

7 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Os valores referentes às medidas experimentais não são exatos, pois existe uma incerteza de medição intrínseca aos instrumentos utilizados para obtenção destes dados. Esta informação é expressa nos certificados de calibração dos instrumentos de medição, cujos valores de incerteza em torno da média, para um dado intervalo de confiança, definem uma faixa na qual o mensurando deve estar contido. Assim, é importante conhecer a incerteza de medição presente em qualquer medida, elevando a confiabilidade dos resultados obtidos. Os dados experimentais, de todas as medições realizadas, devem ser tratados adequadamente, a fim de se eliminar *outliers*, corrigir erros sistemáticos e estimar erros aleatórios (incertezas).

Inúmeras vezes uma dada grandeza $f(x_1, x_2, \dots, x_N)$ é estimada indiretamente, através da medição direta de outras N grandezas. Nestes casos, a incerteza de $f(x_1, x_2, \dots, x_N)$ será função da incerteza de cada uma das N variáveis da qual ela depende. Por exemplo, utilizando-se a lei de ohm ($V = RI$), pode-se estimar o valor de tensão (V) sobre um resistor medindo-se resistência (R) e corrente (I). Consequentemente, a incerteza da tensão será função tanto da incerteza de R quanto da de I . Ou seja, reduzir a incerteza de $f(x_1, x_2, \dots, x_N)$ implica em reduzir as incertezas das variáveis da qual ela depende.

A incerteza de medição pode ser observada em qualquer instrumento de medição, a qual é uma característica fundamental na determinação mensurando de forma segura e em conformidade com as especificações e normas disponíveis. Assim, fica claro que, é necessário determinar e evidenciar os erros e incertezas de medição dos instrumentos utilizados, de forma a garantir que os mesmos sejam mantidos dentro dos limites aceitáveis.

A utilização de redes neurais artificiais para modelar o comportamento de sistemas físicos complexos, especialmente em casos onde a função analítica que relaciona entradas e saídas não é bem conhecida, vem sendo cada vez mais intensificada. Uma rede neural, com uma saída e N variáveis de entrada, pode ser compreendida como uma função $f(x_1, x_2, \dots, x_N)$. Desta forma, a incerteza das variáveis de entrada afeta a estimativa da rede para a variável de saída.

O trabalho desenvolvido nesta dissertação objetivou implementar um método capaz de analisar a propagação da incerteza das variáveis de entrada através das redes neurais, estimando a incerteza associada a saída da rede.

Os resultados obtidos ressaltam a importância de se considerar a incerteza das variáveis de entrada e de se estimar o impacto destas na incerteza da(s) saída(s). Esta análise eleva a confiabilidade nas estimativas realizadas pelas redes neurais, uma vez que se passa a associar um valor de incerteza à resposta da rede. Quando se utiliza uma rede neural para estimar um parâmetro que é função de uma série de variáveis de entrada, deve-se conhecer a incerteza associada a cada uma destas variáveis, de forma a se poder estimar a incerteza da saída (Artigo aceito para apresentação no evento CBIC, Nov/11).

O método proposto também permite que se identifiquem quais as entradas da rede que mais contribuem para a incerteza de saída, sendo que as variáveis de entrada que apresentarem os maiores valores de sensibilidade, ou seja, aquelas variáveis que mais afetam a saída, idealmente devem possuir os menores valores de incerteza. Assim, pode-se avaliar quais dos instrumentos pertencentes a uma cadeia de medição estão contribuindo mais significativamente para a incerteza do parâmetro estimado pela rede. Dessa forma, é possível estabelecer uma política de planejamento que priorize a substituição daqueles equipamentos de medição que estão efetivamente limitando a incerteza do sistema.

Ressalta-se que o método aqui proposto é genérico, não se limitando a uma aplicação específica, podendo ser aplicado em qualquer caso onde se deseje avaliar a propagação da incerteza de variáveis de entrada independentes em redes neurais.

De forma a exemplificar a aplicação do método desenvolvido, também foi apresentado um estudo de caso, baseado em redes neurais desenvolvidas para modelar a concentração de gases dissolvidos no óleo de transformadores de potência (Barbosa, 2008).

Os sistemas de manutenção são constituídos por atividades consideradas de importância vital para manter um sistema elétrico operando de forma eficiente. Para tal fim, são desenvolvidos programas de manutenção com o objetivo de atender as exigências e restrições inerentes aos avanços na área.

O desenvolvimento de um sistema de monitoramento, detecção e identificação de falhas incipientes em transformadores de potência deve levar em consideração conceitos metrológicos, contribuindo para a confiabilidade dos resultados. A metodologia desenvolvida nesta dissertação teve como objetivo

evidenciar esta importância e inserir uma maior fundamentação metrológica a análise de Redes Neurais, contribuindo para elevação da confiabilidade das estimativas das redes.

Para o estudo de caso, aplicou-se o método aqui desenvolvido a redes neurais previamente desenvolvidas durante o trabalho de (Barbosa, 2008), o qual utilizou as redes neurais para modelar a concentração de gases dissolvidos no óleo de transformadores de potência a partir de parâmetros físico-químicos do óleo. Estas redes foram treinadas utilizando-se dados reais extraídos de manutenções preditivas. A correlação entre parâmetros físico-químicos do óleo (acidez, rigidez dielétrica, teor de água, tensão interfacial, densidade e fator de potência) e a concentração de gases dissolvidos foi evidenciada por diversos trabalhos sobre Análise de Óleo de Transformadores de Potência (Dörnenburg, 1967; Roger, 1973; Zhang 1996; Wang, 2000).

Ciente da importância, amplamente ressaltada por diversos estudos divulgados na literatura (Dörnenburg, 1967; Roger, 1973; Zhang 1996; Wang, 2000), de monitorar, detectar e identificar as condições de envelhecimento e degradação do isolamento de transformadores e tendo em vista que este assunto faz parte da estratégia de manutenção dos equipamentos, objetivou-se analisar a aplicação do método proposto a este estudo de caso específico de modo a aumentar a credibilidade dos resultados previamente obtidos, os quais são utilizados para se avaliar o estado de degradação dos transformadores.

Os resultados obtidos ressaltam a importância de se considerar a incerteza das variáveis de entrada e de se estimar o impacto destas na incerteza da(s) saída(s), contribuindo para o incremento nos índices de confiabilidade e valorização dos ativos. O método desenvolvido eleva a confiabilidade nas estimativas realizadas pelas redes neurais, uma vez que se passa a associar um valor de incerteza à resposta da rede.

Como sugestão para trabalhos futuros cita-se:

- 1- A reformulação das redes utilizadas por (Barbosa, 2008) utilizando metodologia tradicional;
- 2- Análise das Redes Neurais utilizadas, bem como o número de neurônios selecionados para a rede e variáveis de entrada;
- 3- A expansão da generalidade do método aqui desenvolvido, de forma a torná-lo, também, aplicável à análise da propagação da incerteza em redes neurais com variáveis de entrada dependentes entre si;

- 4- A validação dos métodos analíticos e numéricos descritos nessa dissertação;
- 5- A avaliação de considerar termos de ordem superior para o coeficiente de sensibilidade c_i .