

Realização

10/02/00



DE PAVIMENTAÇÃO

PATROCÍNIO

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM  
DO ESTADO DE SÃO PAULO

# *31ª Reunião Anual de Pavimentação*

26 a 30 de Outubro de 1998

São Paulo - SP

Brasil

**Teatro Studium**

**ANAIS - Volume 2**

## REDES NEURAIS ARTIFICIAIS APLICADAS EM SISTEMAS DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS

José Remo Ferreira Brega<sup>1</sup>

Manoel Henrique Alba Sória<sup>2</sup>

Antonio Carlos Sementille<sup>1</sup>

**RESUMO:** Este artigo descreve um método para ser aplicado em sistemas de gerência de pavimentos em atividades associadas com construção, manutenção e avaliação da condição em pavimentos flexíveis. Este método utiliza redes neurais artificiais do tipo MLP com algoritmo de aprendizagem backpropagation. Para a extração das características na avaliação da condição do pavimento são utilizados dois métodos muito empregados pelos órgãos rodoviários: o "índice de gravidade global e a irregularidade". Os experimentos demonstraram que as redes neurais artificiais simulam melhor o comportamento dos pavimentos que os métodos utilizados pelas normas rodoviárias. Para detectar as características de construção e manutenção, a norma DNER 159/85 foi aplicada. Testes com o modelo demonstraram que a simulação com redes neurais artificiais produz excelentes resultados.

**ABSTRACT:** This paper describes a method to be applied for pavement management in activities associated with construction, maintenance and evaluation of pavements. This method uses artificial neural networks with the MLP backpropagation technique. For the evaluation of pavement condition, two of the most used procedures for detecting the pavement conditions were applied: the "overall severity index" and the "irregularity index". Tests with the model demonstrated that the simulation with the neural network gives better results than the procedures recommended by the highway officials. In order to detect the characteristics of construction and maintenance the standard DNER PRO 159/85 was applied. Tests with the model demonstrated that the simulation with artificial neural networks gives excellent results.

**Palavras Chave:** Redes Neurais Artificiais e Sistemas de Gerência de Pavimentos

<sup>1</sup>Laboratório de Sistemas de Tempo Real - Departamento de Computação - Unesp - Universidade Estadual Paulista, Av. Luiz Edmundo Carrijo Coube S/N Vargem Limpa Bauru, SP, CEP 17.033-360 Tel: (014) 230-2111 R 210 Fax (014) 230-3648. E-mail: remo@bauru.unesp.br

<sup>2</sup>Departamento de Transportes - Escola de Engenharia de São Carlos - USP - Universidade de São Paulo, Av. Dr Carlos Botelho 1465 São Carlos, SP, CEP 13.560-970. Tel (016) 274-3444 FAX (016) 271-9241 Cx .Postal. 359 E-mail: manoel@stt.eesc.sc.usp.br



## 1. INTRODUÇÃO

Existe uma grande quantidade de técnicas para avaliar a condição do pavimento durante sua vida útil [8],[3],[4]. Para a aplicação dessas técnicas são necessárias diversas medidas de campo, segundo cada método. A maioria dos métodos utiliza dados pontuais [3],[4], ou regressões lineares [15]. Estes métodos também não produzem resultados iguais, o que dificulta o julgamento.

Novas técnicas matemáticas, incluindo-se as Redes Neurais Artificiais (RNA) [16], [2], [18], com a sua característica de não linearidade, podem possibilitar grandes avanços no reconhecimento e classificação das características que influenciam no problema, tais como: idade, composição, estrutura e utilização.

A grande dificuldade está em escolher, quais as variáveis mais importantes a serem consideradas, isto acontece por se tratar de um problema que envolve um grande número de dados, muitos deles correlacionados. Para isso o desenvolvimento de um procedimento que utilize o conhecimento de cada um dos métodos existentes, e sua composição, pode conduzir a uma avaliação mais abrangente.

Da mesma forma que para a avaliação, a manutenção de pavimentos também possui uma grande quantidade de normas e processos que definem as atividades a serem tomadas pelos engenheiros, para um maior retorno econômico do projeto.[5],[17],[19]. Neste caso, além de muitos dados de campo, são necessários outros como dados econômicos e de restrição de uso. Os processos empregados além de complexos, podem ainda fornecer dados que não permitem ao responsável um melhor entendimento do sistema.

É apresentado neste trabalho o emprego destas RNA em duas partes de um sistema de gerência de pavimentos, na avaliação e no projeto de restauração. Para a avaliação é proposta uma forma de composição do conhecimento de especialistas e para o caso de manutenção e conservação é apresentado um procedimento mais simples, baseado no procedimento DNER PRO 159/85 [5].

## 2. SISTEMAS DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS

O Brasil possui mais de 1 milhão e 500 mil quilômetros de estradas, dos quais 260 mil quilômetros pavimentadas. Estas rodovias representam um patrimônio de mais de 15 bilhões de dólares. Com todos estes recursos investidos, houve a partir de 1980, o interesse por implantar Sistemas de Gerência de Pavimentos(SGP), que se encarregariam de analisar: racionalização dos recursos governamentais já escassos, o envelhecimento da rede e o aumento do custos operacionais dos veículos.

Um SGP coordena atividades necessárias para planejar, projetar, construir e manter pavimentos, para que o público usuário seja servido de maneira segura, eficiente e econômica. Este controle, efetuado por um órgão responsável em uma malha rodoviária, indica os trechos prioritários para aplicação dos recursos disponíveis para manutenção ou de investimento.

As tarefas principais de um SGP são: a) Avaliação periódica dos pavimentos, baseada em medições objetivas [4]; b) Estimativa das condições futuras, utilizando para isso modelos de previsão de desempenho [15]; c) Determinação da época e estratégia de manutenção mais oportuna; e d) Preparação de programas de manutenção e novas pavimentações em função dos recursos disponíveis[17].

Segundo Queiroz [15], para se implementar um SGP deve-se considerar 3 etapas: 1) Pré-implementação: onde são revistos os métodos dos procedimentos existentes e é elaborado um plano de implementação; 2) Implementação do banco de dados, com introdução de mecanismo de coleta e cadastramento dos dados; e 3) Implementação das estratégias e técnicas de otimização dos recursos.

Como se pode observar, a avaliação da condição é o ponto inicial de qualquer SGP, sendo que a partir dela é que se definem todas as políticas para utilização de recursos. Queiroz [15] desenvolveu extensa pesquisa de campo para quantificar o comportamento dos pavimentos. Utilizando-se de regressões matemáticas, ele relacionou diversos fatores que influem no comportamento dos pavimentos.

Segundo Domingues[6], o estabelecimento de um SGP, torna-se tão mais importante, quanto pior se encontrarem as condições das estradas de uma rede rodoviária e, quanto menor for a disponibilidade de recursos.

### **3. DESCRIÇÃO DA BASE DE DADOS UTILIZADA**

A pesquisa desenvolvida pelo Banco Mundial em convênio com o GEIPOT - Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes, intitulada "Pesquisa do Inter-relacionamento dos Custos de Construção, Conservação e Utilização de Rodovias"(PICR), levantou dados de 63 trechos de rodovias durante o período de 1976 até 1980. Estes dados foram incorporados a uma ferramenta que auxilia um SGP chamada HDM III (Highway Design and Maintenance Standards Model)[17], utilizada pelo Banco Mundial. (Queiroz[15])

Através da pesquisa PICR - DNER financiada pelo Banco Mundial, foram coletados dados de 63 trechos durante os 5 anos. Foram usadas 174 variáveis, algumas para conjunto de dados (como exemplo, os trechos onde a medida pluviométrica é constante), e 66 variáveis únicas para os trechos analisados.

Estas variáveis únicas foram coletadas mais vezes durante o período da pesquisa. As variáveis coletadas foram escolhidas em reuniões com especialistas em pavimentos. No total foram analisados 3149 casos.

### **4. MÉTODOS EMPREGADOS PELOS ÓRGÃOS RODOVIÁRIOS**

#### **4.1. Avaliação dos pavimentos**

Existem diversas formas de se avaliar o estado de um pavimento, e cada país pode possuir variações nos métodos. No Brasil são muito utilizados o Índice de Gravidade Global (IGG) e a Irregularidade. Os motivos são a aparente simplicidade de execução e o baixo custo.

##### **4.1.1. O Índice de Gravidade Global**

Este índice avalia objetivamente a superfície de pavimentos, utilizando a contagem e classificação de ocorrências aparentes, e a medida das deformações nas trilhas de roda. Dependendo da rodovia a ser analisada, é definida uma área para

estudo, e são anotados todos os defeitos existentes. Estes defeitos são ponderados e somados, conseguindo-se um índice final que indica o estado daquele pavimento.

Dependendo do IGG obtido, a norma associa ao índice um conceito que retrata o grau de deterioração atingido. Foi utilizado neste trabalho a divisão em cinco conjuntos, (Ótimo, Bom, Regular e Péssimo).

#### **4.1.2. A Irregularidade**

Segundo a DNERPRO 7-78, uma outra forma de avaliar um pavimento é através da definição subjetiva do conceito de serventia, que é a capacidade de um trecho específico de pavimentos proporcionar, na opinião do usuário, rolamento suave e confortável em determinado momento para quaisquer condições de tráfego. A forma original de obtenção dessa serventia é subjetiva: um grupo de avaliadores treinados percorre o trecho em um veículo com velocidade determinada e atribui um conceito, numa escala de 1 (Péssimo) a 5 (Ótimo).

Como este tipo de avaliação, não é simples de se executar, relaciona-se a serventia outro conceito que pode ser medido que é a irregularidade. A Irregularidade é definida como o desvio da superfície ideal com dimensões características, que afetam a dinâmica dos veículos, a qualidade do rolamento, o carregamento dinâmico e a drenagem.

A serventia de um pavimento depende, segundo Queiroz[15], em grande parte, de sua irregularidade. Existem diversos equipamentos de campo que medem a irregularidade. A partir dela também é possível atribuir conceitos aos pavimentos [1].

#### **4.2. Estratégia de Manutenção**

Outro problema importante para ser resolvido pelos SGPs, é a estratégia de manutenção. Existem diversas formas de se encontrar esta estratégia. Ao nível de rede poderiam ser utilizadas ferramentas computacionais existentes, do tipo do HDM III. Para um trecho isolado a solução mais simples seria analisar os serviços através de normas como a DNER PRO 159/85.

##### **4.2.1. O Modelo HDM III**

Um SGP, sendo um sistema integrado, necessita de muitos dados para o seu funcionamento. Estes dados fazem parte de um subsistema de informações e foram cadastrados a partir dos levantamentos realizados na etapa de implementação dos bancos de dados.

Ao final da etapa de implementação, passa-se ao estudo ou análise com uso de modelos prontos, tais como o HDM - III (Highway Design and Maintenance Standards Model) [17].

Este e outros modelos tentam resolver problemas ao nível de rede, obtendo: o custo final para o contribuinte, o elenco de prioridades, o tempo em que a manutenção pode ser negligenciada sem prejuízo, a alteração no tipo de pavimento para encontrar novas soluções e o benefício obtido em função dos recursos investidos na manutenção.

Os problemas acima não são atuais. O Banco Mundial iniciou em 1969, um programa para desenvolver um método de análise econômica das normas e investimentos rodoviário, capaz de fornecer os custos e benefícios ao longo da vida útil da rodovia.

Este estudo foi chamado de HDMSS (Estudo das Normas de Projeto e Manutenção de Rodovias), e estabeleceu uma nova metodologia, capaz de quantificar e analisar diferentes opções e, dessa forma, determinar as prioridades técnico-econômicas.

O estudo se estendeu até 1971, desenvolveu a estrutura conceitual e criou um primeiro protótipo. Nesta primeira fase, da qual participaram o MIT, o TRRL, o LCPC e o Banco Mundial, só foram colocados dados do AASHO Road Test.

Nos anos seguintes foram pesquisados outros tipos de pavimentos sob as mais diversas condições, conforme será descrito a seguir.

Uma segunda etapa foi realizada no Kenya, de 1971 a 1975, estudando o custo operacional dos veículos. De 1977 até 1982, no Caribe, foram também estudados os custos operacionais dos veículos e de 1977 até 1983, na Índia.

No Brasil, este estudo, foi realizado de 1975 até 1982 pelo GEIPOT. Os modelos resultantes foram incorporados à terceira versão do HDM, sendo lançada a versão HDM III em 1987. O sistema computacional para microcomputadores foi lançado em 1989.

Segundo [12], o sistema possui, em suas rotinas de programação, as seguintes diretrizes para a análise dos dados:

1. As normas de construção e manutenção são estabelecidas em função de requisitos estruturais, níveis de serviço para os usuários e níveis orçamentários (que seguem, geralmente, tendências históricas). Este tipo de procedimento é chamado metodologia condição-ação.
2. Uma outra forma é a metodologia orientada por crises, onde as rodovias são operadas com pouca ou nenhuma manutenção, até que ocorra um estado de deterioração, que obstrua ou interrompa o tráfego. Então, são feitos onerosos trabalhos de restauração e reconstrução, sob programas especiais de financiamento.
3. Existe, ainda a forma econômica ou metodologia da eficiência técnico-econômica, onde as normas são selecionadas para minimizar os custos do transporte rodoviário. É avaliado o benefício líquido final, considerando-se os gastos e retornos aplicados no projeto e suas alternativas. O custo é composto por cinco parcelas, que interagem entre si: construção, manutenção de rotina, operação do sistema (gerenciamento do tráfego, segurança), usuários (operação dos veículos, atrasos) e sociedade (poluição ambiental, custo social dos acidentes).

O modelo HDM atende os requisitos anteriores, ele não é só um programa capaz de realizar extensos cálculos, mas também é o resultado da mais extensa pesquisa empírica sobre os custos da modalidade rodoviária. O modelo compara estimativas de custos e faz avaliações econômicas de diferentes alternativas de construção e manutenção, incluindo diferentes estratégias de intervenções ao longo do tempo, seja para um determinado projeto ou para um grupo de ligações.

O modelo possui deficiências, como exemplo, não inclui tráfego sob condição de congestionamento, não inclui pavimentos rígidos, não inclui condições de congelamento, não pode ser alterada a manutenção de rotina, os custos dos acidentes e impactos ambientais são estimados fora do programa. Outro problema é a utilização com outros dados, sendo que para isto, alguns ajustes devem ser feitos de forma a

levar em consideração as diferenças sócio-econômicas e o desenvolvimento da tecnologia rodoviária.

#### 4.2.2. A DNER PRO 159/85

A norma DNER PRO 159/85 define um procedimento a ser utilizado no projeto de restauração de pavimentos flexíveis e semi-rígidos, apresentando diferentes alternativas.

Inicialmente é feito um levantamento junto aos órgãos rodoviários do pavimento existente, como a data de entrega ao tráfego, informações do projeto, histórico do tráfego e outros dados que se julgar procedentes. Feito isso, é necessário um levantamento de campo, onde são coletados os dados de trechos, tais como: deflexões recuperáveis, trincamentos, irregularidade, sondagens para coleta de amostras.

A seguir, são feitos ensaios de laboratório para a obtenção do CBR e do módulo de resiliência.

Os trechos devem ser divididos em subtrechos homogêneos, ou seja, os que apresentam valores semelhantes da constituição do pavimento, do tráfego médio diário (TMD) e valores da deflexão recuperável. Analisam-se os valores de trincamento e irregularidade, eliminando-se os dados que estão em limites definidos. A maior extensão para um subtrecho homogêneo deve ser de 3000 metros.

Para cada subtrecho homogêneo devem ser obtidos, através de medições e ensaios, os seguintes parâmetros:

- Idade do Pavimento;
- Tipo e espessura do pavimento existente;
- Deflexão característica;
- Trincamento;
- Desgaste;
- Irregularidade; e
- Número estrutural corrigido.

Devem ser estabelecidos parâmetros de projeto, tais como:

- Período de análise;
- Taxa de crescimento de tráfego;
- Tráfego;
- Restrições de construção;
- Restrições de desempenho;
- Restrições econômicas; e
- Custos unitários de restauração.

A norma apresenta um conjunto de equações, com previsão de desempenho para: a irregularidade, o trincamento e o desgaste. Esta previsão pode ser feita para pavimentos recobertos com lama asfáltica, tratamento superficial duplo e concreto asfáltico.

É feita uma análise do pavimento existente, onde são possíveis três situações:

- (I) Não são atingidos os valores limites das restrições, então, com equações de desempenho são previstos trincamento, irregularidade e desgaste (se for o caso de TSD), para o último ano da análise. Caso não sejam atingidos os valores limites, não haverá necessidade de restauração do pavimento.
- (II) Quaisquer valores de restrições podem ser alcançados ao longo do período da análise. Deve-se determinar o ano que acontece a ultrapassagem do valor

previsto pelo limitante. A partir deste ano deve-se proceder a alternativa de restauração.

(III) Quaisquer valores de restrições podem ser ultrapassados no início do período da análise, portanto é necessária atividade imediata da restauração.

As alternativas de restauração devem ser analisadas, da mais simples e barata, para a mais custosa. Partindo-se da lama asfáltica, depois tratamento superficial duplo e a seguir recuperação em concreto asfáltico. Encontrando-se a alternativa viável, com a verificação das restrições de desempenho e de construção para período de análise, esta será mais econômica.

## 5. REDES NEURAIS ARTIFICIAIS APLICADAS AOS PROBLEMAS

As RNA podem ser utilizadas em diversos campos da ciência. Em pavimentação existem experiências introdutórias em [9] e [13]. Neste trabalho, o emprego foi mais aprofundado, aplicando estas RNA para avaliação, construção e manutenção de pavimentos, como também para um conjunto maior de casos.

Este conjunto de casos foi criado utilizando-se uma base de dados fornecida pelo Banco Mundial. Estes dados foram separados de forma a conter o conhecimento do especialista em pavimentos, com o objetivo de executar o treinamento e após este, fazer a validação do conjunto total fornecido.

### 5.1. Descrição do Experimento de avaliação

Utilizamos a rede neural do tipo Multi-Camadas Perceptrons com algoritmo de aprendizagem Backpropagation (MLP-Backpropagation), por ser um modelo neural amplamente aceito e pelos excelentes resultados que tem produzido na área de reconhecimento de padrões [10],[14],[7],[11]. Além disso por se tratar de um problema de aproximação de funções não lineares, e por se tratar de modelos de regressão não paramétrica, segundo [10] e [14] é o mais aconselhável.

Como não se sabe o comportamento de uma rede neural, e pelas características da função a ser aproximada, que é limitada e decrescente, mas ela pode ser definida em função, no domínio das 174 variáveis existentes. A melhor rede neural obtida foi por tentativas. Foram geradas aproximadamente 300 redes e testadas com o conjunto dos dados.

Inicialmente as 174 variáveis disponíveis foram agrupadas por assunto: dados físicos do pavimento, dados geométricos, ensaios, tráfego, dados de forças e outros independentes. Foram montadas redes que abrangiam todo o conjunto de dados, e a conclusão é que o reconhecimento do conjunto não estava sendo conseguido. Começou-se a retirar conjuntos onde os dados não estavam completos no tempo, neste caso foi eliminado o conjunto de forças e com as novas redes criadas, conseguiu-se um melhor reconhecimento.

Passou-se a analisar os grupos que poderiam estar influenciando mal o comportamento dos dados, o grupo de tráfego, foi completamente excluído. As novas redes montadas passaram a reconhecer mais dados no conjunto total.

Concluindo-se que os outros grupos eram importantes, passou-se a exclusão de variáveis dentro dos grupos restantes, por exemplo com a retirada de dados



redundantes, como ensaios que mediam grandezas semelhantes. Novamente, foram testadas diversas possibilidades de entradas para a rede neural proposta.

Ao final foram usadas apenas 18 variáveis, identificadas como as mais significativas para o problema: Ano de construção; Média anual de chuva; 7 tipos de defeitos, (trincas de classe 1, classe 2, classe 3 e classe 4; jacaré; panelas e desgaste); 4 ensaios (Viga Benkelman, afundamento da trilha de roda, irregularidade e CBR); Tipo da capa; Espessura da capa do pavimento; Tipo da base do pavimento; Tipo do acostamento e Número estrutural.

As variáveis restantes podem ser importantes para representar outros problemas, como exemplo decisão de investimento, que certamente teria a influência do conjunto de tráfego.

As saídas foram escolhidas de modo a representar a serventia do pavimento para o usuário: 5 saídas com qualificação (Ótimo, Bom, Regular, Ruim e Péssimo). O esquema proposto está mostrado na Figura 1.

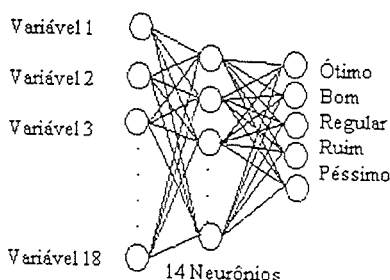


Figura 1: Arquitetura da Rede Neural Artificial: 18 entradas, 5 saídas, e uma única camada escondida. Para a aprendizagem, as saídas são rotuladas (1,0,0,0,0) para a classe ótima, (0,1,0,0,0) para a classe bom, (0,0,1,0,0) para a classe regular, (0,0,0,1,0) para a classe ruim e (0,0,0,0,1) para a classe péssima.

A avaliação da condição dos pavimentos deve sempre seguir um critério. Foram escolhidos 2, que são os mais utilizados, citados no item 3. Para conseguir utilizar o conhecimento de dois métodos especialistas, o IGG utilizado neste trabalho foi com a divisão em cinco conjuntos (Ótimo, Bom, Regular, Ruim e Péssimo). Com esta nova divisão a quantidade de classes ficou igual ao da irregularidade.

O caso contrário com a diminuição de classes, piorava o reconhecimento. Para se escolher uma amostra foram selecionados, aleatoriamente, casos onde os dois métodos especialistas concordavam (Figura 2).



Figura 2: Esquema para treinamento

## 5.2 Descrição do Experimento de Manutenção

Como para a avaliação, foram utilizadas redes do tipo Multi-Camadas Perceptrons com algoritmo de aprendizagem Backpropagation (MLP-Backpropagation), por tentativas, e discussão com especialistas, foram testadas diversas possibilidades de entradas. Ao final foram usadas apenas 18 entradas:

- Ano de construção;
- Média anual de chuva;
- 7 tipos de defeitos, (trincas de classe 1, classe2, classe 3 e classe 4; jacaré; panelas e desgaste);
- 4 ensaios (Viga Benkelman, afundamento da trilha de roda, irregularidade e CBR);
- Tipo da capa;
- Espessura da capa do pavimento;
- Tipo da base do pavimento;
- Tipo do acostamento; e
- Número estrutural.

As saídas foram escolhidas de modo a representar a serventia do pavimento para o usuário: 5 saídas com qualificação (Nada a fazer, Selar, Tratar, Recapear com CA e Reconstruir). O esquema proposto está mostrado na Figura 3.

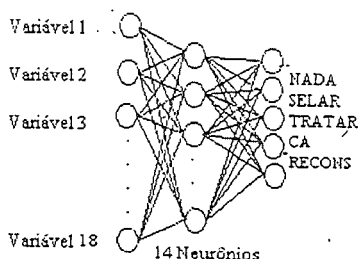


Figura 3: Arquitetura das Redes Neurais Artificiais para manutenção: 18 entradas, 5 saídas, e uma única camada escondida. Para o processo de aprendizagem, as saídas foram rotuladas (1,0,0,0,0) para nada a fazer, (0,1,0,0,0) para selar, (0,0,1,0,0) para tratar, (0,0,0,1,0) para recapear (0,0,0,0,1) para reconstruir.

O projeto de restauração dos pavimentos, utilizados neste procedimento, segue o critério da DNER-PRO 159/85. Entre os 3149 casos, foram selecionados aleatoriamente, alguns casos (por volta de 100) calculados pela mesma norma (Figura 4).

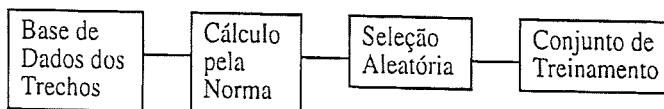


Figura 4: Esquema para treinamento da manutenção

## 6. RESULTADOS

### 6.1. Análise da avaliação da condição do pavimento

Para o caso da classificação dos trechos da malha viária, foram usadas duas formas de avaliação: o Índice de Gravidade Global IGG [4] empregado na avaliação das superfícies dos pavimentos, e a Irregularidade (QI) dos pavimentos, que avalia a funcionalidade da via.

Nestas duas formas de avaliação da condição, os trechos analisados (3149) foram classificados, obtendo-se os resultados apresentados na Tabela 1:

	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Ótimo	% acerto
Péssimo	6	0	0	0	0	100,0
Ruim	3	50	52	41	12	31,6
Regular	1	53	151	147	134	31,1
Bom	0	41	163	267	334	33,2
Ótimo	0	23	115	393	1163	68,7
					Total	52,0

Tabela 1 IGG x QI

Como se pode observar, os dois métodos especialistas não produzem resultados exatos pois cada método analisa o pavimento segundo um aspecto. O IGG analisa o pavimento através da sua estrutura, e o QI através da sua funcionalidade ou conforto da utilização da via por um veículo.

Conforme a Tabela acima a porcentagem de acerto de IGG em relação ao QI, é de apenas 52,0%, apesar dos casos Péssimos (6 para o IGG e 10 para o QI) estarem próximos sua quantidade total, a sua parte em relação ao conjunto é pequena.

Segundo item 4, uma vez montada a rede e comparando-se com os dois critérios de avaliação obtém-se:

	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Ótimo	% acerto
Péssimo	6	0	0	0	0	100,0
Ruim	2	116	39	1	0	73,4
Regular	0	27	264	195	0	54,3
Bom	0	0	39	658	108	81,7
Ótimo	0	0	1	261	1432	84,5
					Total	78,6

Tabela 2 - IGG x RN

Observa-se pela tabela acima, que a RN proposta consegue aprender melhor que o outro método especialista existente, onde 78,6% dos casos são analisados corretamente.

Pode-se também verificar a análise da rede com o critério do segundo método especialista (QI) cujos resultados estão apresentados na tabela a seguir:

	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Ótimo	% acerto
Péssimo	8	2	0	0	0	80,0
Ruim	0	57	22	88	0	34,1
Regular	0	47	143	227	14	29,7
Bom	0	34	103	464	287	50,0
Ótimo	0	3	75	326	1239	75,4
Total						59,4

Tabela 3 - QI x RN

O valores de acerto, isto é, onde o critério especialista coincide com os resultados da rede, são de 59.4%, sendo que o acerto entre os dois métodos especialistas existentes e definidos por normas.

## 6.2. Análise do Projeto de Restauração

Para o projeto de restauração dos trechos da malha viária, foi utilizado a DNER PRO 159/85 com valores: irregularidade(QI) = 60, trincamento(TR) = 40,0% e desgaste(DM) 40,0%, período de análise 10 anos, taxa de crescimento de tráfego 0,04, espessura mínima de concreto asfáltico 0,03 m, espessura máxima 0,10m, coeficientes de equivalência estrutural: concreto asfáltico 0.17 e tratamento superficial duplo 0.04cm<sup>-1</sup>.

Conforme item 4, montada a rede e obtendo-se resultados para os mesmos 3149 trechos e comparando-se com o critério de projeto obtém-se:

	Nada	Selar	Tratar	Recapear	Não reconhecidos	% acerto
Nada	2038	91	22	151	6	88,3
Selar	0	108	0	1	0	99,1
Tratar	0	0	72	4	0	94,7
Recapear	33	44	80	498	1	75,9
Total						86,2

Tabela 4 - DNER-PRO 159/85 x Redes Neurais Artificiais

Conforme a Tabela acima a porcentagem de acerto de projeto de restauração em relação a RNA é de 86,2%. Duas categorias obtiveram mais reconhecimento (selagem e tratamento), quase a totalidade dos casos, mas sua quantidade em relação ao conjunto é pequena, diminuindo a porcentagem final.

## 7. CONCLUSÕES

Este trabalho demonstrou experimentalmente que é possível tratar o problema da avaliação da condição de pavimentos com uma rede neural MLP-Backpropagation e que esta avalia o pavimento melhor que os processos propostos por norma, mais utilizados no Brasil.

O índice de acerto para o IGG ficou por volta de 78,6% e para a Irregularidade, por volta de 59,4%. Entre estes dois métodos existentes o acerto é menor e igual a 52,0%.

Pelos bons resultados obtidos, é aconselhável a utilização das Redes Neurais Artificiais. A dificuldade de utilização está na identificação das variáveis importantes.

Este trabalho também demonstrou que é possível tratar o problema do projeto de pavimentos com uma rede neural MLP-Backpropagation. O índice de acerto para o projeto de restauração da rede neural, comparado com a norma foi de 86,2%.

Tanto o tempo de treinamento quanto a quantidade de casos nas amostras testadas são pequenos, o que mostra que os dados tem alta correlação. Evidentemente ainda são possíveis uma série de otimizações, como também completar a Base de Dados com mais casos, especialmente com dados econômicos.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho contou parcialmente com o suporte financeiro da CAPES-PICD.

## REFERÊNCIAS

- [1] AUTRET, P., BRILLET, F., BROUSSE, J.L. Développement d'un système d'aide à la gestion d'un réseau routier. LCPC, Paris, 1991.
- [2] CYBENKO, G.. Approximation by Superposition of a Sigmoidal Function. Mathematics of Control, signals and Systems, vol 2, pag 303-314, 1989.
- [3] DNER-PRO 07/78. Avaliação Subjetiva da Superfície de Pavimentos. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, DNER, Ministério dos Transportes. 1978.
- [4] DNER-PRO 08/78. Avaliação Objetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos. Departamento de Estradas de Rodagem, DNER, Ministério dos Transportes. 1978.
- [5] DNER-PRO 159/85 Projeto de restauração de pavimentos flexíveis e semi-rígidos. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, DNER, Ministério dos Transportes. 1985.
- [6] DOMINGUES, F. A. A.. Gerência de Pavimentos: O uso do Modelo HDM-III. Apostila da EPUSP, São Paulo, 1993.
- [7] FREEMAN, J. A. e SKAPURA, D. M.. Neural Networks: Algorithms, Applications and Programming Techniques. Addison-Wesley Publishing Company, 1992.
- [8] HAAS, R., HUDSON, W. R.. Pavement Management Systems. McGraw Hill, 1978.
- [9] HAJEK, J. J., HURDAL, B.. Comparison of Rule-Based and Neural Network Solutions for a Structured Selection Problem. TRR 1399, 1994
- [10] HAYKIN, S.. Neural Networks: A Comprehensive Foundation. Macmillan College Publishing Company, 1994.
- [11] HECHT-NIELSEN, R.. Theory of the Backpropagation Neural Network. Proc. IJCNN (Washington) D.C., pag 18-22, 1989.

- [12] HUDSON, W.R., FERNANDES JR. J.L.F.. Curso Intensivo de Gerência de Pavimentos. DER-MG e IPC, Belo Horizonte, MG., 1994.
- [13] PANT, P. D. e outros. Neural-Network-Based Procedure for Condition Assessment of Utility Cuts in Flexible Pavements. TRR 1399, 1994.
- [14] PHAN, D.T. e LIU, W.. Neural Networks for Identification, Prediction and Control. Springer-Verlag, 1995.
- [15] QUEIROZ, C. A. V.. Modelos de Previsão do Desempenho para a Gerência de Pavimentos no Brasil. DNER, 1984.
- [16] RUMELHART, D. E. e WILLIAMS, R. J.. Parallel distributed processing. Vol 1 MIT Press, Cambridge, MA, 1986.
- [17] WATANADA, T. e outros. The Highway Design and Maintenance Standards Model - Vol 1 - Descrição do Modelo HDM-III. Banco Mundial, Washington, U.S.A, 1987.
- [18] WRAY, J. and GREEN, G.G.R.. Neural Network, Approximation Theory, and Finite Precision Computation. Neural Network, vol 8, pag 31-37, 1995.
- [19] YODER, E. J., WITCZAK, M. W.. Principles of Pavement Design. John Wiley & Sons, 1975.