

1 Introdução

1.1 Contextualização e motivação

Historicamente o aumento da população em centros urbanos se deu a partir da revolução industrial no século XIX, entretanto a sua concentração sempre foi maior no campo. Esse cenário mudou em meados do ano de 2008, quando a maior parte da população mundial passou a se concentrar em cidades, como mostra o gráfico da figura 1.

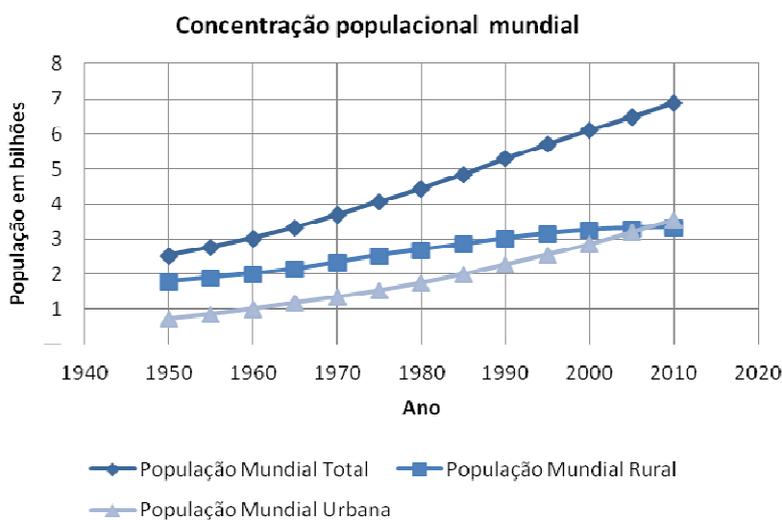


Figura 1 – Distribuição populacional entre 1950 e 2010. (Fonte: UN, Population Division, 2011)

Com a maior concentração de pessoas vivendo fora do campo, é cada vez maior a quantidade de estruturas construídas para viabilizar e facilitar a vida da população sempre crescente. Dessa forma, aumenta a cada dia a dependência de estruturas como rodovias, túneis, pontes, sem mencionar os meios de locomoção e produção de energia.

Visto que estruturas e componentes mecânicos estão sujeitos a uma variedade de condições ambientais, e que os desgastes devido à utilização diária deterioram sua integridade física, diferentes metodologias tem sido utilizadas nas inspeções estruturais,

Introdução

com o objetivo de certificar a qualidade da estrutura analisada, observando se as mesmas atendem às necessidades e/ou especificações para as quais foram projetadas. Dessa forma, pode-se detectar e até mesmo prevenir o agravamento de eventuais irregularidades (danos), as quais podem se apresentar de diferentes formas, tais como enfraquecimento estrutural devido à fadiga, trincas e fissuras por esforço de repetição, delaminação em materiais compósitos, corrosão em estruturas metálicas, entre outros.

O monitoramento de estruturas complexas como peças e estruturas de aeronaves não é diferente. De um modo geral a sua manutenção pode ser dividida em três etapas: a manutenção corretiva, preventiva e preditiva (XAVIER, 1980, 2000). A manutenção corretiva visa ao reparo de estruturas ou sistemas avariados e/ou fora de conformidade. Essa etapa é geralmente muito custosa, pois significa a retirada da aeronave de funcionamento para desmonte e análise, e a sua execução só é realizada quando existem fortes indícios de danos comprometedores à estrutura ou quando a legislação vigente exige. A manutenção preventiva tem como objetivo reduzir ou evitar falhas estruturais, e ocorre segundo um planejamento baseado em intervalos definidos de tempo. Em contrapartida, a manutenção preditiva é caracterizada pelo conjunto de atividades em que se estabelece o acompanhamento de alguns parâmetros estruturais, com o intuito de definir a necessidade ou não de intervenção. Esta é realizada sistematicamente, com o visando verificar a existência de danos, assim como de monitorar os detectados. Esse procedimento pode elevar o tempo médio entre as manutenções preventivas e corretivas.

Procedimentos de inspeção são uma importante ferramenta que fornecem auxílio na manutenção das mais diversas estruturas. A sua aplicabilidade nos campos de engenharia civil, mecânica e espacial é grande, e atualmente testes não destrutivos (NDT – Nondestructive Tests) são largamente utilizados para identificar e caracterizar danos estruturais. Entretanto, como esses testes levam tempo para a serem realizados, muitas vezes representando altos custos, e às vezes sendo até mesmo inviáveis por questões de localização do dano na estrutura, existe a necessidade de implementação de outras metodologias que minimizem os valores gastos e apresentem maior abrangência de atuação.

Nesse cenário, tem-se buscado cada vez mais o desenvolvimento e implementação de metodologias, ou sistemas, de manutenção estrutural, às quais se convencionou chamar de monitoramento de integridade estrutural (*Structural Health Monitoring* - SHM). Tal monitoramento se dá por meio da utilização de redes de sensores distribuídos sobre determinada estrutura. Esses sensores avaliam constantemente

pequenas alterações no sinal medido, alterações essas que são decorrentes de mudanças na estrutura causadas por danos às mesmas (FARRAR *et al*, 2001; PARK *et al*, 2010). Dessa forma, os sistemas SHM funcionam como um sistema nervoso estrutural, equivalente ao sistema nervoso biológico.

Sistemas SHM podem ser representados pelo desenvolvimento de metodologias que tentem responder às necessidades das manutenções preventivas, figura 2.

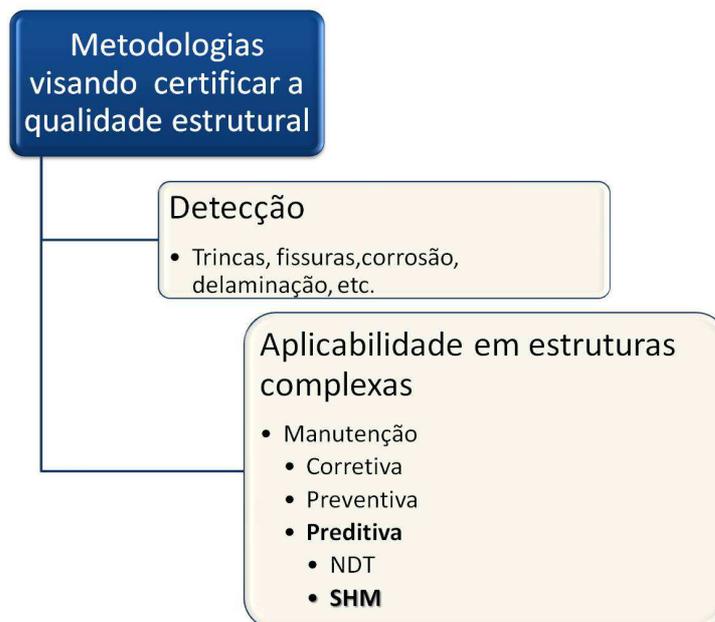


Figura 2 – Cenário de necessidades a respeito do monitoramento estrutural.

Uma das grandes vantagens dos sistemas SHM reside no fato de se poder inspecionar constantemente uma estrutura, muitas vezes de forma automatizada e sem a necessidade de se interromper o seu uso normal, contribuindo para uma maior eficiência tanto em segurança quanto em economia.

No capítulo 3 são apresentados os sistemas SHM com maior detalhamento.

1.2 Objetivos da tese

A necessidade de implementação de sistemas capazes de informar as condições de estrutura inteiras, ou de componentes mecânicos, levou ao desenvolvimento de um sistema SHM capaz de classificar e caracterizar dados de deformação quanto à presença, tamanho, posição e severidade de danos.

O desenvolvimento do sistema SHM foi baseada na utilização de dados numéricos. A estratégia empregada foi a de separar o problema de detecção e caracterização dos danos. A detecção foi realizada comparando a energia das deformações superficiais dos corpos de prova nos casos com e sem defeito. Já a caracterização foi realizada com a utilização de redes neurais artificiais (RNA), por meio de rotinas de reconhecimento de padrões.

Outra contribuição que o trabalho trouxe foi o desenvolvimento da base de dados numéricos, representando padrões de deformação de 88 casos distintos de corrosão para a análise estática e 640 padrões de deformação de 16 casos de delaminação. Esses padrões, que foram usados para o desenvolvimento das RNA, representam uma importante ferramenta para a construção de futuros trabalhos de caracterização de danos.

1.3

Estrutura da Tese

O corpo desta tese pode ser basicamente compreendido em três etapas. A primeira delas se destina à apresentação da proposta da tese, assim como os fatores que levaram a empregar tempo e esforço à mesma. Desta forma é apresentada a teoria por trás de sensores de fibra óptica, especificamente extensômetros de redes de Bragg, sistemas SHM, assim como a teoria de redes neurais artificiais. A segunda parte tem foco no estudo dos casos estático e dinâmico, onde são analisadas simulações, ensaios experimentais e análise dos resultados obtidos com o sistema SHM para placas de alumínio sujeito a corrosão (caso estático) e para placas de material compósito sujeitos a delaminação (caso dinâmico).

A terceira e última parte da tese é destinada às discussões e conclusões dos estudos realizados, assim como a apresentação da bibliografia utilizada.

Dessa forma, a tese está dividida em 8 capítulos.

No capítulo 1 estão apresentadas as motivações para o desenvolvimento da tese, escopo e estrutura.

O capítulo 2 discute os sensores de fibra óptica, suas vantagens diante de outros sensores disponíveis comercialmente, sensores de rede de Bragg, sensibilidade, fabricação, técnicas de leitura e endereçamento e utilização como sensores de deformação.

Introdução

O capítulo 3 apresenta os sistemas SHM, implementação, características e vantagens.

O capítulo 4 apresenta o tema de inteligência artificial, dando ênfase às redes neurais artificiais, apresentando suas características funcionais, explorando a sua relevância no papel de ferramenta de identificado de padrões, caracterização e previsão.

O capítulo 5 é destinado ao estudo do caso estático, onde são apresentadas as simulações de deformação de placas de alumínio com perda de espessura (simulando processos de corrosão), além da apresentação dos resultados experimentais, correlação entre os dados experimentais e numéricos, análise de incerteza, projeto e implementação de um sistema SHM de detecção e caracterização de corrosão.

O capítulo 6 é destinado ao estudo do caso dinâmico onde, similarmente ao que foi desenvolvido no capítulo 5, são analisados tanto os dados de deformação superficial numéricos (simulados) quanto experimentais, sobre as placas de material compósito submetidas a vibrações mecânicas. Neste capítulo é analisada a dependência da frequência de excitação vibracional nas placas com as deformações registradas, os diferentes padrões de deformação para cada tipo de dano (delaminação) simulado, além de todas as análises de incerteza, malhas de sensores e detecção de dano.

O capítulo 7 se destina às discussões dos resultados e às conclusões obtidas por todo trabalho e por fim discute os trabalhos futuros, evidenciando os próximos passos que deverão ser dados dentro do mesmo tema.

O capítulo 8 se destina à apresentação da bibliografia utilizada.