



ISEL

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Área Departamental de Engenharia Civil

Application of Neural Networks for Pavement Evaluation

David Jorge Martins da Cunha

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na Área de Especialização de Vias de Comunicação e Transportes

Resumo:

As vias de comunicação são indispensáveis para o desenvolvimento de uma nação, económica e socialmente. Num mundo globalizado, onde tudo deve chegar ao seu destino no menor espaço de tempo, as vias de comunicação assumem um papel vital. Assim, torna-se essencial construir e manter uma rede de transportes eficiente.

Apesar de não ser o método mais eficiente, o transporte rodoviário é muitas vezes o mais económico e possibilita o transporte porta-a-porta, sendo em muitos casos o único meio de transporte possível. Por estas razões, o modo rodoviário tem uma quota significativa no mercado dos transportes, seja de passageiros ou mercadorias, tornando-o extremamente importante na rede de transportes de um país. Os países europeus fizeram um grande investimento na criação de extensas redes de estradas, cobrindo quase todo o seu território. Neste momento, começa-se a atingir o ponto onde a principal preocupação das entidades gestoras de estradas deixa de ser a construção de novas vias, passando a focar-se na necessidade de manutenção e conservação das vias existentes.

Os pavimentos rodoviários, como todas as outras construções, requerem manutenção de forma a garantir bons níveis de serviço com qualidade, conforto e segurança. Devido aos custos inerentes às operações de manutenção de pavimentos, estas devem rigorosamente e com base em critérios científicos bem definidos. Assim, pretende-se evitar intervenções desnecessárias, mas também impedir que os danos se tornem irreparáveis e economicamente prejudiciais, com repercussões na segurança dos utilizadores.

Para se estimar a vida útil de um pavimento é essencial realizar primeiro a caracterização estrutural do mesmo. Para isso, torna-se necessário conhecer o tipo de estrutura de um pavimento, nomeadamente a espessura e o módulo de elasticidade constituintes.

A utilização de métodos de ensaio não destrutivos é cada vez mais reconhecida como uma forma eficaz para obter informações sobre o comportamento estrutural de pavimentos. Para efectuar estes ensaios, existem vários equipamentos. No entanto, dois deles, o Deflectómetro de Impacto e o Radar de Prospecção, têm demonstrado ser particularmente eficientes para avaliação da capacidade de carga de um pavimento, sendo estes equipamentos utilizados no âmbito deste estudo. Assim, para realização de ensaios de carga em pavimentos, o equipamento Deflectómetro de Impacto tem sido utilizado com sucesso para medir as deflexões à superfície de um pavimento em pontos pré-determinados quando sujeito a uma carga normalizada de forma a simular o efeito da passagem da roda de um camião. Complementarmente, para a obtenção de informações contínuas sobre a estrutura de um pavimento, o equipamento Radar de Prospecção permite conhecer o número de camadas e as suas espessuras através da utilização de ondas electromagnéticas. Os dados proporcionam,

quando usados em conjunto com a realização de sondagens à rotação e poços em alguns locais, permitem uma caracterização mais precisa da condição estrutural de um pavimento e o estabelecimento de modelos de resposta, no caso de pavimentos existentes.

Por outro lado, o processamento dos dados obtidos durante os ensaios “in situ” revela-se uma tarefa morosa e complexa. Actualmente, utilizando as espessuras das camadas do pavimento, os módulos de elasticidade das camadas são calculados através da “retro-análise” da bacia de deflexões medida nos ensaios de carga. Este método é iterativo, sendo que um engenheiro experiente testa várias estruturas diferentes de pavimento, até se obter uma estrutura cuja resposta seja o mais próximo possível da obtida durante os ensaios “in Situ”. Esta tarefa revela-se muito dependente da experiência do engenheiro, uma vez que as estruturas de pavimento a serem testadas maioritariamente do seu raciocínio. Outra desvantagem deste método é o facto de apresentar soluções múltiplas, dado que diferentes estruturas podem apresentar modelos de resposta iguais. A solução aceite é, muitas vezes, a que se julga mais provável, baseando-se novamente no raciocínio e experiência do engenheiro.

A solução para o problema da enorme quantidade de dados a processar e das múltiplas soluções possíveis poderá ser a utilização de Redes Neurais Artificiais (RNA) para auxiliar esta tarefa. As redes neuronais são elementos computacionais virtuais, cujo funcionamento é inspirado na forma como os sistemas nervosos biológicos, como o cérebro, processam a informação. Estes elementos são compostos por uma série de camadas, que por sua vez são compostas por neurónios. Durante a transmissão da informação entre neurónios, esta é modificada pela aplicação de um coeficiente, denominado “peso”. As redes neuronais apresentam uma habilidade muito útil, uma vez que são capazes de mapear uma função sem conhecer a sua fórmula matemática. Esta habilidade é utilizada em vários campos científicos como o reconhecimento de padrões, classificação ou compactação de dados. De forma a possibilitar o uso desta característica, a rede deverá ser devidamente “treinada” antes, processo realizado através da introdução de dois conjuntos de dados: os valores de entrada e os valores de saída pretendidos. Através de um processo cíclico de propagação da informação através das ligações entre neurónios, as redes ajustam-se gradualmente, apresentando melhores resultados. Apesar de existirem vários tipos de redes, as que aparentam ser as mais aptas para esta tarefa são as redes de retro-propagação. Estas possuem uma característica importante, nomeadamente o treino denominado “treino supervisionado”. Devido a este método de treino, as redes funcionam dentro da gama de variação dos dados fornecidos para o “treino” e, conseqüentemente, os resultados calculados também se encontram dentro da mesma gama, impedindo o aparecimento de soluções matemáticas com impossibilidade prática.

De forma a tornar esta tarefa ainda mais simples, foi desenvolvido um programa de computador, NN Pav, utilizando as RNA como parte integrante do seu processo de cálculo. O objectivo é tornar o processo de “retro-análise” totalmente automático e prevenir erros induzidos pela falta de experiência do utilizador. De forma a expandir ainda mais as funcionalidades do programa, foi implementado um processo de cálculo que realiza uma estimativa da capacidade de carga e da vida útil restante do pavimento, recorrendo a dois critérios de ruína. Estes critérios são normalmente utilizados no dimensionamento de pavimentos, de forma a prevenir o fendilhamento por fadiga e as deformações permanentes.

Desta forma, o programa criado permite a estimativa da vida útil restante de um pavimento de forma eficiente, directamente a partir das deflexões e espessuras das camadas, medidas nos ensaios “in situ”. Todos os passos da caracterização estrutural do pavimento são efectuados pelo NN Pav, seja recorrendo à utilização de redes neuronais ou a processos de cálculo matemático, incluindo a correcção do módulo de elasticidade da camada de misturas betuminosas para a temperatura de projecto e considerando as características de tráfego e taxas de crescimento do mesmo.

Os testes efectuados às redes neuronais revelaram que foram alcançados resultados satisfatórios. Os níveis de erros na utilização de redes neuronais são semelhantes aos obtidos usando modelos de camadas linear-elásticas, excepto para o cálculo da vida útil com base num dos critérios, onde os erros obtidos foram mais altos. No entanto, este processo revela-se bastante mais rápido e possibilita o processamento dos dados por pessoal com menos experiência. Ao mesmo tempo, foi assegurado que nos ficheiros de resultados é possível analisar todos os dados calculados pelo programa, em várias fases de processamento de forma a permitir a análise detalhada dos mesmos. A possibilidade de estimar a capacidade de carga e a vida útil restante de um pavimento, contempladas no programa desenvolvido, representam também ferramentas importantes. Basicamente, o NNPAV permite uma análise estrutural completa de um pavimento, estimando a sua vida útil com base nos ensaios de campo realizados pelo Deflectómetro de Impacto e pelo Radar de Prospecção, num único passo.

Complementarmente, foi ainda desenvolvido e implementado no NNPAV um módulo destinado ao dimensionamento de pavimentos novos. Este módulo permite que, dado um conjunto de estruturas de pavimento possíveis, seja estimada a capacidade de carga e a vida útil daquele pavimento. Este facto permite a análise de uma grande quantidade de estruturas de pavimento, e a fácil comparação dos resultados no ficheiro exportado.

Apesar dos resultados obtidos neste trabalho serem bastante satisfatórios, os desenvolvimentos futuros na aplicação de Redes Neuronais na avaliação de pavimentos são ainda mais promissores. Uma vez que este trabalho foi limitado a uma moldura temporal inerente a um trabalho académico, a possibilidade de melhorar ainda mais a resposta das RNA fica em aberto. Apesar dos vários testes realizados às redes, de forma a obter as arquitecturas que apresentassem melhores resultados, as arquitecturas possíveis são virtualmente ilimitadas e pode ser uma área a aprofundar.

As funcionalidades implementadas no programa foram as possíveis, dentro da moldura temporal referida, mas existem muitas funcionalidades a serem adicionadas ou expandidas, aumentando a funcionalidade do programa e a sua produtividade. Uma vez que esta é uma ferramenta que pode ser aplicada ao nível de gestão de redes rodoviárias, seria necessário estudar e desenvolver redes similares de forma a avaliar outros tipos de estruturas de pavimentos.

Como conclusão final, apesar dos vários aspectos que podem, e devem ser melhorados, o programa desenvolvido provou ser uma ferramenta bastante útil e eficiente na avaliação estrutural de pavimentos com base em métodos de ensaio não destrutivos.

Palavras-Chave – Pavimentos rodoviários, Caracterização estrutural de pavimentos, Avaliação estrutural de pavimentos, Deflectómetro de impacto, Radar de prospecção, Redes neuronais artificiais.

Setembro de 2009