

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

**APLICAÇÃO DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS NO SETOR DE
TRANSPORTES NO BRASIL**

FERNANDA CORRÊA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Orientação: Prof. Dr. ARCHIMEDES AZEVEDO RAIA Jr.

São Carlos

2008

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

C824ar

Corrêa, Fernanda.

Aplicação de redes neurais artificiais no setor de transportes no Brasil / Fernanda Corrêa. -- São Carlos : UFSCar, 2009.

72 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2008.

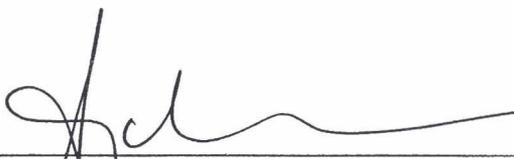
1. Planejamento dos transportes. 2. Redes neurais (Computação). 3. Brasil - ciência e tecnologia - desenvolvimento. I. Título.

CDD: 629.04 (20ª)

FOLHA DE APROVAÇÃO

FERNANDA CORRÊA

Dissertação defendida e aprovada em 18/12/2008
pela Comissão Julgadora



Prof. Dr. Archimedes Azevedo Raia Jr. - Presidente
Orientador (DECiv/UFSCar)



Prof. Dr. Antônio Nelson Rodrigues da Silva
(EESC/USP)



Prof. Dr. Sérgio Antônio Röhm
(DECiv/UFSCar)



Prof. Dr. Archimedes Azevedo Raia Jr.
Presidente da CPGEU

***E**ste trabalho é dedicado aos meus
dois melhores amigos, incentivos maiores
para superar os percalços dessa
caminhada: **meus pais queridos** presentes
em todos os momentos, me ensinando a
percorrer as estradas desta vida.*

Agradeço

Em primeiro lugar aos meus pais **Marcia** e **Luiz** por tudo o que fizeram no alto dos meus 28 anos. Pelo carinho, dedicação, amizade, companheirismo, palavras de força e por me conceberem em meio a tanto amor. *Pai e Mãe*, sou grata eternamente por tudo o que sempre fizeram por mim e pela preciosa vida que me deram.

A **Deus** pela dádiva da vida.

Aos **familiares**, tios, tias, primos, primas e agregados, em especial a minha avó **Maria** que antes de sua partida abençoou esta minha jornada como mestranda e, com muito carinho a tia **Vera**, eterna amiga.

Aos amigos de todas as horas, **Tábata** e **Gracieli** (amigas-irmãs), **Bruna**, **Flora**, **Luis Fernando** e **Kahan** (futuros Eng^o. de Produção e companheiros de São Carlos), **Rosana**, **Plínio**, **Marian**, **Patrícia**, **Sonia**, **professores** e todos os colegas de trabalhos do PPGEU, aos **amigos Ilhensses** que sempre torceram por mim e as **amigas e amigos arquitetos** de Rio Preto pelo constante carinho e incentivo.

Ao meu orientador **Archimedes Azevedo Raia Jr.** a quem devo esta grande oportunidade, pela amizade, confiança, paciência, palavras de força e horas despendidas na elaboração deste trabalho.

Ao professor **Antônio Nelson Rodrigues da Silva** pelas oportunidades de aprimoramento de conhecimento.

A **CAPES** pelo apoio financeiro concedido para a realização deste trabalho.

Enfim, a todos aqueles que direta e indiretamente me ajudaram a realizar este sonho.

*"É melhor tentar e falhar,
que preocupar-se e ver a vida passar;
é melhor tentar, ainda que em vão,
que sentar-se fazendo nada até o final.*

*Eu prefiro na chuva caminhar,
que em dias tristes em casa me esconder.*

*Prefiro ser feliz, embora louco,
que em conformidade viver...".*

Martin Luther King

RESUMO

O desenvolvimento das Redes Neurais Artificiais no Setor de Transportes no Brasil vem realizando grandes feitos no que tange o fomento da utilização da técnica na solução de problemas encontrados nesta área.

As Redes Neurais Artificiais são técnicas computacionais com capacidade de simular a atividade cerebral humana, fazendo previsões futuras a partir da análise de dados.

Essa técnica, ao longo dos anos vem estimulando grandemente as pesquisas em planejamento de transportes tanto no exterior quanto no Brasil.

Como objetivo, este trabalho traz uma pesquisa exploratória, procurando-se levantar o estado da arte do uso e aplicação da técnica Redes Neurais Artificiais no Setor de Transportes no Brasil, traçando uma comparação do que vem sendo realizado nos países desenvolvidos e no Brasil.

No Brasil, as RNAs começaram a ser desenvolvidas no Setor de Transportes por volta dos anos de 1990, hoje, as pesquisas nesta área estão gerando trabalhos muito importantes para o planejamento de transportes, no entanto, a técnica de Redes Neurais Artificiais ainda tem muito a ser aprimorada para melhor ser utilizados como ferramentas administrativas no país.

Palavras chave: Redes Neurais Artificiais, Setor de Transportes, Desenvolvimento brasileiro.

ABSTRACT

The development of Artificial Neural Networks in the Brazilian's Sector of Transports comes carrying through great done in what it refers to the promotion of the use of the technique in the solution of problems found in this area.

Artificial Neural Networks are computational techniques with capacity to simulate the cerebral activity human being, making future forecasts from the analysis of data.

This technique, throughout the years comes greatly stimulating the research in planning of transports in such a way in the exterior how much in Brazil.

As objective, this work brings an exploratory research, trying to lift the state of the art of the use and application of the technique Artificial Neural Networks in the Section of Transports in Brazil, drawing a comparison of what has been accomplished at the developed countries and in Brazil.

In Brazil, the ANNs had started to be developed in the Sector of Transports for return of the years of 1990, today, the research in this area is generating important works very for the planning of transports, however, the technique of Artificial Neural Networks still has much to be improved better to be used as administrative tools in the country.

Key words: Artificial Neural Networks, Sector of Transports, Brazilian Development.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - <i>Esquema dos constituintes da célula neural</i> (TATIBANA e KAETSU, 2006).....	10
Figura 02 - <i>Neurônio artificial projetado por McCulloch</i> (TATIBANA e KAETSU, 2006)).....	16
Figura 03 - <i>Rede de Perceptrons proposta por Roseblatt</i> (TATIBANA e KAETSU, 2006)).....	18
Figura 04 - <i>Redes ADALINE e MADALINE</i> (TATIBANA e KAETSU, 2006)).....	19
Figura 05 - <i>Estrutura do método Backpropagation</i> (TATIBANA e KAETSU, 2006)).....	21

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Trabalhos revisados para Exterior e Brasil, segundo os Grupos de Áreas de Aplicação.....73

Tabela 2 – Trabalhos realizados no Exterior com o uso de RNAs.....74

Tabela 3 – Trabalhos realizados no Brasil com o uso de RNAs.....75

ÍNDICE

INTRODUÇÃO	1
<i>Descrição do trabalho</i>	<i>3</i>
<i>Justificativa.....</i>	<i>4</i>
<i>Objetivo do trabalho</i>	<i>4</i>
<i>Procedimentos metodológicos</i>	<i>4</i>
CAPÍTULO 1	
INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL	6
<i>1.1 Introdução</i>	<i>6</i>
<i>1.2 Redes Neurais Artificiais</i>	<i>8</i>
CAPÍTULO 2	
REDES NEURAS ARTIFICIAISE A EXPERIÊNCIA INTERNACIONAL	16
<i>2.1 Planejamento e operação de transportes.....</i>	<i>17</i>
<i>2.1.1 Transporte terrestre.....</i>	<i>17</i>
<i>2.1.2 Transporte Aéreo</i>	<i>20</i>
<i>2.1.3 Transporte Aquaviário</i>	<i>20</i>
<i>2.1.4 Planejamento e operação de trânsito.....</i>	<i>20</i>
<i>2.1.5 Transporte de cargas e logística</i>	<i>27</i>

CAPÍTULO 3

REDES NEURAS ARTIFICIAIS NO SETOR DE TRANSPORTES NO BRASIL.....32

3.1 Planejamento e operação de transportes.....33

3.1.1 Transporte Terrestre.....33

3.1.2 Transporte Aéreo38

3.1.3 Transporte Aquaviário39

3.2 Planejamento e operação de trânsito.....40

3.3 Transporte de cargas e logística44

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E ANÁLISES46

4.1 Softwares mais utilizados.....56

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES58

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS61

INTRODUÇÃO

A busca por ferramentas e técnicas que venham contribuir com o Setor de Transportes no empreendimento de melhorar a qualidade de vida e o desenvolvimento da sociedade é fator primordial nas pesquisas realizadas nas últimas décadas.

Dentre tantas técnicas desenvolvidas, as Redes Neurais Artificiais têm sido apontadas por pesquisadores e técnicos, das mais diversas áreas do saber, como eficientes e sendo apresentadas como alternativas para diversas dessas áreas.

Neste sentido, vem a preocupação deste trabalho em abordar o uso e aplicação das Redes Neurais Artificiais no Setor de Transportes.

As Redes Neurais Artificiais são técnicas computacionais que tentam simular o trabalho do cérebro humano, fazendo previsões a partir da análise de dados a elas apresentada.

A Inteligência Artificial, por meio das Redes Neurais Artificiais, vem ao longo de aproximadamente três décadas, ajudando amplamente nas pesquisas em planejamento e operação do Setor de Transportes, tanto no exterior quanto no Brasil. No exterior, a técnica começou a ser desenvolvida em 1943 e, desde então, tem sido aplicada em diversas áreas. A partir da década de 1980, trabalhos utilizando as RNAs vem sendo realizados com bons resultados no Setor de Transportes.

Já no Brasil, as RNA começaram a ser usadas em pesquisas de transportes há aproximadamente vinte anos. Atualmente, estudos estão gerando trabalhos muito importantes para o planejamento e operação de transportes, mas que certamente ainda precisam de bases mais fortes para serem melhor utilizados como ferramentas administrativas.

O ponto chave para a utilização de Redes Neurais Artificiais em pesquisas é que esta técnica computacional tem a capacidade de analisar um dado problema imitando a análise que seria feita pelo cérebro humano, porém com maior rapidez de processamento.

Em resumo, uma RNA é um sistema formado por uma gama de neurônios artificiais ligados por conexões, onde parte destes recebem excitações do exterior (neurônios de entrada) e a outra parte emite respostas a estas excitações (neurônios de saída). Um sistema alimentado por dados do mundo real que através da análise de padrões tenta gerar uma resposta mais próxima possível do real, com o objetivo de solucionar problemas.

Para vários autores a modelagem pelas RNAs vem para substituir os programas estáticos convencionais devido, entre tantas qualidades, a fácil interface do programa com o usuário. Nessa perspectiva, alguns dos motivos que estimulam as pesquisas neste campo é a busca de uma modelagem cada vez mais precisa e a construção de computadores com alto grau de paralelismo.

Os procedimentos utilizados no Setor de Transportes, para fins de aprimoramento de técnicas e discussão de melhorias e avanços no setor, vem sendo amplamente desenvolvidos desde a década de 1980, o que pode ser constatado nos estudos de Dougherty (1995).

O autor fez uma revisão crítica quanto ao uso das RNAs no setor de transportes, analisando quais os principais problemas no setor que poderiam ser trabalhados com as RNAs, os tipos de redes desenvolvidos e quais obstáculos já observados no trabalho com as RNAs, assim, o autor desenvolveu grandes pesquisas que resultaram em um amplo panorama do desenvolvimento de RNAs no setor.

Devido a excelência do trabalho desenvolvido por Dougherty, este será tomado como referência nesta dissertação de mestrado para a revisão bibliográfica sobre o uso de RNAs no exterior até o ano de 1995 e depois, como exemplo para a continuação deste estudo no que se refere aos trabalhos realizados tanto no exterior quanto nacionalmente.

Esta pesquisa atingiu seu objetivo que foi o de explorar o estado de procedimentos do uso e as aplicações de RNAs no Setor de Transportes no Brasil, mostrando como resultados que a aplicação da técnica é bem semelhante tanto nas pesquisas internacionais quanto nas nacionais. Tal resultado permitiu concluir que o Brasil, de maneira geral, possui um bom nível de aplicação de RNAs em suas pesquisas no Setor de Transportes.

Descrição do trabalho

Este trabalho desenvolve-se ao longo de quatro capítulos mais introdução e conclusões e recomendações.

A introdução discute, acerca da necessidade de busca de novas técnicas para a solução de problemas no Setor de Transportes, traz também a justificativa, os objetivos do trabalho e os procedimentos metodológicos adotados.

O *primeiro capítulo* trata da Inteligência Artificial, no que tange às Redes Neurais Artificiais, em uma breve revisão atualizada do desenvolvimento da técnica no mundo desde o seu desenvolvimento.

O *segundo e terceiro capítulos* abordam, respectivamente, a revisão bibliográfica relacionada ao uso das RNAs no Setor de Transportes no exterior, principalmente em países desenvolvidos, e no Brasil.

No *quarto capítulo* são apresentados os resultados e as análises obtidas a partir da exploração dos trabalhos levantados.

Finalizando o trabalho as conclusões e recomendações desta pesquisa.

Justificativa

Esta dissertação de mestrado justifica-se pelo interesse em explorar o estado da arte das pesquisas realizadas no Setor de Transportes no exterior e principalmente no Brasil, e verificar sua evolução com a utilização de softwares de Redes Neurais Artificiais de utilização cada vez mais ampla.

Objetivo do trabalho

Considerada como alternativa à técnicas e modelos tradicionais, a técnica de Redes Neurais Artificiais vem se desenvolvendo consideravelmente no exterior. No Brasil, seu desenvolvimento e aplicação também avançam?

Diante desse questionamento, estabeleceu-se como objetivo precípuo deste trabalho a realização de uma pesquisa exploratória que tinha como meta conhecer o estado da arte do uso e a aplicação da técnica Redes Neurais Artificiais no Setor de Transportes no Brasil. Paralelo ao estudo sobre as Redes Neurais no Brasil, definiu-se também como objetivo, estabelecer uma comparação entre a realidade brasileira e a realidade de países pertencentes ao chamado “mundo desenvolvido”.

Procedimentos metodológicos

A pesquisa exploratória, método adotado neste trabalho, tem como objetivo proporcionar uma visão geral de um determinado fato e pode envolver levantamento bibliográfico, entrevistas com pessoas que tiveram (ou têm) experiências práticas com o problema pesquisado e análise de exemplos que estimulem a compreensão.

O enfoque principal está em conhecer com que intensidade e em que áreas está sendo aplicada a técnica de Redes Neurais no Setor de Transportes no Brasil, sem ter grande preocupação com os detalhes associados aos aspectos intrínsecos da técnica, tais como arquiteturas, treinamentos, dimensionamento de exemplos, etc.

Dessa forma proceder-se-á uma revisão da literatura considerando os trabalhos relacionados ao uso de RNAs no Exterior e no Brasil. Serão extraídas das referências obtidas informações que caracterizem o uso ou aplicação de RNAs.

Estas informações devem ser sistematizadas em tabelas, contendo informações relevantes disponíveis nas referências bibliográficas, e que oferecerão

subsídios para análise individual, segundo cada realidade (exterior e nacional), bem como proceder a uma análise comparativa entre o Brasil e outros países. Com isso, pode-se estabelecer as conclusões e possíveis recomendações deste trabalho.

CAPÍTULO 1

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

1.1 Introdução

Pode-se dizer que o desenvolvimento de sistemas de Inteligência Artificial teve início a partir do momento em que se tentou simular as atividades do cérebro humano através de máquinas.

“Os computadores convencionais mostram-se capazes de executar sequencialmente tarefas que estejam programadas na memória. São, por exemplo, muito mais rápidos e precisos do que o cérebro humano no cálculo de operações matemáticas. Porém, são pouco eficientes na execução de funções aparentemente simples para o ser humano como, por exemplo, o reconhecimento de padrões visuais” (AKAMINE, 2005).

“Os neurocomputadores, por outro lado, buscam modelar a estrutura do cérebro do homem, bem como a forma pela qual o ser humano é capaz de processar informações. Para atingir este objetivo é preciso uma estrutura computacional diferente que, tal como o cérebro do homem, possua uma grande quantidade de unidades de processamento e que estejam altamente conectadas, operando de forma paralela” (BRONDINO, 1999).

O cérebro humano é considerado o mais fascinante processador, sendo composto por aproximadamente 100 bilhões de neurônios que regem todas as funções e movimentos do organismo. Os neurônios estão conectados uns aos outros por meio de sinapses, grupos formam uma grande rede, chamada rede neural. As sinapses transmitem estímulos através de diferentes concentrações de sódio e potássio, estendidos por todo o corpo humano.

Esta grande rede proporciona uma capacidade ótima de processamento e armazenamento de informações.

“O sistema nervoso é formado por um conjunto extremamente complexo de neurônios cuja comunicação é realizada por impulsos. Quando um impulso é recebido o neurônio o processa, disparando um segundo impulso que produz uma

substância neurotransmissora que flui do corpo celular para o axônio” (TATIBANA e KAETSU, 2006).

O neurônio que transmite o pulso pode controlar a frequência de pulsos aumentando ou diminuindo a polaridade na membrana pós-sináptica.

Ao contrário das Redes Neurais Artificiais, Redes Neurais Naturais não transmitem sinais negativos, sua ativação é medida pela frequência com que emite pulsos, frequência esta de pulsos contínuos e positivos.

As Redes Naturais não são uniformes como as Redes Neurais Artificiais, apresentando uniformidade apenas em alguns pontos do organismo. Seus pulsos não são síncronos ou assíncronos, devido ao fato de não serem contínuos, o que as difere de Redes Neurais Artificiais.

Os principais componentes dos neurônios biológicos são:

- a) os dendritos, que tem por função receber os estímulos transmitidos por outros neurônios;
- b) o corpo do neurônio, também chamado de soma, que é responsável por coletar e combinar informações vindas de outros neurônios; e
- c) o axônio, que é constituído de uma fibra tubular que pode alcançar até alguns metros, e é responsável por transmitir os estímulos para outras células (TATIBANA e KAETSU, 2006).

A **Figura 1** apresenta a estrutura de um neurônio biológico simples e possui três funções básicas: entrada, processamento e saída de sinais.

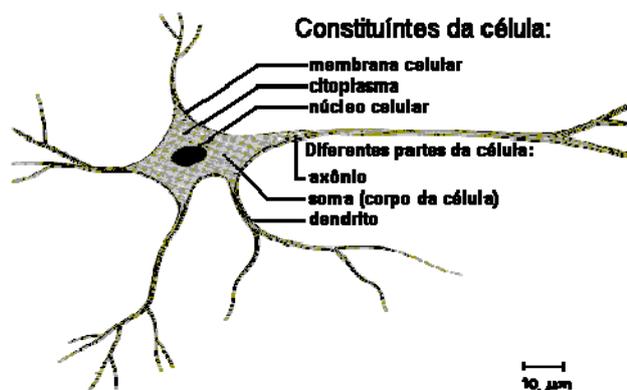


Figura 1 - Esquema dos constituintes da célula neural
Fonte: Tatibana e Kaetsu (2006)

“As Redes Neurais Artificiais constituem um método de solução para problemas de inteligência artificial. Através da construção de um sistema com circuitos que simulem o cérebro humano, aprendendo, errando e fazendo descobertas” (PEREIRA *et al.*, 2002). São sistemas paralelos distribuídos, compostos por unidades de processamento simples (nós) que calculam determinadas funções matemáticas (normalmente não-lineares). Essas unidades geralmente são conectadas por canais de comunicação que estão associados a determinado peso.

As unidades fazem operações apenas sobre seus dados locais, que são entradas recebidas por suas conexões. O comportamento “inteligente” de uma Rede Neural Artificial vem das interações entre as unidades de processamento da rede.

1.2 Redes Neurais Artificiais

A grande premissa do conexionismo para aplicações em processamento de informações e/ou inteligência artificial é o fato de que se pode analisar um problema imitando o funcionamento do cérebro humano. O cérebro processa informações através da ativação de uma série de neurônios biológicos, e os neurônios, por sua vez, interagem numa rede biológica por meio da intercomunicação.

Os modelos neurais procuram aproximar o processamento dos computadores ao cérebro. As Redes Neurais Artificiais possuem um grau de interconexão similar à estrutura do cérebro e em um computador convencional moderno a informação é transferida em tempos específicos dentro de um relacionamento com um sinal para sincronização. (TATIBANA e KAETSU, 2006).

Uma Rede Neural Artificial é composta por várias unidades de processamento, cujo funcionamento é bastante simples.

As unidades fazem operações apenas sobre seus dados locais, que são entradas recebidas pelas suas conexões. O comportamento inteligente de uma Rede Neural Artificial vem das interações entre as unidades de processamento da rede. (TATIBANA e KAETSU, 2006).

A tentativa inicial de reproduzir o alto desempenho do cérebro humano em tarefas cognitivas extremamente complexas motivou o desenvolvimento inicial dos

modelos de Redes Neurais Artificiais. Tais modelos representam um tipo especial de processamento da informação que consiste de muitas células primitivas que trabalham em paralelo e estão conectadas por ligações diretas, cuja principal função é distribuir padrões de ativação, de maneira similar ao mecanismo básico do cérebro humano.

Segundo Brondino (1999), as Redes Neurais Artificiais são baseadas em modelos abstratos do funcionamento do cérebro humano e tentam reproduzir sistemas biologicamente realísticos. A terminologia Rede Neural Artificial abrange uma enorme quantidade de arquiteturas e paradigmas e tem como objetivo entender o funcionamento do cérebro humano e desta forma procurar reproduzi-lo.

Informalmente, uma Rede Neural Artificial é um sistema composto por vários neurônios que estão ligados por conexões, chamadas conexões sinápticas.

Alguns neurônios recebem excitações do exterior, são chamados neurônios de entrada e correspondem aos neurônios dos órgãos dos sentidos. Outros têm suas respostas usadas para alterar, de alguma forma, o mundo exterior, são chamados neurônios de saída e correspondem aos moto-neurônios, denominados neurônios biológicos que excitam os músculos.

“Os neurônios que não são nem entrada nem saída são conhecidos como neurônios internos. Estes neurônios internos à rede têm grande importância e são conhecidos na literatura saxônia como “*hidden*”, fazendo com que alguns traduzam como “escondidos” (BARRETO, 2002).

As Redes Neurais Artificiais são utilizadas nas mais diversas áreas de aplicação como previsão, classificação, otimização, controle e outros, com intuito de solucionar problemas recorrentes no setor de transportes.

Segundo Barreto (2002), o primeiro esforço conjunto para estudar Inteligência Artificial foi o encontro no *Darhmouth College*, em 1956, evento teve a participação de grandes pesquisadores como John McCarthy, Marvin Minsky, Herbert Simon e Allen Newell. No livro publicado, a partir desse encontro, com o título de *Automata Studies*, o primeiro artigo tratava de Redes Neurais Artificiais como um paradigma da arquitetura computacional. Pode-se dizer que aí nasceram simultaneamente os dois paradigmas da inteligência artificial: simbólica e conexionista.

Segundo Brondino (1999), a modelagem a partir das Redes Neurais Artificiais surge como um substituto potencial aos modelos estatísticos convencionais, por apresentar uma fácil interface dos programas com o usuário e por não exigir conhecimento prévio da relação das variáveis envolvidas, ao contrario de modelos estatísticos utilizados para o mesmo fim.

A construção da Rede Neural Artificial tem inspiração nos neurônios biológicos e nos sistemas nervosos, entretanto, é importante compreender que as RNAs estão muito distantes das Redes Neurais Naturais, mantendo semelhanças mínimas com elas.

“O desenvolvimento das Redes Neurais Artificiais teve inicio com os trabalhos de McCulloch-Pitts em 1943, em seguida Widrow-Hoff desenvolveram um modelo linear conhecido como *ADALINE* que foi posteriormente generalizado para um modelo multicamadas conhecido com *MADALINE*. A principal contribuição deste último modelo foi o estabelecimento de um algoritmo de treinamento para as redes *ADALINE*, extremamente eficiente e conhecido como Regra de Delta” (KOVÁCS, 1997).

O próximo passo importante no desenvolvimento das Redes Neurais Artificiais ocorreu em 1950 com o trabalho de Rosenblatt, que propôs um modelo de Rede Neural Artificial conhecido como *Perceptron*. O aprendizado dos *Perceptrons* ocorre por meio do fornecimento de um conjunto de resultados conhecidos a respeito do problema estudado.

Além disto, as respostas fornecidas pelo modelo podem assumir valores contínuos, ao contrário dos modelos de McCulloch-Pitts, que operavam apenas com números binários.

Considerando que o primeiro modelo de neurônio, proposto por McCulloch e Pitts, em 1943, foi também um modelo simples, cabe ressaltar que a intenção era de imitar a realidade biológica, preocupação não compartilhada pelos muitos pesquisadores atuais.

De fato, dois fatores diferentes motivam a pesquisa hoje em dia: o primeiro é modelar o sistema nervoso com suficiente precisão de tal modo a poder observar um comportamento emergente que, sendo semelhante ao comportamento do ser vivo

modelado, possa servir de apoio às hipóteses usadas na modelagem e o segundo é construir computadores com um alto grau de paralelismo.

Segundo Raia Jr. (2000), o trabalho intitulado “*A logical calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity*”, de McCulloch, faz uma analogia entre células vivas e o processo eletrônico, simulando o comportamento do neurônio natural, onde o neurônio possui apenas uma saída, que é uma função *threshold* da soma do valor de suas diversas entradas (**Figura 2**).

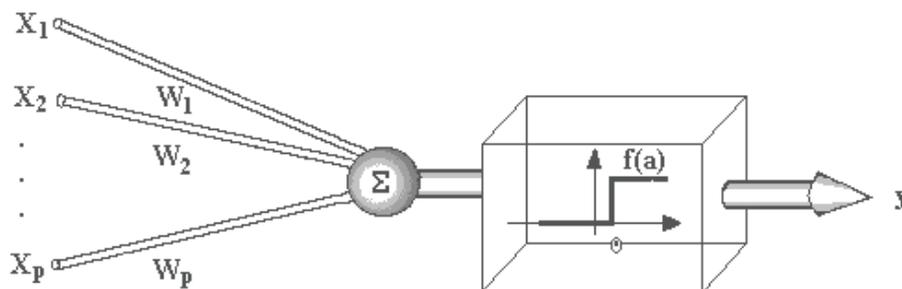


Figura 2 - Neurônio artificial projetado por McCulloch
Fonte: Tatibana e Kaetsu (2006)

McCulloch, conhecendo as ondas de potencial de membrana, interpretou o funcionamento do neurônio como sendo um circuito binário. A entrada do neurônio é também binária e as várias entradas são combinadas por uma soma ponderada, produzindo a entrada efetiva do neurônio.

Tal estudo propunha uma modelagem do neurônio artificial, como uma unidade de processamento simples, onde a rede modelada utilizava um modelo bastante simples de neurônio. Tendo cada um deles entradas excitatórias e inibitórias, o neurônio seria ativado e produziria saída igual a 1.

O neurônio proposto não apresentava limiar (*threshold*), ou seja, o valor que determina se o neurônio vai responder ou não a uma certa entrada.

As Redes Neurais Artificiais, pela similaridade com a estrutura biológica, possuem características bem parecidas ao comportamento humano, tais como associação, aprendizado, generalização.

O neurônio artificial é a unidade fundamental do processamento da Rede Neural Artificial é ele que recebe uma ou mais entradas e as transformam em

saídas. Segundo Tubb (1993), cada entrada tem um peso associado, que determina sua intensidade.

McCulloch e Pitts (1943) concentraram seus trabalhos na descrição do neurônio artificial e suas potencialidades computacionais.

Já Hebb (1949), trabalhou na variação de valores a aprendizagem das Redes Neurais Artificiais, propondo uma forma de aprendizado, que ele denominou aprendizado *hebbiano*. Por esta lei de aprendizado, se dois neurônios estão ativos simultaneamente, a conexão entre eles deve ser reforçada.

Hebb demonstrou que a capacidade da aprendizagem em Redes Neurais Artificiais vem da alteração da eficiência sináptica, isto é, a conexão somente é reforçada se tanto as células pré-sinápticas quanto as pós-sinápticas estiverem excitadas.

Rosenblatt (1958) apresentou o *Perceptron*, seu novo modelo, que pode ser visualizado na **Figura 3**. Nele os neurônios eram organizados em camadas de entrada e saída, onde os pesos das conexões eram adaptados a fim de se atingir a eficiência sináptica. O interesse inicial na criação do *Perceptron* era o reconhecimento de padrões.

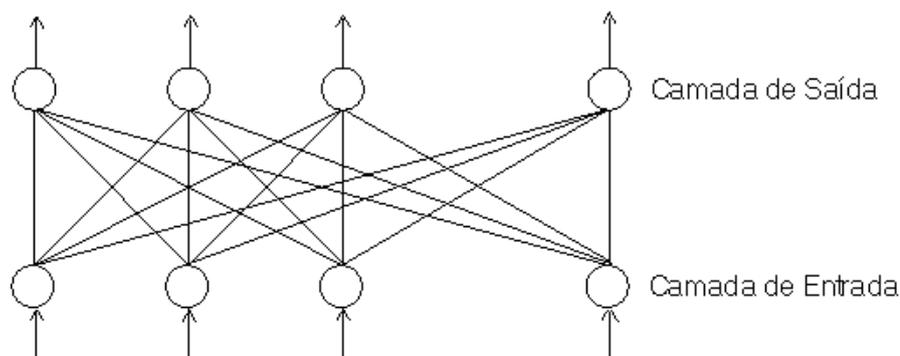


Figura 3 - Rede de Perceptrons proposta por Rosenblatt
Fonte: Tatibana e Kaetsu (2006)

Durante as décadas 1950 e 1960, uma classe das chamadas “máquinas que aprendem”, criadas por Rosenblatt, causou grande excitação no campo de reconhecimento de padrões.

Rosenblatt (1958), acrescentou um limiar (*thresholds*) aos neurônios e propôs uma metodologia pela qual a rede poderia passar por um processo de aprendizagem, ajustando de maneira sistemática os pesos de suas sinapses.

No caso em que se considera o limiar (*threshold*), se a entrada for menor que o limiar, o neurônio permanecerá em estado inibitório, caso contrário, ele será ativado e propagará o estímulo recebido.

“Esta rede poderia, então, “aprender” simples problemas de classificação, passando a ser chamada de *Perceptron*, descrita por Rosenblatt em seu livro *Principles of Neurodynamics*. Porém, ainda assim, esta modelagem era limitada” (RAIA Jr., 2000).

“A razão para o grande interesse nessas máquinas (*Perceptrons*) foi a comprovação matemática mostrando que, quando os *Perceptrons* fossem treinados com conjuntos de treinamento linearmente separáveis, convergiriam para uma solução em um número finito de passos iterativos. Esta solução tomaria a forma de hiperplanos capazes de separar corretamente as classes representadas pelos padrões de conjunto de treinamento” (GONZALEZ e WOODS, 2000).

Em 1960, surgiu a rede *ADALINE* e o *MADALINE Perceptron* (ver **Figura 4**), proposto por Widrow e Hoff. O *ADALINE/MADALINE* utilizou saídas analógicas em uma arquitetura de três camadas.

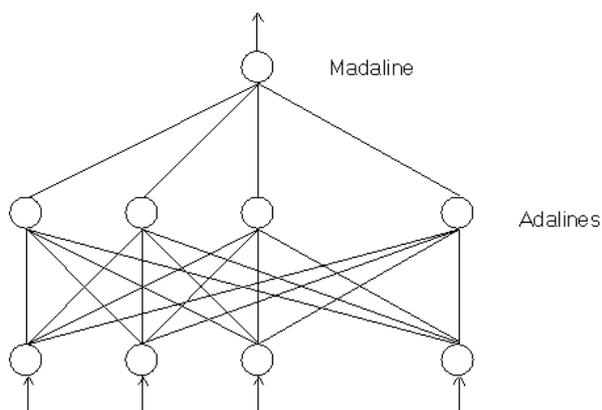


Figura 4 - Redes ADALINE e MADALINE
Fonte: Tatibana e Kaetsu (2006)

Em 1969, Minsky e Papert mostraram que a rede *Perceptron* não era capaz de resolver o problema do ou - exclusivo, ou seja, ela só poderia classificar padrões que eram linearmente separáveis.

A partir disso, houve um desaquecimento no estudo sobre Redes Neurais Artificiais, que só voltaram à tona nos anos 80, quando alguns problemas apresentados pelo *Perceptron* passaram a ser resolvidos com uso de novos modelos.

“Dentre os novos modelos, podem-se citar as redes de Hopfield, a máquina de Boltzmann e as redes com várias camadas” (RAIA Jr., 2000).

Muitos historiadores desconsideram a existência de pesquisas nessa área nos anos 1960 e 1970 e apontam uma retomada das pesquisas com a publicação dos trabalhos do físico e biólogo Hopfield (1982), relatando a utilização de redes simétricas para otimização, através de um algoritmo de aprendizagem, que estabilizava uma rede binária simétrica com realimentação.

Para alguns autores, a partir do desenvolvimento de novos algoritmos de treinamento para *Perceptrons* multicamadas (*feedforward*), a situação fica consideravelmente mudada. Esses autores descreveram o algoritmo de aprendizado chamado de “regra delta generalizada para aprendizado de retro-propagação”, ou *backpropagation*, conforme mostra a **Figura 5**.

Essa regra fornece um método de treinamento efetivo para máquinas de múltiplas camadas e demonstra que Minsky e Pappert foram excessivamente pessimistas com relação à rede *Perceptron* e que as redes com várias camadas poderiam ser capazes de solucionar problemas considerados de difícil aprendizado.

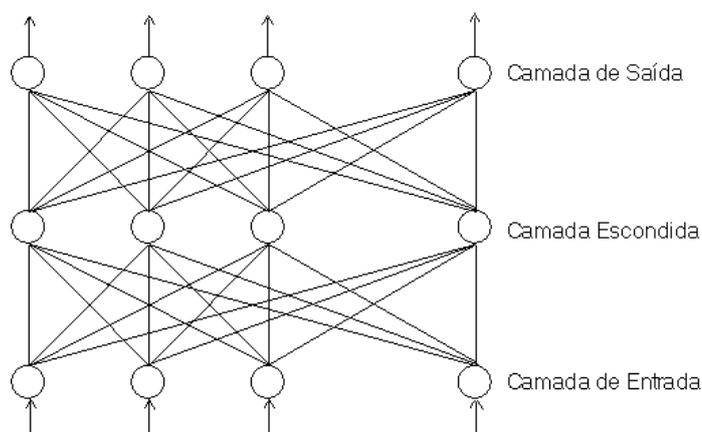


Figura 5 - Estrutura do método Backpropagation
Fonte: Tatibana e Kaetsu (2006).

Embora não se possa mostrar que esse algoritmo de treinamento convirja para uma solução no sentido da prova análoga para o *Perceptron* de uma camada, a regra delta generalizada tem sido usada com sucesso em vários problemas de interesse prático.

“Esse sucesso estabeleceu as máquinas do tipo *Perceptron* com múltiplas camadas como um dos principais modelos de Redes Neurais Artificiais atualmente em uso” (GONZALEZ e WOODS, 2000).

Para Bittencourt (1996) apud Furtado (1998), as RNAs são ferramentas com grande importância na resolução de problemas. Isso se deve as suas propriedades de ter capacidade de aprender a partir de exemplos e de generalizar esses aprendizados para reconhecer propriedades similares, que não foram usadas no processo de treinamento.

As RNAs também apresentam bom desempenho para encontrar soluções em situações onde o conhecimento não está explícito, porque não requerem os conhecimentos sobre os modelos matemáticos usados nos domínios das aplicações, e por serem pouco afetadas na presença de informações ausentes, falsas ou com ruídos.

“Apesar de desenvolvimentos, tais como novas regras de treinamento para máquinas multicamadas, de novos modelos de Redes Neurais Artificiais e de alguns resultados encorajadores de aplicações terem dado interesse renovado nessa área do reconhecimento de padrões, a pesquisa ainda está no início. Há que se considerar que os anos 1990 tenham sido produtivos em novos estudos sobre Redes Neurais Artificiais nos mais diversos campos de conhecimento” (RAIA Jr., 2000).

CAPÍTULO 2

REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

E A EXPERIÊNCIA INTERNACIONAL

Segundo Dougherty (1995), os estudos na área de transporte viram grandes possibilidades de avanços com o desenvolvimento de pesquisas com Redes Neurais Artificiais (RNAs), em meados de 1980, seguindo a década de 1990. “Isso pode ser visto como parte de um padrão geral do aumento do uso das técnicas de Inteligência Artificial em transporte” (KIRBY e PARKER, 1994).

Em seus estudos, Dougherty (1995) fez uma revisão crítica do uso de Redes Neurais Artificiais no setor de transportes. Analisou quais as classes principais de problemas dentro de transportes que podiam ser trabalhadas com o uso de RNAs. Pesquisou os tipos de redes que foram utilizadas nos diversos trabalhos realizados, os principais erros em pesquisas e como evitá-los, quais os obstáculos ao progresso do uso de Redes Neurais Artificiais e como superá-los e, quais as diferenças do uso das redes em relação ao uso dos outros métodos de análise.

Considerando a abrangência do trabalho de Dougherty, ele será tomado como referência para a revisão bibliográfica sobre o uso e aplicação de redes neurais no setor de transportes em nível internacional até 1995. Uma pesquisa na literatura será empreendida para atualizar a revisão sobre o assunto após 1995.

Na pesquisa intitulada “*A review of neural networks applied to transport*”, Dougherty (1995) relatou alguns grupos de aplicações de Redes Neurais em transportes, tais como: Comportamento de motoristas, Estimativa de parâmetros, Manutenção de pavimento, Classificação de detecção de veículo, Análise de padrão do tráfego, Política e economia de transporte, Transporte aéreo, Transporte marítimo, Veículos submarinos, Operações do metrô e Controle de Tráfego.

Neste trabalho, adotou-se uma divisão de grupos um pouco diferente daquela apresentada por Dougherty (1995). Procurou-se agregar os diversos trabalhos encontrados na literatura em grupos mais abrangentes, ou seja, em três grandes

áreas. São elas: i) **planejamento e operação de transportes**, que se subdividem em transporte terrestre, aéreo e aquaviário; ii) **planejamento e operação de trânsito** e iii) **transporte de cargas e logística**.

A seguir, algumas destas aplicações relatadas na revisão de Dougherty (1995) são apresentadas. O próprio autor deixa claro que a divisão de grupos por ele apresentada segue uma regra arbitrária, apenas foi uma tentativa de organizar os diversos trabalhos abordados.

2.1 Planejamento e operação de transportes

2.1.1 Transporte terrestre

Este sub-grupo possui grande parcela dos trabalhos encontrados em planejamento e operação de transportes. Trabalhos relacionados com a **estimação de parâmetros** são em quantidade razoável.

Relacionada a este sub-grupo está uma área de estudo que se enquadra em uma classe de problemas em que as quantidades mensuráveis, tais como fluxos de tráfego, são usadas para estimar parâmetros que, embora sejam muito utilizados pelos engenheiros de tráfego, não são facilmente medidos na via sem acarretar grandes gastos de pesquisas de campo.

“As matrizes origem-destino (OD) são dados tipicamente necessários aos engenheiros de tráfego. Neste contexto, as Redes Neurais Artificiais foram usadas, em uma pequena rede, ou mesmo em uma única interseção” (KIKUCHI *et al.*, 1993; YANG *et al.*, 1992; CHIN *et al.*, 1994).

Neste sentido é importante ressaltar que as matrizes usadas pelos engenheiros abrangem, muitas vezes, centenas ou milhares de pontos cobertos. Diante disso, dois grandes problemas podem ocorrer. *Primeiro*, o tempo de cálculo computacional da rede neural deverá aumentar com o quadrado do número de pontos. Em *segundo* lugar, o número de exemplos do treinamento necessário para habilitar a rede se tornará muito grande, e a coleta de dados reais, nesta escala, ficará impraticável.

O inverso da estimação da matriz OD envolve previsões de fluxos de trânsito com base em uma matriz OD conhecida, que é um clássico problema de atribuição

de tráfego. Um típico cenário é aquele em que o esquema de tráfego é sugerido e que envolve uma mudança importante na rede viária. Inicialmente, uma matriz OD é estimada e, então, o tráfego é atribuído para uma nova rede imaginária que reflete a rede existente com as mudanças propostas de forma superpostas. Neste sentido, Xiong e Schneider (1992) usaram de um algoritmo genético híbrido/rede neural para resolver o problema de atribuição de tráfego.

De fato, o componente principal deste sistema foi um algoritmo genético cumulativo, usado para se obter o mínimo de custo de viagem - uma rede neural foi utilizada como *função custo* a ser minimizada.

Dois benefícios principais deste processo foram relatados. Um deles é que o método é mais rápido que um modelo de equilíbrio convencional, embora o uso de algoritmo genético seja provavelmente o fator mais significativo a afetar a velocidade de operação.

Outro benefício são as estimativas do tempo de viagem, outra exigência importante dos engenheiros do tráfego. As Redes Neurais Artificiais são, provavelmente, muito mais eficazes para este tipo de problema. Isso se deve, ao contrário da avaliação das estimativas da O-D, aos bons resultados que podem ser conseguidos usando os dados coletados somente no link de interesse, como foi o caso de Hua e Faghri (1994).

Mesmo melhores resultados podem ser obtidos usando dados de links vizinhos, como no caso do trabalho de Nelson e Palacharla (1993). Esse estudo usou redes de *backpropagation* funcionando com uma tabela adaptativa do tipo “*look-up*”. Infelizmente, comenta Dougherty (1995), esses autores não comentaram se este método consegue generalizar, uma vez que a quantidade de dados usada foi muito pequena.

“Estimativas também foram feitas do total do carregamento dos links em um contexto urbano usando-se redes neurais” (DOUGHERTY *et al.*, 1993). Estas informações poderiam ser utilizadas, possivelmente, no uso dos sistemas de controle de tráfego em tempo real (adaptáveis).

Uma última citação feita por Dougherty (1995) refere-se ao caso onde o sistema foi capaz de estimar a capacidade máxima de um link, em termos de padrões de densidade e velocidade observadas.

Há alguns trabalhos relacionados com **aspectos econômicos** dos sistemas de transportes. Um problema econômico relativo ao tráfego é modelar o impacto do ruído do tráfego aéreo nos preços dos imóveis adjacentes a um terminal aeroportuário.

Neste sentido, Collins e Evans (1994) desenvolveram um trabalho que mostra um excelente exemplo de como as RNAs podem ser utilizadas nos estudos de transportes em áreas que previamente se pensava ser de pouca probabilidade de aplicação. Uma rede foi usada neste trabalho como uma ferramenta para análise multivariada. As entradas consistiram em um grande número de fatores que poderiam afetar o preço de venda de um imóvel: estado, tamanho, idade, etc. e, naturalmente, um fator de ruído que reflete o incômodo e o aborrecimento causado pelos aviões que pousam/decolam em um aeroporto.

A elasticidade da rede neural foi usada de uma forma similar à maneira usada por Dougherty e Joint (1992), para medir a importância de um parâmetro próprio: nesse caso, o fator de ruído. Um ponto particular de interesse sobre este trabalho, é que os seus resultados contrariaram àqueles obtidos em outra análise que usou a técnica de *Regressão Hedônica*.

Um estudo adicional que compara RNAs com as técnicas da regressão, também alcançou conclusões conflituosas no trabalho de DULIBA (1991). Neste trabalho, uma RNA foi treinada para prever níveis de desempenho na indústria do transporte. Ela se desempenhou melhor do que um modelo de regressão aleatória, porém foi pior do que um modelo de regressão fixa. Certamente, parece ser necessário que mais pesquisas sejam feitas nesta área para avaliar a utilidade de RNA em trabalhos deste gênero.

O trabalho de Hartani et al. (1994) discutiu a possibilidade de usar uma combinação de *lógica fuzzy* e de redes neurais artificiais para controlar a aceleração e a desaceleração de um trem de metrô. Os autores descrevem um complexo sistema de tomada de decisão híbrido que contém redes neurais similares ao processo de Aprendizagem por Quantização Vetorial (LVQ), usado também por Lo e Bavarian (1991).

2.1.2 Transporte Aéreo

O setor da aviação é altamente especializado e é fortemente dominado, geralmente, por grandes organizações de pesquisa. Vários dos trabalhos realizados nesta área são mantidos em sigilo por razões de segurança. Portanto, somente duas pesquisas puderam ser identificadas nesta revisão. Para ilustrar o que é feito neste setor, pode-se citar os trabalhos de Mann e Hayhim (1991) e o de Beastall (1989). Ambos referem-se à análise de sinais de radar.

2.1.3 Transporte Aquaviário

Dois trabalhos contrastantes foram mencionados por Dougherty (1995), o primeiro trabalho de Stamenkovich (1991), mostrou que redes neurais têm potencial para serem usadas na navegação de barcos autônomos em espaços confinados, como é o caso de canais. Um aspecto incomum deste trabalho é que as RNAs foram usadas como uma “supervisora” para direcionar um modelo de controle microscópico, melhor que o controle diretamente do barco.

O segundo estudo, de Lo e Bavarian (1991), refere-se ao uso de processo de Aprendizagem por Quantização Vetorial (LVQ) em um sistema de processamento de imagens que reconhece e classifica imagens do perfil dos navios. Ainda com relação a este trabalho, é provável que desperte pouco interesse na área civil, ele, todavia, aponta para possíveis futuras aplicações de RNA na indústria marítima.

Uma surpreendente quantidade de trabalhos foi desenvolvida e relacionada com veículos submarinos autônomos e muitos deles envolveram a técnica de RNAs, esses estudos são relatados por Demuth e Springsteen (1990), embora não citados diretamente por Dougherty (1995).

2.1.4 Planejamento e operação de trânsito

Grande parte das aplicações na área de trânsito se refere a aspectos relacionados com os **motoristas**. Os trabalhos neste grupo relacionado aos motoristas são divididos em *dois aspectos*: a modelagem de decisões estratégicas e instintivas.

No *primeiro aspecto*, modelagem de decisões estratégicas, pode-se citar as análises feitas por Yang *et al.* (1992) e Dougherty e Joint (1992), que descrevem o uso de Redes Neurais Artificiais para analisar dados coletados de simuladores interativos de escolha de rotas. Motoristas voluntários que participaram destas pesquisas escolheram rotas baseadas em valores dentro de uma grande variedade de critérios.

Uma RNA foi treinada usando estes dados para realizar decisões similares, e boas taxas da réplica no que diz respeito às decisões reais foram observadas em ambas as pesquisas.

A Rede Neural Artificial usada mostrou ser um método mais rápido e mais exato de análise do que as técnicas alternativas, tais como o modelo Logit.

Talvez, o que se coloca como particularmente interessante, é o contraste entre estes dois trabalhos, Yang *et al.* (1992) e Dougherty e Joint (1992), a respeito do método usado para estabelecer a importância de um critério particular.

Yang *et al.* (1992) analisaram a variação da taxa de réplica após ter mudado a informação dada aos motoristas. Concluem, a partir da análise, que mudanças na taxa de réplica são indicativas de quão importante é um determinado fator: se não forem dadas informações suficientes aos motoristas, suas decisões tornam-se menos racionais.

Dougherty e Joint (1992), por sua vez, fizeram uma análise completamente diferente, executando testes da elasticidade nas redes treinadas, a fim de ter uma dimensão da importância relativa de cada critério.

O *segundo aspecto*, decisões instintivas, está tipificado por trabalhos que procuraram construir modelos que, em tempo real, fossem capazes de “pilotar” um carro em um ambiente rodoviário.

Lyons e Hunt (1993) descrevem uma experiência preliminar, usando os dados coletados em um modelo computacional de simulação interativa e que procurava modelar manobras. O trabalho foi posteriormente ampliado e o problema foi reparametrizado para permitir o uso de dados reais.

“Um problema clássico de modelagem foi equacionado com o uso de RNAs, isto é, a questão do *gap* (intervalo) aceito pelos motoristas no sistema de trânsito”

(PANT e BALAKRISHMAN, 1994). Uma rede neural auto-organizável foi construída, com resultados satisfatórios e que pode auxiliar a gestão e operação de trânsito, particularmente quando se considera caminhões de grande porte, como é o caso de caminhões articulados. Esse é um problema de interesse particular, pois muitas vezes os motoristas não podem resolver por si mesmos. Nesse sentido, a RNA auto-organizável foi absolutamente essencial.

Redes neurais também foram usadas por Kornhauser (1991) no controle de posição lateral de veículos na pista utilizando objetos que auxiliavam a visão dos motoristas, tais como faixas brancas.

Neusser *et al.* (1991) relataram outra experiência. Equiparam um veículo real com detectores de distância e usaram as RNA para processarem esses dados, embora esse sistema fosse somente treinado para tratar ambientes simples.

“Maior flexibilidade foi obtida em projetos NavLab (Navigation Laboratory) relatados por Crisman e Webb (1991). Neste tipo de trabalho, puderam observar claramente as duas facetas da tomada de decisão, a instintiva e a estratégica, que unificadas produziram um veículo verdadeiramente autônomo e totalmente capaz de interagir com um ambiente normal de estrada” (POMERLEAU *et al.*, 1991).

Estudos relacionados com a área de **conservação de pavimentos** viários também aparecem em número significativo. Um sistema que fornece melhores opções para a manutenção de pavimentos rodoviários pode ser dividido em dois subsistemas: um elemento diagnóstico e um elemento prognóstico. Ambos têm cuidado especial da comunidade que trabalha com redes neurais.

O *elemento diagnóstico* foi devidamente abordado como um problema de processamento de imagem, como é o caso dos trabalhos de Kaseko e Ritchie (1992 e 1993). Nestes trabalhos, as RNAs são usadas para processar imagens de superfícies rodoviárias e imagens categorizadas, a partir de diferentes tipos de defeitos.

Nota-se que quantidades consideráveis de processamento de imagem seriam necessárias antes que o estágio de processamento da rede fosse atingido, enfatizando o ponto no qual as RNAs não fornecem, geralmente, uma completa solução para o problema.

Outro aspecto relacionado ao diagnóstico de pavimentos é aquele relativo ao reconhecimento automático de marcações viárias que foram danificadas ou obscurecidas (HUA e FAGHRI, 1993b). Aqui, uma rede do tipo Hopfield foi utilizada como uma memória associativa para mapear imagens incompletas em gabaritos. Outra vez verificou-se a idéia de RNAs serem usadas como subsistemas. O que faz do trabalho de Hua e Faghri não ser comum, é que duas diferentes arquiteturas de redes neurais são usadas para as diferentes sub-tarefas de associação e reconhecimento de imagens.

A idéia de exploração de sistemas de prognósticos para a manutenção de pavimentos sofre de um problema particularmente difícil, associado à transferibilidade. Isto se deve porque a ação exigida para o tratamento de uma superfície rodoviária não é apenas dependente dessa condição, mas de muitos outros fatores, tais como o nível e o tipo de tráfego que se pretende conduzir e, mais significativamente, de quanto recurso se tem.

Coletar dados suficientes para cobrir todas essas eventualidades é extremamente difícil. Um trabalho (PANT *et al.*, 1993) foi desenvolvido para tentar evitar esses problemas conjuntamente, pela consideração de dados de pequenas áreas geográficas e com tratamento sugerido por um grupo de especialistas. O procedimento propiciou bons resultados dentro deste campo de domínio limitado, mas a rede não poderia ser aplicada sem retreinamento. Isto deveria envolver, segundo Dougherty (1995), uma coleta maior de dados.

Uma abordagem alternativa seria reunir exemplos dentro de várias faixas de prioridade, com nenhuma sugestão exata de qual tratamento particular deveria ser adotado, como no trabalho de Hajek e Hurdal (1993). Esse procedimento seria mais genérico, mas o estágio de processamento, elaborado sob medida para situações locais, deveria ocorrer. A idéia de associar várias redes neurais surge, considerando este aspecto, em Rewinski (1992), mas o trabalho não descreve suas fontes de dados nem disponibiliza resultados estatisticamente significantes, fazendo com que ele seja considerado de caráter ainda inicial.

Outra área de aplicação de redes neurais está relacionada com a **detecção e classificação de veículos** em trechos de vias e seguidores dessa idéia propuseram uma rodovia equipada com sensores. Muito trabalho foi empreendido

para extrair a máxima quantidade de informação dos sinais gerados pelos equipamentos.

Uma aplicação tipicamente derivada dessa visão é a classificação dos veículos de passagem em um trecho da via a partir de: i) distância entre eixos, ii) número de eixos, iii) peso, etc. Redes neurais com funções básicas foram aplicadas a estes problemas com algum sucesso, como é o caso de Mead *et al.* (1994). Embora os resultados numéricos desse trabalho não fossem significativos, outro trabalho semelhante foi feito por uma empresa. Ela usou uma abordagem algorítmica e obteve resultado inferior. Percebe-se claramente que um teste mais rigoroso, talvez usando dispositivos fornecidos por outros fabricantes, fosse necessário para se chegar a resultados mais expressivos, comenta Dougherty (1995).

Uma idéia mais ambiciosa seria dispensar a tecnologia tradicional da detecção de veículo e utilizar câmeras de vídeo acopladas a técnicas de processamento de capacidade elevada de imagens de alto desempenho. Duas pesquisas distintas, mas que se complementam, usando as técnicas de Redes Neurais Artificiais foram encontrados nesta área. A *primeira pesquisa*, relatada em duas publicações (BULLOCK *et al.*, 1992 e 1993) refere-se à detecção dos veículos que passam por uma câmara de vídeo disposta em uma seção de via. Verificou-se que embora o seu desempenho tenha sido similar às técnicas de processamento convencionais de imagem sob condições ideais, as RNAs foram mais flexíveis no que diz respeito às mudanças de fatores externos tais como o sombreamento e a posição da câmera.

A *segunda pesquisa* mostrou como, uma vez detectados, os veículos podem ser classificados em um dos diversos tipos, usando RNAs (BELGAROUÏ e BLOSSVILLE, 1993).

A idéia é de um sistema contendo diversas RNAs, cada uma executando uma sub-tarefa, que avança no sentido da função do cérebro. Redes neurais também foram usadas para o problema de leitura automática da chapa do veículo, no trabalho de Margarita (1990); mais uma vez esse trabalho poderia facilmente ser combinado com um sistema de detecção.

Abordando **análises de padrões de tráfego**, pode-se encontrar vários trabalhos usando redes neurais.

As redes de tráfego equipadas com dispositivos e outros sensores equivalentes são fontes ricas de dados quando se referem a parâmetros, tais como a velocidade e o volume de veículos de passagem. Estas séries de dados, se forem coletadas em diversos e distintos pontos geográficos, são extremamente complicadas de analisar por causa das relações de espaço e tempo que conduzem o comportamento do sistema de tráfego. Diversos trabalhos que empregaram, de alguma forma, Redes Neurais Artificiais para descobrir padrões de tráfego usando os dados citados anteriormente, foram, também citados neste grupo, por Dougherty (1995).

As RNAs se mostraram como importantes para ajudar a análise de congestionamentos, segundo Kirby *et al.* (1993). Para isso, foi treinada uma rede neural para classificar uma rede de tráfego urbano, em duas situações: congestionada e não-congestionada. A limitação principal desse trabalho foi a dificuldade da transferibilidade, uma vez que a rede foi treinada usando uma série de dados altamente específicos e definida por um especialista local. O trabalho, entretanto, dá uma demonstração interessante do uso de Redes Neurais Artificiais para associar várias medidas de congestionamento e possibilitar um nível melhor de diagnóstico.

Abordagens semelhantes e posteriores foram apresentadas por Hua e Faghri (1993a,b), porém o número de categorias de congestionamento é maior. Esse trabalho utilizou a teoria da ressonância adaptável (*ART-Adaptive Resonance Theory*) e, portanto, demonstra que o paradigma alternativo ao *backpropagation* é certamente considerado mais significativo. A ART é uma arquitetura de rede neural desenvolvida por Stephen Grossberg e Gail Carpenter e trabalha com aprendizagem não supervisionada.

Faghri e Hua (1992b) ainda usaram a Teoria de Ressonância Adaptável (ART) para explorar a possibilidade de usar RNA na análise da variação sazonal de fluxos de tráfego. Isto é de grande importância para os engenheiros de tráfego fazerem pesquisas, considerando que os resultados possam ser reduzidos a uma linha de base comum.

Infelizmente, há variabilidade das características entre as seções rodoviárias examinadas e o maior problema é, portanto, para classificar uma seção em um dos diversos tipos, antes que uma correção seja aplicada. Naturalmente, isto deve ser feito usando apenas uma pequena quantidade de dados no domínio temporal. Se

dados contínuos ao longo dos anos foram disponibilizados, conclui-se que um fator de correção pôde ser facilmente determinado e uma rede neural foi usada com sucesso para realizar esta tarefa.

Finalmente, chegou-se à tarefa de identificar um congestionamento não recorrente causado, por exemplo, por um acidente na via. Um trabalho exitoso foi desenvolvido por Ritchie *et al.* (1992), que usaram redes neurais na detecção de incidentes em uma via expressa. Ritchie e Cheu (1993) realizaram simulação de detecção de incidentes em uma via expressa, também usando RNAs.

Também são encontrados estudos relacionados com a área de **controle de tráfego**.

Dougherty (1995) cita que, até aquela época, um único trabalho relacionando o uso de RNAs nas operações de controle de tráfego havia sido identificado, e que consta em sua revisão,. Neste trabalho, Nahatsuji e Terutoshi (1991) treinaram uma rede neural para sugerir a divisão ótima de verdes uma interseção semaforica isolada. Posteriormente, a aplicação foi estendida para um grupo de três interseções. Ainda que o trabalho seja indubitavelmente interessante, os autores não explicitaram a forma como prepararam o conjunto de dados para treinamento e teste na rede neural.

Dougherty (1995), concluiu que muitos dos problemas que estas áreas precisam resolver são considerados não-lineares, que os dados são numerosos e complexos e que as Redes Neurais Artificiais se apresentam como uma útil e promissora ferramenta na análise dos mesmos.

Enquanto muitos dos principais problemas de planejamento do transporte têm sido endereçados ao uso de RNA, existem muitas áreas de aplicação possíveis que devem ser exploradas ainda. Isso se aplica particularmente em áreas, tais como economia do transporte e política de transporte, onde talvez as RNAs foram menos trabalhadas (DOUGHERTY 1997).

Após os estudos relatados por Dougherty em 1995, muitos outros foram sendo largamente aplicados nos países desenvolvidos ao longo dos anos. A seguir é feita uma rápida revisão acerca destas pesquisas.

2.1.5 Transporte de cargas e logística

O principal problema das operações de cargas para o qual deve-se ter particular atenção com as redes neurais está associado com a otimização de redes e programação. O principal problema que todos os pesquisadores experimentaram, afirma Dougherty (1995), parece ser a parametrização do problema. Isso ocorre devido ao fato do problema ser altamente não-linear. Uma possível solução para a situação é usar redes neurais auto-organizadas, como foram os casos de Matsuyama (1991) e Jwell *et al.* (1991). Diferentes esquemas de organização foram usados, dependendo da classe.

Outra abordagem utilizada é para explorar diferentes esquemas de codificação, com a expectativa de que cada um pode ser construído, que extrai aspectos importantes, como no trabalho de Potuin e Shen (1991). Ainda outra abordagem realizada por Ohba *et al.* (1989), foi o uso de Máquinas de Boltzman, que ao contrário de outros paradigmas, é um tipo de rede especificamente projetada para a otimização de problemas. Infelizmente os resultados foram um pouco desapontadores e constata-se que as técnicas envolvendo complexo sistema de pré-processamento mostraram ser mais promissoras.

A área relacionada com a **previsão de tráfego** registrou, também, vários trabalhos que usaram redes neurais.

A previsão de tráfego se desdobra em duas categorias distintas. Previsão estratégica é uma tentativa para prever o fluxo de tráfego meses ou anos no futuro e, usualmente, influencia decisões importantes no planejamento viário. Em contraste, previsão de curto prazo, muitas vezes, é uma previsão em um horizonte somente de poucos minutos, e pode ser concebível para alimentar diretamente sistemas de controle de tráfego.

Redes neurais têm sido usadas nas duas categorias de previsão: na estratégica encontra-se o trabalho de Chin *et al.* (1994) e na de curto prazo, os trabalhos de Dougherty *et al.* (1994), Dougherty e Cobbett (1994) e Clark *et al.* (1993). Resultados promissores foram obtidos nestes trabalhos.

Nos anos seguintes, trabalhos nestas áreas continuaram a ser realizados por vários outros autores abrangendo o uso da técnica de Redes Neurais Artificiais.

No setor de **Planejamento e operação de transportes**, Attoh-Okine (1999) desenvolveu sua pesquisa em **conservação de pavimentos**.

Segundo Attoh-Okine (1999), a modelagem do desempenho de pavimento é um componente crítico de todo o processo de tomada de decisão do sistema de gestão de pavimentos em transportes. Desta forma, o autor analisou a taxa de aprendizado e o *momentum* de uma RNA, onde foram inseridos dados de tráfego de uma determinada área, para treinamento, com o objetivo de prever o desempenho do pavimento.

Chegou a resultados pouco robustos para os dados e a arquitetura utilizados.

Análises de padrões de tráfego foi outra área de aplicação que teve pesquisas desenvolvidas.

La Franca *et al.* (2004), com objetivo de melhorar a eficiência do sistema de transporte público, empregaram soluções inovadoras para a automatização de sistemas de controle remoto da frota de ônibus rodoviários.

Na pesquisa foram processados dados sobre a posição veicular da frota de uma empresa de transporte público de Palermo, Sicília. Os estudiosos usaram Redes Neurais Artificiais a fim de calibrar uma função multidimensional entre variáveis independentes e o valor da velocidade comercial em um dia de trabalho médio, com condições diferentes de tráfego, em diferentes partes da rede de transportes. O modelo calibrado foi testado nas várias partes da rede de transportes públicos e produziu bons resultados na comparação entre dados estimados e observados.

Zhu, Chen, Geng e Liu (2007), com base nas características da estrutura modal em locais comerciais, analisaram os fatores que influenciam a separação de transporte público, e tendo como base as Redes Neurais Artificiais construíram um modelo de predição da proporção de viagens no transporte público utilizando dados locais de Beijing.

Em **Planejamento e operação de trânsito**, especificamente no que tange ao **controle de tráfego**, Kirby *et al.* (1997) comparam, em sua pesquisa, as técnicas de RNA e modelos de previsão de tráfego de um estudo comparativo de desempenho para o tráfego de uma estrada na França.

Os autores concluíram que seus resultados foram semelhantes aos encontrados em trabalhos anteriores, mas destacam que as RNAs, neste caso, não têm um resultado tão bom quanto o modelo de previsão tradicional e que os dados utilizados para treinamento eram muito reduzidos para que a rede tivesse um bom desempenho.

Para Delen, Sharda e Bessonov (2005), compreender as circunstâncias nas quais motoristas e passageiros correm mais riscos de morte ou de ferimentos graves em um acidente de automóvel pode ajudar a melhorar as condições de segurança do tráfego. Desta forma, utilizaram uma série de Redes Neurais Artificiais e modelaram as potenciais relações não-lineares de graves acidentes e os fatores que geram esses de acidentes.

Os resultados mostram a importância da mudança do fator acidente para a mudança dos níveis de severidade de ferimentos.

Na área de **previsão de tráfego**, Chen *et al.* (2001) apresentaram em sua pesquisa, a aplicação de uma Rede Neural híbrida e a avaliação dos efeitos de erros na previsão do fluxo de tráfego.

Duas aproximações híbridas foram desenvolvidas usando um SOM (*Self-Organising Map*) inicialmente classificando o tráfego em estados diferentes. A primeira aproximação híbrida inclui quatro ARIMAs (*Auto-Regressive Integrated Moving Average*), enquanto a segunda, usou dois modelos MLP (*Multi-Layer Perception*).

A partir da pesquisa, foi possível constatar que a aproximação híbrida SOM/ARIMA ultrapassava todos os modelos individuais de ARIMA, enquanto a SOM/MLP conseguiu superar todos os desempenhos de previsão dos modelos usados neste estudo.

No estudo de Dharia e Adeli (2003), um modelo de RNA foi apresentado para prever o tempo de percurso da ligação de auto-estrada usando uma rede CPN (*counter propagation neural*). O desempenho do modelo foi comparado com um modelo de previsão anterior que utilizou o algoritmo da rede neural BP (*backpropagation*).

Como resultado, Dharia e Adeli verificaram que o novo modelo construído, baseado na rede de CPN, e os coeficientes de aprendizagem propostos anteriormente, são quase duas vezes mais rápidos que a rede BP.

A maior parte dos trabalhos foi desenvolvida no setor de **Transporte de cargas e logística**, assim, o estudo de Reggiani, Nijkamp e Tsang (1997) faz análise dos movimentos inter-regionais de transporte de cargas na Europa, com o objetivo de prever padrões espaço-temporais econômicos deste transporte.

Em virtude do tamanho da base de dados utilizada nesta pesquisa foram adotados dois modelos de comparação, modelo *logit* e o modelo de Redes Neurais Artificiais. Obtiveram como resultados que ambos os modelos adotados, embora metodologicamente diferentes, forneceram um traço razoável de fluxos inter-regionais do transporte em questão.

Bilegan, Crainic e Gendreau (1998), apresentaram uma metodologia de previsão de demanda intermodal para terminais portuários baseada em Redes Neurais Artificiais. A pesquisa incorporou dados de um importante porto canadense, como uma ilustração da aplicabilidade da metodologia desenvolvida.

Foram avaliados parâmetros de aprendizagem diferentes, e os melhores resultados foram obtidos usando a propagação elástica do algoritmo de aprendizagem que exhibe um erro de treinamento muito perto de zero e um desempenho generalizado muito bom. Assim, a metodologia pode ser adaptada a processos que dinamicamente se ajustem à oferta de serviço.

Klodzinski e Al-Deek (2002) construíram um modelo de Redes Neurais Artificiais usando técnicas de *backpropagation* para simular o transporte de carga por caminhos pesados.

A metodologia geral para desenvolver este modelo foi aplicada ao porto de Tampa e ao porto Canaveral, Florida, para testar a transmissibilidade da RNA que modela a técnica.

Com os dados diários da embarcação de cargas, os modelos para ambos os portos foram desenvolvidos com sucesso e validados no nível de confiança de 95%.

Após a aplicação do desse modelo, os pesquisadores concluíram que eles podem ser utilizados diretamente como contribuições para operar modelos de tarefas usados pelas agências de governo regionais.

O objetivo do estudo realizado por Xie, Lor

d e Zhang (2006) foi avaliar a aplicação de modelos de BNN (*Bayesian Neural Network*) para a predição de ruídos elétricos de veículo motorizado.

Para isso, uma série de modelos foi estimada usando os dados coletados em vias rurais no Texas. Três tipos de modelos foram comparados: BPNN (*backpropagation neural network*), BNN e modelos de regressão NB (*negative binominal*).

As análises mostraram que, em geral, ambos os tipos de modelos de RNA tiveram melhores resultados que o modelo de regressão NB na predição dos dados, porém o modelo baseado na rede BNN, na maioria dos casos, obteve o melhor desempenho.

Assim, os autores consideraram que o modelo de BNN pode ser usado para outras análises úteis na segurança de vias e para a tomada de decisões alternativas de segurança.

CAPÍTULO 3

REDES NEURAIAS ARTIFICIAIS NO SETOR DE TRANSPORTES NO BRASIL

Desde os anos de 1980, a técnica de Redes Neurais Artificiais vem sendo utilizada nos países desenvolvidos. Já no Brasil, isto aconteceu a partir da segunda metade da década de 1990 e, desde então, diversos trabalhos vêm sendo desenvolvidos com a aplicação das Redes Neurais Artificiais, particularmente com aplicações no Setor de Transportes.

Da mesma forma como foi descrita no capítulo anterior, também será adotada para este capítulo a revisão da literatura sobre a aplicação de Redes Neurais no Setor de Transportes no Brasil aquela realizada por Raia Jr. (2000) para o período até 2000.

Acredita-se que este autor tenha feito uma revisão bastante detalhada e abrangente sobre o assunto até então, tal como ocorrera com Dougherty (1995), para aplicações internacionais. Uma atualização da revisão foi aqui empreendida para o período posterior a 2000, evidentemente, não abordada por Raia Jr. (2000).

Mantendo-se a mesma estrutura de agregação adotada no capítulo 2, procura-se facilitar a análise a ser realizada no próximo capítulo, para se atingir os objetivos previstos no trabalho, ou seja, a revisão do uso de RNAs no Setor de Transporte no Brasil e compará-la com a revisão de trabalhos desenvolvidos no exterior.

Segundo Raia Jr. e Silva (2001a), no Brasil, a técnica tem sido utilizada na solução de uma grande quantidade de problemas encontrados nas mais diversas áreas de aplicação, dentre elas na engenharia de tráfego, no planejamento de transportes e na gerência e manutenção de pavimentos.

A seguir, serão apresentadas algumas dessas aplicações relatadas na revisão feita nesta pesquisa .

3.1 Planejamento e operação de transportes

3.1.1 Transporte Terrestre

No contexto de **Economia e política de transportes** é que se encontra a maioria dos trabalhos realizados, Furtado *et al.* (1997) e Furtado (1998) apresentaram uma metodologia que usa RNAs para a avaliação e ordenamento de alternativas de projetos de transportes. O software usado foi o Neural Planner¹ 4.20.

Ainda no campo do planejamento de transportes, Carvalho (1999) utilizou RNAs para fazer a previsão de demanda de transportes, como alternativa ao uso do modelo Logit. Ela constatou a viabilidade do uso de Redes Neurais para este fim, pela sua capacidade de capturar, por detrás dos dados, a não linearidade, produzindo, assim, probabilidades de escolhas melhores do que aquelas obtidas pelo método convencional. O software neuronal usado foi o NeuralWorks².

Brondino (1999) e Brondino e Silva (1999) utilizaram Redes Neurais Artificiais e métodos de regressão para fins de avaliação e estudo da influência de uma medida de acessibilidade no valor de terrenos urbanos, considerando dados das cidades paulistas de Araçariguama e São Carlos. Uma comparação entre os erros obtidos pelas duas abordagens indicou erros relativamente menores apresentados pelas RNAs na estimativa de valores de terrenos, a partir de diversas variáveis.

Os modelos desenvolvidos por Raia Jr. (2000), Raia Jr. e Silva (2001a,b), Silva, Raia Jr. e Bocanegra (2002), visando o planejamento estratégico, consistem em um processo de modelagem destinado a estimar potenciais de viagens. Tais modelos integram aspectos de acessibilidade e de mobilidade. A eles foram incorporados dados espaciais a uma pesquisa origem destino (O-D), do tipo domiciliar, com a utilização de Sistemas de Informações Geográficas e RNAs, para a construção dos modelos preliminares. Foram considerados 4 modos de viagens: a) automóvel/moto como motorista, b) automóvel/moto como passageiro, c) ônibus e d) bicicleta/caminhada (modos não motorizados). O enfoque também considerou, como variáveis de saída do modelo, o número de viagens realizadas e o total de

¹ Neural Planner é um sistema de rede neural para o Microsoft Windows. <http://www.easynn.com/nplan.htm>.

² NeuralWorks. Neuralware. <http://www.neuralware.com/index.jsp>.

quilômetros viajados por família. A contribuição esperada foi a colaboração na construção de um índice de potencial de viagens para o planejamento urbano e de transportes, em nível estratégico. O software usado foi o *EasyNN*³.

Raia Jr. e Silva (2001a), motivados pela crescente utilização de redes neurais artificiais na engenharia de transportes, apresentaram um estudo que tinha como propósito mostrar o estado da arte do uso desta tecnologia até aquela época.

Bocanegra (2002), a partir dos estudos de Raia Jr. (2000), explorou procedimentos alternativos para tornar mais efetiva a aplicação dos modelos desenvolvidos através da RNA em planejamento de transportes. Após análises realizadas sobre os modelos originais, o estudioso constatou que não poderia desenvolver o melhoramento somente pela variação dos parâmetros internos como número de camadas intermediárias, *momentum* e *taxa de aprendizado*.

Bocanegra (2002) trabalhou com os dados originais da pesquisa O-D, excluiu dados duvidosos encontrados e, em seguida, criou novamente três conjuntos de dados, aleatoriamente selecionados para treinar as RNAs.

Como alcançou melhor desempenho nos seus modelos, comparados aos modelos de Raia Jr. (2000), o autor explica que isso provavelmente ocorreu pela exclusão de dados pouco confiáveis da base de dados original. Um ponto importante é que todas as alternativas se mostraram flexíveis e de fácil adaptação para outras aplicações na área de transportes. Além da capacidade de realizar estimativas, o uso das ferramentas desenvolvidas permite observar de forma clara, por exemplo, o comportamento dos valores de saída como consequência de variações nos dados de entrada, ou seja, análises de sensibilidade.

Ainda na área de planejamento de transportes, relatos encontrados na literatura mostram que para a resolução de muitos problemas é possível fazer uso da técnica de Redes Neurais Artificiais, tais como as fases do modelo de quatro etapas: geração de viagens, distribuição, escolha modal e alocação de viagens (PEREIRA *et al.*, 2002).

Afirmam Akamine, Silva e Lima (2005) que a utilização de modelos Neurais de interação espacial tem se mostrado bastante promissora para uso prático, principalmente em serviços municipais. Nesse contexto, pode-se perceber que as

³ Easy NN. Neural Planner Software Ltd. <http://www.easynn.com/>.

Redes Neurais Artificiais têm se destacado como uma ferramenta de suporte para solução de problemas complexos no Planejamento de Transportes.

Sinay e Alves (2005) e Alves Paes (2005) criaram, fazendo a junção da lógica *fuzzy* com as Redes Neurais Artificiais, um procedimento que permite avaliar a sustentabilidade ambiental das atividades associadas à operação dos transportes públicos em centros urbanos. Denominaram esse procedimento de Índice de Sustentabilidade Ambiental do serviço de transporte público urbano (por ônibus), que é de utilidade tanto para a própria operadora do serviço quanto para o poder público encarregado da fiscalização do trabalho.

Com relação às **análises de padrões de tráfego**, Pedroso, Yamashita, Gonzáles-Taco e Sant'Anna (2005) também destacam que a utilização de Redes Neurais Artificiais, a partir do reconhecimento de padrões, vem se tornando cada vez mais comum pela comunidade científica nos estudos em transportes. O software utilizado no estudo foi o TLearn⁴.

Manzato e Silva (2006) propuseram uma metodologia para a identificação e delimitação de regiões metropolitanas, baseada na combinação de indicadores de oferta de infra-estrutura viária e aspectos populacionais. Fizeram uso dos recursos de duas técnicas de análise espacial: a estatística espacial e a modelagem espacial. O modelo desenvolvido utilizou a ferramenta de Redes Neurais Artificiais para a modelagem do comportamento dos municípios. A rede utilizada foi do tipo *Multilayer Perceptron* com algoritmo de *backpropagation*. Os analistas concluíram que, em relação ao modelo de previsão gerado, é possível verificar que, durante o período considerado, o estado de São Paulo não sofreu sensíveis alterações em termos de distribuição populacional.

Já, em Manzato e Silva (2007), a metodologia proposta pôde apresentar resultados mais consistentes que a anterior (MANZATO e SILVA, 2006), uma vez que procurou-se contornar as deficiências dos modelos originais por meio de ferramentas e conceitos mais robustos. A proposta foi apresentada por meio de diversos modelos espaciais que procuram avaliar, de forma conjunta, a inter-relação entre uso e ocupação do solo e a oferta de transportes.

⁴ TLearn software. <http://crl.ucsd.edu/innate/tlearn.html>.

Zampieri, Diógenes e Rigatti (2007) desenvolveram um modelo para estimar o fluxo de pedestres, utilizando como estrutura de processamento as RNAs. O modelo teve embasamento em duas teorias existentes para avaliar este fluxo, a sintaxe espacial e o nível de serviço dos passeios.

O *software* utilizado por esses autores foi o *BrainMaker Professional*⁵ que, segundo eles, apresenta maneiras de comprovar a eficácia do modelo, tais como o Erro Relativo Absoluto Médio (ERAM) e o Coeficiente de Determinação (R^2). O modelo final apresentou grande potencial, resultando em dados concisos e precisos que podem ajudar no processo de decisão e adoção de medidas de planejamento urbano e de transportes.

Uma metodologia desenvolvida por Costa e Matheus (2005), baseada em RNAs, utilizou dados históricos, capazes de analisar os padrões e apontar as tendências futuras, de modo a tornar possível a previsão da situação do serviço de transporte coletivo em um futuro próximo. Os resultados obtidos permitem concluir que a metodologia empregada necessita de aprimoramentos e ajustes na rede a ser utilizada de modo que os resultados sejam mais precisos.

Na área de **previsão de tráfego**, Antunes, Yamashita, Dantas e Lamar (1999) propuseram a associação de Redes Neurais Artificiais e Sistemas de Informação Geográfica para modelar a preferência de usuários do sistema de transporte coletivo urbano por ônibus. O modelo demonstrou grande potencial para uma aplicação real, por meio das simulações propostas. Os autores concluíram que os resultados indicaram também a limitação dos modelos, em geral, desenvolvidos em transportes e baseados em técnicas estatísticas tradicionais que não permitem a incorporação de informações espaciais.

A aplicação das Redes Neurais Artificiais foi analisada também por Jacinto, Moreira e Pessanha (2004), na previsão de demanda de passageiros e a otimização do número de ônibus para a operação do transporte coletivo. Os analistas observaram que as Redes Neurais apresentaram erros reduzidos e comprovaram, dessa forma, sua utilidade em problemas reais.

Uma avaliação do desempenho de uma Rede Neural Artificial foi feita por Sanches e Ferreira (2007), comparando sua capacidade de previsão com a de um

⁵ BrainMaker Neural Network Software. California Scientific. <http://www.calsci.com/BrainMakerPro.html>.

modelo *logit multinomial*, em função da opção modal entre o automóvel e o modo a pé. Neste estudo, os dois tipos de modelos foram calibrados com o mesmo conjunto de dados desagregados, obtidos a partir de diários de viagem em uma cidade brasileira de porte médio. Com a análise dos resultados ficou evidente que a rede, através da utilização de dois algoritmos, *backpropagation* e *radial basis function*, obteve um melhor desempenho e pode ser uma ferramenta viável para análise da opção modal entre o automóvel e o modo a pé.

Para Sanches e Ferreira (2007), as Redes Neurais Artificiais se constituem em uma abordagem alternativa que vem sendo proposta por diversos pesquisadores com resultados animadores.

Analisando os **aspectos relacionados como os motoristas**, Gonzales-Taco, Kawamoto e Barreto (2003) criaram um modelo, através de uma rede *Multilayer Perceptron*, com objetivo de reconhecer padrões de comportamento de indivíduos na realização de cadeias de viagens feitas a pé. Eles identificaram também a potencialidade do uso de Redes Neurais Artificiais no problema de modelagem da demanda por transportes urbanos, levando em consideração as dinâmicas do comportamento individual, influências domiciliares e restrições espaço-temporais.

A respeito da rede *Multilayer Perceptron* utilizada para a modelagem dos padrões de viagens encadeadas a pé em transportes, os pesquisadores demonstraram que existe a necessidade de testar a formulação apresentada com outras arquiteturas de Redes Neurais Artificiais capazes de capturar melhor as dependências espaço-temporais do problema em questão.

Na área de **estimação de parâmetros**, Lima (2003) estabeleceu bases de uma metodologia de apoio à decisão espacial para racionalizar a distribuição e a utilização de equipamentos coletivos públicos, em particular os dos serviços de educação e saúde, tendo como enfoque a ótica dos transportes. O autor teve como objetivo reduzir custos de deslocamento, agregando dados e construindo modelos simplificados. Lima utilizou o *software EasyNN Plus* para demonstrar as possibilidades de aplicação da metodologia.

Akamine, Silva e Lima (2005) analisaram a aplicação da técnica de otimização de Algoritmos Genéticos (AGs) na seleção de Redes Neurais Artificiais e concluíram, quando comparavam os resultados do modelo gravitacional e dos modelos Neurais,

que estes foram superiores àqueles, no que diz respeito à estimativa de fluxos após a utilização dos AGs. Para tornar o seu uso efetivamente viável em aplicações práticas, os autores enfatizam que é necessário desenvolver um conjunto de rotinas ou programas que selecionem a melhor rede através dos AGs.

3.1.2 Transporte Aéreo

Scarpel e Milioni (2007), em sua pesquisa, abordaram a composição de especialistas e a otimização na formação de agrupamentos que englobam análise exploratória, mineração de dados e modelagem em uma única técnica útil, por exemplo, na criação de modelos preditivos através das Redes Neurais Artificiais. Eles propuseram a otimização na formação dos agrupamentos como uma forma de melhorar a qualidade dos ajustes dos modelos e das previsões realizadas.

As abordagens Especialista Global e composição de Especialistas Locais com otimização na formação dos agrupamentos foram aplicadas na previsão da receita líquida das empresas de transporte aéreo.

Utilizou-se como variável explicativa o ativo total das empresas de transporte aéreo. Os dados utilizados são provenientes das revistas Balanço Anual, dos anos de 2002 e de 2003 e do anuário do DAC (Departamento de Aviação Civil) do ano de 2004, totalizando 39 observações. Essas observações foram divididas, de forma aleatória, em 2 grupos, o primeiro ficou com 26 observações e foi utilizado no treinamento dos modelos (conjunto de treinamento) e o segundo ficou com 13 observações e foi utilizado na validação dos modelos (conjunto de validação). Utilizou-se o logaritmo da receita líquida e do ativo total para que o estudo contemplasse empresas de diferentes portes.

Nesse trabalho foi proposta a integração das etapas de formação de agrupamentos e designação dos especialistas, em composição de especialistas locais, aplicados a problemas de regressão. A aplicação visava melhorar a qualidade dos ajustes dos modelos, aprimorar a qualidade das previsões realizadas e aperfeiçoar a formação dos agrupamentos.

Para cumprir esses objetivos foi proposta uma formulação que integrasse a estimação dos parâmetros que definem os especialistas e os agrupamentos.

3.1.3 Transporte Aquaviário

Tal como ocorreu na revisão de trabalhos internacionais, na área de transporte aquaviário, no Brasil, há também poucas referências bibliográficas envolvendo o uso de Redes Neurais.

Um dos trabalhos corresponde à pesquisa desenvolvida por Morato e Guedes (2002), que teve como objetivo fazer uma comparação dos resultados obtidos em uma regressão linear e os alcançados em um treinamento de uma Rede Neural. O enfoque foi a avaliação dos preços de navios de grande porte, com o objetivo de dar subsídios aos que operam no ramo petrolífero e afins, mais especificamente na produção e transporte de óleos e derivados. O software de redes neurais utilizado para o desenvolvimento dessa pesquisa foi o Easy NN Plus.

Nesse caso, os resultados não confirmaram o que a teoria afirmava, ou seja, que as previsões via redes neurais poderiam ser melhores que aquelas obtidas com a análise de regressão linear utilizando mínimos quadrados ordinários ou modelos lineares generalizados. Nesse estudo, o erro quadrático médio obtido via rede neural foi maior, cerca de 25%, que aquele gerado pela análise de regressão. Os autores partiram do pressuposto que o melhor modelo é aquele que apresenta os menores desvios em relação aos verdadeiros valores pesquisados.

O segundo trabalho encontrado foi o de Assis (2000), que descreveu o mercado mundial de embarcações de apoio marítimo, considerando os diversos tipos de embarcações empregadas nas operações *offshore*⁶ e o perfil da frota, bem como analisando, de forma abrangente, a organização e a estrutura geral do mercado. O autor estabeleceu modelos para explicar o comportamento das taxas de fretes nesses mercados. A análise envolveu a elaboração de modelos econométricos e também modelos utilizando as Redes Neurais Artificiais que apresentaram desempenho equivalente aos modelos de regressão.

⁶ Offshore: modelo de realocação de processos de negócio de um país para outro.

3.2 Planejamento e operação de trânsito

Segundo Raia Jr. (2000), vários trabalhos foram desenvolvidos no campo de operação e gestão de tráfego rodoviário e urbano, dentre eles pode-se citar Dia e Rose (1997) e Ivan (1997) apud Raia Jr. (2000).

A obra de Guedelha, Seixas e Pereira (1999), foi um dos primeiros trabalhos desenvolvidos no âmbito das Redes Neurais Artificiais no Brasil, e que analisou o uso das RNAs para a previsão de vagas de estacionamento. Foi realizada uma aplicação dos dados reais do problema, que mostraram a robustez da rede, sua boa capacidade de generalização e erros significativamente reduzidos em relação aos valores reais comparados aos modelos econométricos tradicionalmente utilizados para essa previsão.

Autores como Cassa e Cunha Neto (1996); Brega (1996), Coutinho Neto *et al.* (1999) e Coutinho Neto(2000) desenvolveram diversos estudos relacionados com a gerência de pavimentos rodoviários e **conservação de pavimentos**, com bons resultados.

Zampieri, Diogenes e Rigatti (2008) produziram um índice de caminhabilidade para a área central da cidade de Criciúma/SC. O índice surgiu da necessidade do poder público municipal apresentar soluções de acessibilidade em relação às calçadas da cidade. Após a realização de todas as etapas metodológicas, estruturou-se as variáveis e processou-se o modelo com as Redes Neurais Artificiais, trabalhando com 75% dos dados coletados para realizar o treinamento do modelo com o objetivo de determinar os pesos das variáveis do modelo. Os 25% restantes foram utilizados para a fase de teste, que o validou. O modelo obtido neste trabalho identifica e demonstra como as qualidades do passeio influenciam no movimento de pedestres.

O modelo construído por Neto, Farias e Pais (2004) foi obtido com a utilização de Redes Neurais Artificiais, para a previsão da viscosidade *Brookfield* dos asfaltos-borracha produzidos pelo processo úmido a partir das principais variáveis do processo de fabricação. O modelo apresentou resultados satisfatórios, tanto no treinamento quanto na validação. Nessas duas fases do desenvolvimento, as correlações entre os valores calculados pela rede para a viscosidade *Brookfield* dos

asfaltos-borracha e os valores reais fornecidos puderam ser consideradas muito boas.

Em se tratando de **Economia e política de transportes**, Veiga e Cury (2003) desenvolveram uma metodologia que agrupa em uma rede hierárquica, mediante uma unidade padrão de inferência fuzzy, com uma base de regras e ponderações (rede neural). O modelo é feito a partir de variáveis lingüísticas para resgatar o propósito original da lógica fuzzy, com a aplicação de seus conceitos para a avaliação do desempenho de rodovias concessionadas, sob a óptica dos usuários.

O método proposto demonstra como o usuário classifica, em escala numérica, o serviço das rodovias concessionadas, criando um *ranking* e dando subsídios para o poder de decisão nas avaliações de concessões privadas de rodovias.

Considerando o desenvolvimento do **controle de tráfego**, o objetivo de trabalho de Motta (2004) foi desenvolver um sistema inteligente baseado nas técnicas de RNAs, que usa uma atividade preditiva de mineração de dados e implementa um algoritmo de classificação para solução do problema de avaliação de riscos em vias de transporte terrestre. O software usado foi o aiNet Neural Network⁷.

O autor aplicou o programa numa base de dados real para predição dos riscos de acidentes geotécnicos, possibilitando a tomada de decisões em relação a diversos aspectos da conservação e manutenção de infra-estrutura.

Madalozo, Dyminski e Ribeiro (2004) desenvolveram modelos, através de Redes Neurais Artificiais e com auxílio do programa computacional MatLab⁸ versão 6.5, com o intuito de prever a ocorrência de acidentes em curvas horizontais rodoviárias. Foram treinadas e testadas redes com diferentes arquiteturas e diversas combinações de entradas, compreendendo informações a respeito da geometria das curvas, velocidade operacional, volume de tráfego e a condição climática de quando ocorreu cada acidente. Os resultados obtidos pelas Redes Neurais Artificiais foram comparados aos modelos estatísticos do tipo linear e de *Poisson* e demonstraram um bom desempenho.

Mon-Ma e Raia Jr. (2004) e Mon-Ma (2005) desenvolveram modelos, utilizando o *software* EasyNN Plus, capazes de avaliar e extrair as variáveis

⁷ aiNet Neural Network. <http://www.ainet-sp.si/aiNetNN.htm>.

⁸ MATLAB (MATrix LABoratory). <http://www.mathworks.com/>

intervenientes em acidentes de trânsito ocorridos nas intersecções urbanas, através do uso de Redes Neurais Artificiais, considerando dados da cidade de São Carlos-SP. A determinação da importância de cada variável nos diferentes tipos de acidentes pelas RNAs permitiu discernir a influência dos fatores em cada tipo de acidente.

Em seus estudos, Pedroso, Yamashita, Gonzáles-Taco e Sant'Anna (2005) aplicaram as Redes Neurais Artificiais para modelar o índice de severidade de acidentes de trânsito, em função de variáveis relacionadas ao ambiente construído, ao clima e ao período do dia de ocorrência dos acidentes rodoviários. A utilização das Redes Neurais possibilitou estimar a importância de cada uma dessas variáveis tratadas no modelo, bem como configurar um modelo de previsão de um Índice de Severidade para futuros acidentes.

Uma investigação sobre o problema da detecção e reconhecimento de placas de sinalização, utilizando dados de uma câmera de vídeo acoplada a um carro em movimento, foi realizada por Rodrigues (2002). O estudioso fez uso de um modelo de Rede Neural com arquitetura *Multilayer Perceptron*. Foi montada a arquitetura de um protótipo de um sistema de reconhecimento contendo dois módulos principais: um módulo de detecção para automaticamente localizar placas de trânsito dentro de um quadro em uma seqüência de imagens, e um módulo de reconhecimento para classificar as regiões localizadas em cada cena, com base em um conjunto prévio de imagens treinadas. No primeiro experimento realizado, o modelo permitiu localizar cerca de 94% das placas. Após um pequeno ajuste na configuração, o percentual de localização subiu para 100%. O software neural usado foi o SNNS Stuttgart⁹

No tema reconhecimento de placas, foi desenvolvido por Guingo, Stiebler, Pontes e Thomé (2004) o Kapta-Sistema de Reconhecimento Automático de Placas de Veículos. A aplicação desse trabalho justifica-se, tendo em vista que a maioria das grandes cidades brasileiras já está operando com câmeras para o controle do tráfego ou mesmo para a aplicação de multas.

A implantação de um sistema de reconhecimento automático de placas torna-se uma aplicação de grande relevância para os órgãos de fiscalização e os outros setores que possam fazer uso da informação colocada rapidamente à disposição.

⁹ SNNS Stuttgart. Stuttgart Neural Network Simulator. <http://ra.cs.uni-tuebingen.de/SNNS/>.

O modelo de rede neural adotado para o reconhecimento dos caracteres foi o *Multilayer Perceptron* treinado com o algoritmo *backpropagation* e tendo o *software* MatLab versão 6.0. utilizado para a simulação.

Na área de **previsão de tráfego**, Rentería (2002) criou um controlador de semáforos, que o autor classifica como eficiente, fazendo-se uso de lógica *fuzzy* e Redes Neurais Artificiais. Rentería aplicou dados reais de uma parcela do tráfego de uma determinada área analisada. Nesse trabalho, as redes obtiveram bons resultados na predição de tráfego futuro. Também pôde ser verificado que as regras *fuzzy*, criadas a partir de cenários otimizados pelo *software* Synchro¹⁰, conseguiram controlar o cruzamento estudado. Os resultados foram comparados aos proporcionados por um controlador de planos fixos em operação e verificou-se a sua viabilidade.

Na pesquisa de Andrade e Jacques (2003), o objetivo geral foi determinar um procedimento para o ajuste *on-line* dos parâmetros dos conjuntos *fuzzy* utilizados no projeto de um controlador semaforico para interseções isoladas, empregando Redes Neurais Artificiais através do *software* MatLab. O estudo apresentou resultados claros de melhora no desempenho do tráfego com o ajuste do controlador *fuzzy* de forma *on-line*, o que sugere vantagens na adoção de outras técnicas de inteligência artificial associadas à lógica *fuzzy* para o projeto de controladores semaforicos.

Na área de **estimativa de parâmetros**, Bocanegra, Cybis, Jacques e Stumpf (2004) comparam modelos de previsão de velocidades no entorno de barreiras eletrônicas. Os modelos analisados foram construídos com técnicas de Redes Neurais Artificiais e foi utilizado o *software* *BrainMaker Professional* e regressão linear, a partir de uma mesma base de dados. As variáveis explicativas empregadas nos modelos incluíram características físicas e operacionais da via e uso do solo no entorno da barreira eletrônica.

A análise realizada indicou que tanto os modelos de regressão linear como os de Redes Neurais Artificiais, forneceram estimativas aceitáveis, porém, o modelo de RNA apresentou melhores predições do que aquelas obtidas através de modelos de regressão linear.

¹⁰ Synchro. Trafficware. <http://www.trafficware.com/synchro7.html>.

Souza, Nakata, Postigo e Sorano (2008) avaliaram as influências do ambiente urbano sobre a temperatura do ar na escala do pedestre, identificando a formação de ilhas térmicas em um bairro residencial. Para isso, construíram modelos sustentados em Redes Neurais, utilizando o *software* EasyNN Plus. Os resultados indicaram haver variabilidade no grau de importância das variáveis de acordo com o horário de análise, sendo a orientação, a massa construída e a vegetação os elementos mais influentes no ambiente térmico do pedestre.

3.3 Transporte de cargas e logística

Na área de transporte de cargas e logística, poucos são os trabalhos realizados com a utilização da técnica de Redes Neurais Artificiais. Dentre eles, pode-se citar o de Dias (2006) e Oliveira e Cury (2004).

O trabalho de Dias (2006) teve como objetivo principal determinar o tamanho do espaço utilizado pelo produto dentro da área de *picking*¹¹ e, respeitando a sazonalidade de cada produto, fazer com que essa área seja definida dinamicamente, possibilitando, assim, que a empresa gestora do terminal possa prever mudanças e fazê-las sem ônus para a armazenagem. Foram utilizadas duas ferramentas para a realização das previsões de consumo dos itens do armazém, os *softwares* MatLab 6.5, para desenvolver o programa contendo as Redes Neurais Artificiais de função de base radial e o Statgraphics Plus¹² 5.1, para analisar as séries temporais em função da Metodologia Box & Jenkins¹³.

Por fim, foram feitas previsões para cada uma das séries em ambas as metodologias. Concluiu o autor que as RNAs são um ferramental com grande robustez e consistência na utilização de previsão de demanda de séries temporais.

Oliveira e Cury (2004) construíram um modelo de escolha modal para o transporte de cargas desenvolvido a partir da opinião de especialistas, considerando as diferentes opções de transporte existentes e suas respectivas variáveis quanto a utilização da tecnologia *Neuro-Fuzzy*.

11 O *picking*, também conhecido por *order picking* (separação e preparação de pedidos), consiste na recolha em armazém de certos produtos (podendo ser diferentes em categoria e quantidades), face a pedido de um cliente, de forma a satisfazê-lo.

12 Statgraphics Plus. <http://www.statgraphics.com/>.

13 A idéia básica sobre a metodologia BOX & JENKINS é a de que uma determinada série temporal pode ser parcialmente explicada por ela mesma, por suas realizações anteriores e pelos seus erros passados.

O trabalho trouxe como contribuição a estruturação de um modelo para subsídio à escolha modal no transporte de cargas, como alternativa a modelos matemáticos usualmente complexos.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E ANÁLISES

A Inteligência Artificial abriu portas às novas possibilidades em diversas áreas de pesquisa, promovendo o desenvolvimento científico. Em consequência disso, o surgimento das Redes Neurais Artificiais alavancou a realização de novos experimentos em diversos setores e principalmente, como visto neste trabalho, no Setor de Transportes.

A técnica, baseada em modelos matemáticos computacionais inspirados na estrutura neural de organismos inteligentes, tornou menos árduo o trabalho de pesquisadores e, em muitos casos, mais eficazes e robustos os resultados que anteriormente eram obtidos por meio de métodos matemáticos convencionais.

O primeiro estudo sobre Redes Neurais, já tem mais de 50 anos e teria sido publicado em 1943, por McCulloch e Pitts. O trabalho foi denominado *A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity*, e, ainda hoje, é considerado como referência básica para o desenvolvimento de Redes Neurais Artificiais. O estudo propunha uma modelagem do neurônio artificial como uma unidade de processamento simples.

As experiências realizadas pioneiramente no século passado deixaram para a atualidade a possibilidade de se desenvolver grandes feitos para a melhoria de diversas áreas de pesquisa.

As RNAs podem ser utilizadas na solução de uma grande quantidade de problemas como classificação, diagnóstico, análise de sinais e de imagens, otimização e controle encontrados nos mais diversos setores.

A técnica de Redes, geralmente, é eficiente, particularmente na resolução de problemas em que não se tem formulação analítica ou não se tem conhecimento explícito acessível ou, ainda, em que os dados estão contaminados por ruído ou o próprio problema modifica-se com o passar do tempo.

Mesmo sendo razoavelmente conhecida em diversos ramos de atividades, a técnica de Redes Neurais Artificiais, somente na última década do último século, tem

sido utilizada com mais freqüência na Engenharia de Transportes e parece ser adequada para este tipo de aplicação.

Nos países desenvolvidos, ela vem sendo usada com mais ênfase desde 1980 e, principalmente, na última década do século XX. No Brasil, a utilização das Redes Neurais Artificiais aparecem um pouco mais tarde com relação a esses países, cerca de dez anos, mas isso não impediu a evolução do seu uso nos estudos realizados no Setor de Transportes.

As pesquisas feitas nos países desenvolvidos no Setor de Transportes, na última década, demonstram que a técnica está abrangendo, cada vez mais, as mais variadas aplicações nos transportes.

Como visto no capítulo anterior, a técnica empregada em diversas áreas do Setor de Transportes no Brasil tem apresentado melhores resultados, via de regra, nos casos de estudos que se valem da comparação com as técnicas matemáticas convencionais. A nova técnicas apresenta grande potencial para aplicação real em vários casos, possui maior capacidade de generalização e apresenta erros significativamente menores no que se refere ao aperfeiçoamento de modelos que dão subsídios à escolhas de grande importância.

Os resultados obtidos até hoje com as pesquisas e aplicações das técnicas de Redes Neurais Artificiais no Setor de Transportes e considerados relativamente satisfatórios, trouxeram um ânimo para a utilização de RNAs em novos projetos. Com isso, uma contribuição mais expressiva de estudos utilizando RNAs no Brasil é esperada, tal como vem ocorrendo em países desenvolvidos, bem como ocorre com outras áreas de pesquisa e fomento.

A **Tabela 1** apresenta uma síntese quantitativa dos trabalhos encontrados na literatura e revisados neste estudo. Fica também evidente que uma pesquisa de revisão mais exaustiva e com maiores recursos de tempo apontaria uma quantidade bem maior de trabalhos.

Os dados da **Tabela 1** apontam para as duas realidades, Exterior e Brasil, que guardam certa semelhança. Houve uma maior concentração de trabalhos nos Grupos *Planejamento e operação de transportes* com cerca de 38% dos trabalhos do Exterior e 42%, do Brasil; e *Planejamento e operação de trânsito*, com 49% e 53%, respectivamente.

Com menor quantidade de trabalhos está o “Grupo Carga/Logística”. No Brasil, apenas cerca de 5% dos trabalhos encontrados se enquadravam neste grupo; no Exterior, são quase 20%. Não deixa de chamar a atenção, ainda, o pouquíssimo uso da técnica de RNAs nos setores de Transporte de cargas e logística.

Tabela 1 – Trabalhos revisados para Exterior e Brasil, segundo os Grupos de Áreas de Aplicação.

Grupos de Áreas de Aplicação	Quantidade Exterior		Quantidade Brasil	
		%		%
Planejamento e operação de transportes	20	37,8	19	42,2
Planejamento e operação de trânsito	30	49,2	24	53,3
Transporte de cargas e logística	11	18,0	2	4,5
TOTAL	61	100,0	45	100,0

As **Tabelas 2 e 3** mostram, respectivamente, um panorama do que foi desenvolvido com o uso das técnicas de RNA no exterior e no Brasil, considerando o Setor de Transportes e levando-se em conta a revisão feita nos capítulos 3 e 4.

Obviamente que este trabalho não esgotou e tão pouco teve a pretensão de esgotar o tema de aplicação e uso de Redes Neurais no Setor de Transportes, seja no Exterior, seja no Brasil. Assim, os resultados aqui apresentados e que são sintetizados nas **Tabelas Planejamento e operação de transportes, Planejamento e operação de trânsito, Transporte de cargas e logística**), procuraram agregar de maneira ampla e didática, para facilitar a análise e o entendimento do leitor,. Essa classificação, de maneira geral, pode ser encontrada nos principais congressos relacionados à área de Transportes, no Brasil.

Tabela 2 – Trabalhos realizados no Exterior com o uso de RNAs.

Fonte(s)	Setor*	Software	Objetivo
Yang et al. (1992) Kikuchi et al. (1993) Chin et al. (1994)	T	n.c**	Estimativa de parâmetros para uma matriz O-D.
Xiong e Schneider (1992)	T	n.c	Modelo para resolver o problema de atribuição de tráfego.
Hua e Faghri (1994)	T	n.c	Estimativas do tempo de viagem.
Nelson e Palacharla (1993) Heymans et al. (1991)	T	n.c	Redes de backpropagation funcionando com uma tabela adaptativa do tipo “look-up”.
Collins e Evans (1994)	T	n.c	Modelo do impacto do tráfego no preço dos imóveis adjacentes a um terminal aeroportuário.
Duliba (1991)	T	n.c	Modelo de previsão de níveis de desempenho da indústria do transporte.
Hartani et al. (1994) Lo e Bavarian (1991)	T	n.c	Uso de lógica <i>fuzzi</i> e de redes neurais artificiais para controlar a aceleração e a desaceleração de um trem de metrô.
Mann e Hayhim (1991) Beastall (1989)	T	n.c	Análise de sinais de radar.
Stamenkovich (1991)	T	n.c	Modelo de controle microscópico, melhor que o controle diretamente do barco.
Lo e Bavarian (1991)	T	n.c	Aprendizagem por Quantização Vetorial (LVQ) em um sistema de processamento de imagens.
Demuth e Springsteen (1990)	T	n.c	Veículos submarinos autônomos.
Kirby et al. (1997)	T	Neural Works Professional II Plus	Modelos de previsão de tráfego em estrada francesa.
Attoh-Okine (1999)	T	n.c	Modelagem para desempenho de pavimento.

Fonte(s)	Setor*	Software	Objetivo
Dharia e Adeli (2003)	T	Traffic Software Integrated Systems, Version 4.21	Modelo de previsão de tempo de percurso em auto-estrada.
La Franca et al. (2004)	T	MatLab	Automatizar sistemas de controle remoto da frota de ônibus rodoviários.
Yang et al. (1992)	S	n.c	Uso de Redes Neurais Artificiais para analisar dados coletados de simuladores interativos de escolha de rotas.
Dougherty e Joint (1992)			
Lyons e Hunt (1993) Lyons (1994)	S	n.c	Modelo computacional de simulação interativa, que procurou modelar manobras.
Kornhauser (1991)	S	n.c	Controle de posição lateral de veículos na pista utilizando objetos que auxiliavam a visão dos motoristas.
Pant e Balakrishman (1994)	S	n.c	Uma rede neural auto-organizável foi construída e que pode impactar a gestão de caminhões articulados.
Neusser et al. (1991)	S	n.c	Detectores de distancia em veículos.
Crisman e Webb (1991)			
Kaseko e Ritchie (1992 e 1993)	S	n.c	Processamento de imagens de superfícies rodoviárias e imagens categorizadas.
Hua e Faghri (1993)	S	n.c	Diagnóstico de pavimentos e reconhecimento automático de marcações viárias que foram danificadas.
Pant et al. (1993) Hajek e Hurdal (1993)	S	n.c	Metodologia para coleta de dados de pequenas áreas geográficas.
Mead et al. (1994)	S	n.c	Classificação dos veículos de passagem em um trecho da via.
Bullock et al. (1992, 1993) Belgaroui e Blosseville (1993)	S	n.c	Detecção dos veículos que passam por uma câmara de vídeo disposta em uma seção de via e classificações.

Fonte(s)	Setor*	Software	Objetivo
Margarita (1990)	S	n.c	Leitura automática da chapa do veículo.
Kirby et al. (1993) Hua e Faghri (1993a,b)	S	n.c	Modelo classificar uma rede de tráfego urbano.
Ritchie et al. (1992) Ritchie e Cheu (1993)	S	n.c	Detecção de incidentes em uma via expressa.
Nahatsuji e Terutoshi (1991)	S	n.c	Modelo de operações de controle de tráfego.
Matsuyama (1991) Jewell et al. (1991) Potuin e Shen (1991) Ohba et al., (1989)	S	n.c	Modelagem de redes auto-organizáveis.
Chin et al. (1992)	S	n.c	Modelagem de previsão estratégica de trafego.
Chen et al. (2001)	S	M25 traffic data	Avaliar dos efeitos de erros na previsão do fluxo de tráfego.
Delen, Sharda e Bessonov (2005)	S	SPSS Clementine	Modelaram relações não-lineares de graves acidentes e os fatores de acidentes.
Xie, Lord e Zhang (2006)	S	MatLab	Modelo de predição de ruídos elétricos de veículo motorizado.
Zhu, Chen, Geng e Liu (2007)	S	MatLab	Modelo de previsão de divisão modal em transporte público em Beijing.
Reggiani, Nijkamp e Tsang (1997)	L	n.c	Modelar movimentos inter-regionais transporte de cargas na Europa.
Matsuyama (1991) Jewell et al. (1991) Potuin e Shen (1991) Ohba et al., 1989	L	n.c	Modelo de redes neurais auto-organizadas.
Chin et al. (1992)	L	n.c	Modelo de previsão de tráfego em âmbito estratégico
Dougherty et al. (1994), Dougherty e Cobbett (1994), Clark et al. (1993)	L	n.c	Modelo de previsão de tráfego em curto prazo.

Fonte(s)	Setor*	Software	Objetivo
Bilegan, Crainic e Gendreau (1998)	L	n.c	Metodologia de previsão de demanda intermodal para terminais portuários.
Klodzinski e Al-Deek (2002)	L	MatLab	Simular transporte de carga por caminhões pesados em centro intermodal.

Legenda: *setores de pesquisa T (Transportes), S (Trânsito) e L (Logística); **Não citado no trabalho

Tabela 3 – Trabalhos realizados no Brasil com o uso de RNAs

Fonte	Setor*	Software	Objetivo
Furtado et al. (1997); Furtado (1998)	T	Neural Planner 4.2	Metodologia para avaliação de alternativas de projetos.
Carvalho (1999)	T	NeuralWorks	Modelo de previsão de demanda.
Brondino (1999); Brondino e Silva (1999)	T	Neural Planner 4.2	Estudar influência da acessibilidade em valor de terrenos urbanos.
Antunes, Yamashita, Dantas e Lamar (1999)	T	n.c**	Modelar a preferência de usuários do sistema de transporte coletivo urbano por ônibus.
Raia Jr. (2000), Raia Jr. e Silva (2001a,b), Raia Jr., Silva e Bocanegra (2001), Silva, Raia Jr. e Bocanegra (2002)	T	EasyNN Plus 4.5	Desenvolvimento de modelagem para estimar potencial de viagens em nível estratégico.
Raia Jr. e Silva (2001a)	T	n.c	Estudo exploratório sobre o uso de RNAs no Setor de Transportes.
Bocanegra (2002)	T	EasyNN Plus 4.5	Explorar procedimentos alternativos para tornar mais efetiva a aplicação dos modelos desenvolvidos.
Lima (2003)	T	EasyNN Plus	Metodologia de apoio à decisão espacial para racionalizar a distribuição e a utilização de equipamentos coletivos públicos.
Veiga e Cury (2003)	T	n.c	Ranqueamento do nível de serviço de rodovias concessionadas, pelos usuários.

Fonte	Setor*	Software	Objetivo
Motta (2004)	T	aiNet Neural Network	Desenvolver um sistema inteligente para solução do problema de avaliação de riscos em vias de transporte terrestre.
Madalozo, Dyminski e Ribeiro (2004)	T	MatLab 6.5	Previsão na ocorrência de acidentes em curvas horizontais rodoviárias.
Mon-Ma (2005); Mon-Ma e Raia Jr. (2005)	T	Easy NN Plus	Avaliar e extrair as variáveis intervenientes em acidentes de trânsito em intersecções urbanas.
Pedroso, Yamashita, Gonzáles-Taco e Sant'Anna (2005)	T	TLearn	Modelar o índice de severidade em função de variáveis relacionadas ao ambiente construído.
Costa e Matheus (2005)	T	n.c	Analisar padrões e apontar as tendências futuras de serviço de transporte coletivo em um futuro próximo.
Sinay e Alves (2005); Alves Paes (2006)	T	n.c	Modelo neuro-fuzzi para avaliar a sustentabilidade ambiental das atividades associadas à operação dos transportes públicos em centros urbanos.
Manzato e Silva (2006); Manzato e Silva (2007)	T	n.c	Metodologia para a identificação e delimitação de regiões metropolitanas baseada na combinação de indicadores de oferta de infra-estrutura viária e populacional.
Scarpel e Milioni (2007)	T	n.c	Otimização na formação dos agrupamentos como uma forma de melhorar a qualidade dos ajustes dos modelos e das previsões realizadas.
Morato e Guedes (2002)	T	EasyNN Plus	Comparação dos resultados obtidos através de uma regressão linear com os resultados alcançados através do treinamento de uma Rede Neural.
Assis (2000)	T	n.c	Estabeleceu modelos para explicar o comportamento das taxas de fretes .

Fonte	Setor*	Software	Objetivo
Dia e Rose (1997) e Ivan (1997)	S	n.c	Operação de gestão de tráfego rodoviário e urbano.
Cassa e Cunha Neto (1996)			
Brega (1996)	S	n.c	Gerência de pavimentos.
Coutinho Neto et al. (1999)			
Coutinho Neto (2000)			
Guedelha, Seixas e Pereira (1999)	S	n.c	Modelo neural para a previsão de vagas de estacionamento em shopping centers.
Bishop, 1995 e Haykin, 1999	S	MatLab	Modelo automático de reconhecimento de placas.
Rentería (2002)	S	MatLab	Desenvolver um controlador para semáforos.
Rodrigues (2002)	S	SNNS Stuttgart	Ferramenta para detecção e reconhecimento de placas de sinalização.
Gonzales-Taco, Kawamoto e Barreto (2003)	S	MatLab	Modelo para reconhecer padrões de comportamento de indivíduos na realização de cadeias de viagens feitas a pé.
Veiga e Cury (2003)	S	n.c	Modelo para a avaliação do desempenho de rodovias.
Andrade e Jacques (2003)	S	MatLab	Ferramenta para o ajuste on-line dos parâmetros dos conjuntos fuzzy no projeto de um controlador semaforico para interseções isoladas.
Jacinto, Moreira e Pessanha (2004)	S	n.c	Modelo de previsão de demanda de passageiros e a otimização do numero de ônibus para o serviço do transporte coletivo.
Madalozo, Dyminski e Ribeiro (2004)	S	MatLab	Modelos de previsão de acidentes em curvas horizontais.
Motta (2004)	S	aiNet Neural Network	Modelo de avaliação de riscos em vias.

Fonte	Setor*	Software	Objetivo
Neto, Farias e Pais (2004)	S	n.c	Modelo de previsão de viscosidade dos asfaltos-borracha.
Akamine, Silva e Lima (2004); Akamine (2005)	S	Easy NN Plus 1.0.	Exploração de alternativas para construção de modelos neurais de interação espacial.
Guingo, Stiebler, Pontes e Thomé (2004)	S	MatLab 6.0	Construção de sistema de reconhecimento automático de placas de veículos.
Bocanegra, Cybis, Jacques e Stumpf (2004)	S	BrainMaker Professional	Comparar modelos de previsão de velocidades no entorno de barreiras eletrônicas.
Neto, Farias e Pais (2004)	S	Qnet Neural Network	Criação de modelo para a previsão da viscosidade Brookfield dos asfaltos-borracha.
Mon-Ma e Raia Jr. (2004) e Mon-Ma (2005)	S	Easy NN Plus	Modelos de avaliação de variáveis de acidentes de trânsito.
Pedroso, Yamashita, Gonzáles-Taco e Sant'Anna (2005)	S	n.c	Índice de severidade de acidente de trânsito.
Zampieri, Diógenes e Rigatti (2007)	S	BrainMaker Professional	Modelo para estimar do fluxo de viagens.
Sanches e Ferreira (2007)	S	Statistica Neural Networks 4.0	Comparar desempenho de RNAs e modelo logit multinomial na opção modal entre o automóvel e o modo a pé.
Souza, Nakata, Postigo e Sorano (2008)	S	EasyNN Plus	Avaliação influências do ambiente urbano sobre a temperatura do ar na escala do pedestre em bairro residencial.
Zampieri, Diogenes e Rigatti (2008)	S	n.c	Criação de índice de caminhabilidade calçadas.
Oliveira e Cury (2004)	L	n.c	Criação de um modelo de escolha modal para o transporte de cargas.
Dias (2006)	L	MatLab 6.5	Dimensionamento de espaço utilizado em área de picking em armazém.

Legenda: *setores de pesquisa T (transportes), S (trânsito) e L (logística); **Não citado

4.1 Softwares mais utilizados

A partir das **Tabelas 2 e 3** pode-se constatar os softwares de RNA mais utilizados nos estudos identificados na literatura e que foram relatados neste trabalho.

Verificou-se que o software MatLab e suas versões, tanto no exterior como no Brasil, foi o software mais utilizado nas pesquisas realizadas, seguido de perto pelo software Easy NN Plus, nas suas diversas versões.

A seguir, apresenta-se um breve resumo sobre cada um dos softwares que mais vezes apareceram nos trabalhos aqui examinados.

- **Easy NN Plus:** programa utilizado para planejamento, avaliação, viagens, etc, que oferece uma rápida análise e classificação de dados e cria redes de dados em formato texto, planilha, imagens ou arquivos binários. É um programa de fácil acesso e de fácil manuseio permitindo a importação de arquivos, o que facilita a montagem da rede. Foi um dos softwares mais utilizados nas pesquisas tanto no exterior quanto no Brasil.
 - **MatLab:** Um software que agrega análise numérica, cálculo com matrizes, processamento de sinais e construção de gráficos em um ambiente de fácil utilização onde os problemas e as soluções são expressos da mesma forma como eles são escritos matematicamente, ao contrário da programação tradicional. A grande vantagem que o MatLab possui em relação à outras linguagens consiste no fato de que nele as informações são facilmente armazenáveis em matrizes, o que proporciona uma fácil e rápida manipulação de uma grande quantidade de informações. Software também de fácil acesso e vem sendo amplamente utilizado nas pesquisas mundiais, já que em alguns casos demonstra melhores resultados que o Easy NN Plus.
 - **aiNet Neural Network:** A Rede Imunológica Artificial (aiNet) é um algoritmo dos Sistemas Imunológicos Artificiais para clusterização que requer tempo de processamento significativo, como em sua aplicação na construção de Redes Neurais Artificiais com Função de Base Radial (RBF). O aiNet é projetado especificamente para facilitar a modelagem de tarefas,
-

nos aspectos em que elas seriam difíceis de serem realizadas com a outra rede neural. Ainda é um software de pouca utilização.

- ***BrainMaker Professional***: Este software de RNAs apresenta, como possibilidade de escolha, as funções de ativação neural dos tipos: a) Limiar, b) Linear, c) Parcialmente Linear, d) Sigmóide e, e) Gaussiana. Este software possui a capacidade de processar as topologias de redes dos tipos: (i) recorrentes e (ii) não-recorrentes, e seu treinamento é do tipo supervisionado, sendo o algoritmo de aprendizado de retro-propagação do erro, com atualização dos pesos por padrão. Possui algumas limitações que podem influenciar na escolha de utilização, não sendo ainda um programa frequentemente usado.

Outros softwares foram identificados na revisão da literatura. São eles: ***Neural Planner 4.2, M25 Traffic Data, Neural Works Professional II Plus, NeuralWorks, Qnet Neural Network, SNNS Stuttgart, SPSS Clementine, Statistica Neural Networks 4.0, TLearn e Traffic Software Integrated Systems 4.21.***

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O objetivo precípua deste trabalho foi realizar uma pesquisa exploratória que procurou conhecer o estado da arte do uso e aplicação da técnica Redes Neurais Artificiais no Setor de Transportes no Brasil, no intuito de construir uma análise quantitativa do desenvolvimento de pesquisas nesta área com a utilização desta técnica.

Conjuntamente realizou-se uma comparação desta realidade brasileira com a realidade do exterior.

A pesquisa exploratória, que foi o método adotado para o desenvolvimento deste trabalho, proporcionou uma visão geral da realidade do uso e aplicação de RNAs no Setor de Transporte, considerando realidades brasileira e internacional. Ela envolveu levantamento bibliográfico relacionado com o tema pesquisado.

Os resultados obtidos mostraram uma realidade bastante semelhante na aplicação de RNAs tanto no Exterior, quanto no Brasil. As aplicações feitas em trabalhos que foram classificados nos grandes grupos Transportes e Trânsito, como era de se esperar, lideram o emprego desta técnica. Estes grupos tiveram porcentagens semelhantes entre si e entre as realidades abordadas. O Grupo Transportes ficou próximo de 40% para Brasil e Exterior; o mesmo se pode explicitar para o Grupo Trânsito (50%).

Os trabalhos associados ao grupo Carga/Logística, que tem conseguido uma grande expansão na quantidade de trabalhos apresentados nos eventos e revistas no Brasil, ficaram aquém do esperado. Somente 5%, enquanto no Exterior, a porcentagem chega a quase 20%.

A observação que deve ser feita é que esta área no Brasil ainda não descobriu o potencial de RNAs para resolver diversos de seus problemas.

De maneira geral, pode-se concluir que o Brasil possui um nível comparável ao Exterior quando se trata de aplicação da técnica de RNAs, principalmente nas grandes áreas de Transportes e Trânsito. Espera-se que o seu uso possa se tornar mais freqüente na área de transporte de carga e logística.

Como no Brasil a pesquisa acadêmica é muito maior nas áreas de trânsito e transporte, áreas estas associadas ao setor público, já era esperado maior conhecimento e aplicação nestas áreas. No entanto, mesmo em universidades públicas, observa-se um crescimento no nível e na quantidade de pesquisa na área de transporte de carga e logística, setor este dominado pela iniciativa privada.

Os poucos trabalhos internacionais, principalmente os mais atuais, evidenciaram a aplicação de um único software, o MatLab. No caso brasileiro, inicialmente, só eram empregados os softwares SNNS Stuttgart e o EasyNN; posteriormente, o MatLab passou a ser bastante utilizado e atualmente lidera o ranking de softwares usados, obtendo um mesmo nível que o EasyNN. Há que se ressaltar que o MatLab é um grande pacote estatístico e matemático, possuindo uma enorme quantidade de aplicações. Por isso mesmo, é um software comercial caro, porém tem múltiplas utilidades.

O software EasyNN também é comercial, mas sua aplicação se restringe somente às Redes Neurais. Tem um custo bastante acessível (cerca de US\$50,00).

Este trabalho apresentou algumas limitações. A primeira foi a quantidade relativamente pequena de trabalhos da literatura nacional, talvez não só pela falta de pesquisas neste campo mas também pela ausência de conhecimentos mais aprofundados sobre a utilização destas técnicas. Apesar desse fato, quase todos os trabalhos desenvolvidos por pesquisadores brasileiros, divulgados nos principais eventos nacionais e internacionais, tais como: ANPET, ANTP, PLURIS, CLATPU, PANAM, foram considerados, principalmente após 2000, já que trabalhos anteriores a esta data estão incluídos na revisão da pesquisa de Raia Jr. (2000), citada neste presente trabalho.

A segunda limitação foi a não abordagem dos aspectos mais intrínsecos à aplicação das Redes Neurais nos diversos trabalhos. Aspectos como funções de ativação, algoritmos de aprendizagem, arquitetura de redes, etc.

Um aspecto limitador e que foi derivado da falta do recurso e tempo, foi a simplificação na adoção das revisões bibliográficas realizadas por Dougherty (1995) e Raia Jr. (2000). Embora possa-se considerar que estes autores fizeram uma boa revisão para os períodos em questão, o não contato direto com os trabalhos por eles

relatados fez com que se perdesse um pouco da sensibilidade sobre a realidade abordada.

Como recomendações para próximos trabalhos pode-se citar a superação destes dois principais limites aqui apresentados. Assim, poderão ser conhecidos melhor quais os avanços que tem havido tanto na esfera internacional quanto na brasileira em relação as Redes Neurais Artificiais. Outro aspecto importante, a ser considerado, são as ferramentas que estão sendo associadas à aplicação neural, algumas relatadas na revisão. A associação de mais de uma técnica foi registrada em alguns trabalhos, sempre observando um avanço qualitativo nos resultados.

Apesar dos principais limites aqui relatados, considera-se que os resultados foram interessantes no sentido de poder conhecer um pouco mais destas duas realidades (nacional e internacional) relacionadas com o uso e aplicação da técnica de Redes Neurais para que em um futuro próximo a utilização destas técnicas torne-se ainda mais empregadas e desenvolvidas, principalmente no Setor de Transportes brasileiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKAMINE, A., SILVA, A.N.R. e LIMA, R.S. (2004). *Seleção de modelos neurais de interação espacial através de algoritmos genéticos*. Anais do XVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. Florianópolis: ANPET, 2004. v.1, p.811-820.

ALVES PAES, G.K.A. (2005). *Sustentabilidade Ambiental dos Sistemas de Transportes Públicos em Centros Urbanos*. Dissertação (Mestrado). Curso de Mestrado em Engenharia de Transportes. Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro.

ANDRADE, M. e JACQUES, M.A.P. (2003). *Uso de redes neurais para aprimoramento de controladores semaforicos fuzzy*. Anais do XVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. Rio de Janeiro: ANPET, 2003.

ANTUNES, R.T.; YAMASHITA, Y.; DANTAS, A.S. e LAMAR, M.V (1999). *Modelagem das preferências dos usuários do transporte urbano de passageiros com o auxílio das redes neurais*. Disponível em: <http://ir.canterbury.ac.nz/bitstream/10092/629/1/46730_antunespanam2000.doc>. Acesso em: setembro 2008.

ASSIS, R. L. (2000). *Facilitando a Percepção em Ambientes Virtuais de Aprendizado através da Abordagem Groupware*. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. PUC-RJ. Dissertação de Mestrado. 2000.

ATTOH-OKINE, N.O (1999). *Analysis of learning rate and momentum term in backpropagation neural network algorithm trained to predict pavement performance*. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: novembro 2008.

BARRETO, J.M. (2002). *Introdução às Redes Neurais Artificiais*. Laboratório de Conexão e Ciências Cognitivas. Departamento de Informática e de Estatística/UFSC, Florianópolis.

BEASTALL W. (1989). *Recognition of radar signals by neural networks*. Proc. 1st IEEC on Artificial Neural Networks. London.

BELGAROU B. e BLOSSVILLE J. M. (1993). *A road traffic application of neural techniques*. Recherche Transports Scurit, English Issue No. 9, pp. 53-65.

-
- BILEGAN, C.I, CRAINIC, T.G e GENDREAU, M. (1998). *Forecasting freight demand at intermodal terminals using neural networks – an integrated framework*. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com> >. Acesso em: novembro 2008.
- BOCANEGRA, C.W.R, CYBIS, H.B.B., JACQUES, M.A.P. e STUMPF, M.T. (2004). *Comparação de modelos que determinam a velocidade junto a barreiras eletrônicas*. Anais do XVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. Florianópolis: ANPET, 2004.
- BOCANEGRA, C.W.R. (2002). *Procedimentos para tornar mais efetivo o uso das Redes Neurais Artificiais em Planejamento de Transportes*. Dissertação (Mestrado). STT/EESC/USP, São Carlos.
- BRONDINO, N.C.M. (1999). *Estudo da influência da acessibilidade no valor de lotes urbanos através de Redes Neurais*. Tese (Doutorado), EESC/USP, São Carlos.
- BRONDINO, N.C.M.; SILVA, A.N.R. (1999). *Micro-simulation model of service employment location using ANN*. In: Rizzi, P. (Ed.). *Proceedings of 6th The International Conference Computers in Urban Planning and Urban Management*, Franco Angeli, Venice, Italy.
- BULLOCK D., GARRETT J. e HENDRICKSON C. (1993). *A neural network of image-based vehicle detection*. *Transportation. Research - C* 1, 2355247.
- BULLOCK D., GARRETT J., HENDRICKSON C. e PEARCE A. (1992). *A neural network for image base vehicle detection*. Proc. In. Conf on Artificial Intelligence Applications in Transportation Engineering, San Buenaventura, CA.
- CARVALHO, M.C.M. (1999). *Previsão de demanda de transportes: uma abordagem não-linear usando Redes Neurais*. Anais do XIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, São Carlos. V.1, p.176-187.
- CHEN, H. GRANT-MULLER, S. MUSSONE, L. e MONTGOMERY, F. (2001). *A Study of Hybrid Neural Network Approaches and the Effects of Missing Data on Traffic Forecasting*. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com>. Acesso em: outubro 2008.
- CHIN S. M., HWANG H. L. e PEI T. (1994). *Using neural network to synthesize origin-destination row in a traffic circle*. Preprints of Transport Research Board Con/., Washington, DC.
-

-
- CLARK S. D., DOUGHERTY M. S. e KIRBY H. R. (1993). *The use of neural network and time series modes for short term forecastmg: a comparative study*. Proc. PTRC Summer Meeting, Manchester.
- COLLINS A. e EVANS A. (1994). *Aircraft noise and residential property values, an artificial neural network approach*. J. Tramp. Econ. Policy, 28(2). 175 197.
- COSTA, E.O.; MATHEUS, G.A.C. (2005). *Utilização de redes neurais artificiais para previsão de demanda de passageiros no serviço de transporte coletivo*. Monografia (Graduação). UES.
- CRISMAN J. D. e WEBB J A. (1991). *The warp machine on NAVLAB*. *IEEE Trans. Par/. Anal. Mach. Intell* 13(S), 451 465.
- DELEN, D. SHARDA, R. e BESSONOV, M. (2005). *Identifying significant predictors of injury severity in traffic accidents using a series of artificial neural networks*. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com>. Acesso em: novembro 2008.
- DEMUTH G. e SPRINGSTEEN S. (1990). *Obstacle avoidance using neural networks*. Proc. Symp. on Autonomous Vehicle Technology, Washington, DC.
- DHARIA, A. e ADELI, H. (2003). *Neural network model for rapid forecasting of freeway link travel time*. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com>. Acesso em: outubro 2008.
- DIAS, G.J.C (2006). *Planejamento estratégico de um centro de distribuição: uma aplicação de redes neurais artificiais de funções de bases radiais para previsão de séries temporais*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Disponível em: <http://dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/handle/1884/14074>. Acesso em: setembro 2008.
- DOUGHERTY M. S. e COBBETT M. (1994). *Short term inter-urban traffic forecasts using neural networks*. Proc. 2nd DRIVE-II Workshop on Short-Term Forecasting, Delft. The Netherlands.
- DOUGHERTY M. S. e JOINT M. (1992). *A behavioural model of driver route choice using neural networks*. Proc. Int. Con/. on Artificial Inelligence Applications in Transportation Engineering, San Buenaventura, CA.
-

-
- DOUGHERTY M. S., KIRBY H. R. e BOYLE R. D. (1994). *Using neural networks to recognise predict and model traffic*. Artificial Intelligence Applications to Traffic Engineering (Bielli, Ambrosino and Boero, Eds). VSP, Utrecht..
- DOUGHERTY, M.S. (1995). *A review of neural networks applied to transport*. In: Transportation Research Part C. Artigo. Disponível em <http://www.sciencedirect.com>. Acesso em outubro 2008.
- DOUGHERTY, M.S. (1997). *Applications of Neural Networks in Transportation*. In: Transportation Research Part C. Artigo. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com>. Acesso em: outubro 2008.
- DULIBA K. A. (1991). *Contrasting neural nets with regression in predicting performance in the transportation industry*. International Conference on System Sciences, Hawaii.
- FAGHRI A. e HUA J. (1992a). *Evaluation of artificial neural network applications in transportation engineering*. Transportation Research Record 1358, 7 1. 80.
- FAGHRI A. e HUA J. (1992b). *Roadway seasonal classification using neural networks*. Proc. Int. Conf. on Artificial Intelligence Applications in Transportation Engineering, San Buenaventura, CA.
- FURTADO, A.N.D. (1998). *Uma nova abordagem na avaliação de projetos de Transporte: o uso das Redes Neurais Artificiais como técnica para avaliar e ordenar alternativas*. Tese (Doutorado). EESC/USP, São Carlos.
- FURTADO, A.N.D.; KAWAMOTO, E.; CARVALHO, A.P.L.F. (1997). *Uma nova abordagem na avaliação de projetos de transportes: o uso das Redes Neurais Artificiais como técnica para avaliar e ordenar alternativas*. Anais do XI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, São Carlos. V.1, p.176-187.
- GONZALES-TACO, P.W., KAWAMOTO, E.; BARRETO, G.A. (2003). *Aplicação de Redes Neurais Artificiais na Modelagem de Viagens Encadeadas: Um Estudo Preliminar*. Disponível em: <http://www.deti.ufc.br/~guilherme/PAPERS/sbrn2004b.pdf>. Acesso em: setembro 2008.
- GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. (2000). *Processamento de imagens digitais*. São Paulo: Edgard Blücher.
-

-
- GUEDELHA, K.C.P., SEIXAS, J.M. e PEREIRA, A.L. (1999). *Previsão neuronal de vagas para estacionamento em "shopping centers"*. Anais do 12º Congresso Brasileiro de Transporte e Transito. Olinda.
- GUINGO, B.C., PONTES, T.S., STIEBLER, G.M. e THOMÉ, A.C.G. (2004). *Kapta - um sistema de reconhecimento automático de placas de veículos e suas aplicações potenciais*. Anais do XVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. Florianópolis: ANPET, 2004.
- HAJEK J. e HURDAL B. (1993). *Comparison of rule-based and neural network solutions for a structured selection problem*. Transportation Research Record 1399. 1-7.
- HARTANI R., HAYAT S., SELLAM S., BOUCHON-MEUNIER B. e GALLINARI P. (1994). *Regulation de trafic de lignes de metro basee sur la logique floue et les reseaux de neurones*. Proc. 14th Int. Conf. on Artificial Intelligence. Expert Systems and Natural Language (AI and Transportation Conclave) I Paris.
- HEBB, D. (1949). *The organization of behavior: a neuropsychological theory*. New York, Wiley.
- HEYMANS B. C., ONERIA J. P. e CARRIERE P. E. (1991). *Determining maximum traffic flow using back propagation*. Proc. Int. Joint Conf on Neural Networks, Seattle.
- HOPFIELD, J.J. (1982). *Neural Networks and physical systems with emergent collective computational abilities*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the U.S.A, nº79.
- HUA J. e FAGHRI A. (1993a). *Traffic mark classification using artificial neural networks*. Proc. International Joint Conference on Neural Networks. Seattle.
- HUA J. e FAGHRI A. (1993b). *Dynamic traffic pattern classification using artificial neural networks*. Transportation Research Record 1399, pp. 14-19.
- HUA J.; FAGHRI A. (1994). *Application of artificial neural networks to IVHS*. Preprints of Transport Research Board Conference, Washington, DC.
- JACINTO, A.M, MOREIRA, T.C.S; PESSANHA, V.G. (2004). *Otimização da demanda futura: uma aplicação pratica das redes neurais artificiais e dos algoritmos genéticos*. Disponível em: <http://www.estacio.br/graduacao/informatica/docs/Otimizacao.pdf>. Acesso em: setembro 2008.
-

JWELL P. L.; NYGARD K. E. e NAGESH K. (1991). *Multiple neural networks for selecting and problem solving technique*. Proc. International Joint Conference on Neural Networks. Seattle.

KASEKO M. S. e RITCHIE S. G. (1992). *A neural network-based methodology for automated distress classification of pavement images*. Proc. International Joint Conference on Artificial Intelligence Applications in Transportation Engineering, San Buenaventura, CA.

KASEKO M. S. e RITCHIE S. G. (1993). *A neural network-based methodology for pavement crack detection and classification*. Transportation Research-C 1, 2755291.

KIKUCHI S., NANDA R. e PERINCHERRY V.(1993). *A method to estimate trip O-D patterns using a neural network approach*. Transportation.Planning. Technology 17, 51 65.

KIRBY H. R. e PARKER G. B. (1994).*The development of traffic and transport applications of artificial intelligence: an overview*. Artificial Intelligence Applications IO Traffic Engineering (Bielli, Ambrosino and Boero Eds). VSP. Utrecht.

KIRBY H. R., BOYLE R. D. e DOUGHERTY M. S. (1993). *Recognition of road traffic patterns using neural networks*. Conf. on Infiwming Technologiesfor Conswuiciion. Civil Engineering and Transport, Brunel.

KIRBY, H. R., WATSON, S.M E DOUGHERTY, M.S (1997). *Should we use neural networks or statistical models for short-term motorway traffic forecasting?* Disponível em: <http://www.sciencedirect.com>. Acesso em: agosto 2008.

KLODZINSKI, J. e AL-DEEK, H.M (2002). *Transferability of an Intermodal Freight Transportation Forecasting Model to Major Florida Seaports*. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com>. Acesso em: outubro 2008.

KORNHAUSER A. (1991). *Neural network approaches for lateral control of autonomous highway vehicles*. Proc. Vehicle Navigation and Information Systems Con&, pp. 1143-1 151, Dearborn, MI.

KOVÁCS, Z.L. (1997). *Redes Neurais Artificiais*. Segunda edição, editora Collegium Cognito.

-
- LA FRANCA, L. MIGLIORE, M. SALVO, G.; CAROLLO, F. (2004). *The automatic vehicle monitoring to improve the urban public transport management*. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com> >. Acesso em: outubro 2008.
- LIMA, R.L. (2003). *Bases para uma metodologia de apoio à decisão para serviços de educação e saúde sob a ótica dos transportes*. Tese de doutorado, USP-EESC São Carlos.
- LO Z. P. e BAVARIAN B. (1991). *A neural piecewise linear classifier for pattern classification*. International Joint Conference on Neural Networks.
- LYONS G. e HUNT J. (1993). *Traffic modelling-a role for neural networks?* Proc. Third Int. Conf on the Application of Artificial Intelligence to Civil and Structural Engineering, Edinburgh, U.K.
- MADALOZO, H.C. DYMINSKI, A.S. e RIBEIRO, E.P. (2004). *Análise de curvas horizontais de rodovias, para melhoramento de projeto e operação, utilizando redes neurais artificiais*. Anais do 18º Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito. ANPET.
- MANN R. e HAYHIM S. (1991). *Application of the self-organising feature map and learning vector quantization to radar clutter classification*. Proc. Int. Conf on Artificial Neural Networks, Espo.
- MANZATO, G.G.; SILVA, A. N. R. (2006). *Incorporando um indicador de oferta de infra-estrutura de transportes na definição de regiões metropolitanas*. Anais do XX Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, Brasília, DF. v.1, p.341-352.
- MANZATO, G.G.; SILVA, A.N.R. (2007). *Uma Estrutura Conceitual para a Definição de Regiões Urbanas Homogêneas*. Anais do XXI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, Rio de Janeiro.
- MARGARITA S. (1990). *Recognition of European car plates with modular neural networks*. Proc. Inr. Neural Network Conf, Paris.
- MATSUYAMA Y. (1991). *Self-organization via competition, cooperation and categorization applied to extended vehicle routing problems*. Proc. Int. Joint Conf. on Neural Networks, Seattle.
- Mc CULLOCH, W.S; PITTS, W. (1943). *A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity*. Bulletin of mathematical biophysics. Victoria, C.A.
-

-
- MEAD W. C., FISHER H. N., JONES R. D., BISSET K. R. e LEOPOLD A. L. (1994). *Application of adaptive and neural network computational techniques to traffic volume and classification monitoring*. Preprints of Transport Research Board Conf., Washington, DC.
- MINSKY, M.L. PAPERT, S.A. (1969). *Perceptron: a introduction to computational geometry*. Massachusetts, MIT Press.
- MON-MA, M.M. (2005). *Análise da importância das variáveis intervenientes nos acidentes de trânsito em interseções urbanas utilizando redes neurais artificiais*. Dissertação de mestrado. USP-EESC São Carlos.
- MON-MA, M.M.; RAIJA Jr., A.A. (2004). *Análise dos Acidentes de Trânsito Ocorridos em Interseções Urbanas Utilizando Redes Neurais*. Anais do XVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. Florianópolis: ANPET, 2004. v.1, p.69-72.
- MOTTA, C.G.L (2004). *Sistema inteligente para avaliação de riscos em vias de transporte terrestre*. Tese (Doutorado). COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro.
- NAHATSUJI T. e TERUTOSHI K. (1991). *Development of a self-organizing traffic control system using neural network models*. Transportation Research Record 1324, pp. 131~145.
- NELSON P. e PALACHARLA P. (1993). *A neural network model for data fusion in ADVANCE*. Proc. Pacific Rim. Conf. Seattle.
- NETO, S.A.D., FARIAS, M.M. e PAIS, J.C. (2004). *Modelagem da viscosidade absoluta dos asfaltos-borracha usando redes neurais artificiais*. Anais do XVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. Florianópolis: ANPET, 2004. v.1, p.28-39.
- NEUSSER S., HOEFFLINGER B., NIJHUIS J., SIGGELHOW A. e SPAANENBURG L. (1991). *A case study in car control by neural networks*. 24th ISATA Int. Symp. on Automotive Technology and Automation, Florence.
- OHBA Y., MIDORIKAUURA H. e IIZUHA H. (1989). *Optimizing problems by neural networks*. Technology Report of the Seihei University, No. 48.
- OLIVEIRA, R.L.M e CURY, M.V.Q. (2004). *Escolha modal no transporte de cargas sob a ótica da modelagem neuro-fuzzy: um estudo de caso*. Anais do 18º Congresso Pesquisa e Ensino de Pesquisa em Transportes. ANPET. Florianópolis.
-

-
- PANT P. D., ZHOU X., ARUDI R. S., BODOCSI A. e AKTAN A. E. (1993). *Neural-network-based procedure for condition assessment of utility cuts in flexible pavements*. Transportation Research Record 1399, pp. 8-13.
- PANT P.D. e BALAKRISHMAN P.(1994). *Neural network for gap acceptance at stop-controlled intersections*. Journal of Transportation Engineering 120(3), 432-446.
- PEDROSO, F.F.F. YAMASHITA, Y. GONZALES-TACO, P.W. e SANT'ANNA, J.A. (2005). *Utilização de ferramenta para gestão rodoviária para prevenção de acidentes através da previsão de severidade*. Anais do 15º Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito. ANPET.
- PEREIRA, M.A.; CÁRDENAS, C.B.B., BOCANEGRA, C.W.R.; SILVA, A.N.R. (2003). *La importancia del conocimiento y uso de nuevas técnicas en Ingeniería Civil: una aplicación práctica con Redes Neuronales Artificiales*. In: Actas del I Encuentro Internacional de Enseñaza de la Ingeniería Civil, Ciudad Real-Espanha.
- POMERLEAU D., GOWDY J. e THORPE C. (1991). *Combining artificial neural networks and symbolic processing for autonomous robot guidance*. Intelligence Applications in Transportation Engineering. 4(4), 279-285.
- POTUIN J. Y. AND SHEN Y. (1991). *A neural network approach to the vehicle dispatching problem*. IEEE International Conference on Neural Networks, Singapore.
- RAIA Jr., A.A. (2000). *Acessibilidade e Mobilidade na Estimativa de um Índice Potencial de Viagens Utilizando Redes Neurais Artificiais e Sistema de Informações Geográficas*. São Carlos. EESC-USP.Tese de doutorado.
- RAIA Jr., A.A.; SILVA, A.N.R (2001a). *A utilização de redes neurais artificiais na engenharia de transportes: o estado da arte*. Anais do 13º congresso de transporte público e urbano, CLATPU.
- RAIA JR, A.A.; SILVA, A.N.R. (2001b). *Índice de Potencial de Viagens para Planejamento Estratégico de Transporte Urbano com o Uso de SIG e Redes Neurais Artificiais*. Anais do GisBrasil2001, Curitiba.
- RAIA JUNIOR, A.A.; SILVA, A.N.R.; BOCANEGRA, C.W.R. (2001). *Acessibilidade e Mobilidade na Estimativa de um Índice de Potencial de Viagens Utilizando Redes Neurais e SIG*. Anais do XV Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes. Rio de Janeiro: ANPET, v. 2. p. 253-261.
-

-
- REGGIANI, A., NIJKAMP, P e TSANG, W.F, (1997). *European freight transport analysis using neural networks and logit models*. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com> >. Acesso em: setembro 2008.
- RENTERÍA, A.R. (2002). *Controle de Semáforos por Lógica Fuzzy e Redes Neurais*. Dissertação (Mestrado). PUC/Rio.
- REWINSKI S. (1992). *The neural designing in pavement management*. Proc. Int. Conf. on Artificial Intelligence Applications in Transportation Engineering, San Buenaventura, CA.
- RITCHIE S. G. e CHEU R. L. (1993). *Simulation of freeway incident detection using artificial neural networks*. Transportation Research.-C 1, 203-217.
- RITCHIE S. G., CHEU R. L. e RECHER W. W. (1992). *Freeway incident detection using artificial neural networks*. Proc. Int. Conf. on Artificial Intelligence Applications in Transportation Engineering, San Buenaventura, CA.
- RODRIGUES, F.A. (2002). *Localização e Reconhecimento de Placas de Sinalização Utilizando um Mecanismo de Atenção Visual e Redes Neurais Artificiais*. Dissertação de mestrado. UFCG.
- ROSENBLATT, F. (1958). *The Perceptron: a probabilistic model for information storage and organization in the brain*. Psychological Review, nº65.
- SANCHES, S.P. e FERREIRA, M.A.G (2007). *Estudo comparativo entre um modelo de rede neural artificial e um modelo logit multinomial para estimar a opção modal*. Anais do 16º Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito. ANPET.
- SCARPEL, R.A; MILIONI, A. Z. *Otimização na formação de agrupamentos em problemas de composição de especialistas*. Pesquisa Operacional. Rio de Janeiro, v.27, n.1, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010174382007000100005&lng=en&nrm=iso>. acesso em novembro 2008.
- SILVA, A.N.R.; RAIÁ Jr., A.A.; BOCANEGRA, C.W.R. (2002). *Exploring an ANN Modeling Approach that Combines Accessibility and Mobility into a Single Trip Potential Index for Strategic Planning*. Transportation Research Board 81st Annual Meeting. Washington, DC: Transportation Research Board, v 1. p.1-23.
-

-
- SINAY, M.C.F. e ALVES, G.K.A. (2005). *Índice da sustentabilidade da mobilidade urbana*. Anais do 13º Congresso Latinoamericano de Transporte Público y Urbano, CLATPU. Lima, Peru.
- SOUZA, L.C.L., NAKATA, C.M., POSTIGO, C.P.P. e SORANO, E.C. (2008). *AMBIENTE TÉRMICO DO PEDESTRE*. Anais do 3º Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável. PLURIS.
- STAMENKOVICH M. (1991). *An application of artificial neural networks for autonomous ship navigation through a channel*. Proc. Vehicle Navigation and Information Systems Conf.
- TATIBANA, C.Y.; KAETSU, D.Y. (2006). *Introdução às Redes Neurais Artificiais*. Disponível em: <http://www.din.uem.br/ia/neurais/>, acesso em: maio 2006.
- TUBB, N.R. (1993). *A development path to success in neural computing*. Expert Systems Applications.
- VEIGA, F.J.P. e CURY, M.V.Q. (2003). *Avaliação do desempenho do centro de controle operacional de rodovias*. Instituto Militar de Engenharia. Disponível em: http://www.marvinconsultoria.com.br/adm/anexos/Artigo_Veiga_MVQC.PDF.
- XIE, Y.; LORD, D.; ZHANG, Y. (2006). *Predicting motor vehicle collisions using Bayesian neural network models: An empirical analysis*. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: setembro 2008.
- XIONG Y. e SCHNEIDER J. B. (1992). *Transportation network design using a cumulative genetic algorithm and neural network*. Transportation Research Record 1364, pp. 31-44.
- YANG H., AKIYAMA T. e SASAKI T. (1992). *A neural network approach to the identification of real time origindestination flows from traffic counts*. Proc. Int. Conf. on Artificial intelligence Applications in Transportation Engineering, San Buenaventura, CA.
- ZAMPIERI, F.L., DIÓGENES, M.C. e RIGATTI, D. (2007). *Modelo de predição de fluxo de pedestres aplicado a ambientes urbanos*. Anais do 16º congresso brasileiro de transporte e transito. ANPET.
-

ZAMPIERI, F.L., DIOGENES, M.C. e RIGATTI, D. (2008). *Criação de um índice de caminhabilidade para priorizar o investimento na melhoria nas calçadas*. Anais do 16º congresso brasileiro de transporte e transito. ANPET.

ZHU, Y. CHEN. Y. GENG, X. LIU, L. (2007). *Transport Modal Split of Commercial Sites Based on Artificial Neural Network*. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com> >. Acesso em: setembro 2008.
