



ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 3/2022

BRUNO PEREIRA FERNANDES DE CASTRO, Cap Eng

**Ensaio e instrumentação de engenharia para análise da gravidade e
tendência de patologias e apoio à tomada de decisão**

Rio de Janeiro

2022

ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 3/2022

BRUNO PEREIRA FERNANDES DE CASTRO, Cap Eng

**Ensaio e instrumentação de engenharia para análise da gravidade e
tendência de patologias e apoio à tomada de decisão**

Trabalho de conclusão de curso apresentado no Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica como requisito parcial para aprovação no Curso de Pós-graduação *Lato Sensu* em Liderança com Ênfase em Gestão no COMAER.

Linha de Pesquisa: Gestão Institucional
Orientador: Raphael Stauffer, Maj Int

Rio de Janeiro

2022

BRUNO PEREIRA FERNANDES DE CASTRO, Cap Eng

**Ensaio e instrumentação de engenharia para análise da gravidade e
tendência de patologias e apoio à tomada de decisão**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
no Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da
Aeronáutica.

Aprovado por:

Raphael Coutinho **Stauffer**, Maj Int
EAOAR

Prof. Dr. **André** da Costa Gonçalves
EAOAR

Rio de Janeiro

2022

RESUMO

De acordo com as informações do Sistema de patrimônio (SISOP), o Comando da Aeronáutica (COMAER) possui 9.984 benfeitorias em uso. Destas, uma quantidade significativa são estruturas complexas que apoiam as ações da FAB e estão distribuídas pelo Brasil. A gestão predial destas edificações devem ser priorizadas considerando os aspectos técnicos para melhor aplicação dos recursos públicos. Desta forma, a DIRINFRA publicou a ICA 86-2 que trata do planejamento de projetos, propondo o uso da Matriz GUT para apoio à decisão no nível das Organizações militares. A informação da gravidade e tendência podem ser obtidas através da análise visual, porém pode gerar falta de uniformidade nas análises técnicas, uma vez que estarão associadas a experiência do técnico avaliador para definição da Gravidade e da Tendência. Para estruturas maiores, as dimensões da benfeitoria podem dificultar o acesso a pontos de interesse ou, comparando com o tamanho da edificação, tornar algumas deformações quase imperceptíveis na análise visual. Desta forma, propõem-se a realização de ensaios e instrumentação de engenharia para análise da gravidade e tendência de patologias e apoio à tomada de decisão. Para isso, será abordada a importância dos ensaios para identificar a gravidade do problema, em seguida para será detalhado a possibilidade dos ensaios para definir a tendência. Por fim, percebe-se que este estudo ao ser aplicado no COMAER contribuirá para uma aplicação eficiente dos recursos públicos, uma vez que facilitará o prognóstico dos danos, permitindo definir o melhor momento de intervir, considerando a segurança e uso racional dos recursos públicos.

Palavras-chave: Ensaios de engenharia. Matriz GUT. Manutenção Predial, Engenharia diagnóstica.

1 INTRODUÇÃO

A Diretoria de Engenharia da Aeronáutica (DIRINFRA) tem a missão de planejar, normatizar e gerenciar atividades relacionadas ao patrimônio imobiliário, engenharia de infraestrutura e contra incêndio no Comando da Aeronáutica (COMAER). A estrutura organizacional busca a melhoria contínua com o objetivo de atingir a excelência na gestão dos limitados recursos disponíveis para obras e serviços de engenharia.

As edificações sob gestão do COMAER, na sua maioria, apresentam idade avançada. Por este motivo é comum a presença de patologias. A inspeção predial é uma ferramenta importante de análise técnica empregada para identificar e monitorar patologias, podendo ocorrer em diferentes níveis de detalhamento com foco em soluções de manutenção que permitam a utilização plena das edificações. Recentemente, a FAB publicou a ICA 86-2 (BRASIL, 2022) que considera a priorização das ações com apoio da Matriz GUT. Para edificações de baixa complexidade técnica, que se admite maiores riscos, a análise inicial pode ser feita a partir de uma inspeção predial visual na qual podem ser obtidas informações relevantes. Para estrutura mais complexas, deve-se proceder inspeções mais detalhadas, conforme Souza e Ripper (1998) consiste em observações planejadas de carácter expedito que relacionadas em formulário adequado, permitirá caso necessário, a tomada de decisão imediata. Desta forma, as análises da gravidade e da tendência, a partir de resultados de ensaios, favorecem um diagnóstico mais preciso e um prognóstico em função de critérios objetivos.

Neste contexto, este ensaio defende a realização de ensaios e instrumentação de engenharia para análise da gravidade e tendência de patologias e apoio à tomada de decisão. O objetivo é obter resultados que permitam, aplicando metodologias consagradas, definir os graus de gravidade e tendência. Os ensaios são realizados periodicamente e em áreas específicas, formando um conjunto de informações essenciais para a estratégia de manutenção.

Para fundamentar esta tese, foram explorados dois argumentos. O primeiro permite identificar a gravidade dos danos estruturais através de ensaios, mensurando o comprometimento da edificação. O segundo, permite avaliar a tendência a partir de um conjunto de resultados, favorecendo o prognóstico.

2 DESENVOLVIMENTO

Entende-se como estruturas complexas aquelas que estão relacionadas a atividade fim da Organização Militar ou aquelas que por motivo de destinação, emprego ou condição necessitem de acompanhamento técnico especializado para análise do seu desempenho e condições de segurança. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), emitiu a norma ABNT NBR 15.575-1:2013 trata do desempenho de edificações habitacionais, ela define desempenho como sendo “comportamento em uso de uma edificação e de seus sistemas”. Figueiredo *et al.* (2011 apud DA SILVA SARMENTO-DA FONTE-DE LIMA, 2013, p. 3), entende que monitorar estruturas é essencial para uma avaliação quando se pretende determinar as características e propriedades do sistema.

Para Antunes (2007) deve-se realizar um acompanhamento dinâmico dos edifícios com o objetivo de evitar desastres. Desta forma, apenas o acompanhamento técnico visual poderá não ser suficiente para garantir uma análise do desempenho da estrutura como um todo. Pesquisando a uniformidade de inspeções visuais, COELHO (2019, p. 43) concluiu que não houve uniformidade nos índices atribuídos por diferentes profissionais, tendo em vista o coeficiente de variação médio foi próximo a 50%. Becker (2001 apud LORENZI, 2013 p. 26) realizou um estudo em Israel quanto ao desempenho de edificações habitacionais, tinha como objetivo definir os elementos mínimos para analisar o desempenho. Dentre estes elementos, tem-se a realização de testes capazes de identificar patologias. Desta forma, verifica-se a necessidade de obter a gravidade e a tendência através de ensaios de engenharia para priorização.

2.1 Ensaios de engenharia para quantificar a Gravidade

No COMAER, especialmente em prédios mais antigos, é comum a ocorrência de várias patologias cujas recuperações necessitam de priorização. Assim, a análise da gravidade do problema é importante. Vervloet (2018) indica que a gravidade diz respeito a severidade das consequências daquele problema caso não seja resolvido. Para Verzola *et al* (2014) a gravidade está relacionada com possíveis riscos ou

prejuízos aos usuários, patrimônio ou ao meio ambiente.

Desta forma, os ensaios e a instrumentação fornecerão subsídios concretos para uma análise objetiva do nível de comprometido estrutural, contribuindo com informações quantitativas e qualitativas para mensurar a gravidade. No trabalho desenvolvido por Carvalho *et al* (2020) o uso de ensaios foi essencial para a coleta de dados sobre as manifestações patológicas e a gravidade das ocorrências.

A seguir, apresenta-se patologias comuns nas edificações da FAB. A fissuração em elementos estruturais pode ser consequência da carbonatação, que surge de uma reação entre o gás carbônico do ar e o cimento hidratado, resultado na redução do PH do concreto. Para Possan (2010, p. 89) “Os efeitos da corrosão por carbonatação para estruturas de concreto têm consequências graves, como alteração na estabilidade global, na segurança, na estética e no crescimento significativo dos custos de manutenção.”. A identificação da profundidade de carbonatação requer o uso de solução fenolftaleína para identificar o trecho comprometido. Somente após esta identificação será possível quantificar a gravidade do problema. As fachadas também apresentam patologias específicas.

Tratando-se de patologias nas fachadas, tem-se a ocorrência de deslocamento de elementos. Em estudo realizado em Recife-PE, Matias e Póvoas (2009 apud JUNIOR-BATISTA-PÓVOAS, 2020, p. 11) identificaram que 37% dos problemas com fachadas estão associados ao descolamento do revestimento cerâmico. Esses elementos, ao desprender-se, cai de altura significativa com potencial para evento de alta gravidade. Quanto já ocorreu o descolamento é fácil identificar visualmente as áreas danificadas e proceder as ações para mitigação dos riscos de impactos sobre pedestres ou veículos. Para identificar o problema, Junior *et al* (2020) utilizou equipamento de Termografia Infravermelha para visualização térmica da fachada. A imagem resultante apresenta a fachada multicolorida, as cores indicam as variações de temperatura da fachada. A falta de uniformidade da temperatura indica os pontos com indícios para descolamento. Consequentemente, é possível uma avaliação inicial da gravidade do problema, haja vista a identificação prévia dos trechos com probabilidade de deslocamento.

Os ensaios termográficos Infravermelhos podem ser utilizados para verificar sobrecargas nas instalações elétricas. Foi realizado estudo com o objetivo testar o

método (ASSUNÇÃO *et al*, 2015). Ele concluiu que os critérios de diagnóstico através de termografia infravermelha é capaz de identificar falhas nas conexões elétricas em estágio anterior a uma falha catastrófica. Silvino (2018) apresenta resultados estatísticos que comprovam a relação entre problemas nas instalações elétricas e a ocorrência de incêndios, recomendando inspeções periódicas. A instrumentação para este tipo de análise é fundamental, através dela é possível o diagnóstico para quantificar a gravidade do problema. Complementarmente, Silvino (2018) detalha que os Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) necessitam de análises, uma vez que estão susceptíveis a descargas atmosféricas que, eventualmente, podem provocar danos estruturais ou aos ocupantes e elevando o risco de incêndios. Winck *et al* (2020, p. 20) apresenta dados estatísticos do Corpo de Bombeiros do Estado de Goiás (CBMGO) entre os quais, tem-se que no período de 12 meses, iniciando em dezembro de 2015, 21% das causas de incêndio no Estado tem relação com falhas elétricas. Os ensaios apresentados são de fácil realização e, através de análises rápidas, podem contribuir significativamente no entendimento da gravidade dos problemas, que muitas vezes são imperceptíveis na análise visual.

2.2 Ensaios para análise da Tendência

Na análise de Vervloet (2018) a tendência na inspeção predial avalia o desenvolvimento do problema ao longo do tempo, basicamente se irá ou não piorar. Construir um prognóstico, com base em registros de análises visuais não é adequado. A análise visual tem um grau de subjetividade em função da experiência de quem realiza. Resultados de instrumentação são menos vulneráveis a este tipo de erro. Para Souza e Ripper (2001) as estruturas de grande porte como os hangares e as torres de controle necessitam de uma supervisão mais cuidadosa. Estas estruturas normalmente estão submetidas a grandes cargas ou possuem dimensões particulares que dificulta a inspeção visual em pontos importantes. Para Steen Rostan (1991 apud SOUZA-RIPPER, 2001, p. 237) a vida útil da estrutura poderá estar seriamente comprometida se as inspeções a serem realizadas se limitarem apenas aos registros e análises visuais sem instrumentação adequada. Destaca-se que o monitoramento instrumentado não substitui a inspeção visual

periódica das estruturas, é complementar. A combinação com a inspeção visual, torna o processo mais seguro e reduz custos de recuperação. Medições periódicas resultará em análises mais sofisticadas, identificando a tendência das condições de estabilidade ao longo do tempo, especialmente quando se trata da estabilidade do subsolo, permitindo um prognóstico mais preciso.

Conhecer bem o subsolo é indispensável para evitar interpretação prematura, uma vez que, por exemplo, as fissuras em parede por vezes podem estar relacionadas a problemas da interação solo-estrutura. O conhecimento das condições do terreno são essenciais para definir as características do subsolo que sustenta a edificação. De acordo com Schnaid e Odebrecht (2012), no Brasil os custos com sondagens de reconhecimento variam entre 0,2% a 0,5% do custo total de obras convencionais. Este investimento normalmente contribui para evitar erros de interpretação da interação solo-estrutura, especialmente quanto a capacidade de carga do solo ao longo do tempo. Na análise dos riscos, os aspectos relacionados à investigação do subsolo são as causas mais frequentes de problemas de fundações MILITITSKU *et al* (2006 apud SCHNAID-ODEBRECHT, 2012, p. 13). Schnaid e Odebrecht (2012) apresenta informações que reforçam a necessidade de uma investigação de campo adequada, o US Army Corps of engineers indica que:

A investigação geotécnica insuficiente e a interpretação inadequada de resultados contribuem para erros de projeto, atrasos no cronograma executivo, custos associados a alterações construtivas, necessidade de jazidas adicionais para materiais de empréstimo, impactos ambientais, gastos em remediação pós-construtiva, além de risco de colapso da estrutura e litígio subsequente (US ARMY CORPS, 2001 apud SCHNAID e ODEBRECHT 2012, p.14).

A partir de resultados consistentes das propriedades do solo é possível criar simulações numéricas capazes de estimar com precisão a Interação solo-estrutura e as consequências ao longo do tempo.

A contribuição de ensaios para análise da tendência ocorre a partir da análise do banco de dados. Desta forma, é possível entender o comportamento do conjunto solo-estrutura ao longo do tempo. Se houver uma tendência para colapso, tem-se indicativo para priorização de recursos para obras mitigadores. Caso contrário, a evolução dos danos elevará o risco da estrutura, tornando-a perigosa. Verifica-se portanto, como resultados concretos de ensaios sugerem uma priorização.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O COMAER possui a gestão de grande quantidade de imóveis para as diversas finalidades de utilização. A gestão e manutenção destes imóveis são atividades complexas, haja vista a limitação de recursos financeiros. Para otimizar a aplicação de recursos, verifica-se a possibilidade de priorizar com base em ensaios.

Análises visuais podem não representar a real situação de uma edificação, por depender unicamente da experiência do técnico. Os ensaios, quando utilizados em complemento à análise visual, permitem análises objetivas, que contribui a tomada de decisão, uma vez que se elimina a subjetividade para definição da gravidade e tendência do problema, permitindo a priorização dos serviços mais críticos, mesmo que estes estejam ocultos à análise visual. Com os resultados da instrumentação, verifica-se rapidamente o grau de comprometido da estrutura devido a ocorrência de uma patologia. Ao definir a gravidade, torna-se possível a elaboração de projetos para mitigar os danos. A tendência está relacionada com a evolução do problema no tempo sendo importante para escolher, em função dos recursos financeiros, o momento adequado para a intervenção.

Diante do exposto, verifica-se que o COMAER trabalha para entregar melhores resultados com otimização dos recursos. Para isso, implementa processos eficientes e modernos, atendendo as expectativas da sociedade quanto aos gastos públicos. Assim, a utilização de ensaios para obtenção da gravidade e da tendência favorece a priorização das obras e serviços de engenharia, uma vez que têm potencial para identificar os problemas na fase inicial, exigindo menos recursos para a solução. A evolução pode ser analisada a partir da tendência, por vezes aguardar a estabilização é a solução indicada. Desta forma, a realização de ensaios e instrumentação de engenharia para análise da gravidade e tendência de patologias e apoio à tomada de decisão no COMAER, têm potencial para diminuição dos gastos per capita com manutenção, sem prejuízo da segurança para pessoas e equipamentos, contribuindo para aumentar o número de edificações mantidas.

REFERÊNCIAS

ANTUNES, P. F. C. **Análise dinâmica de estruturas com sensores de Bragg**. 2007. Dissertação (Mestrado em Física Aplicada) - Departamento de Física, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.575-1: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSUNÇÃO, B. L.; KOEHL, G. F.; DIOGO, L. G.; KRAUSE, R. C. K.; MUNIZ, P. R.; CÓ, M. A. Eficácia dos Critérios de diagnóstico de instalações elétricas defeituosas por termografia infravermelha. **Revista Ifes Ciência**, [S. l.], v. 1, n. 2, p. 111-127, 2015. DOI: 10.36524/ric.v1i2.312. Disponível em: <https://ojs.ifes.edu.br/index.php/ric/article/view/312>. Acesso em: 16 out. 2022.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Diretoria de Infraestrutura da Aeronáutica. Portaria DIRINFRA nº 75/SDE, de 14 de setembro de 2022. Aprova a edição da Instrução que estabelece a metodologia a ser utilizada no Planejamento de Infraestrutura da Aeronáutica (ICA 86-2). **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 176, f. 13612, 19 setembro 2022.

CARVALHO, A.; SILVA, I.; ROSSE, V.; BARBOSA, M. T. O emprego do método GUT na priorização da solução de manifestações patológicas. Estudo de caso: Instituto Maria. In CONGRESSO INTERNACIONAL NA RECUPERAÇÃO, MANUTENÇÃO E RESTAURAÇÃO DE EDIFÍCIOS, 5, 2020, Rio de Janeiro. **Anais** [...]. Rio de Janeiro; Centro Tecnológico da UFRJ – Rio de Janeiro, 2020. p. 1-11 (Vol. 5).

COELHO, L. O. **Verificação da uniformidade dos índices “gut” atribuídos por diferentes engenheiros (as) civis e arquitetos (as) para os mesmos cases de anomalias em estruturas**. Trabalho de conclusão de curso (Especialização). Instituto IDD. São Paulo, 2019.

DA SILVA SARMENTO, C. V.; DA FONTE, A. O. C.; DE LIMA, F. J. Monitoração de edifícios altos para ações dinâmicas do vento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO DO IBRACON, 55, 2013, Gramado. **Anais** [...]. Gramado: Centro de Eventos ExpoGramado Gramado – Rio Grande do Sul, 2013. p. 1-15.

JUNIOR, A. I. P.; BATISTA, P. I. B.; PÓVOAS, Y. V. Verificação de Descolamento Cerâmico de Fachada por Meio da Termografia Infravermelha. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, v. 5, n. 3, p. 10-16, 2020.

LORENZI, L. S. **Análise crítica e proposições de avanço nas metodologias de ensaios experimentais de desempenho à luz da ABNT NBR 15575 (2013) para edificações habitacionais de interesse social térreas**. 2013. Tese (doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, BR-RS, 2013.

POSSAN, E. **A modelagem da carbonatação e previsão de vida útil de estruturas de concreto em ambiente urbano**. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, BR-RS, 2010.

SCHNAID, F.; ODEBRECHT, E. **Ensaio de campo e suas aplicações à Engenharia de Fundações - 2ª Edição**. Editora Oficina de Textos. Livro Digital. (226 p.). ISBN 9788579750595. Disponível em: <https://middleware-bv.am4.com.br/SSO/academiaforcaarea/9788579750595>. Acesso em: 18 out. 2022.

SILVINO, M. S. **A importância da conformidade das instalações elétricas para a gestão de riscos e prevenção de incêndios em patrimônio cultural edificado**. Dissertação (Mestrado). Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2018.

SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: PINI, 2001.

VERVLOET, S. **Análise de indicadores para execução de inspeção predial regular obrigatória e diretrizes para o corpo técnico**. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2018.

VERZOLA, S. N.; MARCHIORI, F. F.; ARAGON, J. O. Proposta de lista de verificação para inspeção predial x urgência das manutenções. In: **Anais [do] XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído: avanços no desempenho das construções - pesquisa, inovação e capacitação profissional - ENTAC 2014**. . Maceió: Marketing Aumentado. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17012/entac2014>. Acesso em: 18 out. 2022, 2014. p. 1226 – 1235.

WINCK, L. B.; SILVA, I. F.; LUCION, D. A. Inspeções visuais em instalações elétricas de baixa tensão durante as atividades preventivas do corpo de bombeiros militar do estado de Goiás: Uma Proposta de Guia Técnico. **Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão (ISSN: 2525-4782)**, v. 4, n. 6, 2020.