

7 Conclusão e Discussões

Com base no trabalho que foi desenvolvido, dois sistemas de monitoramento estrutural foram propostos: um com carregamento estático e outro dinâmico. Nos dois casos, o estudo foi baseado em modelos numéricos do comportamento mecânico, das estruturas analisadas.

A validação destes modelos foi realizada através de alguns ensaios experimentais, nos quais se tentou reproduzir o que foi simulado.

Observou-se que o modelo estático apresentou boa concordância. Para este, os erros absolutos observados entre os resultados medidos experimentalmente e os obtidos através das simulações ficaram dentro da margem de incerteza estimada para cada sensor FBG, como mostrado na figura 151.

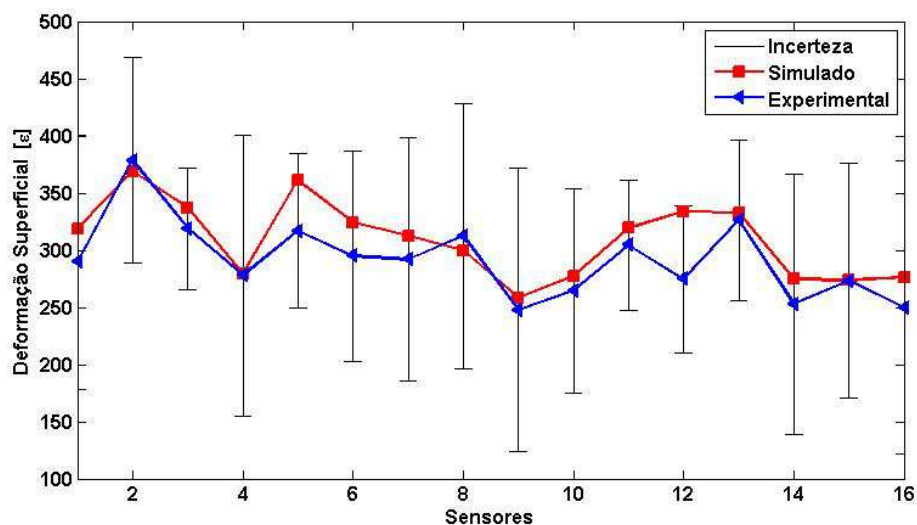


Figura 151 - Resultados experimentais e simulados contra a incerteza de medição.

Já o modelo desenvolvido para o caso dinâmico não apresentou boa concordância. Tal dificuldade de correlação é justificada, uma vez alguns aspectos importantes ao modelo não puderam, neste momento, ser incorporados. Dentre os mais relevantes aspectos não levados em consideração, estão o amortecimento das vibrações na estrutura e a exata especificação dos atuadores PZT.

O sistema de detecção foi desenvolvido para os dois modelos.

No primeiro caso, a detecção das perdas de espessura foi avaliada em função do espaçamento entre os sensores da grade. Os resultados apresentados na figura 61, mostram que para grades de sensores com até 25mm de espaçamento, a classificação de defeitos, com volumes que variam de $2,4mm^3$ à $1689,6mm^3$, apresentou falha em detecção inferior a 5%.

No caso do modelo dinâmico, a classificação das delaminações também foi realizada. Os resultados (tabela 12) mostraram que entre os 12 casos testados, 3 não foram classificados corretamente. Este resultado mostrou que o sistema considerou que delaminações de comprimento inferior à 0,75 polegadas (19,05mm), foram sempre classificadas como sem defeito independente da largura da mesma (ressaltando que foram testados larguras de no máximo 50,8mm).

Obteve-se ainda o posicionamento da delaminação, quando a mesma era detectada. Na tabela 14 são apresentados estes resultados.

Tabela 14 - Posicionamento da delaminação pelo sistema de detecção.

Delaminação		Detecção	Posicionamento da Delaminação			
Comprimento x [Polegada]	Largura y [Polegada]		Coordenada x [mm]		Coordenada y [mm]	
			Determinada	Real	Determinada	Real
0,50	0,50	Não	X	125	X	250
0,50	1,50	Sim	125	125	241	250
0,50	2,50	Sim	125	125	261	250
0,25	0,25	Não	X	125	X	250
0,75	0,75	Sim	125	125	261	250
1,00	1,00	Sim	125	125	261	250
1,00	0,50	Não	X	125	X	250
1,00	2,00	Sim	125	125	261	250
1,50	1,00	Sim	125	125	261	250
1,50	1,50	Sim	125	125	241	250
2,00	0,50	Não	X	125	X	250
2,00	2,00	Sim	125	125	261	250

A caracterização dos danos, através de um sistema de inteligência artificial, (redes neurais) foi realizada para o caso estático com excelentes resultados, tanto ao se caracterizar os defeitos com dados numéricos (gráficos 62, 63 e 64) quanto com dados experimentais (tabela 8).

Tão importante quanto a detecção dos danos, é a informação da probabilidade de detecção (PoD) que estes apresentam. Essas informações foram calculadas para os 2 modelos (tabela15) e informam a probabilidade (50%, 90% e 90% em um intervalo de confiança de 95%) em que um defeito é detectado de acordo com a sua dimensão.

Tabela 15 - PoD obtidas para os modelos estático e dinâmico.

	Modelo Estático		Modelo Dinâmico	
	Hit/Miss [mm ³]	$a \times \hat{a}$ [mm ³]	Hit/Miss [Polegada quadrada]	$a \times \hat{a}$ [Polegada quadrada]
a_{50}	42	54,7	0,49	-
a_{90}	117,2	122,7	1,05	-
$a_{90/95}$	135,4	186,3	1,55	-

No modelo estático a probabilidade de se obter uma classificação de dano (perda de espessura) com uma probabilidade de 90% é conseguida para danos com volume superior a 117,2 mm³ (através do método Hit/Miss) e superior a 122,7mm³ (através do método $a \times \hat{a}$).

O aumento no valor do PoD quando se analisa as duas metodologias de cálculo é esperada, visto que o método $a \times \hat{a}$ implica em um aumento de complexidade, uma vez que neste caso há a necessidade de se caracterizar o dano enquanto no outro a sua simples identificação já é suficiente.

A proximidade dos dois resultados indica que o processo de caracterização da corrosão simulada foi bastante precisa.

No modelo dinâmico, como a caracterização não foi efetuada, o calculo do PoD foi calculado pelo método Hit/Miss. Esses resultados mostram, independentemente da não correlação entre os resultados numéricos e experimentais, o sistema de classificação pode se executado com precisão. Sendo possível, no cenário estudado, detectar

delaminações de 1 polegada quadrada com 90% de probabilidade (grade de sensores de 20mm de espaçamento).

7.1 Trabalhos Futuros

Alguns desafios ainda permanecem e embora não tenham sido completamente solucionados até o presente momento, são objeto de estudos futuros.

Dentre estes, podem ser citados como prioritários os seguintes:

1. O desenvolvimento do sistema de caracterização da delaminação.
2. Uma maior análise no programa de simulação numérica (implementação de amortecimento, modelagem mais real das delaminações, etc.), objetivando que este represente mais fielmente o que se estuda de fato no laboratório.
3. Examinar experimentalmente coupons que apresentem danos por delaminação mais consistentes com um choque acidental (mais de uma camada apresentando delaminação).
4. Promover uma maior integração entre os diferentes módulos do sistema SHM (sensoriamento, detecção, caracterização e informação dos resultados).
5. Implementar um sistema de calibração do sistema SHM.
6. Buscar novos métodos de avaliação da condição estrutural.
7. Implementar dispositivos de previsão de agravamento dos danos observados.