 (que continua vigente e como norma setorial principal), mas a forma como ela passou a se conectar a um sistema mais amplo de prevenção de riscos, liderado pelo Programa de Gerenciamento de Riscos (PGR), previsto na NR 1. Essa mudança marcou uma nova maneira de organizar a segurança do trabalho no setor.

Antes da implantação do PGR, em janeiro de 2022, a construção civil seguia principalmente o PCMAT (Programa de Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção). O PCMAT era um programa específico para as obras e, muitas vezes, funcionava de forma isolada, sem diálogo com outros processos de gestão da empresa.

A substituição do PCMAT pelo PGR representa uma verdadeira mudança de mentalidade. O PCMAT costumava ser visto como um

documento fixo, elaborado no início da obra e pouco revisado ao longo do tempo. Já o PGR propõe uma abordagem diferente: ele é um processo contínuo, que acompanha a rotina da empresa e se adapta às mudanças do dia a dia.

De acordo com a NR 1, o PGR funciona como um ciclo permanente de planejamento, execução, verificação e correção das ações de segurança. Isso significa que os riscos precisam ser identificados, avaliados e controlados de forma constante, envolvendo todas as atividades da empresa, e não apenas um canteiro de obras específico. Essa nova lógica fortalece a prevenção de acidentes e contribui para ambientes de trabalho mais seguros e organizados.

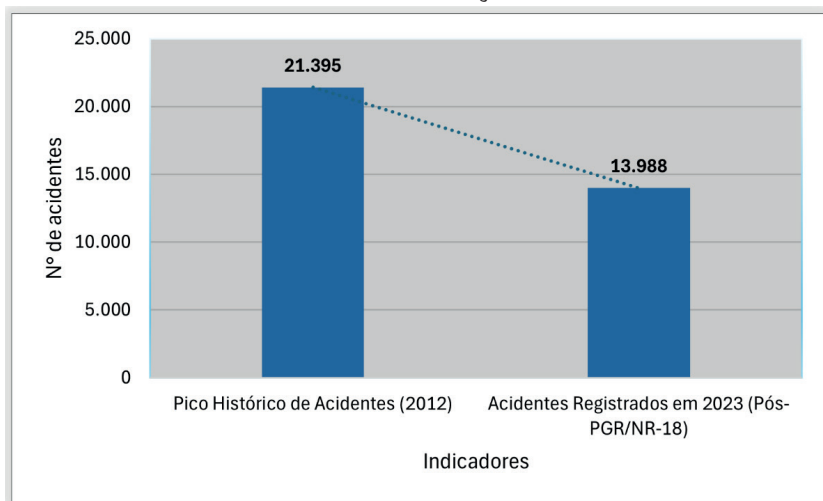
A relação entre as normas pode ser entendida de forma simples. O Programa de Gerenciamento de Riscos (PGR), previsto na NR 1, estabelece o que precisa ser feito em termos de segurança do trabalho. Ele exige que a empresa identifique os perigos, avalie os riscos e adote medidas de controle para todos os tipos de riscos ocupacionais, sejam eles físicos, químicos, biológicos, ergonômicos ou relacionados a acidentes.

Já a NR 18 explica como essas ações devem ser colocadas em prática na construção civil. Ela funciona como um guia técnico, reunindo soluções e exigências específicas para os riscos mais comuns do setor. Por exemplo, enquanto o PGR determina que o risco de queda deve ser controlado, a NR 18 detalha quais medidas devem ser adotadas, como o uso adequado de andaimes, plataformas de trabalho, sistemas de guarda-corpo e redes de proteção.

Análise Comparativa de Acidentes: O Impacto da Implementação do PGR

Ao analisar a evolução da segurança do trabalho ao longo do tempo, observa-se que, entre os anos de 2012 e 2023 de acordo com a SmartLab (2024), o setor de construção de edifícios registrou um total elevado de 152.042 acidentes de trabalho. Esse número expressivo evidencia o quanto a atividade é arriscada e reforça a importância de adotar modelos de gestão de riscos mais eficientes e atualizados.

Gráfico 1 - Comparativo de acidentes na Construção de Edifícios: Pico histórico vs. Consolidação do PGR



Fonte: autor (2025), com base em dados do SmartLab (2024)

De acordo com o que é apresentado no Gráfico 1, a mudança nas normas ocorrida em janeiro de 2022 (marcada pela substituição do PCMAT pelo Programa de Gerenciamento de Riscos - PGR), conforme a atualização da NR 18, ocorre juntamente com uma redução significativa nos registros de acidentes. O setor, que havia alcançado seu maior número de ocorrências em 2012, com 21.395 acidentes, chegou ao ano de 2023 com 13.988 registros.

Essa redução de aproximadamente 34,6% indica que o novo modelo de gestão da segurança tem se mostrado mais eficaz do que os modelos anteriores. Diferentemente do PCMAT, que muitas vezes era tratado apenas como um documento exigido para a obra, o PGR propõe uma atuação contínua, voltada para a identificação antecipada dos perigos e para o controle permanente dos riscos ao longo das atividades.

Mesmo com o crescimento da atividade econômica no período pós-pandemia, o que, em geral, aumenta a exposição dos trabalhadores aos riscos, o setor manteve a tendência de queda nos acidentes em 2022 e 2023. Esse comportamento sugere que a integração entre o PGR e a NR 18 contribuiu de forma positiva para a redução dos riscos na construção civil.

Quadro 2 - Síntese da Evolução da Segurança do Trabalho e Impacto da Gestão de Riscos

Categoria	Fonte / Referência	Dado / Evidência Principal	Conclusão Técnica
Dados encontrados	SmartLab (2024)	Redução de 34,6% nos acidentes na Construção (2012 vs 2023).	A transição para o PGR/NR-18 coincidiu com a diminuição no número de acidentes.
Impacto Institucional	Portal da Indústria / SESI (2023)	27 mil empresas assistidas na implementação da metodologia PGR.	O apoio técnico e metodológico é fundamental para a eficácia do gerenciamento de riscos.
Estudo Acadêmico	Revista Espacios (2017)	Queda de 49% nas ocorrências em empresa com gestão ativa de segurança.	Sistemas de gestão integrados são cientificamente superiores a modelos meramente documentais.
Perspectiva Histórica	Revista CIPA (2024)	8 milhões de acidentes evitados no Brasil após a criação das NRs.	Medidas de proteção e preservação da saúde do trabalhador brasileiro meditante a utilização das NRs.
Gravidade e Risco	CBIC (2024)	Redução de 60% na taxa de letalidade na construção em 2023.	O foco do PGR na antecipação de perigos críticos reflete na redução de acidentes fatais.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025), com base em SmartLab, SESI, Revista Espacios, Revista CIPA e CBIC

Os dados consolidados no quadro 2, demonstram uma convergência entre a teoria acadêmica e a prática operacional. Observa-se que a redução estatística de 34,6% obtida através do SmartLab não é um fenômeno isolado, mas sim o reflexo da adoção de metodologias de gestão ativa, como as promovidas pelo SESI, que auxiliam na transição do modelo documental (PCMAT) para o modelo gerencial (PGR). A literatura especializada, representada pelos estudos da Revista Espacios e o histórico da Revista CIPA, ratifica que a implementação rigorosa das Normas Regulamentadoras, especialmente a NR-18, é o principal vetor para a queda da letalidade e o aumento da segurança nos canteiros de obras. Portanto, o sucesso do PGR na construção civil reside na sua capacidade de transformar normas legais em ferramentas práticas de preservação da vida.

Gestão de Riscos por Etapa da Obra: Da Fundação ao Acabamento

A gestão da segurança em projetos de construção civil requer uma abordagem específica para cada etapa da obra, uma vez que os riscos ocupacionais se modificam conforme o avanço das atividades executivas. Dessa forma, a identificação dos perigos e a aplicação das medidas de controle devem ser realizadas de maneira adequada a cada fase, assegurando a efetividade do PGR (Silva, 2023).

Fase de Planejamento e Projeto: A segurança na concepção

A segurança e a saúde ocupacional devem ser incorporadas desde as fases iniciais de planejamento e projeto das obras, possibilitando a eliminação ou a redução dos riscos ainda na concepção do empreendimento. Essa abordagem está associada ao conceito de prevenção por meio do projeto (*Prevention through Design – PtD*), também denominada segurança no projeto (*Safety in Design*), cujo objetivo é antecipar soluções técnicas capazes de minimizar os riscos ocupacionais antes do início da execução (Martins, 2023).

Nesse contexto, a atuação do Engenheiro de Segurança do Trabalho é fundamental, pois permite a identificação antecipada dos perigos e a adoção de medidas preventivas, evitando que os riscos sejam transferidos para as etapas posteriores da obra (Regis, 2023).

Entre as principais medidas adotadas nessa fase, destaca-se a definição do leiaute do canteiro de obras, que deve atender às diretrizes do Anexo I da NR-18, contemplando áreas de vivência, circulação, armazenamento e movimentação de materiais. Um planejamento espacial adequado contribui para a organização das atividades e para a redução de riscos relacionados a colisões, atropelamentos e interferências entre frentes de trabalho (CBIC, 2022).

Destaca-se, ainda, a análise dos riscos inerentes ao projeto, que busca antecipar soluções capazes de reduzir a exposição dos trabalhadores a perigos como o trabalho em altura e os riscos ergonômicos. A inclusão de pontos de ancoragem permanentes para atividades de manutenção futura é um exemplo de medida preventiva que contribui para a redução dos riscos ao longo do ciclo de vida da edificação (Martins, 2023).

Fase de fundações e movimentação de terra: controle de riscos geotécnicos

A fase de fundações e movimentação de terra é considerada uma das mais críticas da construção civil, devido à elevada gravidade dos riscos envolvidos, como soterramentos, instabilidade de taludes e acidentes com máquinas e equipamentos pesados. A ausência ou insuficiência de investigações geotécnicas adequadas constitui um dos principais fatores associados à ocorrência de acidentes e falhas construtivas nessa etapa (Soares, 2024; Lanzillotti et al., 2025).

Adicionalmente, a instabilidade em escavações é frequentemente exacerbada por variações no regime pluviométrico, que alteram a pressão intersticial do solo e reduzem sua coesão intrínseca (Piza et al., 2025).

Segundo a NBR 9061 (Segurança de Escavação a Céu Aberto), qualquer intervenção no terreno deve ser precedida por um estudo de vizinhança exaustivo e pela análise das cargas externas, como o tráfego de maquinário nas bordas das valas, que podem induzir tensões espúrias não previstas no projeto original de escoramento (Abnt, 1985; Sfalsini 2023). O Quadro 3 sintetiza as medidas de engenharia indispensáveis para mitigar tais eventos.

Quadro 3 - Medidas de Controle de Engenharia para Riscos Críticos em Canteiros de Obras

Risco Específico	Medidas de Controle de Engenharia	Referência Normativa e Técnica
Soterramento em escavações (profundidade > 1,25 m)	Dimensionamento e execução rigorosa de escoramentos e taludes; Monitorização contínua da estabilidade do solo.	NR-18 (Anexo III); Laudos Geotécnicos; Pinto (2024).
Acidentes com Máquinas (Colisão, Atropelamento e Tombamento)	Sinalização física e isolamento de áreas de manobra; Implementação de Procedimentos Operacionais Padronizados (POP).	NR-12; NR-18; Guedes (2024).
Quedas de Altura (Trabalho > 2,00 m)	Instalação de sistemas de Proteção Coletiva (EPCs) como guarda-corpos, rodapés e redes de proteção.	NR-35; NBR 14718.
Choque Elétrico	Instalação de dispositivos DR (Diferencial Residual); Aterramento temporário e isolamento de partes vivas.	NR-10; NBR 5410.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Pinto (2024) e Guedes (2024)

A eficácia dos controles descritos no Quadro 3 depende da integração entre a equipe de segurança do trabalho e a engenharia de campo. A monitorização de recalques e o uso de instrumentação geotécnica, como inclinômetros e piezômetros, permitem a identificação precoce de deformações excessivas, possibilitando a evacuação preventiva antes de um colapso iminente (França, 2023; Cardoso, 2025). Conforme aponta Pinto (2024), o controle de engenharia em escavações não deve ser estático, mas sim um processo adaptativo que responde às condições reais encontradas durante a escavação.

Fase de estrutura (concreto armado e metálico): O desafio do trabalho em altura

A fase estrutural concentra os acidentes mais graves na construção civil, sendo as quedas de altura a principal causa de fatalidades no setor (Santos, 2025; Brito, 2025). A regulamentação dessa etapa é estabelecida principalmente pela NR-18, em conjunto com a NR-35, que formam um conjunto normativo voltado à prevenção de acidentes, com prioridade para as medidas de proteção coletiva em relação às individuais (Freitas, 2025).

Os controles de engenharia devem seguir a hierarquia de proteção contra quedas, conforme descrito a seguir:

- Os Sistemas de Proteção Coletiva Contra Quedas (SPCQ): compreendem a instalação de guarda-corpos, rodapés e redes de segurança, cuja implementação é obrigatória. Esses sistemas devem ser projetados e dimensionados por profissional legalmente habilitado, com o objetivo de eliminar ou reduzir o risco diretamente na fonte. Estudos de caso indicam que a adoção adequada do SPCQ constitui o principal fator de redução de acidentes graves em estruturas com múltiplos pavimentos (Moreira, 2025; Bezerra, 2025).
- Os Sistemas de Proteção Individual Contra Quedas (SPIQ): como linhas de vida e cabos-guia, devem ser utilizados quando as medidas de proteção coletiva não forem suficientes ou tecnicamente viáveis. A instalação desses sistemas requer ancoragens certificadas, cuja resistência deve ser comprovada por meio de cálculos estruturais capazes de suportar as cargas de impacto geradas em situações de queda (Freitas, 2025; Pereira e Nóbrega, 2025;).
- O içamento de cargas: a segurança da movimentação vertical de materiais depende da elaboração de um Plano de Rigging (documento

técnico) que orienta o planejamento, a execução e o controle das operações de içamento. Esse plano deve contemplar a análise dos riscos envolvidos, os equipamentos utilizados e os procedimentos operacionais, contribuindo para a mitigação de riscos dinâmicos associados à atividade (Brito, 2025).

Fase de Alvenaria e vedações: Ergonomia e Organização

As atividades de alvenaria e a movimentação de blocos cerâmicos ou de concreto expõem os trabalhadores a riscos ergonômicos e à queda de materiais. A ergonomia é um elemento fundamental da segurança e saúde ocupacional, e sua ausência pode comprometer a integridade física e o bem-estar dos trabalhadores (Araujo et al., 2025).

Os riscos ergonômicos estão relacionados, principalmente, à adoção de posturas inadequadas, ao levantamento manual de cargas e à execução de movimentos repetitivos. A identificação e o controle desses riscos requerem a realização da Análise Ergonômica do Trabalho (AET), instrumento que permite a adequação das atividades às capacidades físicas dos trabalhadores. A otimização dos processos, por meio do ajuste de bancadas, ferramentas e métodos de trabalho, é essencial para a prevenção de distúrbios osteomusculares relacionados ao trabalho (DORT) (Gonçalves et al., 2021)

A queda de pessoas e materiais deve ser controlada com a utilização de plataformas de trabalho e andaimes que atendam rigorosamente às exigências do Anexo IV da NR-18. A montagem e a desmontagem desses equipamentos devem ocorrer sob supervisão de profissional legalmente habilitado, assegurando a estabilidade estrutural e reduzindo o risco de queda de objetos nas áreas adjacentes à obra (Santos, 2025).

Fase de Acabamento e Instalações: Riscos Elétricos e Químicos

A fase de acabamento e instalações é caracterizada pela execução simultânea de diversas atividades e pelo uso de produtos químicos, o que exige o cumprimento integrado de normas específicas, como a NR-10, relacionada à segurança em instalações elétricas, e a NR-15, que trata da exposição a agentes químicos.

Riscos elétricos: em instalações provisórias deve ser controlado por meio da observância rigorosa das exigências da NR-10 e da NBR 5410.

Entre as principais medidas preventivas destacam-se a implementação de sistemas de aterramento funcional e a utilização de dispositivos diferenciais residuais (DR), que reduzem significativamente o risco de choque elétrico e de eletrocussão (Cunha, 2025).

Riscos químicos: a exposição a solventes, adesivos e tintas deve ser gerenciada a partir da análise das Fichas de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ), que fornecem orientações sobre manuseio seguro e medidas de controle. A garantia de ventilação adequada nos ambientes de trabalho, aliada ao monitoramento da concentração de vapores, é fundamental para a proteção da saúde respiratória dos trabalhadores (Magalhães, 2025; Pacheco et al., 2025).

Considerações Finais

A análise realizada neste estudo permitiu compreender a profundidade da transformação ocorrida na gestão da segurança do trabalho na construção civil com a implementação do Programa de Gerenciamento de Riscos (PGR) em substituição ao antigo PCMAT. A transição de um modelo predominantemente documental e estático para uma abordagem dinâmica e processual, fundamentada no Gerenciamento de Riscos Ocupacionais (GRO), representa um avanço significativo para a proteção da integridade física e da saúde dos trabalhadores do setor. Os dados analisados demonstraram que a integração entre a NR 18 e o PGR tem contribuído para uma tendência de redução nos índices de acidentes, evidenciando que a antecipação de perigos e a aplicação rigorosa de medidas de controle de engenharia são eficazes. Observou-se que cada etapa da obra, da fundação ao acabamento, possui riscos específicos que exigem soluções técnicas personalizadas, onde o papel do Engenheiro de

Segurança do Trabalho se mostra estratégico e indispensável.

Conclui-se que a eficácia da segurança no canteiro de obras não depende apenas do cumprimento formal das normas, mas da consolidação de uma cultura de prevenção que envolva todos os níveis da organização. A utilização do PGR como ferramenta viva de gestão permite que as empresas se adaptem às mudanças constantes do ambiente construtivo, garantindo que a produtividade e a segurança caminhem juntas.

REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 9061: **Segurança de escavação a céu aberto**. Rio de Janeiro. 1985.

ARAÚJO, J. A.; SAMPAIO, K. K. S.; ROBERTO, J. C. A. **Ergonomia Invisível: O Peso do Trabalho Mal Planejado nos Canteiros de Obras**. INTERFERENCE: A JOURNAL OF AUDIO CULTURE, v. 11, n. 2, p. 2419–2438. 2025 Disponível em: <https://interferencejournal.emnuvens.com.br/revista/article/view/219>. Acesso em: 5 jan. 2026.

BEZERRA, M, D. **Proposta de roteiro de procedimento padrão para trabalho em altura nas edificações do CCTA com base em análise de riscos..** 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, PB, 2025.

BORGES, N. F.; SILVA, C. R. **Gerenciamento dos projetos na indústria da construção civil com a substituição do PCMAT pelo PGR**. Boletim do Gerenciamento, n. 28. 2022 Disponível em: <https://nppg.org.br/revistas/boletimdogerenciamento/article/view/614>. Acesso em: 5 jan. 2026.

BORGES, N. F.; VILAÇA, I. P.; LAURINDO, Q. M. G.SILVA, F.; SILVA, B. **Acidentes do trabalho e cultura de segurança no setor da construção civil**. Perspectivas Online: Exatas & Engenharia, v.11, n.33, p.19-33. 2021.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. NR 18 - **Segurança e Saúde no Trabalho na Indústria da Construção**. Brasília, DF: TEM. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/acesso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/norma-regulamentadora-no-18-nr-18>. Acesso em: 23 dez. 2025.

BRASIL. **Ministério do Trabalho e Emprego. Guia de informações sobre Fatores de Riscos Psicossociais Relacionados ao Trabalho**. Brasília, DF: MTE. 2024.

BRASIL. **Ministério do Trabalho e Emprego. Ministério do Trabalho e Emprego identifica aumento de acidentes de trabalho no Brasil. Gov.br** – Trabalho e Emprego, 28 jul. 2025. Disponível em: gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/noticias-e-conteudo/2025/julho/ministerio-do-trabalho-e-emprego-identifica-aumento-de-acidentes-de-trabalho-no-brasil. Acesso em: 26 dez.

BRASIL. Lei nº 8.213, de 24 de julho de 1991. **Dispõe sobre os Planos de Benefícios da Previdência Social e dá outras providências.** Brasília, DF: Presidência da República, 1991. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8213cons.htm. Acesso em: 01 dez. 2025.

BRITO, R, S. Comparativo entre os sistemas de gestão de segurança do trabalho OHSAS 18001 e ISO 45001 na construção civil: **uma revisão normativa.** 2025 Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal -PB.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). **As novas NRs e a Indústria da Construção.** Brasília, DF: CBIC; SESI-DN.2022

CARDOSO, J. P. M. **Centros de monitoramento geotécnico em barragens de rejeito: revisão das abordagens manuais e automatizadas.** Monografia (Engenharia Geológica) - Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Ouro Preto, 2025. Disponível em: <http://monografias.ufop.br/handle/35400000/7712>. Acesso em: 5 jan. 2026.

CARMO, K. R. M.; BALDUÍNO, Â. R. A segurança do trabalho em obras residenciais no Brasil e o papel do engenheiro civil na diminuição dos acidentes de trabalho: **uma revisão bibliográfica.** Engineering Sciences, v.9, n.1, p.40-52, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2318-3055.2021.001.0005>.

CARVALHO, M. A. G. de; COSTA, T. P. **Evolução temporal dos acidentes de trabalho na indústria da construção civil em Santa Catarina.** Artigo de revisão. 2024

COIMBRA, B. F. **NR 18: uma revisão frente às alterações da segurança do trabalho na construção civil.** Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil), Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC), Santa Cruz do Sul. 2020

COLOMBY, R. K.; COSTA, S. G. da.. Os fatores psicossociais na gestão de riscos ocupacionais: **tensões e implicações da atualização da Norma Regulamentadora 01.** Boletim de Conjuntura, v. 1, n. 1, p. 1-25. 2025.

CRUZ, A. R. S. **Análise e previsão utilizando séries temporais dos custos com benefícios ocupacionais no Brasil: período de 2022-2024.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Maringá (UEM), Maringá. Disponível em: <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/handle/1/8964>. 2025

CUNHA, I. B. **Controle de materiais de acabamento e revestimento: estratégias para o fomento da segurança contra incêndio e pânico.** Artigo Técnico - Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF), Brasília, 2025.

FERREIRA, J. **Saúde mental a partir das atualizações da NR-1: análise das mudanças normativas e seus impactos.** Revista Multidisciplinar, v. 1, n. 1, p. 1-20. 2025.

FINELLI, L. A. C.; MACIEL, B. C. F. 2022. **Segurança do Trabalho na Construção Civil.** Belo Horizonte: Editora Poisson. 2022.

FRANÇA, T. R. S. **Monitoramento geotécnico em estruturas de disposição de rejeitos.** Monografia (Engenharia Geológica) - Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Ouro Preto, 2023. Disponível em: <http://monografias.ufop.br/handle/35400000/5660>. Acesso em: 5 jan. 2026.

FREITAS, M. R. **Benefícios da segurança do trabalho na construção: estudo de caso.** Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Universidade Federal de Alagoas (UFAL). 2025.

Gil, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 6. ed. São Paulo: Atlas. 2019.

GOMES, R. S. **Custos Associados aos Acidentes de Trabalho**

nas PME. Dissertação (Mestrado) - Instituto Politécnico da Guarda (IPG), Guarda. 2025. Disponível em: <https://bdigital.ipg.pt/dspace/handle/10314/10189>.

GONÇALVES, G, H, V; NETO J, da C, M; ROCHA. L, B, G, da R. **Análise Ergonômica do Trabalho na Execução de Alvenaria de Vedação.** Revista Ação Ergonômica, v. 15, n. 1. 2021. Disponível em: <https://revistaacaoergonomica.org/article/10.4322/rae.v15e202109/pdf/abergo-15-1-e202109.pdf>. Acesso em: 5 jan. 2026.

GRANJA, J. M. T. **Direção de Obra – Análise dos custos com a segurança.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade do Porto, Porto. 2025 Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/168625>.

GUEDES, K. C. S.. **Correlação entre a análise de riscos de acidentes e a responsabilidade legal do engenheiro na gestão de projetos da construção civil.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, 2024. Disponível em: <https://dspace.sti.ufcg.edu.br/handle/riufcg/39179>. Acesso em: 5 jan. 2026.

LANZILLOTTI, F. A., LIMA, L. DE J., LEITE, L. A., FACCINI, L., ALBINO, V. G. M., & FORTES, E. S. **A importância da sondagem de solo na construção civil.** REVISTA DELOS, v. 18, n. 1. 2025. Disponível em: <https://ojs.revistadelos.com/ojs/index.php/delos/article/view/7731>. Acesso em: 5 jan. 2026.

MAGALHÃES, S. P. C. **Avaliação de riscos na construção civil.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade do Porto, Porto. 2025. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/169135/2/737198.pdf>. Acesso em: 5 jan. 2026.

MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica.** 8. ed. São Paulo: Atlas. 2017.

MARTINS, A. N. M. **Segurança do trabalho na construção civil brasileira: análise da produção científica nacional.** Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, 2025 Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/80092>.

MARTINS, J. G. S. **Prevenção através do projeto: estudo de boas práticas na indústria da construção civil.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal da Paraíba (UFPB), João Pessoa. 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/30090>. Acesso em: 28 dez. 2025.

MEDEIROS, B. LIMA, M. M. de J. P.L. LAURENTIZ, V.E. VANJOS, A. P. **A importância da ergonomia e segurança do trabalho em uma construtora de obras civil.** REVISTA FOCO, v. 17, n. 1. 2024. Disponível em: <https://ojs.focopublicacoes.com.br/foco/article/view/6348>. Acesso em 26 dez 2025.

MELO, K. F. B. N. **A segurança do trabalho na construção civil.** Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2023.

MOREIRA, J. F. P. **Promoção da segurança no trabalho na construção civil: boas práticas e desafios na empresa Pardais Granitos e Construção.** Dissertação (Mestrado) – Repositório Científico Lusófona, Lisboa. 2025. Disponível em: <https://repositorio.ensinulusofona.pt/bitstream/10437.1/14821/1/dissertacao-jo%C3%A3o-filipe-paiva-moreira.pdf>. Acesso em: 26 dez. 2025.

NÓBREGA, F. de L.; PEREIRA, J. A. L. Estudo sobre o uso de equipamentos de proteção individual (EPI'S) na construção civil: **uma revisão integrativa.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Segurança do Trabalho) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Campus Patos, Patos, 2025. Disponível em: <https://repositorio.ifpb.edu.br/handle/177683/4838>. Acesso em: 26 dez. 2025.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO TRABALHO – OIT. **Diretrizes sobre sistemas de gestão da segurança e saúde no trabalho.** Genebra: International Labour Organization. 2005. Disponível em: https://www.ilo.org/sites/default/files/wcmsp5/groups/public/%40americas/%40ro- lima/%40ilo brasilia/documents/publication/wcms_230320.pdf. Acesso em: 20 dez. 2025.

PACHECO, L. V. C.; LIBRELOTTO, L. I.; MAGNAGO, R. F. **Sustentabilidade e Desenvolvimento Tecnológico.** Relatório de Pesquisa - Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC),

Florianópolis. 2025.

PÁDUA, R. C. de. **A gestão de riscos na indústria da construção civil brasileira.** Monografia (Especialização em Gestão de Projetos na Construção) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2018.

PEINADO, Hugo Sefrian (org.). **Segurança e Saúde do Trabalho na Indústria da Construção Civil.** São Carlos: Editora Scienza. 2019

PINTO, K. C. F. **Segurança em estabilidade de talude em obras de saneamento.** Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Pato Branco. 2024. Disponível em: [https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/37620/1/estabilidadetaludeobrasaneamento.p df](https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/37620/1/estabilidadetaludeobrasaneamento.pdf) Acesso em: 5 jan. 2026.

PIZA V, B, T; BEDNARCZUK, M, V; SCHMIDT, K, S; BRITTO, T, S, S; PEREIRA. V, F, Influência de eventos pluviométricos na estabilidade de taludes: **revisão de literatura.** Anais do Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2025. Disponível em: https://www.conferencebr.com/anais/604/paperfile/604-1262938_21_09_2025_22-14-30_9369.PDF. Acesso em: 5 jan. 2026.

PONTAROLO, M. L. **Relação entre segurança do trabalho e produtividade: uma revisão sistemática.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR. 2018.

SANTO. A. dos. **A importância da segurança do trabalho na construção civil.** Trabalho de Conclusão de Curso S, H. M (Bacharelado em Engenharia Civil), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Campus Patos. 2025

SANTOS, H. M. A. **A importância da segurança do trabalho na construção civil.** Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Instituto Federal da Paraíba (IFPB), João Pessoa, 2025.

SCHOCAIR, M. M., SILVA, R. O., AMARAL, M. G., BARRA, G. M. J., & SILVEIRA, R. I. M. **Risk management in civil construction:**

the contractor's perceptions. *Revista de Administração da UFSM*, 16(3), e9. 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/373835392_Risk_management_in_civil_construction_the_contractor's_perceptions. Acesso em 27 dez 2025.

SFALSINI, H. B. T. Estudo de caso: **escavação de risco em meio urbano de um edifício no setor comercial sul do Plano Piloto/DF.** Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) Centro Universitário de Brasília (Uniceub), Brasília, 2023. Disponível em: <https://repositorio.uniceub.br/jspui/handle/235/6370>. Acesso em: 5 jan. 2026.

SILVA SANTOS, N. A precarização do trabalho na construção civil: **reflexões à luz da literatura especializada e da legislação pertinente.** 2025. *Revista REASE*, v. 11, n. 1, 2025. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/20074>.

SILVA, B, S, da. **Segurança no canteiro de obras: desafios e perspectivas da implementação da NR-18 na indústria da construção civil.** *Revista Acadêmica Souza*, n. 67, nov.. ISSN 2595-5934. 2023. Disponível em: <https://souzaeadrevistaacademica.com.br/revista/67-novembro-2023/02-bruno-sanches-da-silva.pdf>. Acesso em: 26 dez. 2025.

SILVA, B. S da. **Segurança no canteiro de obras: desafios e perspectivas da implementação da NR-18 na indústria da construção civil.** 2023. *Revista Acadêmica Souza*, n. 67. ISSN 2595-5934. Disponível em: <https://souzaeadrevistaacademica.com.br/revista/67-novembro-2023/02-bruno-sanches-da-silva.pdf>. Acesso em: 26 dez. 2025.

SILVA, B. S.. **Segurança no canteiro de obras: desafios e perspectivas da implementação da NR-18 na indústria da construção civil.** *Revista Acadêmica Digital SouzaEAD*, n. 67. 2023. Disponível em: <https://souzaeadrevistaacademica.com.br/revista/67-novembro-2023/02-bruno-sanches-da-silva.pdf>. Acesso em: 29 dez. 2025.

SMARTLAB – Promoção do Trabalho Decente. **Observatório Digital de Saúde e Segurança do Trabalho (SST).** Disponível em: <https://smartlabbr.org/sst>. Acesso em: 28 dez. 2025.

SOUZA, V. S. de. **Segurança no canteiro de obras: prevenção de acidentes na engenharia civil através da aplicação da NR-18 e uso adequado de EPIs.** Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação, v. 9, n. 10, p. 2238-2250. 2023.

TRAVASSOS, F. L. D., ROBERTO, J. C. A., & ALMEIDA, V. DA S. **O uso da matriz de risco como ferramenta na elaboração do gerenciamento de risco ocupacional.** Cuadernos De Educación Y Desarrollo - QUALIS A4, 16(11), e6222. <https://doi.org/10.55905/cuadv16n11-013>. 2024.