

# Engenharia diagnóstica aplicada à Perícia Criminal em local de desabamento: um ensaio de carbonatação com o uso de fenolftaleína

A.C. Cotomácio <sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Instituto de Criminalística, Superintendência da Polícia Técnico-Científica, São Paulo (SP), Brasil.

\*Endereço de e-mail para correspondência: [andrecotomacio@gmail.com](mailto:andrecotomacio@gmail.com). Tel.: +55-11-4208-3539.

Recebido em 19/04/2023; Revisado em 05/01/2024; Aceito em 25/01/2024.

## Resumo

Desastres envolvendo edificações e obras na construção civil possuem grande repercussão na sociedade, não somente devido às perdas materiais, mas, principalmente, em razão do impacto gerado nas eventuais vítimas, podendo custar suas vidas, prejudicar o seu bem-estar físico e psicológico e consumir os seus recursos e os de suas famílias. À vista desse panorama, demandas judiciais podem ser levadas à discussão não somente nas áreas cível, trabalhista e previdenciária, mas também na esfera penal. Nesse sentido, a Engenharia Forense, por meio da Engenharia Diagnóstica, tem se mostrado uma grande aliada para esclarecer aos Magistrados questões técnicas necessárias à apuração das causas de um desabamento e de suas responsabilidades. Destarte, o presente trabalho tem por objetivo apresentar os aspectos observados quando da perícia em um local de desabamento ocorrido em um estabelecimento público de saúde, aplicando os princípios da Engenharia Diagnóstica à Perícia Criminal, amparados pelo método científico. Além desses elementos, também foi constatada a viabilidade da realização de um ensaio não destrutivo, barato e de fácil execução com o uso de fenolftaleína, para a determinação da profundidade de carbonatação do concreto — fator que indica o comprometimento da estrutura. Em outro quadrante, também foram identificados aspectos administrativos e de gestão de engenharia que caracterizam condutas que inobservaram o dever objetivo de cuidado, podendo estabelecer nexos de causalidade entre essa inobservância e os resultados lesivos dela advindos.

*Palavras-chave:* Desabamento; Engenharia Diagnóstica; Engenharia Forense; Perícia Criminal; Fenolftaleína; Carbonatação.

## Abstract

Disasters regarding buildings and civil construction projects have a significant impact on society, not only in terms of material losses but also due to the repercussions on the lives, physical and psychological well-being, and resources of the eventual victims. From this point of view, legal demands are discussed not only in civil, labor, and social security domains but also in the criminal sphere. Thus, Forensic Engineering, through Diagnostics procedures, has proven to be a valuable ally in elucidating technical issues related to the causes and responsibilities of such event in a court of law. Hence, this study aims to showcase the aspects observed during the investigation of a collapse at a public health establishment, applying the principles of Diagnostic Engineering with scientific methodology in a Forensic Investigation. In addition, the feasibility of a non-destructive, cost-effective, and easy-to-perform test using phenolphthalein to determine the depth of carbonation in the concrete was also validated, indicating structural damages. On the other hand, administrative and engineering management aspects were also identified that characterize non-compliance with the duty of care, establishing a causal link with the harmful results that ensued.

*Keywords:* Collapse; Diagnostic Engineering; Forensic Engineering; Crime Scene Investigation; Phenolphthalein; Carbonation.

## 1. INTRODUÇÃO

Os desastres envolvendo obras na construção civil infelizmente ainda se fazem muito presentes na sociedade, acarretando grandes perdas materiais e de vidas. Sob esse prisma, em épocas nas quais eram inexistentes quaisquer referências documentadas para a execução de um

determinado tipo de serviço, o método da “tentativa e erro” por vezes era empregado. Contudo, tal modo de ação logo mostrou-se insuficiente para os padrões de vida e desenvolvimento à medida que as populações cresciam e a humanidade evoluía. Assim, o estudo acerca das causas das falhas tornou-se parte relevante na evolução da construção civil, servindo como “lições aprendidas” ao serem

moldados novos parâmetros em produtos e processos que pudessem evitar danos causados por erros passados [1].

Nesse estado das coisas, a Engenharia Diagnóstica é uma disciplina pertencente à Engenharia Civil que, transitando por outras áreas de conhecimento, tem por objetivo evitar acidentes e apurar responsabilidades [2]. Convém assinalar ainda que, quando uma disciplina da Engenharia é empregada para esclarecer questões técnicas em um processo judicial, por meio da realização de perícia, esta passa a receber também a alcunha de Engenharia Legal ou Engenharia Forense.

Por conseguinte, a construção do conhecimento científico para a determinação da prova material por meio do laudo pericial elaborado pelo Perito Criminal constitui peça importante para a Justiça. Cabe ao *Expert*, em sua tarefa de auxiliá-la, observar todos os elementos materiais que possam dar fundamento às decisões das autoridades requisitantes [3].

Nesse enalço, a Engenharia Diagnóstica aplicada à Perícia apresenta-se como uma importante ferramenta, sendo definida como o conjunto das investigações científicas das patologias prediais, por meio da utilização de metodologias que revelam dados técnicos para a caracterização, análise, atestamento, apuração da causa, prognóstico e prescrição do reparo da manifestação patológica em estudo [4]. Eis aqui os elementos dos quais a Justiça, auxiliada pelo Perito Criminal, fará uso para a caracterização de um eventual delito envolvendo o sinistro de desabamento.

Desse modo, mister se faz perspectivar que os exames periciais devem se desenvolver seguindo uma metodologia lógica e sequencial pautada pelo método científico, a qual, sempre que bem embasada, permitirá ao leigo analisar o laudo técnico com propriedade. Assim, o critério a ser utilizado na execução do exame pericial em Engenharia Diagnóstica deve, inicialmente, fundamentar-se na análise preliminar do problema, que permitirá ao perito definir o roteiro sequencial de estudo e o melhor método diagnóstico a ser adotado [2].

Portanto, o presente trabalho tem por objetivo apresentar os aspectos que foram observados quando da perícia em um local de desabamento ocorrido em um estabelecimento público de saúde, aplicando-se os princípios da Engenharia Diagnóstica à Perícia Criminal. Além desses elementos, também foi constatada a viabilidade da realização de um ensaio não destrutivo, barato e de fácil execução com o uso de fenolftaleína, para a determinação da profundidade de carbonatação do concreto — fator que indica o comprometimento da estrutura.

## 2. METODOLOGIA

A literatura [5] apresenta uma metodologia para a avaliação sistemática de um local típico de sinistros de

engenharia (como um incêndio), baseada no método científico e na Norma Internacional NFPA nº 921 (2017) [6], que pode ser satisfatoriamente aplicada aos demais casos estudados pela Engenharia Forense, a exemplo de um desabamento.

Na maioria dos casos, a destruição pode ser de grande magnitude, não só eliminando vestígios, mas também impedindo que se possa verificar, com segurança, aqueles que são remanescentes. No entanto, mesmo nesses cenários é possível identificar elementos materiais que ofereçam informações sobre o desabamento, por meio da adoção de uma abordagem científica sistemática [5].

Ao utilizar o método científico, o Perito Criminal refina e explora continuamente suas hipóteses até chegar a uma conclusão ou opinião final em seu laudo pericial. Destarte, são aplicadas a essa perícia as sete etapas do referido padrão metodológico, propostas por Icove e Haynes (2018) [5]:

1. Reconhecimento das necessidades;
2. Definição do problema;
3. Coleta de dados;
4. Análise dos dados (raciocínio indutivo);
5. Desenvolvimento de hipóteses de trabalho;
6. Teste das hipóteses de trabalho (raciocínio dedutivo);
7. Seleção da hipótese final (conclusão ou opinião pericial).

Nesse diapasão, com base nos elementos materiais identificados quando do levantamento do local de desabamento ocorrido em um estabelecimento público de saúde, são mostradas a seguir as etapas do procedimento de análise aplicado ao sinistro periciado.

### 2.1 Reconhecimento das necessidades

Nessa etapa, a perícia deve verificar as condições de preservação do local e identificar quem são os responsáveis pelo estabelecimento. Deve atentar também para que sejam garantidas as condições de segurança para a realização dos exames, elaborando uma estratégia para entrada e permanência de indivíduos no local.

Nesse sentido, a pedido da perícia, os exames foram acompanhados por uma equipe da Defesa Civil do município onde se localizava o estabelecimento de saúde sítio do desabamento, de acordo com o que dispõe a Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012 (que institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC), que estabeleceu como competências municipais: vistoriar edificações e áreas de risco e promover, quando for o caso, a intervenção preventiva e a evacuação da população das áreas de alto risco ou das edificações vulneráveis [7].

Da mesma forma, compareceu ao local uma equipe do CREA-SP (Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Estado de São Paulo), acionada pela perícia, considerando o disposto na Resolução CONFEA nº

1137/2023 (“Dispõe sobre a Anotação de Responsabilidade Técnica - ART, o Acervo Técnico-Profissional e o Acervo Operacional, e dá outras providências”) [8], sendo fornecido um Relatório de Fiscalização, que também serviu para instruir os exames periciais.

Tal procedimento, encabeçado pela perícia, apresenta-se em linha com a Lei Federal nº 13.425/2017, conhecida como “Lei Kiss” [9], que estabelece diretrizes gerais sobre medidas de prevenção e combate a incêndios e a desastres em estabelecimentos, edificações e áreas de reunião de público; bem como com as recomendações internacionais de riscos e desastres da ONU, estabelecidas no Marco de Sendai para a Redução do Risco de Desastres 2015-2030 [10]. O referido marco estabelece a colaboração e parceria entre instituições, visando promover e melhorar o diálogo e a cooperação entre comunidades científicas e tecnológicas, a fim de facilitar uma interface ciência-política para a tomada de decisões eficientes na gestão do risco de desastres; bem como a redução de perdas de vidas, meios de subsistência e saúde, de ativos econômicos, físicos, sociais, culturais e ambientais de pessoas, empresas e comunidades.

Registra-se também que a referida iniciativa de integração entre esses órgãos foi inscrita por este Perito Relator na 19ª edição do Prêmio Innovare (2022) [11], sendo “deferida” para passar a compor o banco de práticas do Instituto Innovare. O Prêmio tem como objetivo o reconhecimento e a disseminação de práticas transformadoras que se desenvolvem no interior do sistema de Justiça do Brasil, buscando identificar ações concretas que causem mudanças relevantes em antigas e consolidadas rotinas e que possam servir de exemplos a serem implantados em outros locais.

Nesse quadro de considerações, faz-se mister perspectivar que o trabalho pericial não se faz necessário apenas para o cumprimento da função de auxílio à Justiça, mas também para que sejam tomadas ações que possam prevenir a ocorrência de novos sinistros, dando espaço à “Inteligência Pericial”, ou “Inteligência Forense”: ramo emergente nos campos das Ciências Forenses que, baseado no uso de casos semelhantes para explorar as circunstâncias acerca de um fato jurídico, produz conclusões que podem orientar as políticas públicas [12].

## 2.2 Definição do problema

Nessa etapa do método deve-se identificar autoridades, responsáveis e testemunhas que possam fornecer informações importantes a respeito do sinistro [5].

Conforme se depreende da leitura do histórico do B.O., o condutor da ocorrência relatou que, “ao chegar no local, ao entrar no pronto-socorro, avistei uma estrutura caída ao chão. Era uma telha de concreto que havia caído. Avistei uma mulher, que estava com a perna presa sob a telha”.

Ademais, ainda no histórico do referido B.O., consta que o chefe administrativo daquele estabelecimento de saúde relatou que “uma telha de concreto que cobria parte das salas caiu e acabou atingindo algumas pessoas. O prédio é uma construção pré-moldada, feita de vigas de concreto cobertas com telhas de concreto. Abaixo dessas telhas há apenas um forro de isopor. O pronto-socorro está passando por uma reforma”.

## 2.3 Coleta de dados

Dados são fatos ou informações sobre o sinistro, envolvendo o registro das observações por meio das fotografias, bem como a análise de documentos pertinentes ao fato e ao local [5]. Nesse andar, quando dos exames, a perícia procedeu com a observação, descrição e documentação do incidente, visando instruir o Laudo Pericial.



Figura 1. Aspecto geral do sítio do desabamento. Fonte: Acervo pessoal.

Prosseguindo-se com a presente etapa, faz-se mister perspectivar que, em geral, os sinistros de Engenharia não são um evento monocausal, mas sim um evento multifatorial e com múltiplas causas [31]. Dessa forma, devem ser identificadas não somente as “causas proximais” — aquelas imediatas à ocorrência do evento e mais facilmente perceptíveis aos olhos do Perito Criminal Engenheiro, pois possuem vestígios imediatos e inerentes à cena —, mas também os aspectos administrativos e as medidas de gestão de engenharia contribuintes para o fato, que criaram condições organizacionais inseguras para que as causas proximais decorressem, fossem produzidas e consentidas [32].

Nesse quadro de considerações, o Perito Criminal deve então comprovar essa materialidade por meio da análise das documentações pertinentes que possam dar suporte à investigação, sendo de sua responsabilidade identificar os documentos necessários para a correta e adequada realização da perícia [13]. O autor estabelece como importante a análise dos documentos que estejam associados estritamente ao caso concreto investigado, como, por exemplo: (a) “padrões e códigos da indústria”,

que representam “as melhores práticas ou aquelas recomendadas para a dada circunstância”; (b) “regulamentações governamentais que possam ser úteis”; e (c) “os procedimentos e registros de manutenção” daquilo que está envolvido no evento [13].

À vista desse panorama, sob a dimensão exposta no item (a), aplica-se ao caso em tela a solicitação da apresentação do Plano de Reforma, conforme estabelece o Capítulo 5, “Requisitos para a realização de reformas em edificações”, da norma ABNT NBR nº 16280:2020, intitulada “Reforma em Edificações — Sistema de Gestão de Reformas — Requisitos” [14].

Sob a perspectiva exposta no item (b), a Norma Regulamentadora nº 8 (NR-8) – Edificações (portaria MTP nº 2.188, de 28/07/2022) [15] estabelece requisitos que devem ser atendidos nas edificações para garantir segurança e conforto aos trabalhadores. Nesse sentido, as medidas de prevenção estabelecidas nessa Norma se aplicam às edificações onde se desenvolvam atividades laborais (item 8.2.1), tendo, como um de seus requisitos de segurança e saúde, que a edificação deve atender ao previsto em normas técnicas oficiais (item 8.3.1).

Nesse prumo, em linha com a dimensão exposta no item (c), seguindo a norma ABNT NBR nº 5674:2012, intitulada “Manutenção de edificações — Requisitos para o sistema de gestão de manutenção” [16], aplica-se ao caso em tela a solicitação do “Relatório de Inspeção” que contemple a estrutura desabada, conforme exige a referida norma técnica.

No arco dessas afirmações, quando dos exames, os documentos em questão foram solicitados aos responsáveis presentes no local; contudo, registra-se que nenhum documento foi entregue à Perícia, sendo informado a esse Relator que o estabelecimento não possuía esses documentos.

Nesse diapasão, necessário se faz trazer à baila o aspecto quanto à Cadeia de Custódia, exposto no livro Manual Prático de Perícia Criminal em Acidentes de Trabalho [17]:

Logo, o perito criminal oficial deve se preocupar em incluir em seus procedimentos a obtenção da documentação no local dos fatos e, quando dos exames, garantir sua legitimidade e cadeia de custódia. Essa precaução visa assegurar que esses documentos não sejam posteriormente constituídos pela empresa apenas para o fim da perícia ou de uma possível arrecadação pela investigação [17].

Sobreleva destacar que o conjunto de procedimentos empregados desde a identificação dos vestígios até a sua coleta e destinação deve seguir uma Cadeia de Custódia,

de modo a garantir que a prova pericial seja apresentada de maneira consistente à Autoridade Policial e à Justiça. É por meio dessa garantia que se assegura a identidade e a integridade de um vestígio, documentando-o e mantendo a sua história cronológica, desde o local de crime até o momento em que este integrará o processo judicial [18].

#### 2.4 Análise dos dados (raciocínio indutivo)

A partir do exposto nos itens anteriores, o conjunto de elementos coligidos no local dos fatos permite a análise dos dados [5] sob duas vertentes: (1) Dos aspectos proximais; e (2) Dos aspectos administrativos e de gestão de engenharia.

##### 2.4.1 Dos aspectos proximais:

Por ocasião dos exames periciais levados a efeito no sítio do desabamento, foram feitas as seguintes constatações:

a. O sítio de desabamento, caracterizado pelos escombros resultantes da queda de uma telha de concreto da cobertura de um estabelecimento de saúde;

b. Na área da ocorrência, foram constatados vestígios (manifestações patológicas) que denotavam o comprometimento do desempenho estrutural da peça desabada, a saber: exposição das ferragens do concreto armado; corrosão de sua armadura; presença de fissuras e de sinais de infiltração, comprometendo também a sua resistência;

c. Para melhor entendimento: conforme exposto por Carvalho (2020) [19], uma edificação, da mesma forma que um ser vivo, encontra-se submetida à ação de elementos, tais como calor e umidade, além de ter de suportar ações mecânicas, o que pode cansá-la, fadigá-la e inclusive feri-la. O autor ainda destaca que, apesar de ser um material inerte, o concreto armado está sujeito à ocorrência de manifestações patológicas ao longo de sua vida útil, devido às interações entre os diversos elementos que o constituem (cimento, agregados graúdos e miúdos e aditivos). Assim, essa mistura, em conjunto com diversos agentes externos, tais como ácidos, gases e micro-organismos, pode resultar em diversas manifestações patológicas na estrutura, com maior ou menor gravidade.

##### 2.4.2 Dos aspectos administrativos e de gestão de engenharia

Conforme já anteriormente consignado ao final do item “2.3 Coleta de dados”, quando dos exames no local não foi apresentado Plano de Reforma, segundo estabelece a ABNT NBR nº 16280:2020 [5].

A referida norma, em seu Capítulo 5, “Requisitos para realização de reformas em edificações”, preconiza, como requisitos gerais, que o plano de reforma deve ser

elaborado por profissional habilitado e apresentar a descrição de impactos nos sistemas, subsistemas, equipamentos e afins da edificação. Além disso, o referido plano deve ser encaminhado ao responsável legal da edificação em comunicado formal para ciência antes do início da obra de reforma [5].

O Plano de Reforma, segundo a ABNT NBR nº 16280:2020, deve ainda apresentar a responsabilidade técnica pelo projeto, pela execução e pela supervisão das obras, quando aplicável, devendo ser documentada de forma legal e apresentada para a nomeação do respectivo interveniente [14].

No pormenor, não há como deixar de considerar que a Anotação de Responsabilidade Técnica (ART), instituída pela Lei nº 6.496/77, é um documento legal que identifica o responsável técnico por um serviço prestado ou uma obra realizada. Os profissionais abrangidos pelo sistema Confea/Crea têm a obrigação de realizar o registro desse documento. Devido ao alto nível de risco e das possíveis consequências em caso de erros em obras e serviços, o papel da ART é de extrema importância, uma vez que possibilita a identificação do responsável técnico da obra ou serviço prestado, sendo um instrumento de fiscalização relevante para assegurar a prestação de um serviço com qualidade para a população brasileira [20].

Por outra vertente, também não foi apresentado o "Relatório de Inspeção" que contemplasse a estrutura desabada, conforme exige a norma ABNT NBR nº 5674:2012. A referida norma, intitulada "Manutenção de edificações — Requisitos para o sistema de gestão de manutenção", apresenta os procedimentos de manutenção para as edificações, sendo de responsabilidade do proprietário ou de algum contratado, incluindo: verificação da sobrecarga de projetos; intempéries - impermeabilização, corrosão; verificação de possíveis reparos, pois materiais possuem vida útil; infiltrações, que podem levar a danos na estrutura etc. O processo de manutenção em qualquer tipo de construção é fundamental para a permanência da vida útil das peças [19].

Sob esse prisma, o item 4.2.2 da NBR nº 5674:2012 estabelece que as inspeções devem ser realizadas por meio de modelos elaborados e ordenados de forma a facilitar os registros e sua recuperação, considerando: (a) um roteiro de inspeções dos sistemas, subsistemas, elementos, equipamentos e componentes da edificação; (b) as formas de manifestação esperadas da degradação natural dos sistemas, subsistemas, elementos e equipamentos ou componentes da edificação associados à sua vida útil, conforme indicações do manual, e que resultem em risco à saúde e segurança dos usuários; (c) as solicitações e reclamações dos usuários ou proprietários [16].

Ademais, quanto ao "Relatório de Inspeção" que não existia, o item 4.2.3 da referida norma técnica determina que esse deve: (a) descrever a degradação de cada sistema, subsistema, elemento ou componente e equipamento da

edificação; (b) apontar e, sempre que possível, estimar a perda do seu desempenho; (c) recomendar ações para minimizar os serviços de manutenção corretiva; e (d) conter prognóstico de ocorrências [16].

Postas as coisas desse modo, é, outrossim, imperiosa a constatação de que as Normas Regulamentadoras (NR) são disposições complementares ao Capítulo V (Da Segurança e da Medicina do Trabalho) do Título II da Consolidação das Leis do Trabalho (CLT). Consistem, portanto, em obrigações, direitos e deveres a serem cumpridos por empregadores e trabalhadores com o objetivo de garantir o trabalho seguro e sadio, prevenindo a ocorrência de doenças e acidentes de trabalho. Nessa particularidade, a NR-8 - Edificações, por meio do item 8.3.1, recepcionaria a norma ABNT NBR nº 5674, dando obrigatoriedade ao seu cumprimento.

## 2.5 Desenvolvimento de hipóteses

A partir das observações descritas nas etapas anteriores, é possível formular hipóteses acerca do inferido na etapa anterior de análise dos dados. Destarte, à vista das manifestações patológicas identificadas no item 2.4.1.b da etapa 2.4 deste estudo científico, a Perícia considerou viável a hipótese da ocorrência de carbonatação do concreto, fenômeno esse que pode culminar em uma maior velocidade de oxidação das armaduras de ferro que compõem a estrutura (por meio da redução do pH e da quebra da película passivante), trazendo riscos à segurança da edificação [21].

Isso ocorre porque a armadura fica protegida quando permanece em meio alcalino, dada a formação de uma película composta por óxido de ferro (após a oxidação do ferro e redução do oxigênio), que a envolve e serve de proteção contra os agentes agressivos externos e internos ao concreto. Lado outro, quando se diminui a alcalinidade desse material (redução do pH), ocorre uma modificação da microestrutura dos componentes, ocasionando a despassivação da armadura, o que pode influenciar na estabilidade da construção [21].

Noutro giro, Fialho, Seibt e Carrijo (2019) [22] esclarecem que a carbonatação em si não agride de forma direta o concreto, porém, deixa-o vulnerável à ação de agentes corrosivos (despassivação). Nesse sentido, os autores salientam que o grande fator que potencializa a deterioração da estrutura, após a armadura estar despassivada (vulnerável), é o estado da camada de cobrimento: a presença de trincas, fissuras e porosidade na peça, permitindo a entrada de agentes que, então, iniciariam o processo de corrosão do aço — processo esse que pode causar o colapso da estrutura.

## 2.6 Validação das hipóteses (raciocínio dedutivo)

Esta etapa permite que se chegue a uma conclusão com base nos fatos conhecidos anteriormente. Bem-vistas as coisas, a carbonatação ocorre por meio da reação entre o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) presente na atmosfera e componentes alcalinos característicos da fase líquida do concreto, acarretando, de tal arte: a redução nos níveis de alcalinidade; neutralização das características de todo o material; e a redução do nível do pH da massa hidratada. Esse processo desencadeia corrosão nas estruturas de concreto armado, ao passo que deixa as estruturas de ferro mais expostas [23].

Destarte, de modo a corroborar a ocorrência desses aspectos no sítio dos fatos e a validar a hipótese anteriormente desenvolvida no presente trabalho, seguindo-se o método científico, a Perícia procedeu com a realização de um ensaio de carbonatação na estrutura desabada.

A Norma Internacional DIN EN nº 14630 de 2007, intitulada “Products and systems for the protection and repair of concrete structures - Test methods - Determination of carbonation depth in hardened concrete by the phenolphthalein method; German version EN 14630:2006” [24], esclarece que, para se estabelecer se há uma camada de concreto não carbonatado suficiente para proteger a armadura pelo restante da vida útil da estrutura, deve-se determinar a profundidade de carbonatação por meio de um ensaio.

Nessa perspectiva, Araujo e Panossian (2011) [25] ensinam que o ensaio de carbonatação consiste na visualização da alteração do pH do concreto de cobrimento, por meio da aspersão de um indicador de pH. Geralmente, faz-se uso de uma solução de fenolftaleína 1%, facilmente encontrada no mercado com as seguintes especificações: Fenolftaleína P. A.; Álcool Etílico 96% ou 99%; Água destilada. Desse modo, o concreto de cobrimento é fraturado e, após a limpeza da área, é feita a aspersão da solução. Os autores salientam que a Norma DIN EN nº 14630 (2007) recomenda que a aspersão da solução de fenolftaleína seja feita perpendicularmente à área fraturada, até que o concreto esteja saturado.

Por conseguinte, a Norma DIN EN nº 14630 (2007) esclarece que, acima de um valor de pH de aproximadamente 9, o indicador dá ao concreto uma cor vermelho-púrpura, sendo que somente o concreto colorido é suficientemente alcalino para fornecer passividade ao aço [24]. A seu turno, a medida da profundidade de carbonatação é determinada por meio da distância  $d_k$ , em mm, da superfície externa do concreto até a borda da região de cor vermelho-púrpura [24].

O resultado do ensaio de carbonatação realizado quando dos exames no sítio do desabamento é mostrado a seguir pelas Figuras 2 a 12. Os resultados obtidos indicam o comprometimento da durabilidade do concreto da telha colapsada devido a ataques por carbonatação. À guisa de conclusão, a referida estrutura não apresentava condição

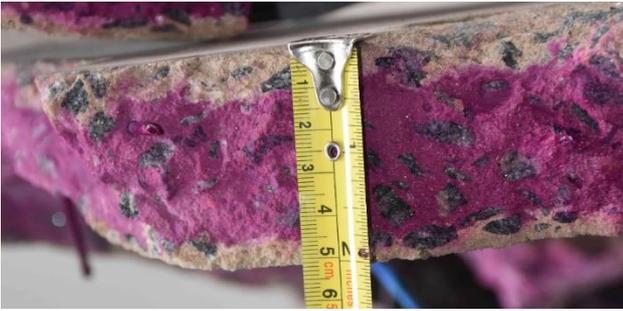
favorável para a proteção de sua armadura, colaborando para a perda de sua passividade.



**Figura 2.** Aspersão de solução de fenolftaleína sobre o perfil da estrutura colapsada, que se achava dependurada no sítio do desabamento. Fonte: Acervo pessoal.



**Figura 3.** Complementar à Figura 2, mostrando em detalhe a região superior daquela estrutura. Fonte: Acervo pessoal.



**Figura 4.** Complementar à Figura 3, mostrando a medida da profundidade de carbonatação (dk) naquele local, em aproximadamente 10 mm. Fonte: Acervo pessoal.



**Figura 5.** Complementar à Figura 2, mostrando em detalhe a região mediana daquela estrutura. Fonte: Acervo pessoal.



**Figura 6.** Complementar à Figura 5, mostrando a medida da profundidade de carbonatação (dk) naquele local, em aproximadamente 20 mm. Fonte: Acervo pessoal.



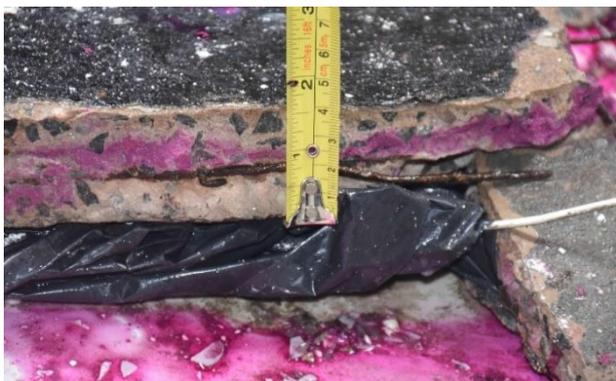
**Figura 7.** Complementar à Figura 2, mostrando em detalhe a região inferior daquela estrutura, mais próxima do ponto de ruptura da telha. Fonte: Acervo pessoal.



**Figura 8.** Complementar à Figura 7, mostrando a medida da profundidade de carbonatação (dk) naquele local, em aproximadamente 45 mm (região de carbonatação tomando toda a espessura da peça em concreto). Fonte: Acervo pessoal.



**Figura 9.** Aspersão de solução de fenolftaleína sobre peça colapsada com armadura exposta. Fonte: Acervo pessoal.



**Figura 10.** Complementar à Figura 9, mostrando a medida da profundidade de carbonatação (dk) naquele local, em aproximadamente 20 mm na região inferior, atingindo a armadura de aço que, por sua vez, já se achava oxidada. Fonte: Acervo pessoal.



**Figura 11.** Aspersão de solução de fenolftaleína sobre peça colapsada com armadura exposta. Fonte: Acervo pessoal.



**Figura 12.** Complementar à Figura 11, mostrando a medida da profundidade de carbonatação (dk) naquele local, em aproximadamente 40 mm na região inferior, atingindo a armadura de aço que, por sua vez, já se achava oxidada. Fonte: Acervo pessoal.

### 2.7 Seleção da hipótese final

Considerando os traços fundamentais acima delineados, neste ponto, mister se faz perspectivar que, dentre as formas de manifestações patológicas em uma estrutura, segundo o conceito apresentado por Carvalho (2020) [19], destacam-se as: (i) Congênitas (originárias da fase de projeto em função da não observância das normas técnicas ou erro e omissões dos profissionais, resultando

em falhas no detalhamento e concepção inadequada); ou (ii) Adquiridas (ocorrem durante a vida útil, sendo resultantes da exposição ao meio em que se inserem, podendo ser naturais, decorrentes da agressividade desse meio ou decorrentes da ação humana).

A fim de evitar a ocorrência dessas manifestações e, com isso, incrementar a vida útil do projeto, Carvalho (2020) [19] aponta como necessário o investimento sob os seguintes aspectos: (a) bom desenvolvimento do projeto; (b) correto planejamento da execução; (c) qualidade dos materiais e da mão de obra; (d) manutenção periódica; e (e) adaptações planejadas.

Por conseguinte, a não execução desses dois últimos aspectos no caso em análise é denunciada pela ausência da documentação comprobatória, segundo as normas técnicas e norma regulamentadora apresentadas e discutidas no item “2.4.2 DOS ASPECTOS ADMINISTRATIVOS E DE GESTÃO DE ENGENHARIA” (respectivamente: ausência do Relatório de Inspeção, conforme NBR nº 5674:2012 e NR-8; e ausência do Plano de Reforma, conforme ABNT NBR nº 16280:2020). Portanto, é viável a hipótese de que esses aspectos colaboraram para o aparecimento e para a não identificação das manifestações patológicas (ii) adquiridas relatadas no bojo do presente estudo, que culminaram no desabamento.

Nesse contexto, é importante registrar que a **realização de inspeções periódicas** na estrutura desabada, comprovadas por meio de “Relatório de Inspeção” conforme norma técnica NBR nº 5674:2012, poderia ter identificado as referidas manifestações patológicas, que, se sanadas, **teriam evitado o sinistro**.

De forma análoga, a ponderação em comento é corroborada por Santos, Almeida e Brandão (2016) [26], em seu trabalho intitulado “Estudo de caso em cobertura de telha pré-fabricada tipo W com ocorrência de colapso parcial”, donde também concluíram acerca da importância de inspeções periódicas de manutenção:

**O colapso poderia ter sido evitado com a utilização de um sistema periódico de manutenção**, pois telhas Protendidas necessitam de uma atenção especial e estão sujeitas a cargas de tensão permanente e a água infiltrando por fissuras oriundas de qualquer anomalia deixa a peça vulnerável e com grandes probabilidades de corrosão pontual sobre tensão [26]. (grifei).

### 3. CONCLUSÕES

Muitos são os crimes que podem estar atrelados aos sinistros ocorridos nos canteiros de obras, principalmente quando da ocorrência de mortes ou lesões corporais em ocorrências dessa natureza, sendo que a conduta dolosa ou

culposa do agente que der causa a esses resultados é que determinará a respectiva tipificação penal [27].

Convém, a propósito, destacar que também poderia ser enquadrada conduta conforme o art. 256 do Código Penal [28]: “Causar desabamento ou desmoronamento, expondo a perigo a vida, a integridade física ou o patrimônio de outrem: Pena — reclusão, de um a quatro anos, e multa”. Quanto ao objeto jurídico, nesse tipo penal protege-se a incolumidade pública, sendo um crime de perigo concreto [29].

Feitas tais considerações, os aspectos elencados no bojo do presente estudo, principalmente aqueles consignados no item “2.7. SELEÇÃO DA HIPÓTESE FINAL”, indicam, na opinião da perícia, que houve condutas que inobservaram deveres objetivos de cuidado, ficando caracterizado nexo de causalidade entre essa inobservância e os resultados lesivos dela advindos.

Diante desses elementos, todavia, apesar de frequentemente questionado nos enunciados de quesitos pertencentes às Requisições de Exames encaminhadas aos órgãos periciais (“O desabamento ou desmoronamento foi acidental, proposital ou resultou de imprudência, negligência ou imperícia?” [30]), cabe ao Operador do Direito concluir acerca da caracterização da culpa (por negligência, imprudência ou imperícia) ou do dolo eventual, caso se entenda que o agente anteviu como possíveis os resultados e os aceitou, não se importando realmente com a sua ocorrência.

À vista do que fica exposto, o presente estudo teve por objetivo apresentar os elementos materiais que, presentes no local de desabamento investigado, serviriam como subsídios de ordem técnico-científica aos destinatários do laudo pericial, constituindo importante peça para a justiça na elucidação dos fatos.

Em remate, a correta busca por elementos materiais em um local de sinistro de engenharia deve ocorrer, primordialmente, respeitando-se uma metodologia pericial bem definida e em conformidade com os princípios e as boas práticas da Engenharia Diagnóstica. No caso em tela, foi possível validar a viabilidade da realização de um ensaio não destrutivo, barato e de fácil execução com o uso de fenoltaleína, para a determinação da profundidade de carbonatação do concreto — fator que indicou, para o caso em análise, o comprometimento da estrutura.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] SANTOS, Y. D. L. Estudo de falhas na fiscalização da execução que interferem na qualidade das obras de edificações. 2018. *Trabalho de Conclusão de Curso*. (Graduação em Engenharia Civil) – Escola Politécnica – UFRJ. Orientador: Jorge dos Santos. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10023209.pdf>>. Acesso em: 29 de abril de 2023.
- [2] ROSA, A. D. A. *Perícias na engenharia diagnóstica*. In: Apostila do curso de Engenharia diagnóstica: patologia, desempenho e perícias na construção civil da Faculdade Unyleya. Brasília, 2020.
- [3] COTOMACIO, A. C. A visão do perito criminal sobre as causas de um acidente de trabalho. In: *Revista Brasileira de Criminalística*, v. 9, n. 1, p. 60-68, 2020.
- [4] GOMIDE, T. L. F. Diretrizes técnicas de Engenharia Diagnóstica em edificações - DT 001/14 DTPC. *Instituto de Engenharia*, 2016. Disponível em: <<https://www.institutodeengenharia.org.br/site/wp-content/uploads/2017/10/arqnot8482.pdf>>. Acesso em 19 de abril de 2023.
- [5] ICOVE, D. J.; HAYNES, G. A. *Kirk's Fire Investigation*. 8ª edição. NY: Pearson, 2018.
- [6] NFPA. *NFPA 921: Guide for Fire and Explosion Investigations*. Quincy, M. A.: National Fire Protection Association, 2017.
- [7] BRASIL. Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC (...); e dá outras providências. Brasília, 2012. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/112608.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112608.htm)>. Acesso em: 29 de abril de 2023.
- [8] CONFEA. Resolução nº 1137 de 31 de março de 2023. Dispõe sobre a Anotação de Responsabilidade Técnica - ART, o Acervo Técnico-Profissional e o Acervo Operacional, e dá outras providências. Disponível em: <<https://normativos.confea.org.br/Ementas/Visualizar?id=76099>>. Acesso em 29 de abril de 2023.
- [9] BRASIL. Lei nº 13.425, de 30 de março de 2017. Estabelece diretrizes gerais sobre medidas de prevenção e combate a incêndio e a desastres em estabelecimentos, edificações e áreas de reunião de público (...); e dá outras providências. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2017/lei/113425.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/113425.htm)>. Acesso em 29 de abril de 2023.
- [10] UNISDR. Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015 – 2030. United Nations Office for Disaster Risk Reduction. Disponível em: <[https://www.preventionweb.net/files/43291\\_sendaiframeworkfordrren.pdf](https://www.preventionweb.net/files/43291_sendaiframeworkfordrren.pdf)>. Acesso em: 22 de agosto de 2020.
- [11] Criminalística Preventiva e Inteligência Pericial: integrando órgãos públicos à luz do Marco de Sendai (UNISDR - ONU). *Prêmio Innovare*. Disponível em: <[https://www.premioinnovare.com.br/pratica/criminalistica-preventiva-e-inteligencia-pericial:-integrando-orgaos-publicos-a-luz-do-marco-de-sendai-\(unisdr-onu\)/10925](https://www.premioinnovare.com.br/pratica/criminalistica-preventiva-e-inteligencia-pericial:-integrando-orgaos-publicos-a-luz-do-marco-de-sendai-(unisdr-onu)/10925)>. Acesso em 29 de abril de 2023.
- [12] CAMARGO FILHO, W. X. et al. Forensic intelligence as a useful tool for reducing traffic fatalities: the Brazilian Federal District case. In: *Revista Brasileira de Criminalística*, v. 5, n. 2, p. 7-13, jul. 2016.

- [13] NAVES, M. C. X. Uma nova óptica das perícias criminais em acidentes envolvendo energia elétrica. 2016. 55 f. *Dissertação* (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2016. Publicação PPGENE.DM – 629 A/16. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.26512/2016.12.D.22951>>. Acesso em 17 de março de 2023.
- [14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 16280: Reforma em Edificações — Sistema de Gestão de Reformas — Requisitos*. Rio de Janeiro, 2020.
- [15] MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA. *Norma Regulamentadora Nº 8 (NR-8)*. Disponível em: <<https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/acesso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/ctpp/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/norma-regulamentadora-no-8-nr-8>>. Acesso em 29 de abril de 2023.
- [16] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5674: Manutenção de edificações - Requisitos para o sistema de gestão de manutenção*. Rio de Janeiro, 2012.
- [17] COTOMACIO, A. C. *Manual prático de perícia criminal em acidentes de trabalho: inteligência pericial e criminalística preventiva*. 2.ed. Campinas: Millennium, 2021.
- [18] VELHO, J. A.; GEISER G. C.; ESPINDULA, A. *Ciências forenses: uma introdução às principais áreas da criminalística moderna*. Campinas: Millennium, 2017.
- [19] CARVALHO, D. G. S. *Patologia das Estruturas*. Apostila do curso de Pós-Graduação em engenharia diagnóstica: patologia, desempenho e perícias na construção civil da Faculdade Unyleya. Brasília, 2020.
- [20] CONFEEA-CREA. Manifestação do Conselho Federal de Engenharia e Agronomia sobre o Inciso XII do artigo 58 e o artigo 37 da Medida Provisória 1.040/2021. Disponível em: <<https://www.crea-pr.org.br/ws/wp-content/uploads/2021/06/Manifestacao-Confea-MPV-1.040-2021.pdf>>. Acesso em 27 de abril de 2023.
- [21] SHELMAN, C. A Importância dos Ensaios não Destrutivos para Diagnóstico de Corrosão nas Estruturas de Concreto Armado. *CONPAR POLI/UPE*, 2017, v. 1, n. 1, 2017. Disponível em: <<http://revistas.poli.br/index.php/CONPAR/article/view/613>>. Acesso em 27 de abril de 2023.
- [22] FIALHO, R. F.; SEIBT, B. H.; CARRIJO, S. A. Um estudo sobre a despassivação da armadura com ênfase na causada por carbonatação do concreto. In: *Anais Colóquio Estadual de Pesquisa Multidisciplinar (ISSN-2527-2500) & Congresso Nacional de Pesquisa Multidisciplinar*. 2019. Disponível em: <<https://www.unifimes.edu.br/ojs/index.php/coloquio/article/view/844/831>>. Acesso em 27 de abril de 2023.
- [23] FREITAS, A. P. A. *Engenharia Diagnóstica e Perícias de Engenharia – Documentação e Redação Técnica*. Apostila do curso de Pós-Graduação em engenharia diagnóstica: patologia, desempenho e perícias na construção civil da Faculdade Unyleya. Brasília, 2020.
- [24] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. *DIN EN 14630: Products and systems for the protection and repair of concrete structures - Test methods*. CEN: Brussels, 2007.
- [25] ARAUJO, A.; PANOSSIAN, Z. Inspeção rotineira de estruturas de concreto armado expostas a atmosferas agressivas. *Téchne*, v. 19, n. 177, p. 58-64, 2011.
- [26] SANTOS, K. T.; ALMEIDA, I. R.; BRANDÃO, P. R. S. Estudo de Caso em Cobertura de Telha Pré-Fabricada Tipo W com Ocorrência de Colapso Parcial. *Revista Eletrônica Multidisciplinar FACEAR*, ano 5, v. 2, 2016. Disponível em: <[https://revista.facear.edu.br/artigo/\\$/estudo-de-caso-em-cobertura-de-telha-pre-fabricada-tipo-w-com-ocorrencia-de-colapso-parcial/](https://revista.facear.edu.br/artigo/$/estudo-de-caso-em-cobertura-de-telha-pre-fabricada-tipo-w-com-ocorrencia-de-colapso-parcial/)>. Acesso em: 27 abr. 2023.
- [27] ANGIEUSKI, P. N. A responsabilidade penal nos acidentes de trabalho. *Boletim Jurídico*, Uberaba/MG, a. 3, no 138. Disponível em: <<https://www.boletimjuridico.com.br/doutrina/artigo/737/a-responsabilidade-penal-acidentestrabalho>> Acesso em: 31 de outubro de 2018.
- [28] BRASIL. Decreto Lei nº 2.848, de 7 de dezembro de 1940. Dispõe sobre o Código Penal brasileiro. Brasília, 1940. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto-lei/del2848.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/del2848.htm)>. Acesso em: 14 de novembro de 2018.
- [29] CAPEZ, F. *Curso de direito penal, volume 3, parte especial: dos crimes contra a dignidade sexual a dos crimes contra a administração pública (arts. 213 a 359-H)*. 10. ed. São Paulo: Saraiva, 2012.
- [30] SÃO PAULO (Estado). Polícia Civil. *Manual operacional do policial civil: doutrina, legislação, modelos*. Coordenação: Carlos Alberto Marchi de Queiroz. São Paulo: Delegacia Geral de Polícia, 2002.
- [31] VILELA, R. A. G.; IGUTI, A. M.; ALMEIDA, I. M. Culpa da vítima: um modelo para perpetuar a impunidade nos acidentes do trabalho. *Cad. Saúde Pública* 20: 570-579 (2004).
- [32] OLIVEIRA, P. R. A. *Uma sistematização sobre a saúde do trabalhador: Do exótico ao esotérico*, LTR, Brasil (2011) 343-358.