

CAPÍTULO 7

Conclusões e Discussões

7.1 Conclusões

O objetivo principal desta tese foi estabelecer uma sistemática de medição, caracterização, avaliação e validação teórica e experimental de diferentes tipos de redes de Bragg, com o foco voltado para medições em altas temperaturas.

Uma contribuição importante da tese foi implementar uma nova abordagem para a área de sensoriamento ótico. Estimou-se e validou-se estatisticamente através do documento ISO GUM e Método de Monte Carlo a incerteza de medição para caracterização de redes de Bragg, visto que existem poucos trabalhos desenvolvidos a respeito deste tema para a medição de temperatura com redes de Bragg.

A metodologia de análise dos dados experimentais a partir dos métodos citados anteriormente possibilitou uma harmonização dos resultados de medição, criando as condições necessárias à comparabilidade das medições realizadas nas diferentes situações.

A adaptação de um sistema tradicional de calibração de instrumentos de medição de temperatura foi projetado e desenvolvido, de tal forma que possibilitou a caracterização metrológica de redes de Bragg dos tipo I, tipo II e regeneradas. Observou-se que os resultados de medição e as estimativas das incertezas de medição obtidos para as redes se aproximaram satisfatoriamente dos modelos teóricos, confirmando a adequação dos sistemas de medição de temperatura e interrogação ótica.

Através dos gráficos de refletividade *versus* temperatura, e variação da sensibilidade com o tempo, foi possível observar detalhadamente o comportamento apresentado para as redes do tipo II e regeneradas, que puderam ser testadas em mais de um ciclo de medição.

Observou-se, excluindo-se possíveis erros sistemáticos, que as curvas de sensibilidade construídas apresentaram praticamente o mesmo comportamento, apesar da realização das calibrações em datas diferentes.

Ao se comparar os valores experimentais e teóricos utilizando a equação (30), observou-se baixa divergências entre ambos. Os desvios ou discrepâncias que venham a ter ocorrido podem estar relacionadas com a inexatidão na determinação do coeficiente ótico, ou devido ao alívio de tensões do núcleo da fibra durante o aquecimento. Também não se deve desconsiderar que a modelagem teórica parte da premissa que ocorre uma modulação ideal do índice de refração do núcleo da fibra, situação esta irreal. Variações na regularidade da amplitude de modulação, assim como a qualidade de inscrição, são as principais dificuldades que impactam diretamente na refletividade.

O comportamento espectral apresentado pelas redes regeneradas com relação às medições em reflexão e transmissão foram bem convergentes com as mencionadas em várias fontes bibliográficas a respeito do tema, confirmando a modelagem matemática. As redes regeneradas se mostraram bastantes estáveis na faixa de 100 °C até 900 °C, considerando um tempo mínimo de aquecimento de cada ponto de calibração de 3 horas, tempo este superior ao testado por Canning em um dos seus experimentos (CANNING *et al*, 2001).

Nas redes de Bragg do tipo I analisadas foram observados um decaimento térmico da modulação do índice de refração a partir da temperatura de 100 °C, valor este que converge com a temperatura de 110 °C observada por Othonos em um de seus experimentos (OTHONOS, 1990). Esta limitação da refletividade para uma rede do tipo I é um empecilho para a construção de medidores de temperatura.

As variações encontradas para a refletividade das quatro redes testadas do tipo II podem ser atribuídas à não-homogeneidade do perfil do laser, que acarretam distorções no perfil de modulação do índice de refração durante o processo de gravação (SILVA, 2007).

As sensibilidades para as diferentes redes de Bragg tiveram aparentemente a mesma ordem de grandeza, como se pode observar a seguir: rede do tipo I apresentou uma variação na sensibilidade de 13,84 pm/°C (20 °C) até 13,9 pm/°C (500 °C); rede do tipo II apresentou uma variação na sensibilidade de 13,66 pm/°C (50 °C) até 13,71 pm/°C (500 °C); rede regenerada do exterior (Austrália) apresentou uma variação na sensibilidade de 13,54 pm/°C (20 °C) até

13,66 pm/°C (900 °C); e rede regenerada do Brasil apresentou uma variação na sensibilidade de 13,63 pm/°C (20 °C) até 13,72 pm/°C (800 °C). Com a análise apenas dos valores das sensibilidades para os diferentes tipos de rede de Bragg não se pode definir se a mesma é adequada para uma determinada temperatura. Isto só foi possível quando se analisou conjuntamente o gráfico da refletividade com a variação da temperatura.

A análise da refletividade dos diferentes tipos de redes de Bragg permitiram delinear com maior exatidão, em função dos espectros medidos, as faixas de temperaturas mais adequadas para cada tipo de rede de Bragg, de acordo com seu perfil de decaimento.

As incertezas de medição estimadas apresentaram uma concordância de $\pm 2,5$ °C para três redes do tipo I de acordo com a tabela 6 e a Figura 89, de ± 1 °C para seis redes do tipo II de acordo com a tabela 7 e a Figura 90 e de ± 2 °C para sete redes regeneradas do exterior de acordo com a tabela 8 e a Figura 91.

7.2 Comentários Finais e Propostas Futuras

Além dos resultados concretos a respeito da caracterização metrológica dos diferentes tipos de redes de Bragg, outros desdobramentos importantes também ocorreram com a conclusão das atividades desta tese.

O estudo permitiu o estabelecimento de uma nova metodologia de calibração de temperatura no INMETRO, que poderá se transformar num serviço de calibração disponibilizado para a sociedade. Também propiciou o desenvolvimento de uma “*expertise*” relacionada com sensoriamento ótico que os profissionais do INMETRO não dominavam. Além disso, permitiu um maior estreitamento entre as Divisões de Mecânica e Térmica do INMETRO, ampliando a capilaridade e sinergia entre os técnicos das divisões.

Permitirá a publicação dos resultados da pesquisa em revista ou periódico indexado na área de metrologia aplicada, divulgando os trabalhos realizados pelos

pesquisadores do INMETRO e da Pontifícia Universidade Católica - PUC/RJ sobre o tema.

Com relação a propostas futuras de melhoria, uma melhoria possível é a utilização de um banho líquido como meio térmico, devido a sua estabilidade térmica e melhor homogeneidade (menor gradiente de temperatura possível) para as medições dos diferentes tipos de rede de Bragg. Deste modo, será possível calibrar redes de Bragg até a temperatura de 550 °C com grande estabilidade de temperatura e uniformidade térmica com resultados iguais ou menores que 0,01 °C (SANTOS, 2008).

Outra possibilidade de aprimoramento da exatidão de medição seria calibrar as redes de Bragg a partir dos pontos fixos de acordo com a tabela 1 e a Figura 2, o que possibilitaria uma menor incerteza de medição nas calibrações realizadas. Entretanto, para que isso possa ocorrer seria necessário desenvolver um sistema de proteção adequado para envolver a fibra ótica a fim de inseri-las na célula.

Outra possibilidade de desenvolvimento seria estudar maneiras de melhor medir e controlar os deslocamentos da ordem de micrometros no sistema ótico (elementos de fixação das fibras, lentes, laser) durante a fabricação das redes de Bragg. Desta forma, seria possível minimizar os erros de deslocamento linear que limitam a regularidade de fabricação das redes de Bragg (repetitividade), fato este observado para as redes do tipo II nesta tese.

Uma outra idéia ser considerada seria buscar alternativas de medição para alta temperatura empregando a metodologia de caracterização de redes de Bragg desenvolvida nesta tese, ampliando sua abrangência para caracterizações em fibras de composição química e fibras de safira voltadas para medições em alta temperatura. A possibilidade de trabalhar com fibras de safira permitiria inclusive ampliar a faixa de medição até 1600 °C. Entretanto, devido as elevadas temperaturas, será necessário aprofundar os estudos referentes aos materiais de revestimento, porque, realizando vários ciclos de medição nestas condições de trabalho, a estrutura da fibra se torna muito frágil com baixa resistência mecânica.