

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

**ANÁLISE DA IMPORTÂNCIA DAS VARIÁVEIS INTERVENIENTES  
NOS ACIDENTES DE TRÂNSITO EM INTERSEÇÕES URBANAS  
UTILIZANDO REDES NEURAS ARTIFICIAIS**

**MARLY MITIKO MON-MA**

SÃO CARLOS

2005

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

**ANÁLISE DA IMPORTÂNCIA DAS VARIÁVEIS INTERVENIENTES  
NOS ACIDENTES DE TRÂNSITO EM INTERSEÇÕES URBANAS  
UTILIZANDO REDES NEURAIS ARTIFICIAIS**

**MARLY MITIKO MON-MA**

Orientador: Prof. Dr. Archimedes Azevedo Raia Junior

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.  
(Área de pesquisa: Transporte e Trânsito, Segurança Viária)

SÃO CARLOS

2005

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

M747ai

Mon-Ma, Marly Mitiko.

Análise da importância das variáveis intervenientes nos acidentes de trânsito em interseções urbanas utilizando redes neurais artificiais / Marly Mitiko Mon-Ma. -- São Carlos : UFSCar, 2005.

140 p.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2005.

1. Acidentes de trânsito. 2. Segurança viária. 3. Padrões de acidente. 4. Redes neurais (Computação). 5. Trânsito urbano. I. Título.

CDD: 363.125 (20<sup>a</sup>)

## *Dedicatória*

Dedico este trabalho a minha família pelo exemplo de perseverança, pelos seus sacrifícios na formação que me proporcionou, pela compreensão de tantas e tantas ausências minhas. Em especial a mamãe Catharina, papai Setsuo (*in memoriam*) e aos meus irmãos Luci, Márcia Lika, Alberto e Massahiro.

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal de São Carlos – UFSCar por ter me oferecido a oportunidade de ampliar conhecimentos e expandir horizontes.

Ao Prof. Dr. Archimedes Azevedo Raia Jr. pela dedicação, compreensão, amizade, respeito, confiança e orientação para que este trabalho concretizasse da melhor forma possível.

Ao meu amigo e companheiro Orivaldo Gomes (Ado) pela sua dedicação, preocupação, suporte moral, incentivos e sacrifícios por todos os anos de luta dedicada a minha pessoa e para o meu engrandecimento.

À minha amada irmã Márcia Lika pelos momentos de compreensão e dedicação que me foram ofertados durante meses mais difíceis do mestrado.

À Prefeitura Municipal de São Carlos e a Polícia Militar do Estado de São Paulo pelas informações sobre os acidentes de trânsito e demais esclarecimentos sobre a sistemática do planejamento e operação do trânsito da cidade de São Carlos.

Aos professores e a secretária Sônia do Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana da UFSCar que sempre estiveram prontos a me ajudar nas mais diversas ocasiões.

Os meus mais sinceros agradecimentos a todos os amigos que de alguma forma, direta ou indireta, deram a sua contribuição. Profundo reconhecimento a todos os colegas, amigos e entidades que cooperaram para que eu pudesse desenvolver e enriquecer este trabalho.

## RESUMO

---

Mon-Ma, Marly Mitiko. Análise da importância das variáveis intervenientes nos acidentes de Trânsito em interseções urbanas utilizando Redes Neurais Artificiais. São Carlos, 2005. 141p. Dissertação de mestrado em Engenharia Urbana. Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Federal de São Carlos – UFSCar.

O desenvolvimento tecnológico tem gerado grandes bases de dados com potencial para fornecer informações sobre diversos aspectos relacionados com a segurança viária. No entanto, a conversão de um grande volume de dados em informações úteis para os técnicos, gestores públicos e a população em geral, requer a modelagem e o tratamento destes dados utilizando ferramentas de análise que permitam uma visualização dos resultados de forma facilmente compreensível. Este trabalho apresenta uma nova metodologia para análise de acidentes de trânsito fundamentada na rede neural artificial (RNA). A RNA pode ser de grande utilidade para organizações públicas e privadas, principalmente para aquelas que se propõem compreender os fenômenos do trânsito a fim de buscar soluções integradas em diversas áreas tais como educação, engenharia e fiscalização. A pesquisa teve como objetivo geral identificar os padrões de acidentes de trânsito que ocorreram nas interseções urbanas. Os dados de acidentes que ocorreram no período de 2000 a 2003, na cidade de São Carlos foram utilizados para o estudo de caso, visando fornecer subsídios para a elaboração e a avaliação de políticas públicas voltadas para redução do número de acidentes de trânsito e essencialmente na redução global da severidade. O estudo explora a suposição de que diferentes tipos de acidente estão relacionados com padrões distintos. Os padrões obtidos através da RNA mostram que há divergências significativas nos fatores que podem influenciar os diferentes tipos de acidentes. Conhecer padrões de cada tipo de acidente se faz necessária para que as medidas corretivas ou preventivas voltadas para a melhoria da segurança viária não resultem em efeitos indesejados quando são implementadas, no entanto comparações entre padrões de diferentes tipos de acidentes mostraram-se particularmente difíceis devido à heterogeneidade das situações e dos diferentes elementos que compõem o ambiente viário e que podem influenciar na ocorrência do acidente.

**Palavras-chave:** Trânsito, segurança viária, acidentes de trânsito, padrões, redes neurais.

## ABSTRACT

---

Mon-Ma, Marly Mitiko. Analysis of the importance of the intervening variable in the traffic accidents in urban intersections using Artificial Neural Networks. São Carlos, 2005. 141p. Master dissertation in Urban Engineering. Center of Exact and Technological Sciences, Federal University of São Carlos - UFSCar.

The technological development has generated great amount of potential data bases in order to supply information for several aspects related to road safety. However, the transformation of these great amount of data in useful information for the technicians, public managers and the population in general, requests the modeling and the treatment of these data using some analysis tools that allow a visualization of the results in form easily understandable. This work presents a new methodology of traffic accidents analysis based in the artificial neural network (ANN). ANN can be very useful for organizations, public or particular, mainly to those that propose to understand the phenomena of the traffic in order to looking for solutions integrated to several areas such as education, engineering and fiscalization. This research had as general objective to identify the patterns of traffic accidents that happened at urban intersections. The data of accidents that happened in the period from 2000 to 2003, in the city of São Carlos were used for the case study, in order to subsidize the elaboration and the evaluation of public policies of traffic accidents reduction and specially the reduction of accident severity. The study explores the assumption that different accident types are related to different patterns. The patterns obtained by ANN showed that there are significant differences in the factors that can affect the different types of accidents. The knowledge of the patterns of each accident type is essential to develop actions corrective or preventive road safety's improvement in order to avoid undesirable effects when these actions are implemented. However, the comparison between the patterns of the different types of accidents was difficult due to the heterogeneity of the situations and the different elements that compose the road environment that can affect the occurrence of the accident.

**Keyword:** Traffic, road safety, Traffic accidents, patterns, neural networks.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 4.1</b> –	Modelo não linear de um neurônio.....	34
<b>Figura 4.2</b> –	Exemplo de Rede Neural do tipo MLP.....	39
<b>Figura 6.1</b> –	Representatividade de cada tipo de veículo em São Carlos.....	58
<b>Figura 6.2</b> -	Hierarquia das vias do Distrito Sede de São Carlos.....	60
<b>Figura 6.3</b> -	Adensamento do solo por ocupação.....	61
<b>Figura 7.1</b> -	Importância relativa do dia da semana para a colisão frontal.....	74
<b>Figura 7.2</b> -	Importância relativa do dia da semana para a colisão traseira.....	74
<b>Figura 7.3</b> -	Importância relativa do dia da semana para a colisão lateral.....	74
<b>Figura 7.4</b> -	Importância relativa do dia da semana para a colisão transversal.....	74
<b>Figura 7.5</b> -	Importância relativa do dia da semana para choque com objeto fixo.....	75
<b>Figura 7.6</b> -	Importância relativa do dia da semana para choque com veículo estacionado.....	75
<b>Figura 7.7</b> -	Importância relativa do dia da semana para atropelamento.....	76
<b>Figura 7.8</b> -	Importância relativa do dia da semana para capotamento.....	76
<b>Figura 7.9</b> -	Importância relativa do dia da semana para a derrapagem.....	76
<b>Figura 7.10</b> -	Importância relativa do dia da semana para o tombamento.....	76
<b>Figura 7.11</b> -	Importância relativa do dia da semana para o engavetamento.....	77
<b>Figura 7.12</b> -	Importância relativa do dia da semana para todos tipos de acidentes.....	77
<b>Figura 7.13</b> -	Importância relativa do dia da semana para acidentes sem vítimas.....	77
<b>Figura 7.14</b> -	Importância relativa do dia da semana para acidentes com vítimas.....	77
<b>Figura 7.15</b> -	Importância relativa do período do dia para a colisão frontal.....	78
<b>Figura 7.16</b> -	Importância relativa do período do dia para a colisão traseira.....	78
<b>Figura 7.17</b> -	Importância relativa do período do dia para a colisão lateral.....	78



<b>Figura 7.18 -</b>	Importância relativa do período do dia para a colisão transversal.....	78
<b>Figura 7.19 -</b>	Importância relativa do período do dia para o choque com objeto fixo...	79
<b>Figura 7.20 -</b>	Importância relativa do período do dia para o choque com veículo estacionado.....	79
<b>Figura 7.21 -</b>	Importância relativa do período do dia para o atropelamento.....	79
<b>Figura 7.22 -</b>	Importância relativa do período do dia para o capotamento.....	79
<b>Figura 7.23 -</b>	Importância relativa do período do dia da semana para a derrapagem....	80
<b>Figura 7.24 -</b>	Importância relativa do período do dia para o tombamento.....	80
<b>Figura 7.25 -</b>	Importância relativa do período do dia para o engavetamento.....	81
<b>Figura 7.26 -</b>	Importância relativa do período do dia para todos acidentes.....	81
<b>Figura 7.27 -</b>	Importância relativa do período do dia para acidentes sem vítimas.....	81
<b>Figura 7.28 -</b>	Importância relativa do período do dia para acidentes com vítimas.....	81
<b>Figura 7.29 -</b>	Importância relativa da condição meteorológica para a colisão frontal...	82
<b>Figura 7.30 -</b>	Importância relativa da condição meteorológica para a colisão traseira..	82
<b>Figura 7.31 -</b>	Importância relativa da condição meteorológica para a colisão lateral....	82
<b>Figura 7.32 -</b>	Importância relativa da condição meteorológica para a colisão transversal.....	82
<b>Figura 7.33 -</b>	Importância relativa da condição meteorológica para o choque com objeto fixo.....	82
<b>Figura 7.34 -</b>	Importância relativa da condição meteorológica para o choque com veículo estacionado.....	82
<b>Figura 7.35 -</b>	Importância relativa da condição meteorológica para atropelamento.....	83
<b>Figura 7.36 -</b>	Importância relativa da condição meteorológica para capotamento.....	83
<b>Figura 7.37 -</b>	Importância relativa da condição meteorológica para derrapagem.....	84
<b>Figura 7.38 -</b>	Importância relativa da condição meteorológica para tombamento.....	84
<b>Figura 7.39 -</b>	Importância relativa da condição meteorológica para engavetamento.....	84
<b>Figura 7.40 -</b>	Importância relativa da condição meteorológica para todos acidentes....	84
<b>Figura 7.41 -</b>	Importância relativa da condição meteorológica em acidentes sem vítimas.....	84

<b>Figura 7.42 -</b>	Importância relativa da condição meteorológica nos acidentes com vítimas.....	84
<b>Figura 7.43 -</b>	Importância relativa do tipo de iluminação para a colisão frontal.....	85
<b>Figura 7.44 -</b>	Importância relativa do tipo de iluminação para a colisão traseira.....	85
<b>Figura 7.45 -</b>	Importância relativa do tipo de iluminação para a colisão lateral.....	86
<b>Figura 7.46 -</b>	Importância relativa do tipo de iluminação para a colisão transversal.....	86
<b>Figura 7.47 -</b>	Importância relativa do tipo de iluminação para o choque com objeto fixo.....	86
<b>Figura 7.48 -</b>	Importância relativa do tipo de iluminação para o choque com veículo estacionado.....	86
<b>Figura 7.49 -</b>	Importância relativa do tipo de iluminação para o atropelamento.....	87
<b>Figura 7.50 -</b>	Importância relativa do tipo de iluminação para o capotamento.....	87
<b>Figura 7.51 -</b>	Importância relativa do tipo de iluminação para a derrapagem.....	88
<b>Figura 7.52 -</b>	Importância relativa do tipo de iluminação para o tombamento.....	88
<b>Figura 7.53 -</b>	Importância relativa do tipo de iluminação para o engavetamento.....	89
<b>Figura 7.54 -</b>	Importância relativa do tipo de iluminação para todos acidentes.....	89
<b>Figura 7.55 -</b>	Importância relativa do tipo de iluminação para acidentes sem vítimas..	88
<b>Figura 7.56 -</b>	Importância relativa do tipo de iluminação para acidentes com vítimas..	88
<b>Figura 7.57 -</b>	Importância relativa da hierarquia da via para a colisão frontal.....	89
<b>Figura 7.58 -</b>	Importância relativa da hierarquia da via para a colisão traseira.....	89
<b>Figura 7.59 -</b>	Importância relativa da hierarquia da via para a colisão lateral..	90
<b>Figura 7.60 -</b>	Importância relativa da hierarquia da via para a colisão transversal.....	90
<b>Figura 7.61 -</b>	Importância relativa da hierarquia da via para o choque com objeto fixo.....	91
<b>Figura 7.62 -</b>	Importância relativa da hierarquia da via para o choque com veículo estacionado.....	91
<b>Figura 7.63 -</b>	Importância relativa da hierarquia da via para atropelamento.....	91
<b>Figura 7.64 -</b>	Importância relativa da hierarquia da via para capotamento.....	91

<b>Figura 7.65 -</b>	Importância relativa da hierarquia da via para derrapagem.....	92
<b>Figura 7.66 -</b>	Importância relativa da hierarquia d via para tombamento.....	92
<b>Figura 7.67 -</b>	Importância relativa da hierarquia da via para engavetamento.....	92
<b>Figura 7.68 -</b>	Importância relativa da hierarquia da via para todos acidentes.....	92
<b>Figura 7.69 -</b>	Importância relativa da hierarquia da via para acidentes sem vítimas.....	93
<b>Figura 7.70 -</b>	Importância relativa da hierarquia da via para acidentes com vítimas.....	93
<b>Figura 7.71 -</b>	Importância relativa do adensamento do solo para colisão frontal.....	94
<b>Figura 7.72 -</b>	Importância relativa do adensamento do solo para colisão traseira.....	94
<b>Figura 7.73 -</b>	Importância relativa do adensamento do solo para colisão lateral.....	94
<b>Figura 7.74 -</b>	Importância relativa do adensamento do solo para colisão transversal....	94
<b>Figura 7.75 -</b>	Importância relativa do adensamento do solo o choque com objeto fixo.....	95
<b>Figura 7.76 -</b>	Importância relativa do adensamento do solo o choque com veículo estacionado.....	95
<b>Figura 7.77 -</b>	Importância relativa do adensamento do solo para atropelamento.....	96
<b>Figura 7.78 -</b>	Importância relativa do adensamento do solo para capotamento.....	96
<b>Figura 7.79 -</b>	Importância relativa do adensamento do solo para derrapagem.....	96
<b>Figura 7.80 -</b>	Importância relativa do adensamento do solo para tombamento.....	96
<b>Figura 7.81 -</b>	Importância relativa do adensamento do solo para engavetamento.....	97
<b>Figura 7.82 -</b>	Importância relativa do adensamento do solo para todos acidentes.....	97
<b>Figura 7.83 -</b>	Importância relativa do adensamento do solo para acidentes sem vítimas..	97
<b>Figura 7.84 -</b>	Importância relativa do adensamento do solo para acidentes com vítimas.....	97
<b>Figura 7.85 -</b>	Importância relativa da sinalização de trânsito para colisão frontal.....	99
<b>Figura 7.86 -</b>	Importância relativa da sinalização de trânsito para colisão traseira.....	99
<b>Figura 7.87 -</b>	Importância relativa da sinalização de trânsito para colisão lateral.....	99
<b>Figura 7.88 -</b>	Importância relativa da sinalização de trânsito para colisão transversal..	99
<b>Figura 7.89 -</b>	Importância relativa da sinalização de trânsito para choque com objeto	99

	fixo.....	
<b>Figura 7.90 -</b>	Importância relativa da sinalização de trânsito para choque com veículo estacionado.....	99
<b>Figura 7.91 -</b>	Importância relativa da sinalização de trânsito para atropelamento.....	101
<b>Figura 7.92 -</b>	Importância relativa da sinalização de trânsito para capotamento.....	101
<b>Figura 7.93 -</b>	Importância relativa da sinalização de trânsito para derrapagem.....	101
<b>Figura 7.94 -</b>	Importância relativa da sinalização de trânsito para tombamento.....	101
<b>Figura 7.95 -</b>	Importância relativa da sinalização de trânsito para engavetamento.....	102
<b>Figura 7.96 -</b>	Importância relativa da sinalização de trânsito para todos acidentes.....	102
<b>Figura 7.97 -</b>	Importância relativa da sinalização de trânsito para acidentes sem vítimas.....	102
<b>Figura 7.98 -</b>	Importância relativa da sinalização de trânsito para acidentes com vítimas.....	102
<b>Figura 7.99 -</b>	Importância relativa da idade do motorista para colisão frontal.....	103
<b>Figura 7.100 -</b>	Importância relativa da idade do motorista para colisão traseira.....	103
<b>Figura 7.101 -</b>	Importância relativa da idade do motorista para colisão lateral.....	103
<b>Figura 7.102 -</b>	Importância relativa da idade do motorista para colisão transversal.....	103
<b>Figura 7.103 -</b>	Importância relativa da idade do motorista para choque com objeto fixo.....	104
<b>Figura 7.104 -</b>	Importância relativa da idade do motorista para choque com veículo estacionado.....	104
<b>Figura 7.105 -</b>	Importância relativa da idade do motorista para atropelamento.....	105
<b>Figura 7.106 -</b>	Importância relativa da idade do motorista para capotamento.....	105
<b>Figura 7.107 -</b>	Importância relativa da idade do motorista para derrapagem.....	106
<b>Figura 7.108 -</b>	Importância relativa da idade do motorista para tombamento.....	106
<b>Figura 7.109 -</b>	Importância relativa da idade do motorista para engavetamento.....	107
<b>Figura 7.110 -</b>	Importância relativa da idade do motorista para todos acidentes.....	107
<b>Figura 7.111 -</b>	Importância relativa da idade do motorista para acidentes sem vítimas..	108
<b>Figura 7.112 -</b>	Importância relativa da idade do motorista para acidentes com vítimas..	108

<b>Figura 7.113</b> -	Importância relativa da idade do pedestre para o atropelamento.....	109
<b>Figura 7.114</b> -	Importância relativa do tipo de veículo para colisão frontal.....	111
<b>Figura 7.115</b> -	Importância relativa do tipo de veículo para colisão traseira.....	111
<b>Figura 7.116</b> -	Importância relativa do tipo de veículo para colisão lateral.....	112
<b>Figura 7.117</b> -	Importância relativa do tipo de veículo para colisão transversal.....	112
<b>Figura 7.118</b> -	Importância relativa do tipo de veículo para choque com objeto fixo.....	112
<b>Figura 7.119</b> -	Importância relativa do tipo de veículo para choque com veículo estacionado.....	112
<b>Figura 7.120</b> -	Importância relativa do tipo de veículo para atropelamento.....	113
<b>Figura 7.121</b> -	Importância relativa do tipo de veículo para capotamento.....	113
<b>Figura 7.122</b> -	Importância relativa do tipo de veículo para derrapagem.....	113
<b>Figura 7.123</b> -	Importância relativa do tipo de veículo para tombamento.....	113
<b>Figura 7.124</b> -	Importância relativa do tipo de veículo para engavetamento.....	114
<b>Figura 7.125</b> -	Importância relativa do tipo de veículo para todos acidentes.....	114
<b>Figura 7.126</b> -	Importância relativa do tipo de veículo para acidentes sem vítimas.....	114
<b>Figura 7.127</b> -	Importância relativa do tipo de veículo para acidentes com vítimas.....	114
<b>Figura 7.128</b> -	Importância relativa do dia da semana para acidente com moto.....	116
<b>Figura 7.129</b> -	Importância relativa do período do dia para acidente com moto.....	116
<b>Figura 7.130</b> -	Importância relativa da idade do motociclista para acidentes com moto.	116
<b>Figura 7.131</b> -	Importância relativa do ano de fabricação da moto.....	116
<b>Figura 7.132</b> -	Importância relativa do dia da semana para acidente com ciclista.....	117
<b>Figura 7.133</b> -	Importância relativa do período do dia para acidente com ciclista.....	117
<b>Figura 7.134</b> -	Importância relativa da idade do ciclista.....	117
<b>Figura 7.135</b> -	Importância relativa da hierarquia da via no acidente com ciclista.....	117
<b>Figura 7.136</b> -	Importância relativa do adensamento do solo para acidente com ciclista	118
<b>Figura A.1</b> -	Exemplo de codificação dos neurônios de entrada e de saída da RNA....	138
<b>Figura A.2</b> -	Exemplo de normalização do erro realizado pelo <i>software EasyNN-Plus</i> .....	138

<b>Figura A.3 -</b>	Exemplo de gráfico da evolução do aprendizado da RNA.....	139
<b>Figura A.4 -</b>	Exemplo de topologia de um modelo de RNA.....	139
<b>Figura A.5 -</b>	Exemplo de gráficos e valores de importância do neurônio de entrada apresentado pelo <i>software EasyNN-Plus</i> .....	140
<b>Figura A.6 -</b>	Exemplo de um relatório emitido pelo software EasyNN-Plus para um modelo de RNA.....	140

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.1 -</b>	Acidentes de trânsito no Brasil, entre 1961 – 2000.....	04
<b>Tabela 2.1 -</b>	Importância relativa dos fatores que influenciam no grau de severidade dos acidentes na Flórida pela árvore de regressão.....	22
<b>Tabela 2.2 -</b>	Importância relativa das variáveis independentes em cada tipo de acidente para o conjunto de dos completo e restrito, Flórida (EUA).....	23
<b>Tabela 6.1 -</b>	Índice de motorização (frota/100 habitantes).....	56
<b>Tabela 6.2 -</b>	Frota de veículos de São Carlos (SP), entre 1997 a 2003.....	57
<b>Tabela 6.3 -</b>	Acidentes de trânsito no município de São Carlos (SP), período de 2000 a 2003.....	62
<b>Tabela 6.4 -</b>	Custo médio dos acidentes em São Carlos (SP), por severidade, no período de 2000 a 2003.....	62
<b>Tabela 6.5 -</b>	Índice de acidentes em relação à frota de veículos em São Carlos (SP)..	63
<b>Tabela 6.6 -</b>	Acidentes em relação à severidade em São Carlos.....	63
<b>Tabela 6.7 -</b>	Veículos envolvidos em acidentes em São Carlos (SP), por tipo, nos anos de 2000 a 2003.....	64
<b>Tabela 6.8 -</b>	Número de pedestres atropelados em São Carlos (SP), em função da faixa etária nos anos de 2000 a 2003.....	64
<b>Tabela 6.9 -</b>	Número de acidentes no período de 2000 a 2003 na cidade de São Carlos (SP).....	66
<b>Tabela 6.10 -</b>	Interseções com maior número de acidentes de trânsito em São Carlos (SP), no período de 2000 a 2003.....	67
<b>Tabela 6.11 -</b>	Faixa etária dos motoristas.....	70
<b>Tabela 6.12 -</b>	Faixa etária dos pedestres.....	70
<b>Tabela 6.13 -</b>	Características dos neurônios de entrada dos modelos de RNA para predição.....	72
<b>Tabela 7.1-</b>	Importância relativa das variáveis independentes em cada tipo de acidente pela RNA.....	120

# SUMÁRIO

**RESUMO**

**ABSTRACT**

**LISTA DE FIGURAS**

**LISTA DE TABELAS**

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1	OBJETIVO .....	3
1.2	JUSTIFICATIVA DA PESQUISA .....	3
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	5
<b>2</b>	<b>SEGURANÇA DO TRÂNSITO.....</b>	<b>7</b>
2.1	SEGURANÇA VIÁRIA .....	7
2.2	ACIDENTES DE TRÂNSITO.....	9
2.3	CAUSA DOS ACIDENTES DE TRÂNSITO .....	9
2.1.1	<i>Fator humano</i> .....	10
2.1.2	<i>Fator veicular</i> .....	12
2.1.3	<i>Fator via e meio ambiente</i> .....	13
2.1.4	<i>Fator institucional, político e social</i> .....	17
2.4	SEVERIDADE DO ACIDENTE E OS USUÁRIOS VULNERÁVEIS.....	18
2.5	ACIDENTES DE TRÂNSITO EM INTERSEÇÃO URBANA .....	19
<b>3</b>	<b>REGISTROS DE ACIDENTES DE TRÂNSITO E A IMPORTÂNCIA DAS ESTATÍSTICAS .....</b>	<b>24</b>
3.1	BOLETINS DE OCORRÊNCIA (BO) .....	25
3.2	OUTRAS FONTES E FORMAS DE REGISTRO DOS ACIDENTES DE TRÂNSITO .....	27
<b>4</b>	<b>REDES NEURAIS ARTIFICIAIS.....</b>	<b>30</b>
4.1	NEURÔNIO BIOLÓGICO .....	31
4.2	BREVE HISTÓRICO SOBRE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS .....	32
4.3	REDES NEURAIS ARTIFICIAIS.....	33
4.3.1	<i>Neurônio artificial</i> .....	34
4.3.2	<i>A rede Multilayer Perceptron – MLP</i> .....	38
4.4	APLICAÇÃO DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS NA ÁREA DE TRANSPORTES .....	44



4.5	USO DE RNA NA ANÁLISE DE ACIDENTES EM VIAS URBANAS .....	47
<b>5</b>	<b>METODOLOGIA PARA ANÁLISE DE ACIDENTES DE TRÂNSITO ATRAVÉS DE REDES NEURAIIS .....</b>	<b>49</b>
5.1	COLETA E TRATAMENTO PRÉVIO DOS DADOS .....	49
5.2	ESCOLHA DO SOFTWARE PARA SIMULAÇÃO DE REDES NEURAIIS.....	50
5.3	RNA PARA EXTRAÇÃO DE PADRÕES DE ACIDENTES .....	51
5.4	RNA PARA PREVISÃO DO TIPO DE ACIDENTE .....	53
<b>6</b>	<b>SÃO CARLOS (SP) – Estudo de Caso .....</b>	<b>55</b>
6.1	CARACTERIZAÇÃO DA CIDADE DE SÃO CARLOS .....	55
6.1.1	<i>Frota de veículos de São Carlos .....</i>	<i>55</i>
6.1.2	<i>Sistema viário de São Carlos .....</i>	<i>57</i>
6.1.3	<i>Adensamento do solo por ocupação.....</i>	<i>59</i>
6.2	AVALIAÇÃO PRELIMINAR DOS ACIDENTES .....	62
6.3	APLICAÇÃO DE RNA PARA ANÁLISE DOS ACIDENTES DE TRÂNSITO OCORRIDOS EM INTERSEÇÕES URBANAS DE SÃO CARLOS.....	68
6.3.1	<i>Extração de padrões de acidentes.....</i>	<i>69</i>
6.3.2	<i>Predição do tipo de acidente .....</i>	<i>71</i>
<b>7</b>	<b>RESULTADOS DA RNA.....</b>	<b>73</b>
7.1	IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DE FATORES INTERVENIENTES NOS ACIDENTES .....	73
7.1.1	<i>Dia da semana.....</i>	<i>73</i>
7.1.2	<i>Horário do dia.....</i>	<i>77</i>
7.1.3	<i>Condições meteorológicas.....</i>	<i>81</i>
7.1.4	<i>Tipo de iluminação .....</i>	<i>85</i>
7.1.5	<i>Hierarquia da via .....</i>	<i>88</i>
7.1.6	<i>Adensamento do solo.....</i>	<i>93</i>
7.1.7	<i>Sinalização de trânsito .....</i>	<i>97</i>
7.1.8	<i>Idade do motorista e do pedestre .....</i>	<i>102</i>
7.1.9	<i>Tipo de veículo .....</i>	<i>109</i>
7.1.10	<i>Acidente envolvendo moto.....</i>	<i>115</i>
7.1.11	<i>Acidente envolvendo bicicleta .....</i>	<i>116</i>
7.2	VIABILIDADE DO USO DE RNA NA PREDIÇÃO DE ACIDENTES.....	118
<b>8</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>121</b>
<b>9</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>127</b>
	<b>ANEXO.....</b>	<b>137</b>

# 1 INTRODUÇÃO

---

Conforme relatório divulgado, em 2004, pela Organização Mundial da Saúde (OMS, 2004) em conjunto com o BANCO MUNDIAL, mais de 1,2 milhões de pessoas morreram e 50 milhões de pessoas foram vítimas de acidentes automobilísticos no ano de 2002, dos quais 90% das ocorrências foram registradas nos países em desenvolvimento. Segundo dados do BANCO MUNDIAL (2002), o custo econômico decorrente dos acidentes de trânsito foi estimado em US\$ 65 bilhões, um valor aproximadamente igual à ajuda anual total que as instituições financeiras internacionais emprestam a esses países. Pela previsão da Organização Mundial da Saúde, estima-se que em 2020, o acidente de trânsito será o terceiro maior problema de saúde pública em escala mundial, perdendo apenas para as doenças coronarianas e para a depressão.

No Brasil, no ano de 2000, ocorreram 324.222 acidentes com vítimas, dos quais 22.102 foram com mortes e 408.060 pessoas ficaram feridas. As perdas econômicas decorrentes de acidentes de trânsito no Brasil corresponderam entre 1 e 2% do PIB nacional (algo em torno de 11,67 e 23,34 bilhões de reais/ano) para valores do ano de 2000 (MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, 2002). Somente nos municípios integrantes das 49 aglomerações urbanas brasileiras, no ano de 2001, os acidentes de trânsito geraram custos da ordem de R\$ 3,6 bilhões, a preços de abril de 2003. Caso se considere o total da área urbana, de acordo com os dados do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA (2003), esses custos chegariam a R\$ 5,3 bilhões. Estima-se que o custo total dos acidentes no Brasil, incluindo aqueles ocorridos em rodovias, aproxime-se de 10 bilhões de reais a cada ano (BRASIL, 2004a).

Os acidentes de trânsito representam uma das mais freqüentes causas externas de óbito. A estatística nacional registrou que os acidentes de transporte foram responsáveis por 3,3% das mortes no Brasil, segundo lugar nas causas externas para os óbitos. Para as

internações hospitalares, o acidente de trânsito está em primeiro lugar, sendo responsável por 17,09% das internações hospitalares por causa externa no ano de 2002 (BRASIL, 2002a e 2002b). Se os acidentes de trânsito não registrados fossem considerados, provavelmente o acidente de trânsito seria o primeiro do “ranking” da lista de causas violentas de mortes no país. Atualmente, as mortes no trânsito ocupam o segundo lugar no mapa de violência urbana (MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, 2002).

Os números absolutos de acidentes apresentados pelos diversos órgãos oficiais são diferentes. De qualquer forma, a situação da segurança no trânsito, tanto mundial quanto brasileira, é preocupante. Das vítimas fatais, 55% delas situam-se na faixa etária economicamente ativa, de 20 a 49 anos (BRASIL, 2004a). No relatório do IPEA (2003) “Impactos Sociais e Econômicos dos Acidentes nas Aglomerações Urbanas Brasileiras”, os acidentes de trânsito são citados como sendo a principal causa de mortes entre as pessoas de 16 a 24 anos no mundo. Já nas áreas urbanas de países em desenvolvimento, a preocupação é maior no aspecto social. Os pedestres, ciclistas e motociclistas representam 56% a 74% dos mortos no trânsito (BRASIL, 2004a).

A redução das ocorrências dos acidentes, a implementação da civilidade no trânsito e o desenvolvimento de ações voltadas para estes propósitos dependem das prioridades da política pública no tratamento do problema em qualquer nível governamental (BRASIL, 2003). Algumas ações já têm sido desenvolvidas em nível nacional por diversas áreas – medicina, psicologia, engenharia, educação, etc., junto às comunidades e aos órgãos públicos para que se tenha uma redução dos acidentes de trânsito. SIMÕES (2001) descreve que poucas cidades têm ações concretas voltadas para a redução de acidentes de trânsito. Outro agravante é que, muitas vezes, os projetos e programas existentes não são contínuos.

As cidades que procuram dar um tratamento adequado às informações relacionadas com os acidentes de trânsito são poucas. A inexistência de programas adequados voltados à melhoria da segurança viária, na maioria dos municípios, está relacionada com a falta de estudos adequados sobre as condições do trânsito. A falta de estudos deve-se a uma soma de causas, dentre elas (CARDOSO, 1999; CUCCI NETO e WAISMAN, 1999; RAIÁ JR e SOUZA, 2000; MANTOVANI, 2003):

- a complexidade dos dados a serem analisados;
- a falta de homogeneidade dos dados apresentados por diferentes fontes;

- a falta de inter-relacionamento entre os órgãos de coleta dos dados com os órgãos que os analisam;
- a falta de um sistema adequado que permita armazenar dados e gerir informações sobre os acidentes bem como das demais características físicas das vias; E
- a ausência de uma metodologia com ferramentas que facilitem o manuseio dos dados e a interpretação dos resultados.

## 1.1 Objetivo

O principal objetivo desta pesquisa de mestrado consiste no desenvolvimento de modelos capazes de avaliar e extrair as variáveis intervenientes em acidentes de trânsito ocorridos nas interseções urbanas, através do uso de redes neurais artificiais (RNA), considerando dados da cidade de São Carlos (SP).

Subjacentemente, os objetivos específicos desta pesquisa são as seguintes:

- a) verificar e extrair o nível de importância de cada variável em cada tipo de acidente e segundo a sua severidade;
- b) verificar a viabilidade do uso de modelos de RNA para predição de tipos de acidentes.

## 1.2 Justificativa da pesquisa

A estatística apresentada pelo IPEA (2003) mostra que, apesar do número de mortes por 10 mil veículos ter reduzido no período de 1961 a 2000, o número de feridos vem crescendo continuamente nas últimas décadas (Tabela 1.1). Esses dados, mesmo considerando o sub-registro dos dados, revelam a grave situação do trânsito no país. A redução da quantidade e da gravidade dos acidentes viários é um dos principais desafios da sociedade brasileira. Assim, vários programas e ações, como pesquisas, devem estar voltados para essa finalidade com a participação dos mais diversos segmentos da sociedade organizada e da

ciência. A eficácia e a eficiência desses programas e ações dependem de uma avaliação adequada das informações dos acidentes ocorridos.

Na área urbana, os cruzamentos são considerados os locais mais perigosos do sistema viário, visto que mais de 50% dos acidentes ocorrem nesses locais (MUSSONE *et al.*, 1999; MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, 2002; IPEA, 2003; ABDEL-ATY *et al.*, 2005). Assim, a avaliação da segurança da interseção é um aspecto crucial da gerência e operação do sistema viário. Contudo as peculiaridades da situação do trânsito de cada país, região ou município é diferente e isso pode inviabilizar a utilização de dados obtidos em estudos já realizados em outros locais como fonte de referência.

**Tabela 1.1.** Acidentes de trânsito no Brasil, entre 1961 – 2000.

ANO	FERIDOS	MORTOS	MORTOS/100 MIL PESSOAS	MORTOS/10 MIL VEÍCULOS
1961	23.358	3.356	4,6	53,6
1971	124.283	10.692	11,6	34,4
1981	243.001	19.782	15,9	17,0
1991	248.885	23.332	15,1	11,3
2000	358.761	20.049	11,8	6,8

FONTE: IPEA (2003).

A maior parte dos estudos relacionados com a segurança viária tem adotado modelos estatísticos tradicionais para a análise dos acidentes de trânsito. Poucos são os estudos que têm utilizado modelos estatísticos mais sofisticados, tais como Poisson (DATTA *et al.*, 2000; KUMARA e WEERAKOON, 2003) e Binomial Negativo (KUMARA e WEERAKOON, 2003). Recentemente, técnicas de inteligência artificial, tais como redes neurais artificiais, lógica *fuzzy* e algoritmo genético têm sido utilizados na análise da segurança do tráfego; contudo o uso dessas ferramentas tem ficado restrito ao campo da modelagem e da predição de acidentes (AWAD e JANSON, 1998; MUSSONE *et al.*, 1999; KUMARA e WEERAKOON, 2003).

A visão sistêmica dos acidentes de trânsito permite formular estratégias e medidas preventivas mais eficazes ao fornecer melhor compreensão das causas e a combinação de

fatores que influenciaram na ocorrência do acidente. Na busca dessa visão sistêmica, nova metodologia para a análise dos acidentes de trânsito deve ser empregada, como as ferramentas da rede neural artificial (RNA), a fim de verificar a viabilidade, a eficiência e a eficácia de sua aplicação.

### **1.3 Estrutura do trabalho**

O presente trabalho fornece inicialmente neste capítulo introdutório uma visão geral da situação mundial e brasileira em relação aos acidentes de trânsito. Neste mesmo capítulo está a justificativa que motivou a desenvolver o referido trabalho com a utilização das ferramentas da rede neural artificial e os objetivos que se pretende alcançar nesta pesquisa de mestrado. Além do capítulo introdutório, o trabalho possui mais oito capítulos.

Nos capítulos 2 a 4 apresenta-se a revisão da literatura existente relacionada aos temas desta pesquisa, onde são expostos alguns antecedentes de estudos sobre segurança viária e redes neurais realizados no Brasil e no exterior. A revisão bibliográfica sobre a problemática dos acidentes de trânsito, assim como dos demais temas relacionados à segurança viária e às redes neurais artificiais tiveram como finalidade avaliar o estado da técnica relativa aos tópicos estudados. Uma boa familiaridade com o estado da técnica facilita a identificação das variáveis que interferem na segurança do trânsito e a melhor compreensão das informações disponíveis nos registros. Da mesma maneira, estudar o emprego de modelos de redes neurais em outras pesquisas similares a esta facilitou o desenvolvimento desta pesquisa.

No capítulo 5 está relatada a metodologia empregada na construção e aplicação de redes neurais. Os modelos de redes neurais artificiais (RNA) foram utilizados para extração dos padrões de acidentes, para a verificação da importância relativa de algumas variáveis intervenientes em cada tipo de acidente e para a predição do número de acidentes em cada tipo de acidente.

No segundo momento, apresentam-se de forma sucinta no capítulo 6 a caracterização da cidade de São Carlos, escolhida para estudo de caso, e a avaliação preliminar dos acidentes que ocorreram nesta cidade no período de 2000 a 2003. A escolha

das variáveis e as formas de codificação das variáveis nos modelos de RNA e a aplicação do *software EasyNN-Plus* para a simulação também fazem parte deste capítulo.

Os padrões de acidentes encontrados pelas RNAs nesta pesquisa estão ilustrados em diversas figuras do capítulo 7. Os padrões de acidentes encontrados foram comparados com os de outras cidades próximas a São Carlos e com aqueles descritos na literatura e se expõem as discussões relacionadas ao tema. São apresentados, ainda no capítulo 7, os valores das importâncias relativas de diversas variáveis que podem influenciar na ocorrência de acidentes de trânsito e o resultado do modelo de predição do número de acidentes para cada tipo de acidente. No capítulo 8 são apresentadas as conclusões a que se chegou com base nos resultados obtidos nesta pesquisa e algumas sugestões identificadas como relevantes à continuidade da pesquisa na área de segurança viária, tal como algumas alterações no banco de dados relacional de acidentes de São Carlos, propondo-se mais variáveis a serem consideradas em pesquisas futuras diferentes das utilizadas neste trabalho.

## **2 SEGURANÇA DO TRÂNSITO**

---

A evolução urbana dos municípios brasileiros foi marcada por sucessivas modificações da ocupação dos espaços e suas conseqüentes finalidades de uso através da ampliação da malha viária destinada ao uso dos meios de transporte a motor, em especial o automóvel. Essas modificações dos espaços urbanos traduzem a grande diferença social e política criada dentro da sociedade brasileira com o acesso ao automóvel. Embora essas transformações tenham ocorrido em função da dinâmica intensa e ininterrupta da necessidade de acumulação do capital e do desenvolvimento do país, essa dinâmica gerou inúmeros problemas como os acidentes de trânsito (KLEIN, 1994; VASCONCELLOS, 1999; SCARINGELLA, 2001; BRASIL, 2004a; BRASIL, 2004b, BRASIL, 2004c).

Os problemas relacionados com a segurança do trânsito nas cidades vêm se agravando devido ao crescimento rápido e descontrolado das cidades e com o aumento da frota de veículos (ANTP, 1999; VASCONCELLOS, 1999; RAIA JR e SOUZA, 2000; SCARINGELLA, 2001). Segundo dados do IBGE (2005a e 2005b), a população urbana brasileira, em 1970, era de aproximadamente 53,88% e passou a ser de 81,23 %, em 2000, de acordo com o último censo. Neste mesmo período, de acordo com a ANFAVEA (2002), a frota de veículos aumentou de 3,1 milhões em 1970 para 29 milhões de veículos em 2000.

### **2.1 Segurança viária**

Durante décadas, a segurança no transporte tem sido o centro das atenções de vários cientistas e profissionais das mais diversas áreas, com o objetivo de se entender os fenômenos que ocorrem nas vias públicas e que interferem na segurança viária. Nas últimas décadas, a segurança viária tornou-se uma das principais preocupações em razão do elevado



número de acidentes de trânsito que tem ocorrido tanto nas vias urbanas quanto nas rodovias em todo o mundo (MANTOVANI, 2003).

Segurança viária significa, fundamentalmente, o esforço da comunidade visando a circulação de pessoas e bens pelas vias públicas sem a ocorrência de acidentes (GOLD, 1995; GOLD, 1998). A segurança viária também pode ser conceituada e medida através de outros parâmetros, com base nos riscos. FORGENSEN (1996) argumenta que o risco mede de forma indireta a segurança em relação à atividade no sistema de trânsito. Nesse contexto, os parâmetros indicadores dos riscos podem ser o número de fatalidades por número de veículos registrados ou numa área geográfica em relação à população daquela área e os eventos de acidentes em relação à atividade do tráfego. Uma boa medida de exposição ao risco poderia ser o quilômetro percorrido por um veículo no ano em uma determinada área.

Acidentes de trânsito são fenômenos complexos, com múltiplas causas que variam de acordo com as condições específicas. A segurança viária está relacionada a fatores humanos, veiculares, do meio ambiente e da via. A via conjuntamente com fatores do meio ambiente é denominada de fator ambiente viário. Segundo GOLD (1995) há um quarto fator, além dos fatores humanos, veiculares e viários. GOLD (1995) denomina esse quarto fator de institucional-social, que será comentado separadamente neste trabalho, pois é um fator que tem bastante interferência na segurança viária.

Segundo entendimento de ROZESTRATEN (1988), a segurança é proporcionada pela responsabilidade compartilhada entre o setor privado e o governamental, com estreita colaboração entre eles, no intuito de alcançar maior qualidade nas viagens pelos mais diversos meios de transporte.

Conforme o Código de Trânsito Brasileiro – CTB (BRASIL, 1997), o trânsito, em condições seguras, é um direito de todos e dever dos órgãos e entidades gestoras responsáveis pelo trânsito da via sob sua circunscrição. No âmbito de suas respectivas competências, os responsáveis devem adotar medidas destinadas a assegurar esse direito. Esse código tem como uma das finalidades minimizar os efeitos das consequências negativas que um trânsito inseguro pode ocasionar. Para isso, o CTB enfatiza a reeducação dos motoristas como também mudanças nas condutas dos especialistas e dos políticos responsáveis pela administração do trânsito.

## 2.2 Acidentes de trânsito

Para a Organização Mundial da Saúde, o acidente de trânsito é um acontecimento raro e aleatório que acontece com um usuário do sistema de trânsito com conseqüente dano no(s) veículo(s) ou lesão no corpo e/ou mente do(s) envolvido(s) (GOLD, 1998; SIMÕES, 2001).

Para uma melhor compreensão do significado do termo acidente de trânsito, neste trabalho será adotado o conceito definido por GOLD (1995) que considera o acidente de trânsito “um evento não intencional que resulta em danos materiais e/ou pessoais e que envolvem usuários, veículos e obstáculos fixos”.

Para CARDOSO (1999), a implementação e a implantação de medidas de prevenção ou de diminuição dos problemas da segurança no trânsito necessitam do pleno conhecimento dos fenômenos dos acidentes e dos fatores que influenciam a sua ocorrência. Para maior detalhamento e conhecimento dos acidentes, também se faz necessária a classificação desses acidentes por tipo e severidade. De acordo com a severidade, os acidentes podem ser classificados em uma das três categorias: só dano material, com vítima e vítima fatal.

Quanto ao tipo, os acidentes são classificados em: i) atropelamento; ii) colisão: traseira, frontal, lateral e transversal; iii) Choque com um objeto ou obstáculo: árvore, hidrante, posto de iluminação, carro estacionado, semáforo, etc.; iv) capotamento; v) tombamento; vi) engavetamento; vii) derrapagem; e viii) outros. Na categoria “outros”, estão incluídos os acidentes que combinam dois ou mais tipos mencionados anteriormente (MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, 2002).

## 2.3 Causa dos acidentes de trânsito

Os fatores intervenientes que contribuem para a ocorrência dos acidentes podem ser classificados em três grandes grupos: humano, veicular e ambiente viário. A maioria dos acidentes resulta da combinação e convergência simultâneas desses três fatores. Dentre esses

três fatores, entretanto, o fator humano é o maior responsável pelos acidentes de trânsito ocorridos, visto que esse fator está presente em 90% dos casos (MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, 2002). Portanto, os usuários da via, incluindo motoristas e pedestres, são os principais elementos. Os outros dois fatores, apesar de apresentarem índices de contribuição muito menores que o fator humano, também devem ser analisados com o mesmo grau de importância, pois existe uma relação direta entre o risco de ocorrência de um acidente em um determinado local e as condições dos elementos presentes no meio ambiente, bem como o estado de manutenção e de desenvolvimento tecnológico dos veículos.

A seguir pretende-se relacionar as mais prováveis causas relacionadas com a ocorrência dos acidentes de trânsito no Brasil, seguindo uma abordagem mais geral, tais como a relevância da questão institucional (cultural, técnica e política) além do foco tradicional da combinação homem-veículo-via.

### **2.1.1 Fator humano**

O ser humano deve ser considerado o elemento mais importante do sistema, pois o erro humano é o principal responsável pelos acidentes. Dependendo da fonte, o erro do motorista é causa de 45% a 75% dos acidentes de trânsito (WIERWILLE *et al.*, 2005). O comportamento adequado ou não do motorista e do pedestre depende da característica social como idade, sexo, grau de escolaridade etc, e do estado físico, mental e psicológico de cada pessoa (PIGNATARO, 1973; ROZESTRATEN, 1988).

As habilidades humanas são importantes e refletem diretamente na segurança do trânsito. Assim, todos os sentidos do homem, como a audição e a visão, devem estar em ótimo funcionamento. Por exemplo, a audição para detectar sons e buzinas de advertência. No entanto, o sentido mais importante é a visão (PIGNATARO, 1973). A visão deve ser de tal nível que permita uma boa acuidade visual, ângulo de visão periférica mais ampla possível, percepção de profundidade, visão do brilho e cor. É esse sentido que permite ver e perceber estímulos em um campo se movendo, ter habilidade de estimar distâncias e velocidades etc. De todas as características da visão, a habilidade de distinção é o aspecto menos importante. Deficiências, como o daltonismo, podem ser compensadas pela aprendizagem de outros meios de reconhecimento de sinais e luzes de semáforos.

Um estudo considerando as características sociais e pessoais foi feito por MADANI *et al.* (2002) para as diversas regiões do mundo, sob o ponto de vista da compreensão das mensagens que cada um dos sinais transmite. Nesse estudo, foram analisados os fatores associados com a complacência e descumprimentos de regras de trânsito, tais como práticas seguras de direção, observação dos sinais de regulamentação e a obediência, a qual diz respeito à consciência que a pessoa tem em relação ao conhecimento das regras. Esse estudo indicou sérios problemas na compreensão dos sinais pelos motoristas, os quais foram capazes de identificar corretamente somente de 50% a 60% dos sinais de trânsito. Além disso, foi constatado que os motoristas do Oriente Médio compreendem menos os sinais de trânsito se comparados aos motoristas ocidentais e do Extremo Oriente.

ROZESTRATEN (1988) relacionou os erros mais comuns que ocorrem quando se aloca a responsabilidade dos erros ao condutor e ao pedestre. Os erros mais comuns entre os condutores são a falta de atenção, excesso de velocidade, falha na observação, avaliação errada da velocidade e da distância, falha na conversão à esquerda ou à direita ao entrar numa via preferencial, agressividade e maus hábitos. Entre os pedestres, os erros mais frequentes foram a falta de atenção, estar em posição perigosa, avaliação errada da velocidade e da distância e tomada de decisão errada.

Numa pesquisa realizada entre os universitários cariocas, CASTRO (1999) constatou que a principal mudança no comportamento desses universitários, com o novo Código de Trânsito Brasileiro, foi o uso de cinto de segurança em razão da multa e não pela preservação da sua própria segurança e de terceiros. Para os sinais fechados (semáforo no vermelho), a mudança no comportamento só foi durante o dia. À noite, eles preferem ser multados a correr o risco de serem assaltados.

As infrações mais frequentes entre esses universitários são: estacionamento em local proibido, excesso de velocidade, avanço de sinal e o uso de telefone celular. Com o novo código, o número de infrações reduziu, mas não mudou o perfil das mesmas quanto ao seu agente causador, ou seja, não houve mudanças em relação à conscientização dos aspectos de segurança ou de organização do tráfego.

Além disso, CASTRO (1999) constatou alguns aspectos comportamentais relevantes que expõem esses jovens universitários e outras pessoas a altos níveis de risco, que são: o aspecto suicida de alguns jovens entre 18 e 24 anos que, ao avançarem os sinais à noite,

não reduzem a velocidade e, ao contrário, aceleram, contando que não há movimento nas outras vias. Outro aspecto constatado é o alto percentual de pessoas com mais de 30 anos que dirigem após ingerirem bebidas alcoólicas. O álcool foi registrado como um dos fatores predominantes em acidentes fatais. Os estudos relatam que os usuários de drogas se envolvem mais em direção perigosa com acidentes do tipo colisão, seguida de capotamento. Pessoas sob efeito de drogas dirigem com negligência e ignoram mais os defeitos dos equipamentos do seu veículo e demais dispositivos de controle da via.

As pesquisas de BÉDARD *et al.* (2002) e KWEON e KOCKELMAN (2003) investigaram a influência da idade e do sexo na ocorrência dos acidentes. Pelos relatos desses cientistas, pode-se constatar que fenômenos apontados por CASTRO (1999) ocorrem de forma semelhante nos Estados Unidos. Contudo, os estudos desses cientistas foram mais minuciosos, pois consideraram outros aspectos como os atributos dos veículos e os quilômetros viajados, que podem influenciar o comportamento humano.

Dados interessantes mostrados por KWEON e KOCKELMAN (2003) são os padrões de risco apresentado por sexo e idade do motorista, e o tipo de veículo. O relatório mostra que o risco de acidentes é maior para as mulheres do que para os homens nos casos que envolvem caminhões leves e maior quilometragem ou distância viajada. Para a idade, a exposição ao risco é mais baixa nos motoristas mais velhos. Isso pode estar relacionado aos mecanismos pessoais de compensação, como trafegar com velocidade mais baixa e evitar viajar no período noturno para compensar o declínio de suas habilidades físicas.

### **2.1.2 Fator veicular**

Os veículos aparecem nas mais variadas formas, como automóvel, ônibus, caminhão, moto ou bicicleta. Com a evolução tecnológica, esses veículos apresentam os mais variados pesos, comprimentos e dispositivos que determinam a velocidade, meios de comunicação, amortecimento de choques etc. Embora as porcentagens de acidentes atribuída aos defeitos dos veículos estejam abaixo de 2% (GOLD, 1995; GOLD, 1998), o fator veicular é relevante, pois a segurança do trânsito está diretamente relacionada com as condições operativas do veículo.

Para GOLD (1995 e 1998), o fator veicular se refere às inadequações no estado operacional dos veículos que comprometem a segurança, tais como: mau ajustamento dos freios, pneus carecas, amortecedores gastos, pára-brisa embaçado, falta de combustível, sistema de sinalização defeituoso, etc.

### **2.1.3 Fator via e meio ambiente**

O fator ambiente viário refere-se a todos os fatores ligados diretamente às características da via, tais como geometria, declividade, distância de visibilidade, tipo de pavimentação, estado de conservação do pavimento, da sinalização de trânsito, da iluminação pública noturna, dos mobiliários urbanos e demais elementos que estiverem presentes no ambiente que interferem na fluidez e segurança (PIGNATARO, 1973; GOLD, 1995; GOLD, 1998, FERRAZ *et al.*, 1999; TRB, 2000). Outras características ambientais intervenientes na segurança estão relacionadas com a gestão e a operação da demanda de tráfego.

#### **2.3.3.1 Características do tráfego**

As características do tráfego que contribuem na ocorrência do acidente são o volume veicular e os tipos de veículos que compõem o tráfego local. Volumes de tráfego têm um efeito decisivo sobre as taxas de acidentes para quase todos os tipos de vias. A taxa de acidente aumenta continuamente com o aumento do volume. Porém, em vias com tráfego muito pesado, há uma redução do número de acidentes graves devido ao congestionamento extremo que dificulta os motoristas a executarem manobras de ultrapassagem e o desenvolvimento de velocidades altas.

A composição do tráfego afeta significativamente a segurança do local. Exemplo disso são as interseções e vias no entorno de grandes centros comerciais, onde o conflito entre os pedestres e automóveis é muito grande. O nível de segurança de alguns ambientes é inadequado para alguns tipos de usuários da via. Isso ocorre frequentemente nas cidades onde ocorreram mudanças radicais no sistema viário para poder acomodar a demanda crescente de veículos (VASCONCELLOS, 1996).

Locais com velocidades moderadas são mais seguras que locais com velocidades excessivamente baixas ou altas, e depende das condições da via indicando que, para cada via, há uma velocidade ideal para o trânsito seguro. Para as áreas com grande volume de pedestres ou em área de escolares de pouca idade, o ideal é a baixa velocidade. Com respeito à segurança das interseções de vias de mão dupla e de mão única, tanto PIGNATARO (1973) quanto GOLD (1995) afirmam que as interseções de vias de mão única são mais seguras que as de mão dupla, pois têm menos pontos de conflito. O número de aproximações tem um efeito sobre as taxas de acidentes da interseção. Quanto menor o número de aproximações, em geral, mais seguro é, pois quanto menor o número de pontos de conflito na interseção, menor será a probabilidade da ocorrência de acidentes.

#### 2.3.3.2 Sinalização viária e operação de tráfego

Os sinais de trânsito (placas, semáforos e marcas viárias) têm como objetivo organizar a circulação de veículos e pessoas nas vias públicas e, assim, aumentar a fluidez e a segurança do tráfego. O tipo de controle de tráfego usado na interseção tem uma influência decisiva sobre a frequência de acidentes de trânsito. Na maioria dos casos, os semáforos reduzem o número de acidentes em interseções com alto volume de tráfego. Geralmente, após a sinalização, colisões transversais e alguns tipos de acidentes envolvendo veículos nas interseções diminuem após a implantação do semáforo. Entretanto, pode ocorrer o aumento de outros tipos de acidentes, como as colisões traseiras e frontais entre os veículos (LEITE, 1980; DENATRAN, 1984; VASCONCELLOS, 1987; FERRAZ *et al.*, 1999; TRB, 2000).

Os sinais de trânsito são essenciais quando os diversos regulamentos devem ser aplicados num determinado local e período de tempo ou quando os riscos são evidentes. Esses sinais são mais eficientes quando obedecem aos seguintes requisitos: atende requisitos técnicos, ordena atenção, contém uma mensagem clara e simples, ordena o comportamento adequado que o usuário da via deve tomar e dá tempo para uma resposta adequada (MADANI *et al.*, 2002).

Alguns estudos científicos analisaram a compreensão do significado, bem como a legibilidade e a clareza dos sinais, ambos sob o ponto de vista da iluminação, brilho e cor durante dia e noite. Outro estudo, como o de FONTANA (2001), avaliou as pequenas alterações em placas de trânsito, tais como a largura da dimensão da placa ou da largura da pintura da orla, e quais foram os impactos visuais que essas alterações causaram.

### *2.3.3.3 Características geométricas da via*

Os aspectos mais relevantes da geometria da via são: largura da faixa, centro do cruzamento, raios de curvatura horizontal e vertical, existência ou não de calçada etc. Quanto maior a largura da pista, maior será a dificuldade dos pedestres de atravessarem a via, pois o pedestre requer mais tempo para completar a travessia e será mais difícil para ele avaliar a velocidade dos veículos que, por sua vez, tendem a aumentar as suas velocidades devido às facilidades que uma pista larga proporciona. Conseqüentemente, maior será a probabilidade de um acidente grave.

No trânsito, o ideal é o motorista de um veículo ter uma visão de toda a interseção e das vias interceptantes ao se aproximar da interseção, de modo a permitir o controle de seu veículo, evitando colisões. Elementos como camelôs, ambulantes, folhagens e outros elementos físicos nas esquinas dificultam a visibilidade. Quando o tráfego na interseção é controlado por semáforos, a visão não obstruída pode limitar-se à área do controle. A distância mínima de visibilidade, considerada segura sobre várias hipóteses das condições físicas e do comportamento dos motoristas, está relacionada diretamente com a velocidade do veículo e as distâncias percorridas durante os tempos de percepção, reação e frenagem (LEITE, 1980).

Quanto ao alinhamento, as curvas horizontais e verticais constituem um elemento de risco em todos os tipos de vias urbanas. Curvas horizontais fechadas são responsáveis por acidentes com derrapagem. Por outro lado, curvas verticais acentuadas ascendentes têm sido responsáveis por acidentes relacionados com restrições de distância de visibilidade. Algumas possibilidades para reduzir o potencial de acidentes das curvas que incluem a melhoria da superelevação e da visibilidade nas curvas (PIGNATARO, 1973; TRB, 2000).

A presença de calçadas adequadas seja na sua largura, no tipo de revestimento utilizado ou na manutenção dos mesmos, é essencial para a segurança do pedestre. Em locais onde não há esse tipo de infra-estrutura, os pedestres transitam pela rua, disputando o mesmo espaço com os veículos e colocando a sua vida em risco. O mesmo ocorre em locais não dotados de ciclovias e que há grande movimentação de ciclistas (GOLD, 1995; GOLD, 1998).



#### *2.3.3.4 Uso do solo, iluminação pública, condições meteorológicas e outros elementos.*

Outros elementos que interferem na segurança viária são o dia da semana e o período do dia, o uso do solo, a iluminação pública e as condições meteorológicas. Os padrões das características dos acidentes de trânsito exibem mudanças quase desprezíveis ano a ano, mas as fatalidades de acidentes variam significativamente para os diferentes meses do ano e para os diferentes dias da semana e hora do dia. PIGNATARO (1973) observa que os dias mais perigosos são os dias úteis da semana e durante o horário de pico, das 16:00 às 19:00. Porém, nos finais de semana, os acidentes são mais frequentes entre 23:00 e 6:00 da manhã. Se considerar o volume de tráfego nesses horários de final de semana, a taxa de acidentes é consideravelmente mais alta que a taxa por hora durante o dia. Embora a porcentagem de acidentes com vítimas durante a noite seja ligeiramente maior que durante o dia, a taxa de mortes à noite é significativamente maior que de dia.

Em relação ao uso do solo, em geral, os acidentes que ocorrem nas vias urbanas estão concentrados basicamente em três locais: em interseções das vias do centro da cidade, áreas circunvizinhas a pólos geradores de tráfego e onde o uso do solo é incompatível com o tipo e as características da via. No primeiro caso, a alta concentração de comércio faz com que haja maior concentração e movimentação de veículos e pedestres que, em geral, estão sempre em conflito devido às diferenças entre os desejos de cada um. No segundo caso, também se deve a concentração e aos conflitos entre os usuários da via; entretanto, os tipos de acidentes são inerentes ao pólo gerador como, por exemplo, atropelamento de crianças em frente às escolas. No caso do uso do solo incompatível com o tipo de via, pode-se citar, como exemplo, a instalação de uma escola primária em uma via larga, que tem a função de escoar elevado volume de tráfego e que, além disso, não tem área própria para estacionamento ou para o embarque e desembarque seguro das crianças. SCARINGELLA (2001) ressalta que a questão do estacionamento tem sido pouco considerada no debate das soluções de mobilidade, como se o estacionamento não fosse parte essencial do trânsito urbano.

A existência de iluminação pública melhora os desempenhos dos motoristas e dos pedestres. Os acidentes que ocorrem no período noturno são, em geral, mais severos que os que ocorrem de dia. Segundo GOLD (1995), a probabilidade de atropelamento em vias urbanas é muito maior em áreas não iluminadas. Portanto, locais com altas taxas de acidentes, seja de dia ou de noite, requerem investigações do quão adequada está a iluminação nesses locais.

As condições de chuva e neve interferem negativamente na segurança do trânsito. Esses fenômenos interferem na visibilidade do motorista, deixam as pistas mais escorregadias e deterioram o pavimento. Embora as condições meteorológicas desfavoráveis tenham uma influência sobre os acidentes de trânsito, a extensão de tais influências está ainda para ser estudada.

#### **2.1.4 Fator institucional, político e social**

O fator institucional, político e social diz respeito à legislação, à educação e ao policiamento (GOLD, 1998). O debate sobre o tema social-institucional, não pretende esgotar o assunto sobre as mais prováveis causas para a ocorrência dos acidentes de trânsito no Brasil, mas comentar em breves parágrafos as conseqüências relacionadas às decisões políticas no trânsito. Essas decisões afetam diretamente a política de execução das questões que se referem à regulamentação, a educação, a engenharia de tráfego e a fiscalização do trânsito.

Na questão das regulamentações, muitas vezes ocorrem situações em que a sinalização está correta do ponto de vista das exigências da legislação vigente, porém deixa lacunas quanto à informação transmitida aos usuários.

O aspecto educacional deve ser considerado quando o instrutor responsável em transmitir as informações e treinar o condutor o faz de forma inadequada. Em seguida, o motorista continua seguindo essas instruções, colocando a sua vida e a de terceiros em risco.

No que diz respeito à fiscalização, muitas pessoas, mesmo sabendo que devem respeitar as normas preconizadas pelos regulamentos e dispositivos de controle de tráfego, só o fazem se houver a presença de um policial nas imediações.

Nas condições atuais, a estrutura institucional está relacionada ao inter-relacionamento entre os três níveis de governo e na definição da divisão entre eles. De acordo com a Constituição Federal, as legislações são de responsabilidade do governo federal. Administrar assuntos relacionados como a concessão de licenças de veículos e habilitação de dirigir está concentrada nos departamentos e companhias de trânsito do Estado, que estão subordinados a um Departamento da Segurança Pública do Estado (BRASIL, 2004a; VASCONCELLOS, 1999).

O Código de Trânsito, instituído em 1997, atribuiu uma série de responsabilidades aos municípios para a gestão do trânsito. Mas até hoje, a maioria das cidades não organizou seus departamentos de trânsito, limitando-se a trabalhar, quando muito, na área de engenharia de tráfego ou na sinalização. Além disso, têm sido delegadas à Polícia Militar as ações de fiscalização do comportamento no trânsito e a educação para o trânsito tem sido representada por atos isolados por parte tanto do poder público quanto da iniciativa privada.

O quadro atual da segurança do trânsito é a relação do tipo de abordagem técnica dado ao problema. Nas áreas urbanas, os sistemas de vias têm sido construídos ou adaptados para permitir a velocidade média relativamente alta pelos veículos motorizados. Muitas das adaptações não têm propostas de infra-estrutura adequada para os usuários mais vulneráveis no trânsito como o pedestre e os ciclistas. Além do mais, as vias são alargadas sempre sacrificando as calçadas, pois os planejadores não estão treinados para considerar a segurança dos pedestres e ciclistas como questão prioritária (PAVARINO FILHO, 2004; VASCONCELLOS, 1999). Outra questão técnica refere-se a implantação efetiva de medidas que diminuam a distância e o número de deslocamentos e os conseqüentes impactos negativos no trânsito. Como exemplo pode-se citar a necessidade de uma legislação que beneficie assentamentos de áreas dormitórios próximos aos postos de trabalho apontados por SCARINGELLA (2001) para a solução de parte dos problemas encontrados no trânsito.

#### **2.4 Severidade do acidente e os usuários vulneráveis**

Sob a perspectiva social, estudos realizados nos países em desenvolvimento mostram que os pedestres, ciclistas e motociclistas representam 56% a 74% dos mortos no trânsito. Os pedestres, ciclistas e os motociclistas são os menos protegidos e, portanto, usuários mais vulneráveis da via. Eles correm maiores riscos do que os motoristas e os passageiros de automóveis e de grandes veículos. O estudo realizado pelo Conselho Europeu de Segurança nas Estradas (BRASIL, 2004a), em 2003, demonstrou que para cada quilômetro rodado nas estradas dos países da União Européia, uma pessoa de bicicleta está oito vezes mais propensa a ser morta do que uma pessoa em um automóvel. O risco de o acidente ser fatal para o pedestre e o motociclista é, respectivamente, nove e vinte vezes maiores que para o usuário do carro.

No Brasil, cerca de 30% dos acidentes são atropelamentos, sendo que 51% dos atropelamentos resultam em óbitos (BRASIL, 2004b). Os pedestres são os usuários mais vulneráveis da via porque eles não têm proteção física para reduzir as conseqüências dos acidentes. Comparações entre os acidentes que envolveram pedestres são particularmente difíceis, pois a heterogeneidade das situações (tipos de veículos, condições de tráfego, etc) são muito diferentes (TOURINHO e PIETROANTONIO, 2005; ABDEL-ATY *et al.*, 2005).

Conforme relatório da Conferência Européia de Ministros dos Transportes - ECMT (2000), o número de pedestres envolvidos em acidentes de trânsito é inaceitável e há clara evidência da necessidade de dispender maior esforço para a melhoria da segurança do pedestre, principalmente junto aos grupos etários de maior risco: crianças e idosos. O interesse pelas crianças é por elas serem mais frágeis, as lesões são mais sérias nelas do que nos adultos por causa das suas idades. No caso de pessoas idosas, há problemas de reabilitação e o impedimento praticamente irreversível para recuperar a mobilidade devido as suas capacidades físicas limitadas.

Os ciclistas são particularmente usuários vulneráveis, como os pedestres, por não terem um “escudo” de proteção externo e sua visibilidade pelos outros usuários da via é baixa. Além disso, os motoristas de outros veículos não fazem muita concessão aos ciclistas. Segundo ECMT (2000), cerca de dois terços dos ciclistas vítimas de acidentes de trânsito são jovens com idade abaixo de 15 anos, e essa é uma das razões que levam muitos países a construir muitas ciclovias e ciclo-faixas em suas cidades, quando comparada com outros países subdesenvolvidos.

A crescente frota de motos e do número de usuários deste tipo de veículo, em particular os “motoboys”, e conseqüente aumento do número de acidentes com este tipo de veículo vem chamando a atenção das autoridades brasileiras (CET, 2000; IPEA, 2003). De acordo com a pesquisa do IPEA (2003), de 61% a 82% dos acidentes com motos foram severos. Isso levou IPEA (2003) a recomendar uma reformulação nas políticas públicas visando melhorar a segurança do trânsito, dando prioridade para esses usuários.

## **2.5 Acidentes de trânsito em interseção urbana**

O estudo focado somente em acidentes que ocorreram em interseções requer uma abordagem diferente daqueles ocorridos em outros locais, identificando-se os parâmetros mais

significativos que determinam a possibilidade de um acidente ocorrer na interseção. As atenções têm sido dadas para a identificação das possíveis causas dos acidentes: fluxo de tráfego, condição do pavimento da via, visibilidade, condição meteorológica, as características dos veículos e dos motoristas etc. Contudo, há diferenças consideráveis nos padrões de acidentes e riscos em diferentes tipos de interseção nas vias urbanas. Comparar taxas e padrões de acidentes em diferentes interseções é complicado em razão dos diferentes elementos que compõem o ambiente viário e que podem interferir na segurança do trânsito, raramente podendo ser explicadas por poucas variáveis. Por outro lado, uma análise descritiva permite visualizar melhor a distribuição dos valores das variáveis registradas pelas autoridades, mas esta análise não permite dizer ou presumir as causas dos acidentes e as influências de vários fatores envolvidos e, em geral, não é possível determinar uma relação única entre a causa e o efeito de acidentes (MUSSONE *et al.*; 1999; KONONOV e JANSON, 2002; ABDEL-ATY *et al.*; 2005; ABDEL-ATY e KELLER, 2005; LEE e ABDEL-ATY, 2005; YAN *et al.*, 2005).

Dos diversos estudos recentemente realizados sobre segurança do trânsito nas interseções urbanas destacam-se os trabalhos de ABDEL-ATY e KELLER (2005) e de ABDEL-ATY *et al.* (2005). Esses pesquisadores utilizaram a árvore de regressão para analisar os fatores que mais contribuem na ocorrência de cada tipo de acidente ou severidade. Tanto ABDEL-ATY e KELLER (2005) quanto ABDEL-ATY *et al.* (2005) utilizaram dois bancos de dados, um que contém somente os acidentes registrados na forma detalhada e o outro que contém todos os acidentes independentemente se o registro foi em formulário detalhado ou resumido. Na Flórida, Estados Unidos, os acidentes com vítimas são registrados de forma detalhada e os acidentes com somente danos materiais podem ser registrados nas formas detalhados ou resumidos. Os dados de acidentes utilizados são daqueles que ocorreram nos anos de 2000 e 2001 nos municípios de Brevard, Seminole e Hillsborough e a cidade de Orlando no Estado da Flórida.

ABDEL-ATY e KELLER (2005) avaliaram a importância relativa dos fatores que influenciam no grau de severidade do acidente, sendo que ABDEL-ATY *et al.* (2005) verificaram a importância relativa dos fatores e as combinações de fatores que influenciam na ocorrência de cada tipo de acidente. Além da avaliação da importância relativa dos fatores que influenciam nos acidentes, esses pesquisadores também fizeram um estudo comparativo da significância dos fatores quando utilizam um conjunto de dados completo e um conjunto de dados restrito. O conjunto de dados é denominado de completo quando contém todos os

acidentes e é chamado de restrito quando contém somente acidentes registrados de forma detalhada.

ABDEL-ATY e KELLER (2005) classificaram a severidade do acidente nas seguintes categorias: *i*) somente danos materiais; *ii*) possíveis lesões (não há sinal de lesão); *iii*) lesões não incapacitantes (quando se tem algum ferimento visível como as contusões); *iv*) lesões incapacitantes (quando é visível a lesão sofrida pela vítima e a pessoa é levada para alguma unidade de atendimento médico); e *v*) óbito (lesões que resultaram em óbito no período de 90 dias).

Quanto ao tipo de acidente, ABDEL-ATY et al. (2005) classificaram os acidentes em sete tipos, seis tipos de colisões (frontal, lateral, transversal, traseira, na conversão à direita e na conversão à esquerda) e o tipo atropelamento de pedestre ou ciclista.

As Tabelas 2.1 e 2.2 ilustram as importâncias relativas das diversas variáveis independentes encontradas nos estudos de ABDEL-ATY e KELLER (2005) e ABDEL-ATY et al. (2005) através da árvore de regressão. A importância de uma variável em cada modelo é identificada com um valor de importância relativa que varia de 0,00 a 1,00. As variáveis com valores 1,00 são consideradas as mais relevantes, com maior impacto no acidente. Quanto menor o valor da importância relativa fornecida pela árvore de regressão, menos significativa é a variável. Por exemplo, na Tabela 2.1, o fator mais importante que influencia os acidentes fatais é a existência de uma separação entre as pistas de rolamento da via principal por meio de canteiro central, em seguida, o número de pistas de rolamento na via secundária. Para acidentes com apenas danos materiais, o volume de tráfego na via principal é o fator mais importante.

Um outro dado interessante é que a importância de cada fator muda conforme o tipo de acidente analisado (ver Tabela 2.2). ABDEL-ATY et al. (2005) denominam esses tipos de colisões de “não estáveis” por causa dos diferentes fatores que influem em cada tipo de acidentes. Os fatores que causam os acidentes são significativamente diferentes entre um modelo que utilizou o conjunto de dados completo e o outro que empregou o conjunto de dados restrito. Exemplo disso é o volume de tráfego na via principal. Essa variável foi considerada insignificante em colisões transversais quando foi utilizado o banco de dados restrito, mas quando os acidentes que resultaram em danos materiais foram adicionados, essa variável tornou-se relevante.

**Tabela 2.1-** Importância relativa dos fatores que influenciam no grau de severidade dos acidentes na Flórida pela árvore de regressão

VARIÁVEIS	SEM VÍTIMA		POSSÍVEL LESÃO	LESÃO NÃO INCAPA- CITANTE	LESÃO INCAPA- CITANTE	ÓBITO
	COMPLETO	RESTRITO				
Volume de tráfego diário na via principal	1,0000	1,0000	0,6042	0,1022	0,7861	0,0000
Limite de velocidade na via principal	0,5296	0,6133	0,5259	0,0000	0,4493	0,0000
Presença de canteiro na via principal	0,5290	0,5000	0,0000	0,3132	0,3735	1,0000
Pista exclusiva para conversão à esquerda na via secundária	0,3856	0,6240	0,4134	1,0000	0,8114	0,0000
Número de pistas na via secundária	0,3225	0,5318	1,0000	0,1567	0,0000	0,0000
Limite de velocidade na via secundária	0,1520	0,2756	0,3115	0,2204	0,3685	0,0000
Pista exclusiva de conversão à esquerda na via principal	0,1457	0,3018	0,0000	0,0000	0,0000	0,4858
Volume de tráfego diário na via secundária	0,1266	0,5961	0,1976	0,3916	1,0000	0,0000
Número de pistas na via secundária	0,0853	0,5270	0,5512	0,4867	0,3417	0,7687
Canalização para conversão à direita na via principal	0,0000	0,0166	0,0000	0,6193	0,2076	0,0000
Presença de canteiro na via secundária	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Canalização para conversão à direita da via secundária	0,0000	0,1016	0,0000	0,1526	0,1044	0,0000
Total de pistas para conversão à esquerda na via principal	0,0000	0,0000	0,4422	0,0000	0,0000	0,0000
Total de pistas de conversão à esquerda na via secundária	0,0000	0,1800	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

FONTE: ABDEL-ATY e KELLER (2005).

**Tabela 2.2-** Importância relativa das variáveis independentes em cada tipo de acidente para o conjunto de dados completo e restrito, Flórida.

VARIÁVEIS	TODOS AT		C. TRANSVERSAL		C. CONVERS. ESQUERDA		C. FRONTAL		ATROPEL.		C. TRASEIRA		C. CONVERS. DIREITA		C. LATERAL	
	RESTR.	COMPL.	RESTR.	COMPL.	RESTR.	COMPL.	RESTR.	COMPL.	RESTR.	COMPL.	RESTR.	COMPL.	RESTR.	COMPL.	RESTR.	COMPL.
Nº de pistas na via secundária	1,0000	1,0000	1,0000	0,9114	0,4421	0,6851	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,5742	0,0000	0,4791	0,0000	0,0846
Pistas exclusivas de conversão à esquerda da via secundária	0,8551	0,8971	0,5994	0,3504	1,0000	1,0000	0,3849	0,6990	0,6265	0,5407	0,5058	0,8056	0,0000	0,0000	0,0000	0,0803
Canalização da conversão à direita da via principal	0,7616	0,7527	0,0000	0,5929	0,0000	0,6268	0,0000	0,1044	1,0000	1,0000	0,7260	0,5154	0,0000	0,0000	0,0988	0,0000
Limite de velocidade na via principal	0,5429	0,2466	0,0000	0,2454	0,4256	0,2532	0,6152	0,7237	0,0000	0,0000	0,4503	0,4631	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Nº de pistas na via principal	0,5335	0,4664	0,1842	0,0000	0,0000	0,4337	0,0000	0,1294	0,0000	0,0000	0,3837	0,0000	0,7186	0,1270	0,2902	0,2287
Volume de tráfego diário na via principal	0,4281	0,6866	0,0000	0,2928	0,2753	0,4810	0,0000	0,7068	0,5122	0,7048	0,7074	0,8116	1,0000	0,7969	0,4118	0,4596
Volume de tráfego diário na via secundária	0,3317	0,4085	0,8936	0,5518	0,0000	0,0000	0,8482	0,9465	0,0000	0,0000	0,4618	1,0000	0,0000	0,0000	1,0000	1,0000
Limite de velocidade na via secundária	0,1624	0,0000	0,3708	0,0000	0,7894	0,0000	0,0000	0,0000	0,3257	0,1058	0,3926	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Presença de canteiro central na via principal	0,0000	0,1183	0,6911	0,0000	0,0000	0,0000	0,5179	1,0000	0,0000	0,1890	0,4058	0,7815	0,0000	1,0000	0,9679	0,8654
Presença de canteiro central na via secundária	0,0000	0,2721	0,0000	0,2209	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,2830	0,2997	0,9039	0,0000	0,0000	0,0000
Pista exclusiva de conversão à esquerda na via principal	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,5840	0,0000	0,7268	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,5040	0,6134	0,2299	0,7293
Canalização da conversão à direita na via principal	0,0000	0,0000	0,0000	0,3551	0,6238	0,4783	0,0000	0,3179	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Total de pistas de conversão à esquerda na via principal	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,2819	0,0000	0,0000
Total de pistas de conversão à esquerda na via secundária	0,0000	0,0000	0,0000	0,1244	0,3535	0,3176	0,8162	0,0000	0,2246	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

FONTE: ABDEL-ATY *et al.* (2005).



### 3 REGISTROS DE ACIDENTES DE TRÂNSITO E A IMPORTÂNCIA DAS ESTATÍSTICAS

---

A atividade de análise de acidentes tem como ponto de partida a reconstituição de um acidente e essa atividade é essencial para o planejamento das medidas de prevenção pela engenharia, educação e esforço legal. Dessa forma, a identificação de locais mais críticos e propensos à ocorrência de acidentes tem sido a primeira etapa da adoção de medidas preventivas e de melhoria da segurança viária de qualquer programa (MANTOVANI, 2003; QUEIROZ, 2003). Em seguida, deve-se identificar os tipos de acidentes ocorridos nestes locais, as suas causas e as conseqüências (FRAMARIN *et al.*, 2002; KONONOV e JANSON, 2002).

Os meios mais usuais de se conhecer e quantificar um problema real do trânsito consiste na análise estatística utilizando-se de dados atuais e verdadeiros. Tanto a reconstituição quanto à quantificação estatística dos acidentes têm como fontes básicas os Boletins de Ocorrência (BOs) e os Registros de Ocorrência (ROs), que dependem fundamentalmente do número de informações disponíveis e da qualidade dessas informações. SCARINGELLA (2001) argumenta que só se conseguirá transformar adequadamente qualquer realidade se houver um adequado conhecimento da mesma.

Segundo DENATRAN (2000a e 2000b), a utilização da estatística é pouco valorizada. Essa pouca utilização pode estar associada aos seguintes fatores: a) o desconhecimento da importância e da necessidade de se ter informações sobre a realidade do problema para a busca de melhores soluções que possam beneficiar o maior número possível de pessoas; b) o alto custo das pesquisas; e c) necessidade de materiais adequados e de recursos humanos qualificados.

### 3.1 Boletins de Ocorrência (BO)

Na maioria das cidades, o registro e a coleta de informações são realizados em duas situações (MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, 2002):

- 1- quando o atendimento é feito no local do acidente, em geral, em caso de óbito ou feridos, ou quando há envolvimento de veículos “oficiais”. Nesse caso, o boletim é lavrado pela polícia militar; e
- 2- quando não há atendimento no local do acidente. Nesse caso, as partes interessadas, em geral, os envolvidos ou seus prepostos, registram a ocorrência nas delegacias especializadas. Tal procedimento, geralmente, é para atender as exigências contratuais com seguradoras.

Tanto os boletins quanto os registros de ocorrência contêm uma série de informações importantes para a análise dos acidentes ocorridos em uma via urbana. As informações contidas nos boletins e registros de acidentes no Brasil, em geral, são as seguintes: a) tipo de acidente; b) local do acidente; c) gravidade do acidente; d) características dos motoristas e dos veículos envolvidos; e) extensão dos danos em veículos; f) localização e a descrição de equipamentos de controle de tráfego; g) condições da via e meteorológicas; h) possíveis infrações de trânsito; e i) croqui do acidente.

As informações contidas nos boletins de ocorrência, apesar de variarem de Estado para Estado, são mais precisas por serem preenchidas por policiais militares que seguem um procedimento, passando por todos os campos do formulário padrão. A princípio, isso é devido à finalidade para a qual as informações dos boletins devem servir, como por exemplo, para a instrução processual. Por outro lado, as informações contidas nos registros, lançadas pelas partes envolvidas no acidente e feitos pelo próprio punho do declarante, costumam ser imprecisas e tendenciosas e não constituem materiais confiáveis para fins de investigação de causas e fatores determinantes dos acidentes. Assim, esses registros dificultam sobremaneira o entendimento das informações contidas nesses documentos.

No entanto, embora os boletins sejam adequados para muitos estudos, a aplicação dos métodos de análises das causas de acidentes fica prejudicada quando se pretende utilizar somente os dados contidos nos boletins. Isso se deve à ausência de dados mais completos sobre o volume de tráfego e a geometria da via. A falta de fatores de ajustes, referentes às

variações nos fluxos de tráfego ocorridas ao longo do dia, da semana e do ano também impede a estimativa e a utilização adequada dos métodos de análises.

CUCCI NETO e WAISMAN (1999) apontam que, além da ausência de dados relevantes para análise das causas dos acidentes, existe a dificuldade de se obter dados confiáveis devido às formas de registros feitos pelos órgãos emissores e a defasagem na obtenção de dados. Além disso, RAIÁ JR e SOUZA (2000) observam que a imprecisão dos dados e a falta de homogeneidade dos dados disponíveis tornam mais difíceis a tarefa de analisar os acidentes e de fazer comparações entre as regiões geográficas de um país, de um estado e até mesmo de um município.

Tanto CUCCI NETO e WAISMAN (1999) quanto MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES (2002) apontam que é preciso uma reformulação na forma de se realizar os registros de maneira uniforme em todos os níveis governamentais. Da mesma forma, dever-se-ia realizar uma classificação uniforme de acidentes de trânsito e convênios de cooperação entre todas as agências preocupadas com a investigação e registros de acidentes de trânsito. Isso asseguraria que as estatísticas de acidentes possam prover as autoridades e a população de dados confiáveis e tratados de forma adequada.

Além da falta de uniformidade encontrada nos BOs, há sub-registros do número de acidentes ocorridos, principalmente em relação àqueles acidentes sem vítimas e atropelamentos. No primeiro caso, as partes podem ter chegado a um acordo e terem deixado o local sem esperar a chegada da polícia para o registro da ocorrência e, no segundo caso, a vítima pode ter sido levada a um centro hospitalar por qualquer pessoa antes da chegada do resgate (GOLD, 1998; ANDRADE e MELLO-JORGE, 2001; BARROS *et al.*, 2003).

Segundo IPEA (2003), também há divergências entre as estatísticas de acidentes de trânsito utilizadas pelos órgãos envolvidos com tais números, como entre a Polícia militar e os órgãos de saúde. As divergências nas estatísticas evidenciam a precariedade dos registros, coleta e tratamento dos dados de acidentes em áreas urbanas. A inexatidão das informações é tanto quantitativa, pelos sub-registros, como qualitativa. É comum ocorrer o preenchimento incompleto ou incorreto dos boletins de ocorrência.

O sub-registro de acidentes também é constatado em outros países. Na Nova Zelândia, por exemplo, foi observada que do total de vítimas decorrentes de acidente de trânsito que tiveram atendimento médico, apenas 70% dos motoristas vítimas tinham sido registrados pela polícia. A situação é pior para motociclistas e pedestres, respectivamente

apenas 60% e 56% das vítimas haviam sido registrados pela polícia quando comparado com o total de motociclistas e ciclistas que tiveram atendimento médico-hospitalar (ALSOP e LANGLEY, 2001). Assim, outras fontes de informações também devem ser consultadas para complementar aquelas contidas no BO.

### **3.2 Outras fontes e formas de registro dos acidentes de trânsito**

Na maioria dos países, o boletim de ocorrência é a principal fonte de informações sobre os acidentes de trânsito. Todavia, é essencial que se faça uma complementação com as informações disponíveis em outras fontes de consultas. Também é essencial que as informações sejam disponibilizadas de maneira sistematizada para facilitar a consulta e permitir uma melhor compreensão da dimensão do problema, a quantidade de acidentes e a severidade dos mesmos.

Alguns órgãos de trânsito que possuem mais recursos humanos e financeiros, além dos dados contidos nos boletins e registros policiais, têm complementado os sistemas de informações utilizando-se de mapas, de diagramas de condição da via e da informatização dos dados para uma maior acurácia e eficiência dos registros, tornando as análises mais fáceis. Os mapas temáticos mais usuais são os de localização de acidentes por severidade, por residência dos envolvidos, por envolvimento de crianças, por atropelamento, etc. Esses mapas podem revelar as variáveis que podem estar ocasionando os acidentes num determinado local, como a falta de iluminação pública, por exemplo.

Com relação aos acidentes de trânsito com vítimas, os registros médico-hospitalares e do Instituto Médico Legal (IML) também são fontes de consulta e de complementação das informações já constantes nos boletins da polícia militar. Os registros policiais propiciam, em geral, dados mais detalhados sobre as circunstâncias dos acidentes de trânsito, como o tipo de veículo envolvido, condições climáticas, entre outras. Todavia, nem todas as vítimas dos acidentes e todos os veículos são registrados. Conhecer quantos acidentes foram registrados contribui para que as estimativas sejam mais precisas, possibilitando uma avaliação melhor da magnitude desses eventos.

Além das fontes de consulta mencionadas, as oficinas e as seguradoras constituem-se em fontes alternativas de informações sobre acidentes de trânsito. As oficinas,

especificamente as que trabalham com lanternagem, são locais ideais para obtenção de informações sobre acidentes. Os cadastros de cliente feitos nas oficinas não costumam conter detalhes sobre as causas das variáveis nem tampouco o local do acidente, identificando-se apenas o veículo e o nome do proprietário. Mesmo assim, é possível comparar com os registros dos órgãos oficiais e verificar se foi ou não registrado através do número da placa do veículo e pela data de entrada na oficina. Quanto às seguradoras, embora nem todos os veículos sejam segurados, é cada vez mais crescente a procura por esses serviços e nem sempre as seguradoras exigem o registro da polícia militar para realizar a perícia das avarias no veículo (ANDADRE *et al.*, 2004).

A pesquisa realizada em Londrina no Paraná por ANDRADE e MELLO-JORGE (2001) revelou que pouco mais de dois terços das vítimas que tiveram atendimento médico-hospitalar devido ao acidente de trânsito tinha o BO preenchido pela polícia militar. As diferenças entre o número de registros médicos e policiais eram ainda maiores dependendo de quem era a vítima, se é ocupante do veículo ou pedestre. Vítimas ocupantes de automóveis e caminhonetes são as que apresentaram a maior porcentagem de BO preenchidos pelos policiais, respectivamente 71% e 55,6%. Acidentes envolvendo ciclistas e pedestres são os que tiveram menos registros policiais quando comparado com os registros médicos. Por outro lado, comparando-se BO da polícia com o registro do IML, ANDRADE e MELLO-JORGE (2001) constataram que 86,2% dos casos de óbito tinham BO preenchido pelo policial.

O estudo de BARROS *et al.* (2003) realizado no município de Pelotas no Rio Grande do Sul, também faz comparação entre os registros policiais com os médico-hospitalares. Nesse estudo, BARROS *et al.* (2003) verificaram que 39% do total de vítimas que tiveram atendimento médico não haviam sido registrados pelos policiais. O sub-registro é mais acentuado em alguns tipos de acidente. Para vítimas de atropelamentos apenas 47% tinham registro em BO sendo que para vítimas de colisão entre automóveis o percentual era maior, 77% das vítimas tinham o BO preenchido pelo policial. Um caso interessante observado por BARROS *et al.* (2003) é o registro do veículo envolvido em atropelamento. Cerca de 37% dos BOs referentes a atropelamentos não tinham informações sobre o veículo envolvido no atropelamento. A falta de informação do tipo e demais características do veículo é devido a dois motivos: um é por não ter sido realmente registrada pelo policial e o outro é porque o condutor fugiu do local. Através de entrevistas domiciliares, BARROS *et al.* (2003)

comprovaram que 34% dos sub-registros nos atropelamentos foram por causa da fuga do motorista do local do acidente.

O trabalho de ANDRADE *et al.* (2004), investiga a diferença entre as estatísticas oficiais de acidentes de trânsito, revelando a dimensão das divergências entre o que se divulga e o que de fato ocorre nas vias urbanas de João Pessoa (PB). Além das fontes de consultas utilizadas por ANDRADE e MELLO-JORGE (2001) e BARROS *et al.* (2003), ANDRADE *et al.* (2004) fizeram levantamento de dados junto às oficinas e seguradoras, no entanto não obtiveram sucesso junto a essas duas fontes alternativas de informações. Os receios por parte das oficinas são os seguintes: a) quebra de sigilo; e b) as informações serem utilizadas para estimativa da receita da oficina. As seguradoras negam informações sob o argumento de serem sigilosas.

A análise de ANDRADE *et al.* (2004) foi restrita às vítimas dos acidentes por não ter obtido as informações junto às oficinas e seguradoras. Comparando o número de vítimas de acidentes, em 2002 em João Pessoa, dos registros médico-hospitalares com os registrados pelos órgãos de trânsito, foi constatado por esses pesquisadores que o número de casos registrados pelos órgãos de trânsito (772 acidentes) foi de apenas 17,30% dos casos registrados nos hospitais. Quando a comparação foi quanto ao tipo de acidente que gerou vítimas, a maior diferença observada é com relação aos atropelamentos. Enquanto os órgãos de trânsito registravam 81 vítimas de atropelamento, os hospitais atenderam 1.052 vítimas.

Recentemente, outras fontes de informações surgiram em forma de banco de dados geo-referenciados que passaram a constituir uma das maneiras mais eficazes de registro dos acidentes. A tecnologia do Sistema de Informações Geográficas –SIG possui ferramentas robustas que possibilitam coletar, armazenar, manipular, atualizar, analisar e gerar vários índices e mapas com informações descritivas sobre os acidentes de trânsito de forma a auxiliar na resolução de problemas complexos de planejamento e de gerenciamento de trânsito (RAIA JR e SOUZA, 2000; MANTOVANI, 2003; QUEIROZ, 2003).

## 4 REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

---

O desenvolvimento de sistemas computacionais inteligentes surgiu do desejo de construir máquinas e programas capazes de imitar ou entender os aspectos do pensamento humano, para que executassem certas tarefas tão bem quanto ele, desvendando o funcionamento do seu sistema biológico, do conhecimento, do raciocínio e da inteligência (FERNANDES, 2003). Esses sistemas da inteligência artificial (IA) poderiam ser definidos como um conjunto de modelos, algoritmos, técnicas, ferramentas e aplicações, em um sistema computadorizado que emula algumas das habilidades cognitivas do homem (FERNANDES, 2003; REZENDE, 2003).

A evolução dos computadores e o avanço da ciência fizeram com que os computadores fossem capazes de executar tarefas de forma mais rápida que o cérebro humano, por exemplo, uma operação matemática. Apesar dessa evolução, algumas tarefas, tais como o reconhecimento do som ou da imagem, continuam a serem realizadas de forma mais rápida pelo homem (HAYKIN, 1994).

A inteligência é algo extremamente complexo. A maneira como o cérebro humano consegue executar determinadas tarefas é ainda pouco conhecida, dificultando que ele seja sintetizado. O cérebro humano é formado por diversas unidades altamente interconectadas, os neurônios, que por sua vez são ligados a tantos outros neurônios. Apesar de ser ainda de forma parcial, esse conhecimento torna possível a simulação do comportamento do cérebro humano.

Nesse sentido, as redes neurais são modelos de inteligência artificial que buscam modelar a estrutura das habilidades computacionais do sistema nervoso do cérebro humano e a forma pela qual ele é capaz de processar as informações. Para isso, emprega-se uma estrutura computacional com grande quantidade de unidades de processamento altamente conectadas, operando de forma paralela (LOESCH e SARI, 1996). As redes neurais são um

dos campos da inteligência artificial que mais se desenvolve, atraindo pessoas das mais diversas áreas de conhecimento (FERNANDES, 2003).

#### **4.1 Neurônio Biológico**

O cérebro humano organiza-se em diferentes regiões, cada uma responsável por diferentes funções, sendo o neurônio a unidade básica do cérebro. De estrutura simples, o neurônio é formado de dendritos, soma ou núcleo e axônio, que permitem três funções básicas: a entrada, o processamento e a saída de sinais (KOVÁCS, 1997).

Numa célula neural biológica, as dendrites são as responsáveis pela coleta dos impulsos provenientes dos outros neurônios. O corpo celular – soma, é o responsável pelo processamento dos sinais recebidos e o axônio o responsável pela propagação dos sinais emitidos pelo neurônio aos outros a ele conectados. Essa conexão, entre o axônio de um neurônio e a dendrite de outro, é chamado de sinapse. Cada sinapse tem um valor associado (peso) e o processamento dos sinais corresponde à soma ponderada dos pesos dos impulsos recebidos (PIZZOLATO e BIRNER, 1992; KOVÁCS, 1997). A intensidade dos estímulos que o neurônio recebe em suas entradas depende da proximidade física destas entradas com a saída de cada um dos neurônios que lhe mandaram os estímulos.

O processo de aprendizado ocorre quando acontecem sucessivas e efetivas modificações nas sinapses que interconectam os neurônios, em função da maior ou menor liberação de neurotransmissores. À medida que novos eventos são apresentados, determinadas ligações entre os neurônios são reforçadas enquanto que outras são enfraquecidas. Este ajustamento nas ligações entre os neurônios durante o processo de aprendizado é uma das características mais importantes que foram colocadas na construção das redes neurais artificiais (PIZZOLATO e BIRNER, 1992).



## 4.2 Breve histórico sobre redes neurais artificiais

O estudo sobre redes neurais teve seu início na década de 40. Em 1943, McCulloch e Pitts apresentaram a hipótese de um simples modelo de funcionamento dos neurônios e, em 1947, apresentaram os detalhes neurofisiológicos e modelos para a organização e operação dos *Colliculus Superiores*. O trabalho desses dois autores é considerado até hoje como referência básica para o desenvolvimento de redes neurais artificiais (BRAGA *et al.* 1998). Hebb, em 1949, apresentou o trabalho sobre a teoria de que o aprendizado ocorria nas conexões entre neurônios, denominadas de sinapse.

A década de 50 foi caracterizada por introduzir a técnica de simulação computacional do sistema nervoso ao mundo. A área foi fortemente impulsionada com o trabalho de Rosenblatt (1958), que propôs o modelo *perceptron* de uma camada, baseando-se no modelo de aprendizagem de Hebb (1949). Esse novo modelo é capaz de solucionar problemas simples de reconhecimento de padrões.

No final da década de 60, Marvin Minsky e Seymour (1969) realizaram um trabalho enfatizando as limitações dos modelos de redes neurais de uma camada, pois o problema do OU EXCLUSIVO não podia ser resolvido através dos modelos de uma única camada. Depois disso, estudos relacionados às redes neurais só vieram a ressurgir na década de 80, com os trabalhos de Hopfield (1982) e Rumelhart (1986) com modelos direcionados à computação. As redes de Hopfield (1982) já solucionavam alguns problemas da rede *perceptron*. Mais tarde, Rumelhart (1986) desenvolveu o algoritmo de aprendizado *backpropagation* para redes multicamadas e do tipo *feed-forward* com uma ou mais camadas de neurônios entre as camadas de entrada e de saída, a fim de solucionar os problemas considerados complexos e de difícil aprendizagem.

A partir da década de 90, estudos sobre redes neurais artificiais foram desenvolvidos por diversas áreas de conhecimento como a matemática, computação, transporte e outros (BRAGA *et al.*, 1998).

### 4.3 Redes Neurais Artificiais

As redes neurais são modelos computacionais que tentam reproduzir o funcionamento do cérebro humano (BRONDINO, 1999). A célula básica nos modelos computacionais é semelhante à célula básica do modelo biológico no seu aspecto funcional.

Conforme PIZOLLATO e BIRNER (1992), a denominação mais adequada para esses modelos computacionais seria redes neurais artificiais (RNA), pois o conhecimento do funcionamento do cérebro, bem como dos neurônios ainda é bastante incompleto. Portanto, tais modelos computacionais nada mais são que grosseiras imitações parciais das redes de neurônios do cérebro.

O interesse por redes neurais artificiais deve-se ao desejo de se obter uma técnica com a capacidade de processamento requerida, utilizando-se muitos elementos que operam em paralelo e que ainda ofereça um alto grau de robustez e tolerância à falhas. Esses modelos têm sido eficientes na resolução de problemas que contém dados com ruídos ou problemas em que há modificações com o passar do tempo, pois os seus algoritmos podem especificar o conjunto inicial dos pesos e indicar como esses pesos devem ser adaptados para melhorar o desempenho da rede (OLIVEIRA, 1997).

Os três aspectos das redes neurais artificiais podem ser resumidos em habilidade em aprender com exemplos, robustez e velocidade de processamento:

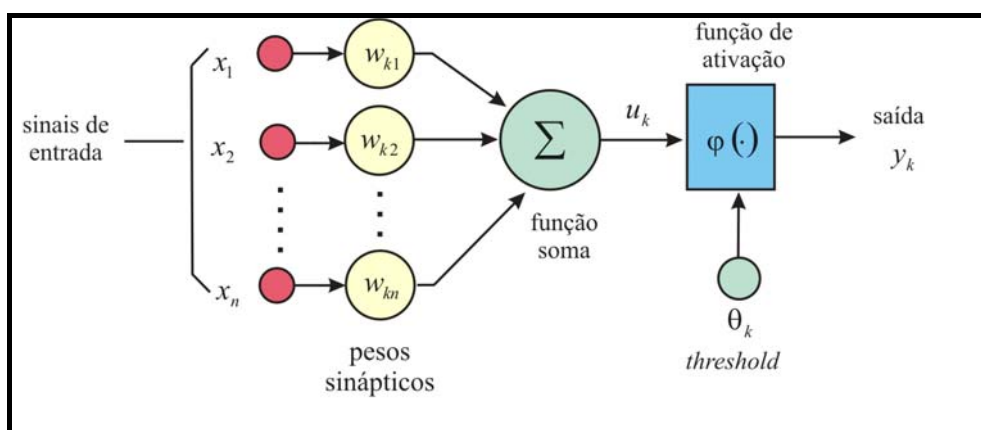
- habilidade de aprender com exemplos: os neurocomputadores têm a capacidade de aprender com a experiência, visando aperfeiçoar seu desempenho e se adaptar aos cenários novos e dinâmicos;
- robustez: as redes neurais artificiais têm a habilidade em tratar com exemplos imperfeitos (ruídos). As RNAs são tolerantes às falhas, podem generalizar através dos exemplos imperfeitos e extrair informações essenciais das entradas com dados relevantes ou não, oferecendo respostas adequadas por um período significativo de tempo;
- velocidade de processamento: as RNAs podem operar em velocidades consideráveis se comparados aos métodos computacionais comuns, pois as RNAs consistem de um grande número de unidades de processamento operando de forma paralela.

Além das vantagens apresentadas, as RNAs têm demonstrado que possuem um desempenho superior a alguns métodos estatísticos quando se trata da resolução de problemas em específico, como foi demonstrado nos trabalhos de MUSSONE *et al.* (1999) para tratamento de dados de acidentes de trânsito.

As desvantagens das RNAs consistem na falta e na dificuldade de um formalismo na especificação e na análise de modelos de redes neurais (LOESCH e SARI, 1996). Para se compreender os mecanismos fundamentais das redes é necessário realizar simulações que, na maioria dos casos, são tarefas árduas e distantes da realidade do modelo.

### 4.3.1 Neurônio artificial

O neurônio artificial tem uma célula computacional básica semelhante ao modelo biológico no seu aspecto funcional, que pode ser entendido como uma unidade de processamento matematicamente simples. O neurônio artificial recebe uma ou mais entradas e transforma-as em saídas. A estrutura de um neurônio artificial pode ser visualizada na Figura 4.1.



**Figura 4.1-** Modelo não linear de um neurônio

FONTE: HAYKIN (1994).

O funcionamento de um neurônio artificial se processa através dos seguintes elementos:

- sinapses – caracterizadas por pesos ( $w$ ), que correspondem a sua intensidade. A função do peso  $w_{kj}$  é a de multiplicar o sinal  $x_j$  na entrada da sinapse  $j$ , conectada ao neurônio  $k$ . O peso  $w_{jk}$  será positivo se a sinapse for excitatória e negativo se a se a sinapse for inibitória;
- somatório: adiciona as entradas ponderadas pelos seus respectivos pesos, dada pela equação:

$$u_k = \sum_{i=1}^n w_{ij} x_j \quad (4.1)$$

- limiar (threshold): representado pela simbologia  $\theta_k$ , tem um papel determinante na saída do neurônio. Se o valor de  $u_k$  for menor que o valor do limiar, então a saída do neurônio fica inibida, caso contrário fica ativa;
- função de ativação: representado por  $\varphi(\cdot)$  limita a amplitude da saída do neurônio, ou seja, a entrada é normalizada dentro de um intervalo fechado, geralmente  $[0,1]$  ou  $[-1,1]$ ;
- saída:  $y_k$  do neurônio é realizada pela equação

$$y_k = \varphi(u_k - \theta_k) \quad (4.2)$$

O valor limiar é aplicado com a inclusão de uma camada  $x_o$  igual a -1 e um peso  $w_{ko}$  igual ao valor de  $\theta_k$ . Assim, a nova entrada da função de ativação com o limiar incluído é dada pela equação:

$$v_k = \sum_{j=1}^n w_{kj} x_j - \theta_k \quad (4.3)$$

Segundo HAYKIN (1994), as funções de ativação mais comuns, que definem a saída do neurônio em termos do nível de atividade do mesmo, se enquadram nas seguintes funções:

$$\text{linear:} \quad \varphi_i(t+1) = v_i(t) \quad (4.4)$$

$$\text{limiar:} \quad \varphi_i(t+1) = \begin{cases} 1, & \text{se } v_i(t) \geq \theta \\ 0, & \text{se } v_i(t) < \theta \end{cases} \quad (4.5)$$

$$\text{sigmóide logística:} \quad \varphi_i(t+1) = 1/(1 + e^{-v_i(t)}) \quad (4.6)$$

$$\text{tangente hiperbólica:} \quad \varphi_i(t+1) = (1 - e^{-v_i(t)})/(1 + e^{-v_i(t)}) \quad (4.7)$$

$$\text{linear por partes:} \quad \varphi_i(t+1) = \begin{cases} +1, & \text{se } v_i(t) > \theta \\ -1, & \text{se } v_i(t) < \theta \\ v_i(t), & \text{em outra parte} \end{cases} \quad (4.8)$$

As saídas, em geral, são de quatro tipos diferentes: classificação, padrão, número real e otimização. Alguns modelos de RNA apresentam apenas um tipo de saída, enquanto que outros podem incorporar mais que um tipo de saída.

A classificação é basicamente entendida como o processo de mapeamento dos dados de entrada em categorias discretas. Assim, algumas entradas estimularão uma determinada resposta da RNA, enquanto que outras causarão outras reações. Um exemplo de classificação utilizado é a ordem de apresentação da informação.

Os padrões são outras formas de resposta a impulsos aplicados na entrada. Eles consistem na ativação de determinados neurônios de saída, formando padrões (figuras que representam uma informação).

Os números reais consistem a terceira classe de respostas de RNA. Normalmente são utilizados como resposta em aplicações como previsões financeiras, controle de processos e robótica (PIZOLATTO e BIRNER, 1992).

A quarta e última forma de resposta de RNA é a otimização. Um bom exemplo é o problema do caixeiro viajante, em que as saídas indicam o melhor caminho (o de menor distância, ou o de menor custo) que o caixeiro deve percorrer para obter maior lucro (andar ou gastar menos).

Existem diversos tipos de redes neurais artificiais (RNA) e diferentes maneiras de classificá-las. As RNA podem ser categorizadas por sua topologia, isto é, pela forma como os

neurônios estão organizados como o número de camadas, elementos de processamento e de conexões, pelas características de seus elementos de processamento e pelas leis de aprendizagem a que foram submetidas (DOUGHERTY, 1995; OLIVEIRA, 1997; BRONDINO, 1999).

A topologia da rede está intimamente ligada ao algoritmo de aprendizado usado na fase de treinamento. É essa topologia que afeta o desempenho da rede como também define as aplicações para as quais são desejadas. Das diversas topologias existentes podemos citar como exemplos o *Multilayer Perceptron*, a rede de Kohonen e a rede de Hopfield. O *Multilayer*, o tipo mais comum de arquitetura, é composto de uma camada de entrada, uma ou mais camadas intermediárias e uma camada de saída. O segundo exemplo, rede de Kohonen é formada por uma camada de entrada e uma única camada de saída. O terceiro exemplo, rede de Hopfield, não há uma entrada e saída definida, pois a entrada de um neurônio é a saída do outro neurônio.

A classificação mais importante é quanto ao **algoritmo de aprendizado**. Os principais tipos de aprendizado são (DOUGHERTY, 1995; OLIVEIRA, 1997; BRONDINO, 1999; FERNANDES, 2003; REZENDE, 2003):

- **Supervisionado:** no aprendizado supervisionado os conjuntos de padrões de entrada e seus correspondentes padrões de saída são sucessivamente apresentados à rede. O resultado de saída é comparado com o dado de saída desejado para aqueles dados de entrada e a função de erro global computado. Durante este processo, a rede realiza um ajustamento dos pesos das conexões entre os elementos de processamento, de acordo com uma determinada lei de aprendizagem até que os erros entre os padrões de saída gerados pela rede alcancem um valor mínimo desejado. No decorrer da apresentação de exemplos para a rede neural, é esperado que o erro global decresça gradualmente com a rede convergindo a um estado constante. O aprendizado é descrito como supervisionado porque é dada à rede uma descrição exata do comportamento requerido após cada iteração. Um exemplo deste tipo de aprendizado é o método *backpropagation*.
- **Não Supervisionado:** no aprendizado não supervisionado ou auto-organizante, o modelo opera puramente sobre os dados de entrada, com todos os critérios para a atualização dos pesos sendo determinados internamente pela rede neural, ou seja, não existem exemplos específicos da função a ser aprendida pela rede. Neste tipo de

aprendizado, a rede “analisa” os conjuntos de dados apresentados, a rede determina algumas propriedades dos conjuntos de dados e “aprende” a refletir estas propriedades na sua saída. Para isso, a rede utiliza padrões, regularidades e correlações para agrupar os conjuntos de dados em classes. As propriedades que a rede vai “aprender” sobre os dados podem variar em função do tipo de arquitetura utilizada e da lei de aprendizagem. O principal uso de tais redes é para os problemas de classificação onde não se sabe previamente quais classes deveriam existir.

- **Por Reforço:** este tipo de aprendizado é semelhante ao aprendizado supervisionado. Entretanto, ao invés de fornecer as saídas corretas para a rede, relativo a cada treinamento individual, a rede recebe somente um valor que diz se a saída está correta ou não. A aprendizagem é realizada através do processo de tentativa e erro projetado para maximizar um determinado critério de desempenho chamado de sinal de reforço.

#### 4.3.2 A rede *Multilayer Perceptron* – MLP

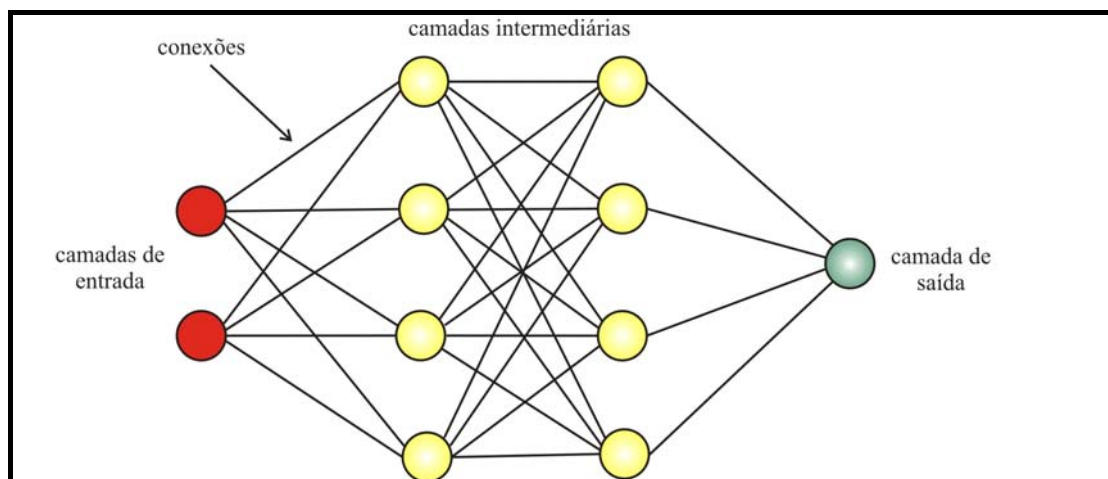
Para cada tarefa diferente existe um modelo mais adequado de redes neurais artificiais. Para a extração de características, as abordagens diferem umas das outras pelas características da função de mapeamento, que pode ser linear ou não, e pelos métodos de aprendizado. A escolha de um método para extração de características de um conjunto de dados, tanto para abordagens clássicas como para as redes neurais é orientada por (OLIVEIRA, 1997):

- i. existência de informação disponível para o aprendizado da RNA (supervisionado ou não); e
- ii. conhecimento prévio sobre a distribuição dos dados (linear ou não).

A rede neural artificial do tipo *multilayer perceptron* – MLP, vem sendo o mais indicado pela literatura para a tarefa de classificação (BRONDINO, 1999; RAIA JR., 2000; WERMERSH, 2002). A rede *perceptron* é constituída por apenas duas camadas, sendo uma de entrada e uma de saída, e só consegue classificar padrões que sejam linearmente separáveis. Para contornar este problema, a alternativa seria a utilização de mais que um *perceptron*, cada um sendo empregado para distinguir seções linearmente separáveis da

entrada e, então, combinando suas saídas com outro *perceptron* com o intuito de produzir uma indicação de classe a que aquela entrada pertence (HAYKIN, 1994).

A nova rede organiza as unidades *perceptron* em camadas e, assim, o novo modelo passa a ser denominada de *Multilayer Perceptron*. Esse modelo é composto por uma ou mais camadas intermediárias e cada camada intermediária funcionará como o *perceptron*. A Figura 4.2 mostra a topologia de uma rede MLP com quatro camadas, sendo uma camada de entrada, uma de saída e duas intermediárias. A diferença está na sua função de ativação, que não será mais função de grau, mas sim uma função sigmóide ou limiar linear. A utilização de uma das duas funções alternativas apresentadas consiste na atualização dos pesos de forma menos brusca (BRONDINO, 1999).



**Figura 4.2.** Exemplo de Rede Neural do tipo MLP

FONTE: adaptado de HAYKIN (1994)

Vários tipos de algoritmos de aprendizagem podem ser usados para treinar uma rede MLP. Um dos mais populares para o uso em redes MLP é o chamado *backpropagation*, também denominada de Regra Delta Generalizada.

Quando um padrão é apresentado à rede pela primeira vez, esta produz uma saída aleatória. A diferença entre essa saída e a desejada constitui o erro. A intenção do trabalho de treinamento consiste em diminuir cada vez mais o valor desse erro. Para isso, o valor dos pesos vai sendo ajustado a cada nova iteração. A regra *backpropagation* ajusta primeiramente os pesos das camadas de saída e, posteriormente, os pesos das demais camadas, da saída em direção à entrada.



Seja  $E_p$  a função erro para o padrão  $p$ ,  $d_{pj}$  o valor da saída desejado para o nó  $j$  e  $O_{pj}$  o valor da saída obtido. Então,  $E_p$  é dada pela função:

$$E_p = \frac{1}{2} \sum_j (d_{pj} - O_{pj})^2 \quad (4.9)$$

onde  $\frac{1}{2}$  é incluído para simplificar a expressão das derivadas computadas no algoritmo de treinamento.

Como o objetivo é minimizar a função erro, se essa função for simples, a rede tem a garantia de encontrar a solução. Caso contrário, o erro pode cair até um valor mínimo local e não produzir uma saída satisfatória.

A atualização dos pesos  $w_{ij}$  é dada pela adição de uma variação  $\Delta w_{ij}$  dada pela função:

$$\Delta w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + \Delta w_{ij} \quad (4.10)$$

em que:

$$\Delta w_{ij} = \eta x_i O_j (1 - O_j) \delta_j \quad (4.11)$$

$$\delta_j = (d_j - O_j), \text{ para última camada} \quad (4.12)$$

$$\delta_j = \sum w_{jk} \delta_k, \text{ para as camadas intermediárias} \quad (4.13)$$

A variável  $\eta$  é a taxa de aprendizado e o seu valor determina o quão suavemente se dará a atualização dos pesos. Se o valor de  $\eta$  for grande, o valor de  $\Delta w_{ij}$  também será grande e, conseqüentemente, os pesos sofrerão uma alteração brusca nos seus valores.

Uma outra variável que pode ser incluída na atualização dos pesos é o *momentum*. Essa nova variável pode aumentar a velocidade do aprendizado e tem a característica de acelerar o treinamento em regiões planas da superfície do erro. Adicionando-se o *momentum*,  $\Delta w_{ij}$  passa ser dada pela equação:

$$\Delta w_{ij}(t+1) = \eta x_i O_j (1 - O_j) \delta_j + \alpha (w_{ij}(t) - w_{ij}(t-1)) \quad (4.14)$$

A atualização dos pesos pode ser de duas maneiras: por padrão ou por ciclo. Na primeira situação, os pesos são atualizados após a apresentação de cada padrão. No segundo

caso, a atualização dos pesos é realizada após a apresentação de todos os padrões. A utilização de uma ou de outra forma de atualização dos pesos depende da aplicação desejada. A primeira é melhor para os casos em que se tem um conjunto de dados muito grande, ou seja, de muitas entradas e que estas entradas são redundantes, caracterizando poucos padrões. A atualização por ciclo é mais indicada para conjuntos que apresentam muitos padrões a serem classificados.

A literatura consultada descreve alguns problemas quanto às dificuldades de aprendizado pelas redes com algoritmo do tipo *backpropagation*. A abordagem heurística aumenta o tempo computacional necessário em todas as fases do processo para encontrar a rede ótima, principalmente no processo de treinamento quando as superfícies são muito complexas, além do risco da rede resultar num mínimo local. Outro problema encontrado neste tipo de algoritmo tem sido o *overfitting*. Este fenômeno pode surgir depois de um determinado tempo de treinamento, quando a rede memoriza os padrões que já foram apresentados e o processo de classificação piora sensivelmente. Para este problema, as possíveis soluções seriam: a adição de nós em camadas intermediárias, a diminuição da taxa de aprendizado, a utilização de *momentun* e a adição de algumas falhas nos exemplos.

Segundo MUSSONE *et al.* (1999), a RNA reconhece um padrão particular de classificação quando os dados são agrupados em classes. Além disso, a extração de dados será tão homogêneo quanto possível para cada classe, tanto no treinamento quanto no teste. Por outro lado, quando o número de casos usados como exemplos de treinamento é baixo e não contém todas as combinações possíveis, o desempenho da RNA no conjunto de teste pode ser pior; isto acontece quando muitas variáveis são utilizadas e os dados não estão distribuídos de forma homogênea. Conforme MUSSONE *et al.* (1999), o desempenho da RNA na extração de dados poderá ser melhorado com a redução do número de variáveis. Não há nenhuma restrição quanto ao número de neurônios de entradas e de saídas dos modelos. Contudo são desconhecidas as exatas relações entre os vetores dos neurônios de entrada para os neurônios de saída e a rede ótima. Além do mais, não se conhece quantos casos de exemplo são necessários para a fase do aprendizado.

Diz-se que uma rede neural está treinada quando a rede atinge uma solução generalizada para um dado problema. Para atingir essa solução generalizada, o treinamento é finalizado antes que um mínimo local seja alcançado. A razão para isso é evitar que a rede “decore” o conjunto de dados de treinamento. Segundo WERMERSH (2002), uma forma de estimar o ponto de parada do treinamento é usar um outro conjunto de dados diferente daquele

do treinamento, conhecido como conjunto de validação para o monitoramento da precisão preditiva da rede enquanto ela está sendo treinada. Deste modo, ao invés de salvar os parâmetros da rede correspondente ao mínimo da função erro, esse procedimento salva a iteração do método de otimização, que resulta na mais elevada acurácia para o conjunto de validação.

Para o desenvolvimento de um modelo ou projeto, baseado em redes neurais artificiais, é necessário cumprir diversas etapas que podem ser resumidas nas seguintes fases:

- definição do problema, coleta dos dados de treinamento e de teste;
- pré e pós-processamento dos dados;
- projeto da estrutura da rede; e
- simulação com o *software*.

Em geral, os modelos de redes neurais são construídos para terem duas ou três fases: treinamento, validação e teste. De acordo com CARNEIRO (2005), a fase do treinamento consiste em fornecer informação necessária para que a rede construa uma função capaz de representar a situação que está sendo avaliada, seja a classificação, extração, etc. A validação permite avaliar se as ponderações propostas pela rede foram suficientes e adequadas durante o treinamento. Por fim, o teste serve para a mensuração da capacidade de generalização da rede por meio da função construída durante o treinamento.

Na partição da amostra, em geral, os autores utilizam a proporção de 50% da amostra para treinamento, 25% para teste e os restantes dos 25% para a validação (RAIA JR., 2000; GONZALES TACO, 2003). No entanto, conforme constatado por CARNEIRO (2005), há vários pesquisadores que utilizaram diferentes proporções em seus trabalhos como, por exemplo:

- SHMUELI *et al.* (1998): recomenda a proporção de 80% da amostra para treinamento e 20% para teste;
- LAW (2000): da amostra total de 30 casos, o autor utilizou 25 deles para treinamento e os restante dos 5 para teste; e
- OLIVA *et al.* (2000): os autores utilizaram 90% da amostra para treinamento e 10% para teste no trabalho de previsão de produção de viagens.

Uma das tarefas mais difíceis na elaboração do projeto de RNA do tipo MLP para solucionar um determinado problema é determinar o número de elementos de processamento da camada intermediária, bem como o número de camadas intermediárias. Não existem regras para a determinação do número de camadas, entretanto, alguns procedimentos podem orientar a construção de uma RNA, tal como um maior número de elemento de processamento pode levá-la facilmente ao processo de memorização.

A implementação de um modelo ou projeto que utilize as RNAs poderá ser realizada de diversas formas. Aquela pessoa que possuir um bom conhecimento em desenvolvimento de software poderá desenvolver seu próprio código, específico para o problema. Caso contrário, poderá utilizar os pacotes de sistemas simuladores de redes neurais disponíveis no mercado, como o *EasyNN*<sup>1</sup> (BRONDINO, 1999; RAIA JR., 2000; CARNEIRO, 2005) e o MATLAB<sup>2</sup> (MUSSONE *et al.*, 1999; MADALOZZO *et al.*; 2004) ou de domínio público, como o *SNNS*<sup>3</sup> – “*Stuttgart Net Simulator*” (WERMERSH, 2002).

O *software EasyNN* tem sido bastante empregado na análise de problemas de transporte, como nas pesquisas de RAIA JR (2000) e CARNEIRO (2005). A escolha do *EasyNN* por esses pesquisadores foi devido a duas condições básica:

- o simulador apresenta boa interface com o usuário, permitindo, de forma fácil, a inserção dos dados de entrada e de saída, em formato compatível com as planilhas eletrônicas geralmente utilizadas, e visualização dos parâmetros de caracterização da arquitetura e topologia da rede bem como os resultados obtidos nas simulações;
- para o uso do *software* não necessita ter conhecimento de programação computacional.

*EasyNN-Plus*<sup>®</sup> é uma versão mais completa do *EasyNN*<sup>®</sup>. A topologia empregada pelo *EasyNN-Plus*<sup>®</sup> é a *Multilayer Perceptron* (MLP) com até três camadas intermediárias escondidas (*hidden layers*) e o algoritmo usado para o aprendizado é do tipo *backpropagation*. Segundo informação do suporte técnico, a função de ativação utilizada no *software* é a sigmóide logística, equação matemática descrita anteriormente neste capítulo.

---

<sup>1</sup> *EasyNN*<sup>®</sup> - é um software destinado a construir redes neurais, desenvolvido e comercializado por Stephen Wolstenholme, Inglaterra.

<sup>2</sup> MATLAB<sup>®</sup> - linguagem técnica de computação. Patente de Mathworks, Inc. Patent n° 6.857.118, Estados Unidos.

<sup>3</sup> *SNNS*<sup>®</sup> - Stuttgart Neural Network Simulator. IPVR Universität, Stuttgart, Alemanha.

Muitos dos passos que são requeridos para desenvolver um modelo de redes neurais artificiais têm sido automatizados pelo *software EasyNN-Plus*®. A determinação do número de camadas intermediárias, assim como o número de nós em cada camada intermediária, segue o processo conhecido como tentativa e erro (GONZALES TACO, 2003), mas este *software* já possui a capacidade de criar várias redes diferentes e escolher aquela que produz o melhor resultado sobre um curto período de tempo de treinamento.

O *EasyNN-Plus*® apresenta diversos tipos de gráficos e valores como resultados das simulações. Os resultados apresentados pelo simulador são quanto aos valores de normalização, de erro médio, da sensibilidade e da importância de cada variável do neurônio da camada de entrada etc.

A sensibilidade é a medida de como o valor do neurônio de saída é alterado de acordo com os valores dos neurônios de entrada especificados pelo usuário. É um método para medir a relação entre a causa e o efeito entre as variáveis de entrada e a variável de saída.

O valor da importância é o valor da soma dos pesos das conexões de cada neurônio da camada de entrada em relação aos neurônios da próxima camada. A importância de cada neurônio de entrada é relativa para a soma total dos pesos de todos neurônios da camada de entrada.

#### **4.4 Aplicação de redes neurais artificiais na área de transportes**

No transporte, como em muitos outros ramos da ciência, está havendo um rápido e crescente interesse na aplicação de métodos neurocomputacionais para a solução dos problemas. No campo dos estudos de transportes, a partir da década de 1990, houve uma grande revolução no uso de Redes Neurais (DOUGHERTY, 1995), vindo a complementar os métodos existentes, como as ferramentas da estatística e de modelagem matemática para análise de problemas complexos. A vasta maioria desses trabalhos está concentrada no transporte rodoviário (DOUGHERTY, 1995). Nas áreas das indústrias marítimas e aeroviárias, são poucas as publicações e as supostas razões para a pequena quantidade encontrada é que os trabalhos mais interessantes têm que ser mantido em segredo por razões, comerciais e militares.

No campo do planejamento de transportes, a técnica de RNA tem sido empregada em estudos de previsão de demanda por transporte. Numa dessas pesquisas, a de CARVALHO (1999), a RNA é empregada para investigar a viabilidade de uma nova metodologia de calibração alternativa ao modelo *Logit*. Essa nova metodologia é baseada em não linearidade para reproduzir o processo de decisão de escolhas discretas, visando calcular as probabilidades de escolha de cada alternativa no conjunto de alternativas de viagem. Pela nova metodologia, a pesquisadora verificou que a escolha dos usuários está diretamente relacionada ao tempo e ao custo. Outros estudos no campo de planejamento de transporte são os de WERMERSH (2002) e GONZALES TACO (2003). O estudo de WERMERSH (2002), procurou-se extrair as principais características de reconhecimento de padrões através de métodos de aprendizado, a fim de detectar o processo mental seguido pelos usuários de transporte na escolha de um modo de viagem. Em um outro trabalho mais recente, realizado por GONZALES TACO (2003), procurou-se desenvolver um modelo para reconhecer e reproduzir padrões de viagens encadeadas a pé, usando modelos de rede neural estática MLP e um outro modelo dinâmico. Apesar de não parecem ser muito robustos, os resultados desses modelos apresentam-se satisfatórios.

Na área de transporte público, NIJKAMP *et al.* (1996) comparam o uso de redes neurais com o modelo estatístico *Logit*, com o objetivo de entender como se processa a divisão modal entre o trem e o rodoviário quando se introduz um trem de alta velocidade no sistema de transporte público na Itália. COSTA e MARKELLOS (1997) compararam os modelos de redes neurais artificiais com os programas matemáticos e econométricos para avaliar e verificar o desempenho dos serviços de transporte público de Londres, baseado no conceito da eficiência produtiva. VYTHOULKAS e KOUTSOPOULOS (2003) procuraram modelar a percepção dos administradores que tomam as decisões quanto às suas vagas percepções de vários atributos de suas preferências e alternativas disponíveis, procurando maximizar a utilização dos modais de transporte. Em todas essas pesquisas, verifica-se que os modelos de RNA têm desempenho melhor que os modelos estatísticos e econométricos tradicionais.

Com relação ao planejamento urbano e regional, podem ser destacadas as produções de BLACK (1995), MARANA *et al.* (1998) e RODRIGUE (1997). O trabalho de BLACK (1995) relata que os modelos de RNA são muito melhores que os modelos matemáticos tradicionais quando se trata de reconhecimento de padrões, pois os modelos de RNA são mais flexíveis e mais precisos na estimativa do fluxo de tráfego, dados esses

essenciais para o planejamento do desenvolvimento regional através do sistema de transporte. MARANA *et al.* (1998) estimaram a densidade de pessoas e de público através da textura de imagem. Nesse caso, a RNA mostrou ser capaz de estimar de forma adequada as densidades de pessoas em situações em que só aparecem partes do corpo da pessoa nas imagens devido às diferenças nas estaturas (pessoas baixas ou altas) num determinado espaço. RODRIGUE (1997) usa a RNA para representar a relação estrutural entre os elementos de um sistema de transporte com o uso do solo urbano.

Pode-se constatar também que as redes neurais artificiais vêm sendo utilizadas para verificar a influência da acessibilidade no valor de terrenos urbanos e na estimativa de um índice de potencial de viagens. BRONDINO (1999) utiliza redes neurais e métodos de regressão para avaliar a influência da medida de acessibilidade no valor de terrenos urbanos, tendo como estudo de caso as cidades de Araçariguama (SP) e São Carlos (SP) para comparação. RAIA JR. (2000) aplicou redes neurais artificiais conjuntamente com as ferramentas do SIG para avaliar a influência da acessibilidade e a mobilidade em um índice de potencial de viagem. RAIA JR. (2000) também empregou a RNA para extrair as variáveis mais relevantes que influenciam na acessibilidade e no índice de potencial de viagem que devem ser considerados nas abordagens de planejamento de transportes em cidade de porte médio.

Recentemente, as ferramentas de Redes Neurais têm sido amplamente empregadas na área de engenharia de tráfego. Alguns exemplos são a detecção e classificação de veículos de tráfego rodoviário pelo processamento de imagens e sons (MANTRI e BULLOCK, 1995; NOORALAHYAN *et al.*, 1997; ZHANG e RITCHIE, 1997; ZHANG e FORSHAW, 1997; ABDULHAI e TABIB, 2003), tratamento de interseções sinalizadas e gerência de tráfego urbano (LEDOUX, 1997; SPALL e CHIN, 1997; SILVA e JACQUES, 2003), previsão de fluxo de tráfego (CHEN e GRANT-MULLER, 2001) e as suas relações com os mais diversos tipos de poluição (CHEN e BELL, 2002), detecção e predição de incidentes em rodovias (ABDULHAI e RITCHIE; 1999; JIN *et al.*, 2002; TENG e QI, 2003a e 2003b).

Alguns estudos já foram desenvolvidos na área de segurança viária com a aplicação de ferramentas de redes neurais. Para essa área, pode-se destacar os trabalhos de AWAD e JANSON (1998), MUSSONE *et al.* (1999), e KUMARA e WEERAKOON (2003). AWAD e JANSON (1998) compararam ambas metodologias, redes neurais e lógicas *fuzzy*, para predição de acidentes de caminhões em acessos de vias expressas. KUMARA e WEERAKOON (2003) empregaram modelos estatísticos de Poisson e Binomial Negativo em

comparação com os modelos de RNA para identificar os fatores que causam os acidentes de trânsito e predição dos riscos das interseções.

#### 4.5 Uso de RNA na análise de acidentes em vias urbanas

Os trabalhos que utilizaram RNA para análise de acidentes em interseções urbanas são os de MUSSONE *et al.* (1999) e de AKIYAMA *et al.* (2000). Na pesquisa de AKIYAMA *et al.* (2000), a RNA foi empregada para descrever a relação não-linear entre os acidentes de trânsito da cidade de Gifu, no Japão, e os fatores físicos da interseção. Esses pesquisadores mensuraram o impacto do projeto de segurança de tráfego, estimando a frequência do número de tipo de acidentes após a implantação de alterações físicas nas interseções.

A principal referência bibliográfica que trata do uso das RNAs para a análise dos acidentes é o trabalho de MUSSONE *et al.* (1999) onde a RNA é usada para a extração de informações mais relevantes dos acidentes ocorridos na cidade de Milão, Itália. Nesse estudo, MUSSONE *et al.* (1999) identificaram os parâmetros mais significativos que determinam o índice de acidente de cada interseção e, com isso, a possibilidade da ocorrência de acidentes em uma interseção. A área selecionada para esse estudo está localizada fora do centro histórico de Milão, em que, com poucas exceções, as interseções são formadas pelo cruzamento de duas vias perpendiculares.

Os dados de acidentes correspondem aos anos de 1992 a 1995, em que foram registrados 83.335 acidentes, dos quais 55% dos acidentes ocorreram na interseção. No período em estudo, foi verificado que houve um crescimento médio de 540 casos de acidente por ano. Cerca de 67% dos acidentes ocorreram durante o dia e 33% à noite, o que mostra que número de acidentes no período noturno não é desprezível. O tipo de acidente mais frequente foi a colisão transversal (56% dos casos).

MUSSONE *et al.* (1999) usaram as redes neurais *feed-forward* com aprendizado do tipo *back-propagation* do MATLAB. Esse tipo de rede neural foi escolhido por ser conhecido e bem descrito na literatura e também devido à sua capacidade de aproximação com uma função de erro mínimo para espaço bi-dimensional ( $L^2$ ). A principal vantagem de se utilizar esse tipo de RNA é que não há a necessidade de conhecer, *a priori*, a relação entre as variáveis, se é linear ou não.



A rede foi construída com quatro neurônios na camada intermediária e apenas um neurônio na de saída. As funções de transferência utilizadas nessa rede foram duas: a linear tangente hiperbólica na ligação entre o neurônio da camada de entrada e o neurônio da camada intermediária, e a sigmóide como função de transferência do neurônio da camada intermediária para o neurônio da camada de saída. A diferença entre as funções de transferência de uma camada para a outra é o resultado da fase de aprendizado que teve como objetivo a redução do valor do erro médio. Outras funções de transferência, tal como o seno, foram tentadas, mas sem sucesso.

O processo de aprendizado foi iterativo, usando um grande conjunto de dados que representam as associações reais entre as causas e os efeitos das colisões nas interseções. Esse conjunto de dados foi dividido em dois subconjuntos: 50% dos dados para treinamento e o restante dos 50 % dos dados para o teste. Conforme MUSSONE *et al.* (1999), a redução do número de variáveis, em comparação a aqueles contidos no banco de dados original, foi essencial para o desempenho. Redes construídas com a utilização de poucas variáveis tiveram melhores generalizações dos resultados. A perda de informação daquelas variáveis excluídas simplificou a execução geral da RNA. A solução que minimiza o erro médio quadrático do conjunto foi encontrada após 50.000 ciclos de aprendizado, cujo erro médio foi igual a 18,24%. Essa porcentagem equivale a um erro de aproximadamente 3,5 acidentes por ano.

De uma forma geral, a habilidade da RNA bem como qualquer outro método determinístico ou estatístico em construir modelos para a previsão dos acidentes de trânsito está relacionado aos seguintes fatores (MUSSONE *et al.*, 1999):

- escolha das variáveis mais significativas, que “explicam” as causas dos acidentes - A escolha é teórica (baseada em estudos análogos já realizados) e está relacionada à disponibilidade dos dados.
- minimização dos erros na coleta de dados - Uma vez que as variáveis são escolhidas, a amostra pode freqüentemente conter outros desvios e erros. Quanto menores forem os erros de preenchimento ou digitação dos dados sobre os acidentes, melhores serão os resultados da RNA.
- grau de aleatoriedade dos acidentes - As variáveis necessárias para descrever o processo devem ser coletadas com um mínimo grau de viés. Quando os acidentes possuem alguma variável do tipo estocástico, a natureza determinística da RNA não assegura a relevância do erro do modelo.

## **5 METODOLOGIA PARA ANÁLISE DE ACIDENTES DE TRÂNSITO ATRAVÉS DE REDES NEURAI**

---

Este capítulo descreve os procedimentos para a coleta e o tratamento dos dados de acidentes de trânsito que ocorreram em interseções urbanas e que são posteriormente utilizados na construção e aplicação de redes neurais. Em seguida, está exposto o método a ser aplicado para a construção de redes neurais para a extração dos padrões de acidentes, do mesmo modo o processo para a construção do modelo de RNA para a predição do tipo de acidentes para cada tipo de acidente.

### **5.1 Coleta e tratamento prévio dos dados**

Os dados de acidentes podem ser obtidos através dos boletins de ocorrência da Polícia Militar ou junto aos órgãos e entidades de trânsito que possuem essas informações armazenadas num banco de dados. Considerando que os acidentes a serem analisados são aqueles que ocorreram em interseções urbanas, o método para a coleta dos dados de acidentes a tratamento prévio dos mesmos segue o procedimento abaixo:

- criação de um formulário adequado para a coleta de dados, onde cada linha representa um acidente e cada coluna representa uma variável dependente ou independente do acidente;
- classificação dos boletins, com descarte dos BOs de acidentes que ocorreram fora das interseções, como no meio da quadra, dentro de pátios de estacionamento privado etc.;

- verificação da localização da interseção no mapa oficial do município. Se constatada que a interseção não está localizada dentro da área urbana ou que não pertence ao município, o boletim deve ser descartado;
- transcrição dos dados do boletins da polícia militar para o formulário de coleta de dados ou transferência das informações dos acidentes para uma planilha eletrônica, compatível com a interface do *software* a ser utilizado para simulação de redes neurais;
- análise preliminar dos acidentes que ocorreram nas interseções urbanas da cidade em estudo de caso, verificação das inconsistências relacionadas com o erro ou a “falta” de preenchimento de algum campo do boletim de ocorrência. Recomenda-se reconhecimento *in loco* das formas e condições de operação do trânsito nas interseções que tiveram mais de cinco acidentes por ano. As visitas *in loco* têm por objetivo auxiliar na compreensão das informações registradas no banco de dados de acidentes e possibilitar um tratamento adequado para as inconsistências encontradas nos dados de acidentes;
- agrupamento de alguns dados em classes, como a idade do motorista, para que posteriormente possa ser comparada com a literatura existente.

## 5.2 Escolha do software para simulação de redes neurais

Existem vários *softwares* disponíveis no mercado para simulação de redes neurais. De preferência, os mesmos preceitos de RAIA JR. (2000) e CARNEIRO (2005) devem ser observados para a escolha do *software*:

- o simulador deve apresentar boa interface com o usuário, permitindo, de forma fácil, a inserção dos dados de entrada e de saída, em formato compatível com as planilhas eletrônicas geralmente utilizadas, e permitir a visualização dos parâmetros de caracterização da arquitetura e topologia da rede bem como os resultados obtidos nas simulações;
- para o uso do software, o usuário não necessita de conhecimento de programação computacional.

### 5.3 RNA para extração de padrões de acidentes

Vários fatores devem ser considerados para se determinar o número de exemplos de acidentes a ser adotado para a construção de RNAs, entre eles o tipo de dado utilizado, as características do problema a ser analisado e o tamanho da amostra. O método para construção de redes neurais para a extração de padrões de acidentes, considerando a utilização do *software EasyNN\_Plus®*, tem o seguinte procedimento:

- classificação das variáveis que serão os neurônios de entrada e os que serão neurônios de saída da RNA. Os fatores contribuintes são os neurônios de entrada e o tipo de acidente ou severidade são os neurônios de saída;
- desmembramento de cada coluna da planilha eletrônica da seção 5.1 em “n” colunas necessárias para descrever as características possíveis da variável. Por exemplo, o adensamento do solo pode ser alto, médio, baixo, especial e sem adensamento. Assim tem-se 5 colunas, uma para cada tipo de adensamento do solo.
- agrupamento dos dados de algumas variáveis em classes, o número de colunas será igual ao número de classes. Por exemplo, as idades dos motoristas em faixas etárias.
- especificação das informações de cada coluna criada anteriormente. O modo de codificação da coluna em cada linha correspondente na planilha poderá ser na forma *booleana*, número inteiro, número real, texto ou imagem.
  - O modo *booleano* (verdadeiro ou falso) deve ser utilizado para casos em que só existe uma característica possível. Exemplo, para um acidente que ocorreu em zona de alta densidade, especifica-se “verdadeiro” na coluna do alto adensamento e “falso” nas demais colunas com outros tipos de adensamento;
  - O número inteiro deve ser empregado para descrever fatos que possam ter mais de uma possibilidade ou elementos em um mesmo acidente. Por exemplo, engavetamento envolvendo dois automóveis e um utilitário. Na coluna “automóvel” é empregado o número dois, na coluna “utilitário” o número um e nas colunas dos demais tipos de veículos tal como ônibus é colocado o número zero;

- O modo “texto” pode ser utilizado nas circunstâncias e casos em que não é possível codificar com nenhum dos modos anteriores;
  - O modo “imagem” é utilizado para especificar desenhos, croquis, fotos, diagramas de colisão, etc.
- transferência dos dados codificados para o simulador de redes neurais. Na ocasião da importação dos dados da planilha eletrônica para o simulador de redes neurais, o usuário deve especificar os seguintes itens:
- se a primeira linha da planilha eletrônica são os nomes das colunas ou se já é uma linha de exemplo;
  - qual é o tipo de neurônio (*Input* ou *Output*) correspondente no simulador para cada coluna da planilha eletrônica que está sendo importada;
  - se as informações de cada coluna estão codificadas no modo *booleano*, número inteiro ou real, texto ou imagem;
  - se cada linha (acidente) será um exemplo de treinamento, validação ou teste. Para a extração de padrão, todos os acidentes devem ser exemplos de treinamento.
- criação da rede neural. Nesse instante devem ser especificados o número de camadas intermediárias que a rede terá e o número de nós (neurônios) das camadas de entrada, intermediária e de saída.
- O número de nós da camada de entrada é o número de variáveis ou colunas que representam as características de um fator contribuinte no acidente a ser analisado;
  - O número de nós da camada intermediária poderá ser especificado manualmente pelo usuário do simulador ou adotar que o próprio software faça a escolha. O número de camadas intermediárias (1, 2 ou 3) deve ser especificado pelo usuário;
  - O número de nós da camada de saída é o mesmo que o número de colunas que representa um certo tipo de acidente.
- especificação da taxa de aprendizado, momentum, validação, critérios para parada do processo de aprendizado, e outros parâmetros da rede neural.

- A taxa de aprendizado (*learning rate*) informa o quão suave se dará a atualização dos pesos. Um valor de 0,1 a 10 pode ser especificado manualmente pelo usuário ou adotar que o próprio software otimize o processo e estabeleça automaticamente o valor da taxa de aprendizado para a rede neural criada;
  - O *momentum* tem a função de acelerar a velocidade de treinamento da rede. Um valor entre 0 e 0,9 pode ser especificado pelo usuário ou adotar que o próprio software otimize o processo e estabeleça automaticamente o valor para o *momentum*;
  - A finalização ou a parada do processo de aprendizado pode ser de quatro maneiras: a) pelo erro alvo (*target error*); b) pelo objetivo da validação; c) pelo período de tempo determinado (ciclos); d) pelo ícone parar.
- simulação da rede neural.
  - visualização dos resultados e relatórios. Para padrões de acidentes, o principal resultado apresentado pelo software a ser observado é quanto aos valores da importância de cada neurônio da camada de entrada das RNAs que tem relação com a frequência que um padrão aparece no neurônio de entrada.

Exemplos de formas de codificação dos dados de entrada, dos gráficos e resultados apresentados pelo EasyNN-Plus estão ilustradas nas Figuras A.1 a A.6 do Anexo.

Os procedimentos desta seção devem ser repetidos para de cada tipo de acidente ou severidade que será analisada.

## 5.4 RNA para previsão do tipo de acidente

Para a construção de modelos de RNA capazes de fazer previsão do número de acidentes de cada tipo, os fatores que devem ser considerados para se determinar o número de exemplos de acidentes a ser empregado para a fase do treinamento e para o teste dependem do tipo de dados utilizados e o tamanho da amostra. De forma sucinta, o método para construção de redes neurais e aplicação do modelo para a previsão do número de acidentes em cada tipo de acidente é o seguinte:

- divisão do conjunto de acidentes em dois subconjuntos. O primeiro subconjunto é utilizado para o treinamento da RNA e o segundo subconjunto para o teste de predição do número de acidentes;
- se necessário, para facilitar o aprendizado da RNA, uma coluna da planilha deve ser desmembrada em duas ou mais colunas que posteriormente serão os neurônios de entrada ou saída. Por exemplo, dois neurônios para descrever dois veículos, um neurônio para cada veículo;
- codificação dos dados em uma das formas: *booleana*, número inteiro, número real, texto ou imagem. A adoção de uma forma ou outra depende das informações a serem codificadas, para volume veicular diário médio usa-se o número inteiro, para veículos envolvidos o texto, etc.;
- definição do número de neurônios na camada de saída. Pode-se ter apenas um neurônio na camada de saída correspondente a variável tipo de acidente, codificando-o no modo texto, ou vários neurônios. Neste caso cada neurônio representa um tipo de acidente e a codificação recomendada é o modo *booleano*;
- transferência dos dados codificados para o simulador de redes neurais, criação da rede neural com especificação dos parâmetros para a taxa de aprendizado, momentum, etc., e treinamento da rede neural;
- teste do modelo de RNA. Uma vez que a rede está treinada procede-se com o teste da mesma. Os neurônios dos exemplos de teste devem estar codificados do mesmo modo que nos exemplos de treinamento, exceto para o(s) neurônio(s) de saída. O neurônio de saída do conjunto teste pode ser apresentado de duas maneiras: codificado como nos exemplos de treinamento ou em branco. No primeiro caso a RNA sobre-escreve no texto da coluna de saída dos exemplos de teste e no segundo caso a RNA preenche as lacunas das colunas de saída em branco com o tipo de acidente.

## **6 SÃO CARLOS (SP) – Estudo de Caso**

---

Neste capítulo estão descritas a caracterização da cidade, a análise preliminar dos acidentes de trânsito na cidade de São Carlos e a aplicação de redes neurais sobre os dados desses acidentes. Na caracterização da cidade menciona-se a evolução da frota de veículos no município, a disposição das vias segundo a hierarquia viária e o adensamento do uso e ocupação do solo. Na análise preliminar dos acidentes de trânsito são verificados os números de acidentes no período estudado nesta pesquisa, o custo econômico resultantes desses acidentes, o índice de acidentes por 10.000 veículos, o número de cada tipo de veículos envolvidos em acidentes a cada ano e outras. Por fim, na última seção está exposta a aplicação das RNAs para a análise de acidentes de trânsito das interseções urbanas de São Carlos.

### **6.1 Caracterização da cidade de São Carlos**

A cidade de São Carlos localiza-se na região centro-oeste do estado de São Paulo, a 225 Km da Capital São Paulo. Possui uma população estimada de pouco mais de 200 mil habitantes, numa área territorial de 1.141 km<sup>2</sup>, segundo dados do último censo do IBGE realizado no ano de 2000. A cidade apresenta uma alta taxa de urbanização, 95,77% (SEADE, 2004), quando comparada com a média brasileira, que é de 78,40 % (IBGE, 2005a).

#### **6.1.1 Frota de veículos de São Carlos**

São Carlos tem aproximadamente 90 mil veículos cadastrados. Apresenta um índice motorização de 42,59 (veículos/100 habitantes). Comparativamente, o índice de motorização de São Carlos é 26,04% maior que o do estado de São Paulo e 53,98% maior que



a do Brasil (Tabela 6.1). Isso significa que São Carlos possui um veículo a cada 2,3 habitantes.

**Tabela 6.1- Índice de motorização (frota/100 habitantes)**

LOCALIDADE	ÁREA TERRITORIAL (km <sup>2</sup> )	FROTA DE VEÍCULOS (ano de 2003)	POPULAÇÃO ESTIMADA 2003	ÍNDECE DE MOTORIZAÇÃO	PROPOR. HAB/FROTA
Brasil *		34.284.967	174.632.960	19,60	5,1
Região Sudeste*		19.019.742	74.447.456	25,5	3,9
Estado de São Paulo*		12.025.243	38.177.742	31,5	3,2
Rio Branco - AC	520	47.093	274.555	17,15	5,8
Palmas - TO	2.219	38.410	172.176	22,31	4,5
Anápolis - GO	918	93.475	298.155	31,35	3,2
Araraquara - SP	1.006	79.133	189.634	41,73	2,4
São Carlos - SP	1.141	86.764	203.711	42,59	2,3
Rio Claro - SP	498	78.478	177.452	44,22	2,3

\* Dados do ano de 2002

FONTE: População e área territorial - IBGE, 2005a.

Frota de veículos - DENATRAN, 2004.

Em cinco anos, período de 1999 a 2003, observa-se o aumento de 23,53% na frota de veículos de São Carlos. Em relação ao tipo de veículo, o maior aumento na frota foi a de motos 42%, que passou de 9.068, em 1999, para 12.892 motos em 2003 (ver Tabela 6.2 e Figura 6.1). Em seguida, no mesmo período, o automóvel teve aumento de 22%, o caminhão 7% e outros veículos 19,76%. Apesar do aumento geral na frota e também por tipo de veículo, a exceção constatada é o ônibus que, de 1999 a 2003, apresentou diminuição de 6,92%.

### 6.1.2 Sistema viário de São Carlos

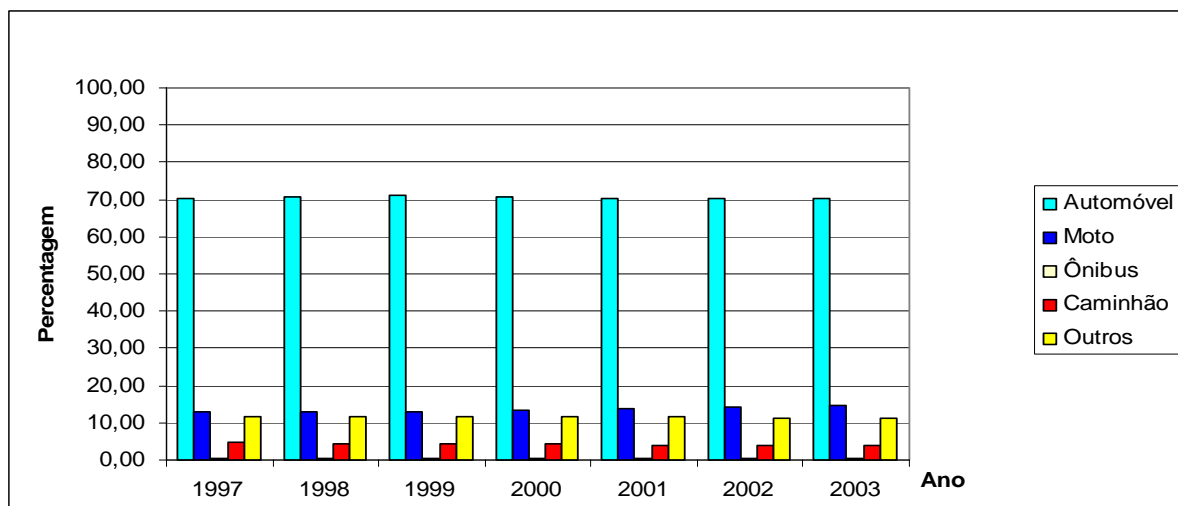
O Município não possui uma legislação específica que classifica e hierarquiza funcionalmente as vias da cidade. A relevância de cada via pode ser constatada em alguns mapas da cidade, tais como as das listas telefônicas, de turismo etc. A melhor forma de classificação de via urbana e a sua respectiva hierarquização encontrada estão demonstradas no mapa turístico elaborado pela Prefeitura Municipal de São Carlos (PMSC, 2004a). Nesse mapa, as vias estão classificadas em 4 categorias: rodovias, sistema viário principal, vias importantes e calçamento como ilustra a Figura 6.2.

As rodovias estaduais Luiz Augusto de Oliveira (SP-215), Washington Luiz (SP-310) e a Thales de Lorena Peixoto Jr (SP-318) são as principais ligações do município com demais regiões do estado e do país. É caracterizada por acessos especiais com trânsito livre, em geral com interseções em desnível, sem acesso direto aos lotes lindeiros. Nessas vias, são permitidas velocidades acima de 60 km/h.

**Tabela 6.2-** Frota de veículos de São Carlos (SP), 1997 a 2003.

ANO	AUTOMÓVEL	MOTO	ÔNIBUS	CAMINHÃO	OUTROS	TOTAL
1997	46.066	8.388	330	3.062	7.738	65.584
1998	47.303	8.707	309	2.966	7.817	67.102
1999	49.805	9.068	318	3.019	8.025	70.235
2000	52.517	9.793	315	3.079	8.551	74.255
2001	55.215	10.765	305	3.191	8.985	78.461
2002	58.211	11.652	303	3.221	9.305	82.692
2003	60.967	12.649	296	3.241	9.611	86.764

FONTE: CIRETRAN – DETRAN/SP (2004).



**Figura 6.1-** Representatividade de cada tipo de veículo em São Carlos.

Desconsiderando-se as vias de circulação interna de condomínios horizontais fechados, do campus da Universidade Federal de São Carlos-UFSCar, dos campi 1 e 2 da Universidade de São Paulo-USP, e demais vias urbanas dos distritos administrativos que pertencem ao município de São Carlos, existem atualmente 1.541 vias urbanas de circunscrição municipal no distrito sede.

Das 1.541 vias, 16 delas (1,04%) podem ser classificadas como vias arteriais. Essas vias possibilitam o trânsito entre as regiões da cidade e interceptam as rodovias por meio de trevos e viadutos. As interseções são em nível, geralmente controlada por semáforo, com acessibilidade aos lotes lindeiros e às vias secundárias ou locais. Nessas vias estão regulamentadas velocidades máximas entre 40 a 60 Km/h, variando de acordo com o grau de adensamento do solo de cada trecho. De modo geral, são avenidas de pistas duplas separadas por curso d'água ou por canteiro central.

Depois das vias arteriais, as coletoras são as principais vias dos bairros e têm a velocidade máxima regulamentada de 40 km/h. As 38 vias que foram classificadas nessa hierarquia representam aproximadamente 2,50% das vias existentes.

As demais vias urbanas são locais, dessas pode-se destacar a rua General Osório (calçadão), no trecho entre a avenida São Carlos e a rua Nove de Julho, que apesar da hierarquia ser local, a sua função principal é a de dar prioridade ao transporte não-motorizado, principalmente aos pedestres.

Em São Carlos não existem vias exclusivas para o transporte coletivo ou ciclovias. Os veículos de transporte coletivo urbano - TCU disputam o mesmo espaço viário com demais veículos, mesmo na faixa exclusiva para o TCU da avenida São Carlos situado no trecho entre a avenida Comendador Alfredo Maffei a e rua São Sebastião. O mesmo ocorre com os ciclistas.

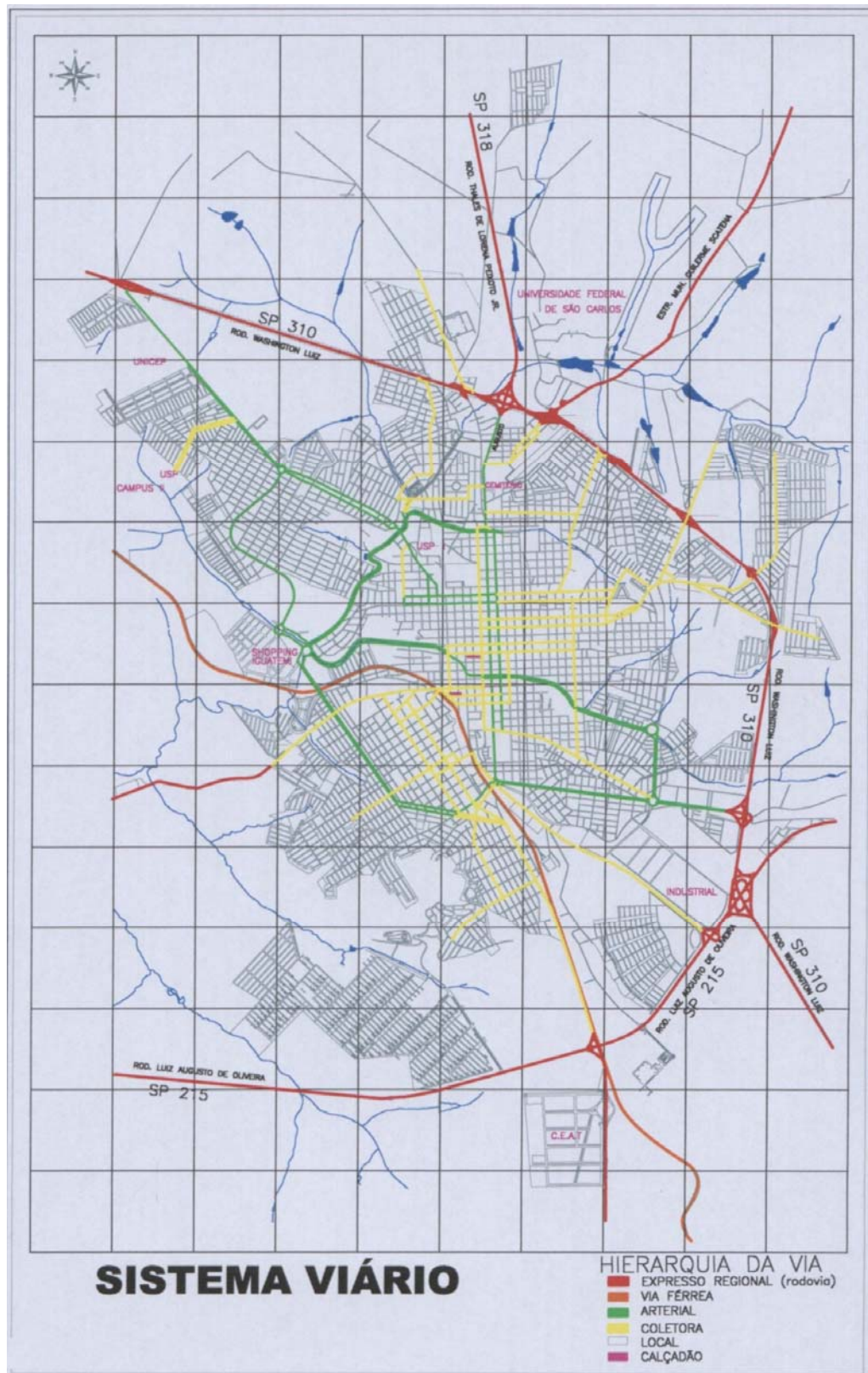
Vários cursos d'água passam dentro da área urbana de São Carlos, entretanto não existem vias paisagísticas, com hierarquia equivalente a via local, destinadas exclusivamente ao lazer. Às margens dos cursos d'água estão localizadas as avenidas arteriais de pista dupla, como as avenidas Trabalhador Sancarlense, Dr. Francisco Pereira Lopes e Comendador Alfredo Maffei.

A via férrea passa por dentro da cidade com estação localizada ao lado da Praça Antonio Prado. As transposições da via férrea só podem ser realizadas em locais estratégicos através de viadutos e em nível. As vias do entorno da estação são bastante solicitadas, pois o ponto final de muitas linhas de transporte coletivo é na praça Antonio Prado (popularmente conhecido como Estação) e por darem acesso à região da Vila Prado.

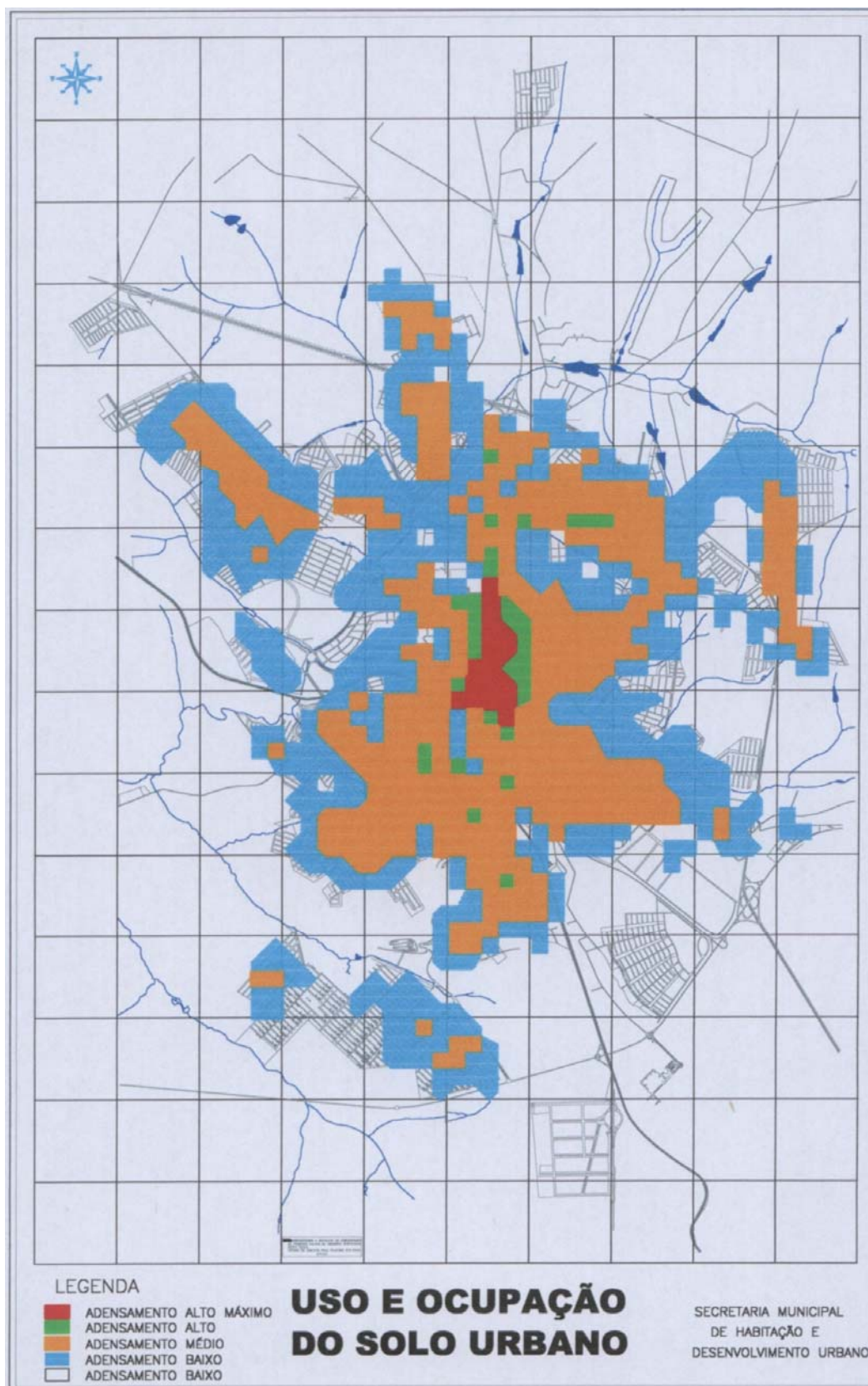
### ***6.1.3 Adensamento do solo por ocupação***

O máximo adensamento do solo é encontrado no entorno da avenida São Carlos, principalmente no centro tradicional onde está a maior concentração de diversas atividades de comércio (Figura 6.3). O entorno da Praça Antonio Prado (estação de trem) é o outro local que apresenta o máximo adensamento, ocupação por edificações.

O nível de adensamento de cada região pode ser observado no mapa da Figura 5.3. Pode ser observado nesse mesmo mapa que, o campus da UFSCar e a CEAT aparecem como sem adensamento, apesar das inúmeras edificações existentes nessas duas localidades. Isso se deve ao fato da universidade e do parque industrial não estarem localizados dentro do perímetro urbano de São Carlos, conforme a legislação vigente.



**Figura 6.2-** Hierarquia das vias do Distrito Sede de São Carlos  
Adaptado do mapa turístico da cidade (PMSC, 2004a)



**Figura 6.3-** Adensamento do solo por ocupação.

FONTE: Secretaria Municipal da Habitação de São Carlos (PMSC, 2004b).

## 6.2 Avaliação preliminar dos acidentes

No município de São Carlos, no período de 2000 a 2003, ocorreram 14.079 acidentes de trânsito, resultando em 10.850 acidentes com danos materiais e 3.229 acidentes com vítimas (Tabela 6.3). O custo social-econômico decorrente de acidentes de trânsito desses 4 anos foi de aproximadamente 150 milhões de reais (Tabela 6.4). Em relação à frota, o índice de acidentes diminuiu de 4,58 acidentes por 10.000 veículos registrados para 3,94 (Tabela 6.5). No entanto, apesar do sub-registro, a Tabela 6.6 mostra que a violência no trânsito tem aumentado em São Carlos.

**Tabela 6.3-** Acidentes de trânsito no município de São Carlos (SP), período de 2000 a 2003.

ANO	INTERSEÇÃO	OUTROS LOCAIS	TOTAL DE ACIDENTES
2000	1862	1537	3399
2001	2032	1739	3771
2002	2036	1454	3490
2003	2074	1345	3419
<b>TOTAL</b>	<b>8.004</b>	<b>6.075</b>	<b>14.079</b>

FONTE: RAIA JR.. (2004).

**Tabela 6.4-** Custo médio dos acidentes no município de São Carlos, por severidade dos acidentes, período de 2000 a 2003.

SEVERIDADE	Nº DE ACIDENTES*	CUSTO MÉDIO POR ACIDENTE**	TOTAL
Com vítima	3.229	R\$ 35.136,00	R\$ 113.454.144,00
Sem vítima	10.850	R\$ 3.262,00	R\$ 35.392.700,00

FONTE: RAIA JR. (2004).

\*\* valores em R\$ de abril de 2003- IPEA (2003).

Considerando-se a severidade dos acidentes, houve um aumento no mínimo de 29,90% de acidentes com vítimas de 2000 para 2001 (Tabela 6.6). Em contrapartida, houve uma diminuição de 11,62 % de 2001 para 2002 e aumentou de 6.74%, de 2002 para 2003. Para acidente com vítima fatal, houve um aumento de 62,50% para o ano de 2003 em relação a 2002.

**Tabela 6.5-** Índice de acidentes em relação à frota de veículos

ANO	N° DE ACIDENTES*	FROTA**	ACIDENTES/10.000
			VEÍCULOS
2000	3399	74.255	4,58
2001	3771	78.461	4,71
2002	3490	82.692	4,22
2003	3419	86.764	3,94

FONTE: \*RAIA JR. (2004).

\*\* CIRETRAN-DETRAN/SP (2004)

**Tabela 6.6-** Acidentes em relação à severidade, São Carlos.

ANO	SÓ DANOS MATERIAIS	COM VÍTIMAS	VÍTIMAS FATAIS	SEM INFORMAÇÃO	TOTAL DE ACIDENTES
2000	2741	633	5	20	3399
2001	2828	903	7	33	3771
2002	2668	809	3	10	3491
2003	2541	861	8	9	3419

FONTE: RAIA JR. (2004).

No período em estudo (2000 a 2003), 26.545 veículos foram envolvidos nos acidentes (Tabela 6.7). Acidentes com motos e bicicletas tiveram um aumento de 29,18% e 24,68% respectivamente. O aumento do número de acidentes envolvendo moto e bicicleta pode estar relacionado com o crescimento da frota desses tipos de veículos, devido à situação econômica atual do país, ou seja, os brasileiros não possuem renda suficiente para adquirir e manter o automóvel.

Acidentes com ônibus devem ser mais bem investigados, pois apesar da frota de ônibus ter diminuído em 6,03% entre os anos de 2000 a 2003, no mesmo período o índice de acidentes envolvendo este tipo de veículo aumentou em 17,29%.

Os atropelamentos vêm diminuindo a cada ano. O número de atropelamentos ocorridos em 2003 foi 44,00% menor em comparação ao ano de 2000. Em relação à faixa etária, as crianças com até 10 anos e os idosos acima de 65 anos são pessoas mais vulneráveis a esse tipo de acidente (Tabela 6.8).



**Tabela 6.7-** Veículos envolvidos em acidentes em São Carlos, por tipo, nos anos de 2000 a 2003.

<b>TIPO DE VEÍCULOS</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>
Automóvel	5.108	5.035	4.257	4.429
Moto	461	603	634	651
Ônibus	177	235	210	214
Caminhão	306	324	258	277
Utilitário	467	665	1.031	617
Bicicleta	119	181	145	158
Animal	4	20	4	10
Outros	1	0	19	16
<b>TOTAL</b>	<b>6.643</b>	<b>7.063</b>	<b>6.558</b>	<b>6.372</b>

FONTE: RAIA JR. (2004).

**Tabela 6.8-** Número de pedestres atropelados em função da faixa etária nos anos de 2000 a 2003. São Carlos-SP.

<b>FAIXA ETÁRIA</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>
Até 10 anos	27	30	35	22
De 11 a 17 anos	12	23	12	16
De 18 a 25 anos	18	25	11	14
De 26 a 35 anos	17	18	8	22
De 36 a 45 anos	14	20	19	8
De 46 a 55 anos	10	10	13	13
De 56 a 65 anos	6	12	13	10
Acima de 65 anos	15	20	15	17
Sem informação	0	13	11	5
<b>TOTAL</b>	<b>119</b>	<b>171</b>	<b>137</b>	<b>127</b>

FONTE: RAIA JR. (2004).

O tipo de acidente mais comum nas vias urbanas é a colisão transversal, seguido de colisão traseira (Tabela 6.9). Observa-se que em São Carlos “choque em veículo estacionado” e “choque em objeto fixo” são tipos de acidentes muito frequentes, principalmente o primeiro. Se forem considerados os dois tipos, choque em veículo

estacionado e choque em objeto fixo, como acidente do tipo choque em objeto fixo, como acontece em outros municípios brasileiros, o acidente do tipo choque se torna o terceiro tipo com maior número de ocorrências, menor que a colisão transversal e a traseira.

As vias com mais de 100 acidentes por ano apresentam grandes extensões de comprimento e passam por regiões da cidade com alto uso e ocupação do solo, tais como a avenida São Carlos, rua Miguel Petroni, rua Dona Alexandrina, rua 15 de Novembro, avenida Dr. Carlos Botelho, avenida Getúlio Vargas, avenida Comendador Alfredo Maffei, rua Episcopal e a rua São Joaquim.

As interseções que tiveram maior número de acidentes no período de 2000 a 2003 estão apresentadas na Tabela 5.10. As duas primeiras interseções, Praça Itália e Praça Antonio Adolfo Lobbe, são rotatórias complexas, onde várias avenidas de pista dupla e demais ruas coletoras e arteriais importantes se encontram.

A Praça Itália é o ponto de encontro das avenidas São Carlos e Getúlio Vargas com as ruas Joaquim Evangelista de Toledo, Coronel Leopoldo Prado, João Lourenço Rodrigues, Coronel José Augusto de Oliveira Salles, Santa Gertrudes e Castro.

A Praça Antonio Adolfo Lobbe, popularmente conhecida como rotatória do Cristo, é o encontro das avenidas Parque Faber, Francisco Pereira Lopes, Comendador Alfredo Maffei, Tancredo Neves e Passeio das Quaresmeiras.

As 3<sup>a</sup>, 4<sup>a</sup> e a 5<sup>a</sup> posições são ocupadas por interseções formadas por duas vias arteriais, as demais posições são ocupadas por interseções formadas no mínimo por uma via arterial ou coletora. Das 23 interseções listadas na Tabela 6.10, têm-se 15 interseções localizadas em zonas de alto adensamento do solo. As demais interseções localizam-se nas principais rotas de acesso a pólos geradores de tráfego (PGT), tais como *shopping center* Iguatemi, terminal rodoviário, campus universitários da USP, UFSCar, UNICEP, supermercados, garagem de ônibus de transporte coletivo urbano e outros.

**Tabela 6.9** – Número de acidentes no período de 2000 a 2003 na cidade de São Carlos

TIPO DE ACIDENTES	2000		2001		2002		2003		Média	
	Interseção	Outros locais	Interseção	Outros locais	Interseção	Outros locais	Interseção	Outros locais	Interseção	Outros locais
Colisão transversal	738	82	999	122	999	243	921	159	914	152
Colisão traseira	409	345	426	324	399	330	404	335	410	334
Colisão lateral	407	250	297	255	239	191	400	186	336	221
Choque em veículo estacionado	83	473	79	560	163	337	80	351	101	430
Colisão frontal	72	82	73	77	57	64	106	59	77	71
Choque em objeto fixo	37	122	63	141	55	109	53	100	52	118
Atropelamento de pedestre	69	107	42	123	46	88	45	77	51	99
Engavetamento	14	25	19	31	41	25	30	19	26	25
Tombamento	8	21	10	29	15	11	10	14	11	19
Derrapagem	4	9	6	7	7	10	7	6	6	8
Capotamento	4	13	4	17	5	24	2	13	4	17
Atropelamento animal	0	5	1	12	1	6	3	6	1	7
Sem informação	17	3	13	41	9	17	14	19	13	20
<b>TOTAL</b>	<b>1.862</b>	<b>1.537</b>	<b>2.032</b>	<b>1.739</b>	<b>2.036</b>	<b>1.455</b>	<b>2.075</b>	<b>1.344</b>	<b>2.001</b>	<b>1.519</b>

FONTE: RAIA JR. (2004).

**Tabela 6.10-** Interseções com maior número de acidentes de trânsito, São Carlos, período de 2000-2003.

Posição	Interseção	Controle	Total
1 <sup>a</sup>	Praça Itália (rotatória complexa)	Pl. Pare	161
2 <sup>a</sup>	Praça Antonio Adolfo Lobbe (rotatória complexa, do Cristo)	Pl. Pare	121
3 <sup>a</sup>	Avenida São Carlos com rua 15 de Novembro	Semáforo	88
3 <sup>a</sup>	Rua Miguel Petroni com avenida Francisco Pereira Lopes	Semáforo	88
4 <sup>a</sup>	Avenida São Carlos com rua César Ricome	Semáforo	64
5 <sup>a</sup>	Avenida São Carlos com avenida Dr. Carlos Botelho	Semáforo	62
6 <sup>a</sup>	Rua São Joaquim com rua Major José Inácio	Pl. Pare	59
7 <sup>a</sup>	Avenida Getúlio Vargas com rua Amadeu Amaral	Semáforo	56
7 <sup>a</sup>	Rua 15 de Novembro com rua Episcopal	Semáforo	56
8 <sup>a</sup>	Avenida São Carlos com rua Eugênio de Andrade Egas	Semáforo	55
8 <sup>a</sup>	Avenida Dr. Carlos Botelho com rua Episcopal	Semáforo	55
9 <sup>a</sup>	Rua São Paulo com rua Padre Teixeira	Pl. Pare	54
10 <sup>a</sup>	Rua 15 de Novembro com rua São Joaquim	Pl. Pare	53
11 <sup>a</sup>	Avenida Grécia/Theodoreto de Camargo com rua Cel. Leopoldo Prado	Pl. Pare	51
11 <sup>a</sup>	Avenida Pádua Salles com avenida Grécia/Theodoreto de Camargo	Pl. Pare	51
12 <sup>a</sup>	Avenida São Carlos com rua 1 <sup>o</sup> de Maio/ Raimundo Corrêa	Semáforo	50
12 <sup>a</sup>	Rua Episcopal com rua Jesuíno de Arruda	Semáforo	50
12 <sup>a</sup>	Avenida Dr. Carlos Botelho com rua São Joaquim	Pl. Pare	50
13 <sup>a</sup>	Avenida São Carlos com rua Major José Inácio	Semáforo	48
14 <sup>a</sup>	Avenida Henrique Gregório com rua Des. Júlio de Faria	Semáforo	46
14 <sup>a</sup>	Avenida São Carlos com rua Santa Cruz	Semáforo	46
14 <sup>a</sup>	Avenida Trabalhador São Carlense com rua São Joaquim	Pl. Pare	46
15 <sup>a</sup>	Avenida São Carlos com rua Cap. Alberto Mendes Jr.	Pl. Pare	45

FONTE: RAIA JR. (2004).

### **6.3 Aplicação de RNA para análise dos acidentes de trânsito ocorridos em interseções urbanas de São Carlos**

As informações dos acidentes utilizadas neste trabalho de mestrado para a construção das redes neurais são as da cidade de São Carlos, do período de 2000 a 2003, que estão armazenadas no banco de dados relacional de acidentes de São Carlos no departamento de Engenharia Civil da UFSCar (RAIA JR., 2004).

As informações armazenadas no banco de dados de acidentes são: data, hora, dia da semana, local do acidente, tipo de veículos envolvidos, sexo, idade dos motoristas, as condições meteorológicas e o tipo de sinalização existente na interseção. Além dessas informações, outros dados complementares tais como o adensamento do solo e a hierarquia da via foram levantados junto às Secretarias de Desenvolvimento e Habitação e de Transportes na Prefeitura Municipal de São Carlos.

Visitas *in loco* foram realizadas nas interseções que apresentaram mais de cinco acidentes registrados por ano. Nas visitas foram observadas as formas de operação do trânsito de cada interseção e, adicionalmente, perguntas foram feitas aos moradores com a finalidade de verificar se houveram alterações na época, tais como se o sentido da via ou as placas existentes no local na época do levantamento de acidentes eram os mesmos do sistema atual. Demais informações, que podem contribuir no entendimento dos problemas do trânsito de São Carlos, foram obtidas por entrevistas junto a técnicos da Secretaria de Transportes da Prefeitura Municipal, aos policiais militares e agentes de trânsito, comerciantes da área central, com os escolares e demais usuários da via.

Informações adicionais mais relevantes que puderam ser capturados, tanto nas entrevistas quanto nas visitas *in loco*, são: a) diferença nos horários de entrada e saída dos escolares e do funcionamento do comércio; b) condições do pavimento e o sistema de drenagem pluvial; c) formas de estacionamento-paralelo ou em ângulo; d) a forma de sinalização; e) as atitudes dos motoristas e pedestres; f) localização dos pontos de ônibus nas interseções com maior número de acidentes; g) presença ou não de bancas de camelôs; h) largura da calçada na área central; e h) presença de pólo gerador de tráfego. Estas informações foram guardadas para, se for necessário, que posteriormente se tenha maior facilidade na interpretação dos resultados das redes neurais artificiais (RNA).

### 6.3.1 Extração de padrões de acidentes

Para cada tipo de acidente foram construídas quatro redes neurais, um para cada ano. Para a severidade, as amostras de cada ano são divididas em dois grupos, um deles com acidentes sem vítima e a outra com vítimas, e para cada gravidade também são construídas quatro redes neurais distintos para cada tipo de severidade, ano a ano. O *software* escolhido para esta pesquisa é o *EasyNN-Plus*®.

O número de exemplos em cada rede foi diferente para cada ano, pois o número de acidentes de trânsito varia ano a ano e também em relação aos fatores analisados. Isso ocorre devido à falta de preenchimento do campo correspondente na tabela do banco de dados ou então preenchimento com dados errados. Por exemplo, num determinado ano houve 1000 acidentes em interseções, mas para a condição meteorológica havia somente 900 boletins com informação devidamente preenchida e para o dia da semana 998 boletins. Então o modelo de RNA construídos para avaliar a condição meteorológica no ano tem 900 linhas de exemplo e na verificação do dia da semana o modelo de RNA apresentara 998 linhas de exemplo.

As características de cada fator humano, veicular, viário ou do meio ambiente constituem os neurônios de entrada da RNA e os tipos de acidente são os neurônios de saída (exemplo na Figura A.1 do Anexo A). Para simplificar o processo de aprendizado, para todos os casos possíveis, optou-se por construir redes com neurônios da entrada e da saída empregando-se a codificação *booleana* (verdadeiro ou falso). Esse modo de codificação foi utilizado para avaliar o padrão dos seguintes fatores: dia da semana, adensamento do solo, período do dia (horário), sinalização de trânsito, condição climática e o tipo de iluminação.

Outro tipo de codificação empregado na extração de padrões de acidentes foi o modo número inteiro (0,1,2,3...). Essa forma de codificação foi utilizada para descrever o número de veículos, número de vias com determinada hierarquia viária e o número de motoristas e pedestres com idade em determinada faixa etária. As idades dos motoristas e dos pedestres foram agrupadas em faixas etárias, conforme mostra as Tabelas 6.11 e 6.12. Os dados não foram normalizados antes da construção das redes, pois o próprio *software* faz isso automaticamente (exemplo na Figura A.2 do Anexo A).

Para cada conjunto de dados experimentado, adotou-se que o próprio simulador de redes neurais *EasyNN-Plus* deve otimizar o processo e estabelecer automaticamente a taxa de aprendizado e o *momentum*. Um erro alvo (*target error*) de 0,05 foi atribuído no início do

processo de treinamento. Na primeira simulação foi verificado que o valor de erro alvo 0,05 adotado é rapidamente atingido, em menos de 10 ciclos, então foi adotado um novo valor de erro alvo de 0,001. O número de camadas intermediárias foi determinado após terem sido rodados três vezes as redes neurais de cada ano para cada tipo de acidente. A primeira rodada com uma, a segunda com duas e a terceira com três camadas intermediárias. Redes neurais com uma camada intermediária, em geral, apresentaram os melhores desempenhos, ou seja, conseguiu atingir o menor valor para o erro médio.

**Tabela 6.11-** Faixa etária dos motoristas

<b>FAIXA ETÁRIA</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>CÓDIGO</b>
0	Se não houver motorista	0
1	Menor de 18 anos	1
2	De 18 a 24 anos	2
3	De 25 a 34 anos	3
4	De 35 a 44 anos	4
5	De 45 a 54 anos	5
6	De 55 a 64 anos	6
7	65 anos ou mais	7

**Tabela 6.12-** Faixa etária dos pedestres

<b>FAIXA ETÁRIA</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>CÓDIGO</b>
0	Se não houver pedestre	0
1	Menor de 10 anos	1
2	De 11 a 17 anos	2
3	De 18 a 24 anos	3
4	De 25 a 34 anos	4
5	De 35 a 44 anos	5
6	De 45 a 54 anos	6
7	De 55 a 64 anos	7
8	65 anos ou mais	8

O número de ciclos de aprendizado adotado em cada rede neural variou conforme as dificuldades apresentadas nas simulações preliminares. Em alguns casos foram necessários

menos de 100 ciclos em outros mais de 10.000 ciclos. O número de ciclos necessários para que a RNA atingisse o menor valor de erro médio variou em função do tipo de acidente que estava sendo analisado. Por exemplo, para capotamento poucos ciclos são suficientes para atingir o valor do erro alvo, em contrapartida, para a colisão transversal são necessários muitos ciclos para alcançar o mesmo erro alvo.

O *software EasyNN-Plus®* apresenta diversos valores resultantes do processamento da rede neural, tais como erro médio, sensibilidade e importância de cada neurônio da camada de entrada e outros (ver exemplos das Figuras A.2 a A.6 do Anexo A). O principal resultado analisado nesta pesquisa é quanto aos valores da importância de cada neurônio da camada de entrada das RNAs a fim de verificar o padrão dos acidentes de trânsito que ocorreram nas interseções urbanas (ver exemplo da Figura A.5 do Anexo A).

### **6.3.2 Predição do tipo de acidente**

Além do objetivo principal desta pesquisa, que consiste na extração de padrões em cada tipo de acidente, também foi construído um modelo de RNA considerando-se todos os tipos de acidentes para predição do número de tipos de acidentes.

O conjunto de dados foi dividido em dois subconjuntos. Os acidentes que ocorreram nos anos de 2000 a 2002 foram colocados em um subconjunto e os do ano 2003 no outro subconjunto. O primeiro subconjunto que contém 5390 acidentes foi utilizado para a fase de treinamento e o segundo subconjunto com 1916 acidentes foi utilizado como exemplos de teste. Como o *EasyNN-Plus®* tem a opção de entrar com os dados de cada variável na forma texto, as codificações utilizadas para caracterizar os neurônios da camada de entrada da RNA no modelo de predição foram no modo texto como aqueles ilustrados na Tabela 6.13. Na camada de saída foram colocados 12 neurônios, sendo 11 neurônios para representar cada tipo de acidente e um neurônio para aqueles acidentes sem informação quanto ao tipo. Para os exemplos de treinamento, esses neurônios foram codificados na forma *booleana*, verdadeiro ou falso, enquanto que nos exemplos de teste os “campos” ficaram em branco para que a própria RNA preenchesse com verdadeiro ou falso após terem sido comparadas as características dos exemplos de teste com as que foram apresentadas na fase de treinamento.



**Tabela 6.13-** Características dos neurônios de entrada do modelo de RNA para predição.

NEURÔNIO DE ENTRADA	DESCRIÇÃO DA VARIÁVEL	FORMATO	CÓDIGO
0	Dia da semana	texto	DOM; SEG; TER; QUA, QUI, SEX; SAB
1	Horário	texto	0, 1, 2, 3 ...até 23.
2	Hierarquia da via	texto	AA para arterial com arterial; AC para arterial com coletora; AL para arterial com local; AE para arterial com especial; CC para coletora com coletora; CL para coletora com local; CE para coletora com especial; LL para local com local; LE para local com especial.
3	Veículos 1, 2 e 3	texto	A para um automóvel; AA para dois automóveis; AAA para três automóveis; AB para um automóvel e uma bicicleta, ... UUU para três utilitários.
4	Idade do motorista 1, 2, 3	texto	(X, Y, Z) onde o X representa o motorista 1; Y o motorista 2; e Z o motorista 3. Código utilizado é o da Tabela 6.11. Exemplo: 111 se houver três motoristas com idade entre 18 e 24 anos.
5	Idade do pedestre	texto	Código da Tabela 6.12.

Os padrões de acidentes extraídos pela RNA e os resultados dos valores da importância relativa de cada variável dependente e o desempenho da RNA na predição do número de acidentes desta seção estão ilustrados e comentados no próximo capítulo.

## 7 RESULTADOS DA RNA

---

Neste capítulo são apresentados os valores da importância de cada fator e de suas respectivas características que podem ter contribuído na ocorrência dos acidentes nas interseções urbanas de São Carlos. Estes resultados foram obtidos através das redes neurais artificiais (RNA), conforme as circunstâncias encontradas nos registros do banco de dados relacional de acidentes de São Carlos (RAIA JR., 2004). A importância das características das variáveis em cada tipo de acidente e na sua severidade pode ser visualizada nos gráficos apresentados na seção 7.1.

Os fatores escolhidos para a análise em cada tipo de acidente foram os seguintes: dia da semana, período do dia, idade do motorista, tipo de veículo, condição meteorológica, tipo de iluminação e a sinalização de trânsito. Também foram avaliados o adensamento do solo e a hierarquia da via. Para o atropelamento foi verificada adicionalmente a idade do pedestre. Ainda, foi analisada a importância das características de cada fator contribuinte para dois casos em específico: os acidentes com motociclistas e os acidentes com bicicletas, pois estes acidentes quase sempre resultam em vítimas.

Por fim é verificado o desempenho dos modelos de RNAs na predição do número de acidentes para cada tipo de acidente de acordo com as características dos acidentes apresentados como exemplo de teste.

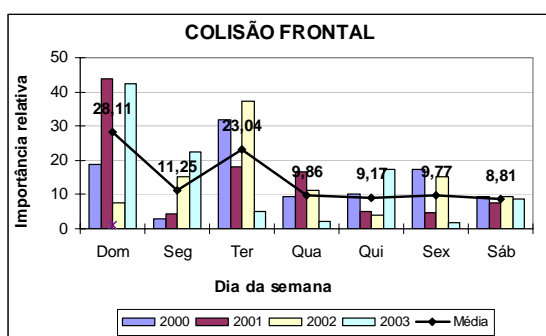
### **Identificação e análise de fatores intervenientes nos acidentes**

#### ***7.1.1 Dia da semana***

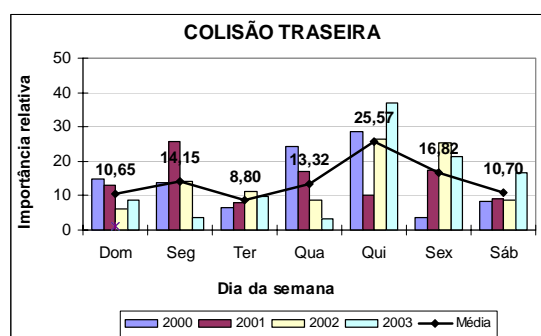
As Figuras 7.1 a 7.4 apresentam a relevância de cada dia da semana para os quatro tipos de colisões: frontal, traseira, lateral e transversal. As Figuras 7.5 e 7.6 mostram os

resultados obtidos para os acidentes do tipo choque. As Figuras 7.7 a 7.11 mostram os resultados para os demais tipos de acidentes, tais como atropelamento, capotamento, derrapagem, engavetamento e o tombamento. A Figura 7.12 reproduz a situação do dia da semana levando-se em conta todos os tipos de acidentes e as Figuras 7.13 e 7.14 mostram a importância relativa do dia da semana para a severidade.

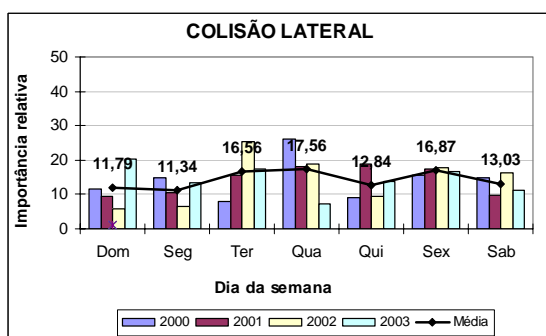
Na colisão frontal (Figura 7.1), o dia mais relevante é o domingo, seguido de terça-feira. Os demais dias da semana não apresentaram muita diferença quanto à contribuição para este tipo de acidente. Para a colisão traseira e a lateral (Figuras 7.2 e 7.3), os dias úteis da semana são mais relevantes que o final de semana, sendo que a quinta-feira é mais relevante para a colisão traseira e a quarta-feira para a colisão lateral. A quarta-feira também é mais relevante na ocorrência da colisão transversal.



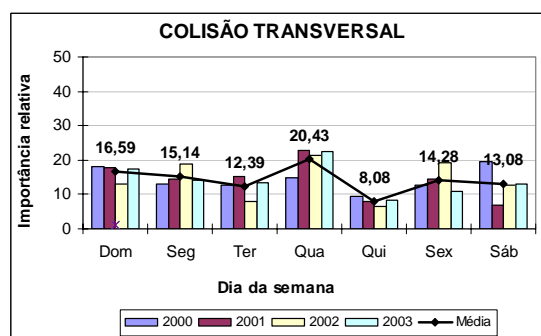
**Figura 7.1-** Importância relativa do dia da semana para a colisão frontal.



**Figura 7.2-** Importância relativa do dia da semana para a colisão traseira.



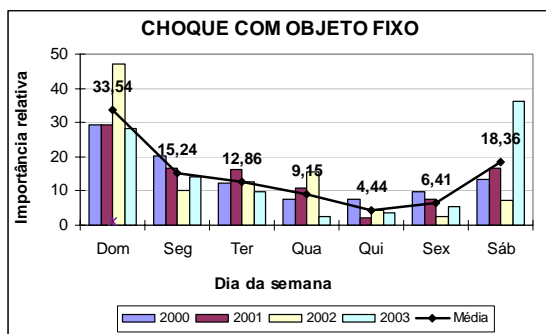
**Figura 7.3-** Importância relativa do dia da semana para a colisão lateral.



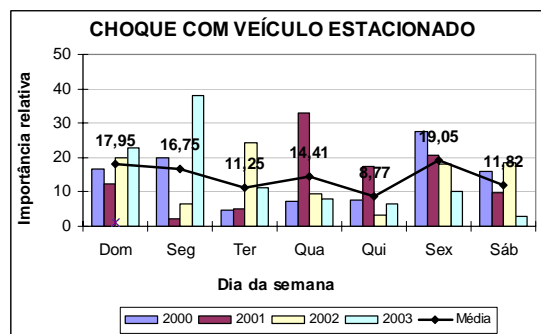
**Figura 7.4-** Importância relativa do dia da semana para a colisão transversal.

O final de semana é mais relevante para os acidentes do tipo choque com objeto fixo (Figura 7.5); no entanto, para choque com veículo estacionado, em média, os três dias

mais relevantes da semana em ordem decrescente são a sexta-feira, o domingo e a segunda-feira. Contudo, esses resultados devem ser vistos com cautela, pois na Figura 7.6 pode-se notar que os padrões diferem muito de um ano para o outro.



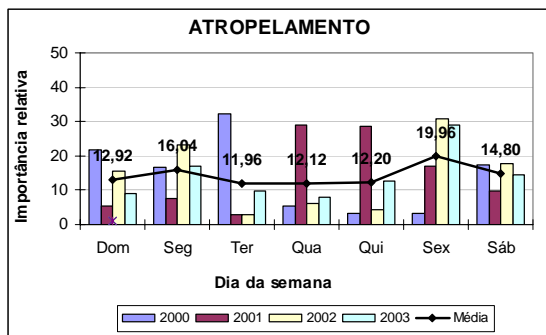
**Figura 7.5-** Importância relativa do dia da semana para choque com objeto fixo.



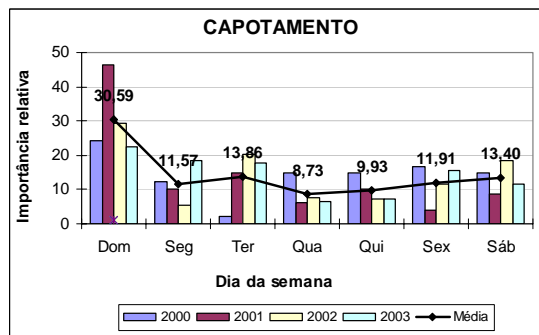
**Figura 7.6-** Importância relativa do dia da semana para choque com veículo estacionado.

A cidade de São Carlos aparentemente não é muito diferente de São Paulo quando se trata de atropelamento. Sexta-feira e sábado são dois dias da semana que mais ocorrem atropelamentos em São Paulo conforme dados estatísticos da CET (2000). Em São Carlos, na média dos quatros anos analisados, pelos menos em interseções, sexta-feira e sábado também são dias da semana que acontecem muitos atropelamentos. Vale lembrar que esta pesquisa trata somente de acidentes em interseções ano a ano por um período de quatro anos. Portanto a sexta-feira e o sábado podem não ser os dias em que aconteceram mais atropelamentos quando os acidentes que ocorrem fora das interseções são considerados.

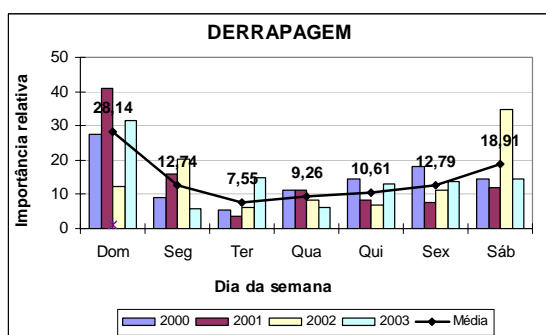
Acidentes envolvendo apenas um veículo, como o capotamento e a derrapagem, ocorrerem mais nos finais de semana (Figuras 7.8 e 7.9), a exceção do tombamento (Figura 7.10). Por outro lado, acidentes envolvendo três ou mais veículos como o engavetamento, na média também tem os dias de final de semana e a sexta-feira como os dias mais relevantes (Figura 7.11). Possivelmente isso esteja relacionado com o tipo de viagem realizado pelas pessoas. Os engavetamentos provavelmente acontecem com maior frequência nas sextas-feiras que nos demais dias úteis da semana devido ao alto volume de tráfego por causa do último dia da semana para atendimento bancário e de demais empresas prestadoras de serviço combinado com a necessidade das pessoas de chegar rapidamente ao seu destino.



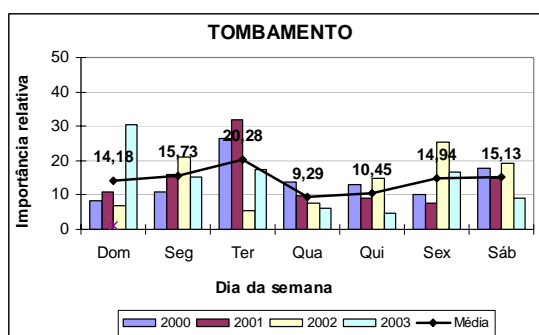
**Figura 7.7-** Importância relativa do dia da semana para atropelamento.



**Figura 7.8-** Importância relativa do dia da semana para capotamento.



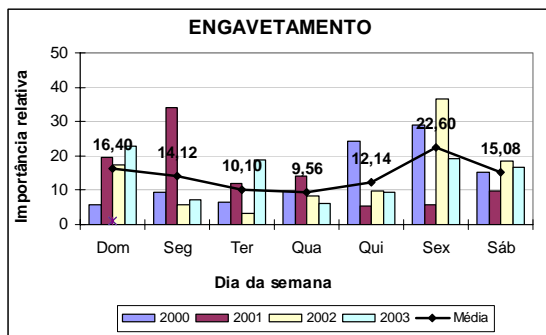
**Figura 7.9-** Importância relativa do dia da semana para derrapagem.



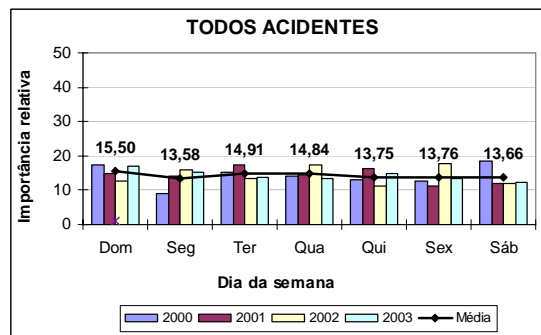
**Figura 7.10-** Importância relativa do dia da semana para tombamento.

Verificando os dados da EMDEC (2003) e da TRANSERP (2002), constata-se que os dias úteis da semana também são os dias que mais ocorrem acidentes em Campinas e Ribeirão Preto. Quando se consideram todos acidentes, o dia útil da semana não é o mais perigoso (Figura 7.12). Possivelmente porque aqui estão sendo analisados somente os acidentes em interseções e as estatísticas da EMDEC (2003) e da TRANSERP (2002) referem ao total de acidentes ocorridos naqueles municípios e não fazendo distinção quanto à localidade, na interseção ou em outro local.

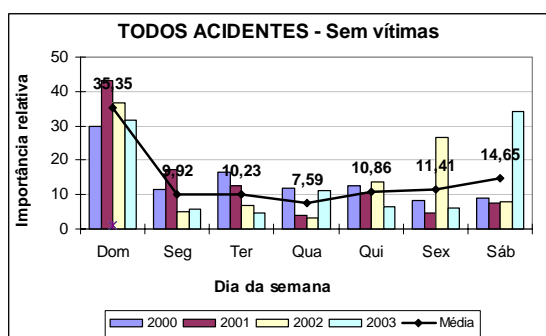
Em se tratando da severidade, tanto para os acidentes que teve como consequência só dano material quanto os que resultaram em vítima, a RNA classificou o domingo como o dia mais importante, Figuras 7.13 e 7.14.



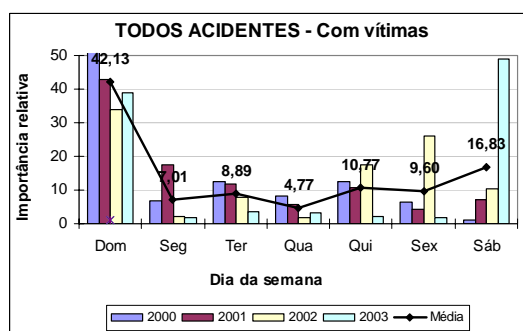
**Figura 7.11-** Importância relativa do dia da semana para engavetamento.



**Figura 7.12-** Importância relativa do dia da semana para todos tipos de acidentes.



**Figura 7.13-** Importância relativa do dia da semana para acidentes sem vítimas.



**Figura 7.14-** Importância relativa do dia da semana para os acidentes com vítimas.

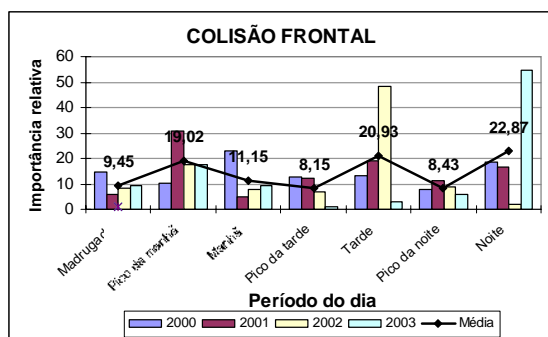
### 7.1.2 Horário do dia

As Figuras 7.15 a 7.25 ilustram a importância relativa de cada período do dia em cada tipo de acidente. A Figura 7.26 mostra a importância do horário quando considerados todos os tipos de acidentes em interseções urbanas para os anos de 2000 a 2003 e a média desses anos e as Figuras 7.27 e 7.28 quando considerada a severidade destes acidentes.

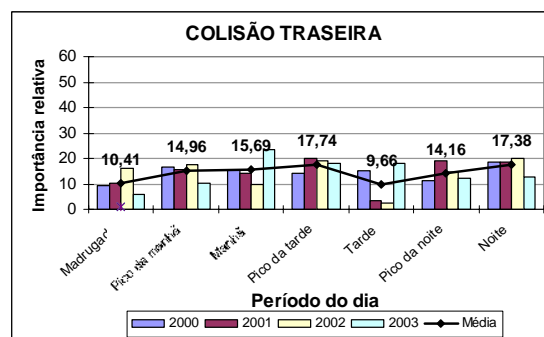
O período da noite é mais relevante para a colisão frontal, seguida do período da tarde e, depois, do pico da manhã. No entanto, os valores médios dos resultados apresentados pelas RNAs devem ser vistos com prudência, pois o período da tarde foi classificado como o mais importante para o ano de 2002, sendo que para o ano de 2003 é o menos significativo, ver Figura 7.15.

Para KHATTAK (2001) apud YAN *et al.* (2005) mais de 50% das colisões traseiras ocorrem durante o horário de pico. Semelhante ao estudo de KHATTAK (2001),

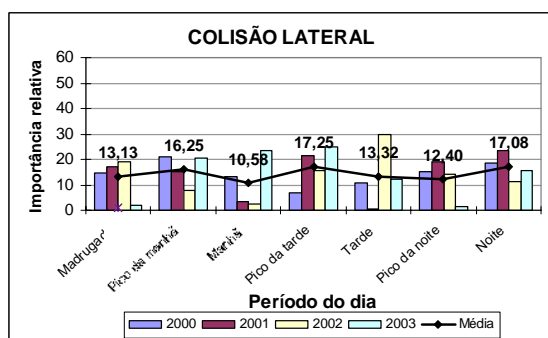
quase 50% de todas as colisões traseiras que ocorreram nas interseções urbanas de São Carlos foram nos horários de pico. Dentre os três períodos de pico estudados, o pico da tarde, das 12:00 às 14:00h, é o mais relevante para a colisão traseira, depois é o pico da noite, das 18:00 às 20:00 h (Figura 7.16). Esses dois horários de pico também são os períodos em que mais ocorrem as colisões laterais (Figura 7.17). Os menos relevantes são o período da tarde para a colisão traseira e o período da manhã para a colisão lateral. Para a colisão transversal, os dois períodos do dia mais importantes são o período da manhã em primeiro e o pico da tarde em segundo (Figura 7.18).



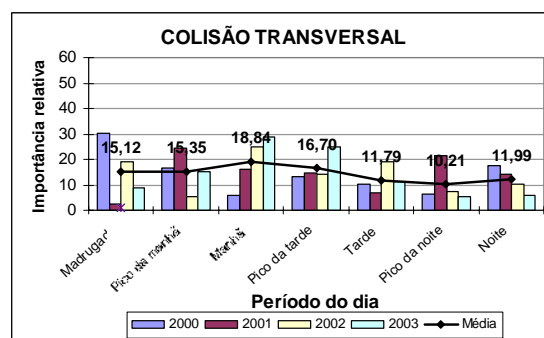
**Figura 7.15-** Importância relativa do período do dia para a colisão frontal.



**Figura 7.16-** Importância relativa do período do dia para a colisão traseira.



**Figura 7.17-** Importância relativa do período do dia para a colisão lateral.



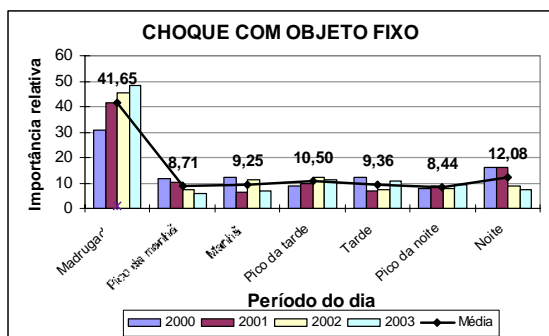
**Figura 7.18-** Importância relativa do período do dia para a colisão transversal.

A madrugada é o período do dia mais relevante para o choque com objeto fixo, seguido do período da noite. As prováveis causas são: a velocidade alta ao fazer conversões na interseção porque nesses horários o volume de tráfego é baixo; habilidades físicas do motorista debilitadas pelo consumo de álcool e outros. A mesma situação não ocorre no

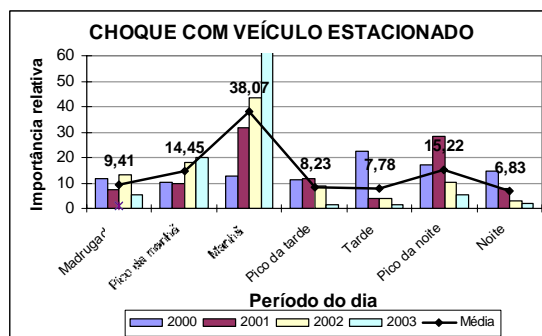
choque com veículo estacionado, onde o período da manhã é o horário mais relevante, seguido de pico da noite e pico da manhã (Figuras 7.19 e 7.20).

Para acidentes com apenas um veículo, alguns horários do dia são bem característicos para alguns tipos de acidentes, como o atropelamento e o capotamento. A RNA determinou que o pico da noite é o período mais relevante para o caso de atropelamento (Figura 7.21), seguido do pico da manhã. Isso pode ser devido ao volume de pedestres nas ruas nesses horários do dia fazendo o trajeto casa para o trabalho, escola ou local de atividade e vice versa.

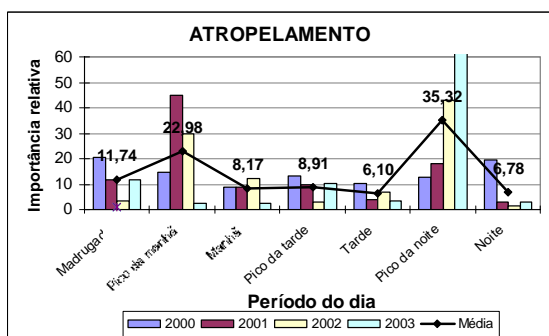
A madrugada é o período mais relevante para o capotamento (Figura 7.22). Combinando os resultados da Figura 7.8 com os da Figura 7.22, percebe-se que capotamento é mais freqüente na madrugada de domingo. A causa do capotamento deve ser a mesma constatada por CASTRO (1999), comportamento de risco dos motoristas após ingestão de bebida alcoólica.



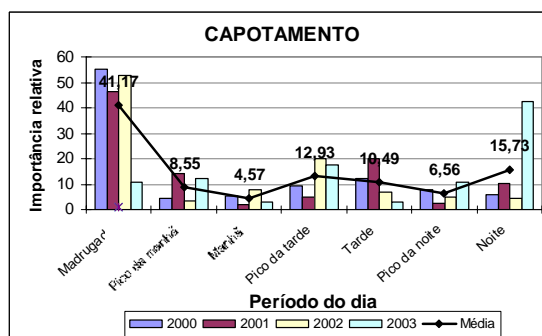
**Figura 7.19-** Importância relativa do período do dia para o choque com objeto fixo.



**Figura 7.20-** Importância relativa do período do dia para o choque com veículo estacionado.



**Figura 7.21-** Importância relativa do período do dia para o atropelamento.

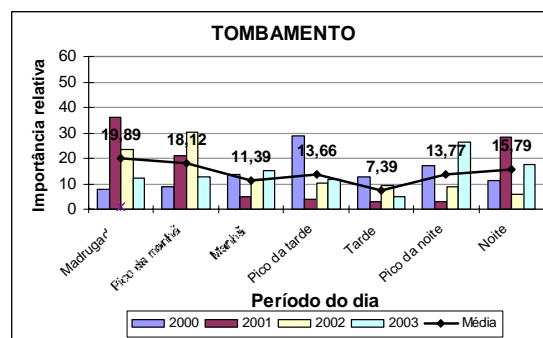
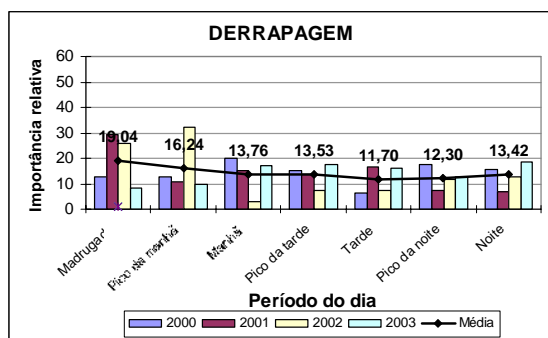


**Figura 7.22-** Importância relativa do período do dia para o capotamento.



A madrugada também é o período mais relevante para o caso de derrapagem; contudo o seu valor médio não apresenta uma diferença tão acentuada em relação aos demais períodos do dia (Figura 7.23). Já no caso do tombamento, aparentemente não há um padrão bem definido quanto ao horário do dia (Figura 7.24), mas em ordem de relevância aparecem a madrugada, o pico da manhã, e o período da noite.

Também não foi encontrado um padrão bem definido quanto ao horário do dia para o caso do engavetamento. Na média, os três períodos do dia mais relevantes para o acidente do tipo engavetamento, em ordem decrescente, são: o pico da manhã, o período da tarde e o pico da noite. Contudo os valores da média devem ser visto com certa parcimônia. Como se pode observar na Figura 7.25, há diferenças significativas nos padrões de um ano para o outro.

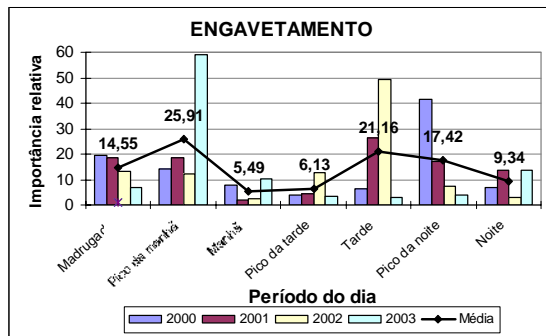


**Figura 7.23-** Importância relativa do período do dia para a derrapagem.

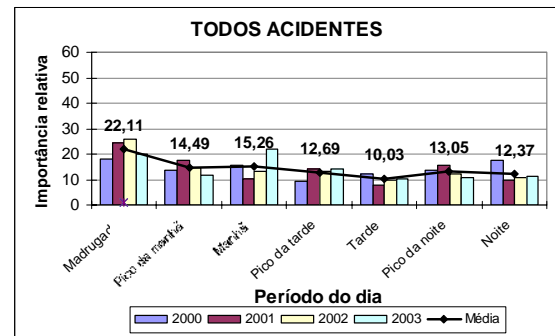
**Figura 7.24-** Importância relativa do período do dia para o tombamento.

Horários de pico de tráfego são períodos do dia com maiores incidências de acidentes de trânsito, portanto se esperava que horários de pico fossem mais importantes quando fossem considerados todos os tipos de acidentes. Porém as RNAs apresentaram resultados contrários aos que eram esperados, sendo que a madrugada foi considerada a mais importante (Figura 7.26).

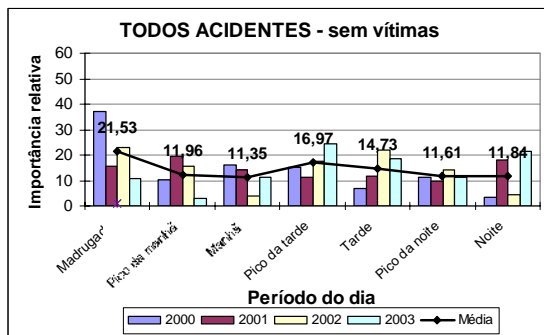
Em relação à severidade, as redes neurais indicam que a madrugada é o horário mais relevante, tanto em acidentes envolvendo somente danos materiais, bem como em acidentes com vítimas. Em seguida, observa-se que o pico da tarde foi o segundo elemento mais importante para acidentes sem vítima e o pico da manhã para os acidentes com vítima (Figuras 7.27 e 7.28).



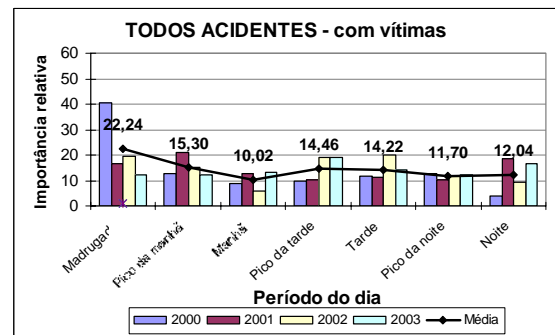
**Figura 7.25-** Importância relativa do período do dia para engavetamento.



**Figura 7.26-** Importância relativa do período do dia para todos os acidentes.



**Figura 7.27-** Importância relativa do período do dia para acidentes com somente danos materiais.



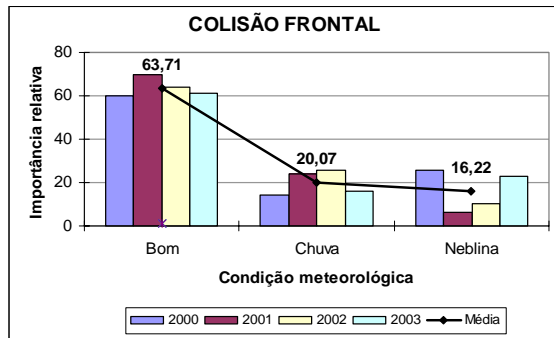
**Figura 7.28-** Importância relativa do período do dia para acidentes com vítimas.

### 7.1.3 Condições meteorológicas

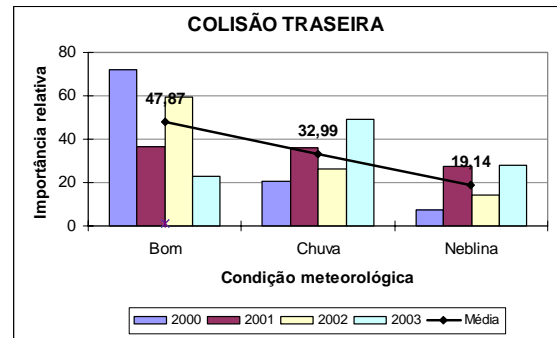
Os resultados extraídos pelas RNAs quanto a relevância da condição meteorológica em cada tipo de acidente estão apresentados nas Figuras 7.29 a 7.40, sendo que os resultados da influência da condição meteorológica na severidade estão apresentados nas Figuras 7.41 e 7.42.

O tempo bom é característico de todos tipos de acidentes, a exceção da derrapagem (Figura 7.40). Condição meteorológica boa é relevante nas duas situações distintas de severidade analisada, na sem vítima e na com vítima. Obviamente que a condição de chuva ou neblina, em quase todos os casos analisados nesta pesquisa será menos importante, principalmente a neblina, pois em São Carlos, os dias chuvosos em cada ano são

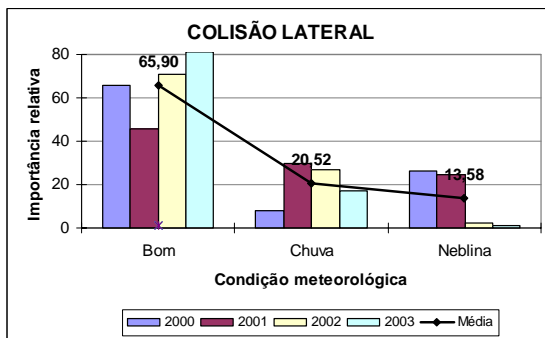
muito poucos e os dias com neblina são muito raros, e quando ocorre a neblina, em geral, esse fenômeno dura poucas horas do dia.



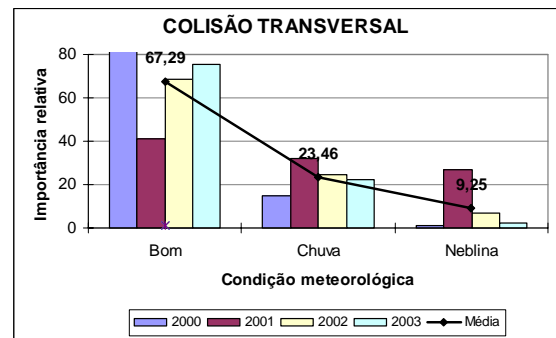
**Figura 7.29-** Importância relativa da condição meteorológica para a colisão frontal.



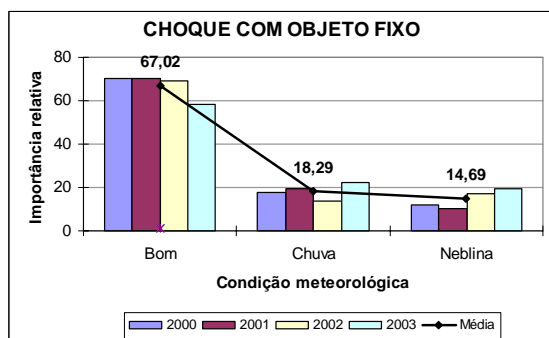
**Figura 7.30-** Importância relativa da condição meteorológica para a colisão traseira.



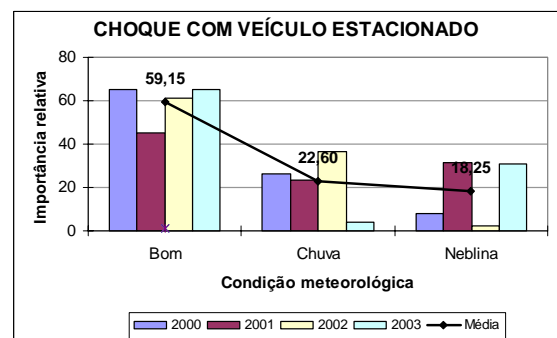
**Figura 7.31-** Importância relativa da condição meteorológica para a colisão lateral.



**Figura 7.32-** Importância relativa da condição meteorológica para a colisão transversal.

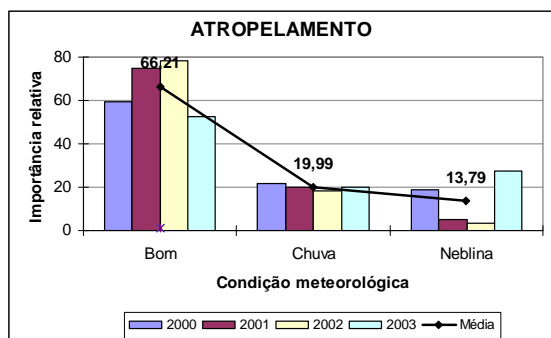


**Figura 7.33-** Importância relativa da condição meteorológica para o choque com objeto fixo.

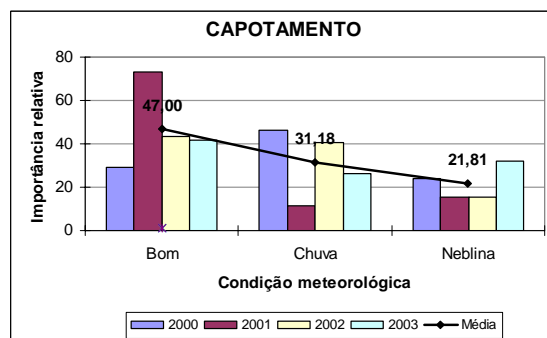


**Figura 7.34-** Importância relativa da condição meteorológica para o choque com veículo estacionado.

A “chuva” é um dos principais fatores contribuintes para atropelamentos e derrapagens em alguns países europeus como na Suécia e Noruega (ECMT, 2000) e em cidades americanas, como as cidades de Orlando, Brevard, Seminole e Hillsborough do Estado da Flórida (LEE e ABDEL-ATY, 2005). Ao contrário dessas cidades citadas, a condição meteorológica ruim não é um fator relevante para atropelamentos em São Carlos.

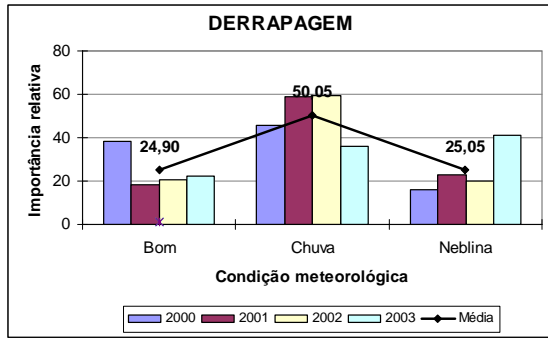


**Figura 7.35-** Importância relativa da condição meteorológica para atropelamento.

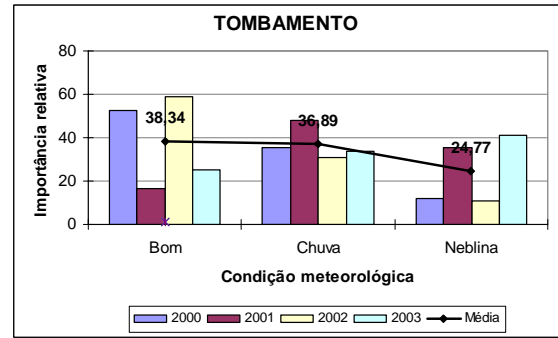


**Figura 7.36-** Importância relativa da condição meteorológica para capotamento.

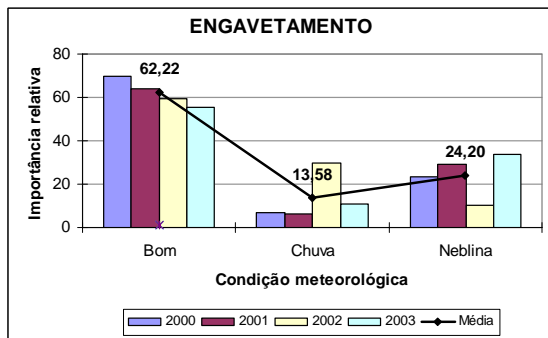
A derrapagem foi a única situação em que a chuva foi encontrada como fator mais importante que o tempo bom, como também a neblina em relação ao tempo bom (Figura 7.37). Conforme mencionado no manual do MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES (2002), o pavimento escorregadio ocasiona com mais freqüência a derrapagem. Curioso é o resultado encontrado no grau da importância da condição de chuva em dois casos: tombamento e engavetamento. No primeiro tipo de acidente, apesar do tempo bom ser mais relevante na média, os resultados da condição chuva são mais homogêneos nos quatro anos analisados. Além do mais, a diferença é pequena entre o valor da média do tempo bom de 38,34 e o valor de 36,89 do tempo chuvoso (Figura 7.38). No engavetamento a chuva é menos relevante que a neblina (Figura 7.39).



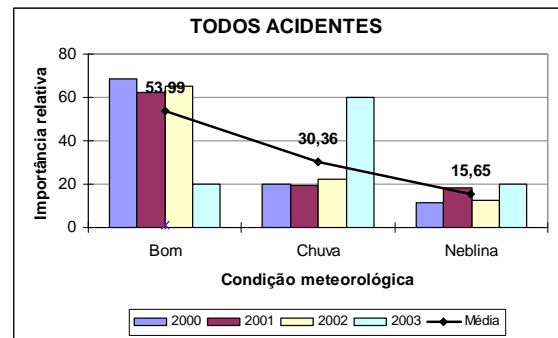
**Figura 7.37-** Importância relativa da condição meteorológica para derrapagem.



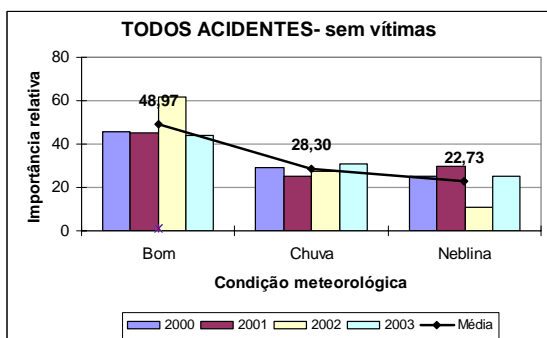
**Figura 7.38-** Importância relativa da condição meteorológica para tombamento.



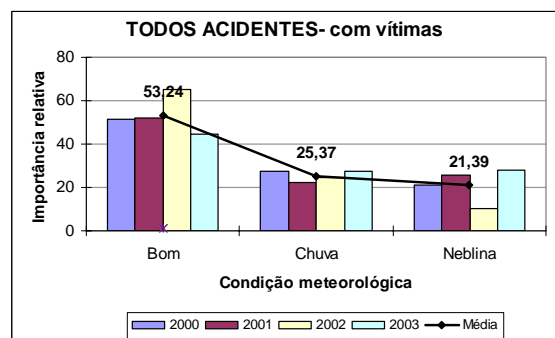
**Figura 7.39-** Importância relativa da condição meteorológica para engavetamento.



**Figura 7.40-** Importância relativa da condição meteorológica para todos acidentes.



**Figura 7.41-** Importância relativa da condição meteorológica no acidente sem vítima.



**Figura 7.42-** Importância relativa da condição meteorológica no acidente com vítima.

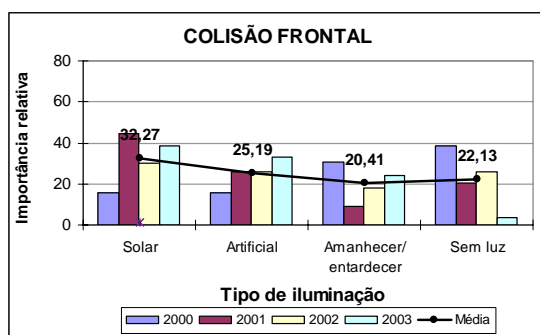
### 7.1.4 Tipo de iluminação

A iluminação é classificada em quatro tipos: solar, artificial, amanhecer ou entardecer e sem luz. Os valores das importâncias relativas de cada tipo de iluminação em cada tipo de acidente estão apresentados nas Figuras 7.43 a 7.54. As importâncias de iluminação em cada tipo de severidade, com vítima ou não, estão ilustrados nas Figuras 7.55 e 7.56.

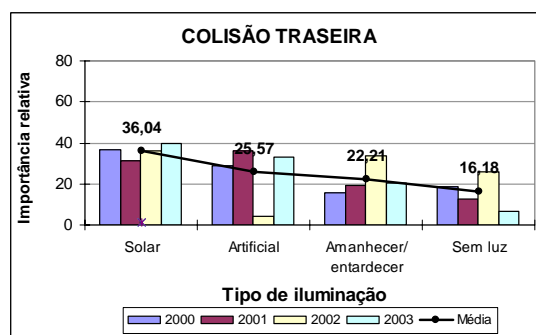
Dos onze tipos de acidentes estudados, cinco deles apresentaram como mais importante a luz solar. A luz artificial resultou como mais importante em quatro casos e o amanhecer ou entardecer em apenas um dos tipos de acidentes. A Luz solar é mais relevantes para as colisões frontais, traseiras, transversais, choques com veículos estacionados e os tombamentos. A luz artificial é mais importante nas colisões laterais, nos choques com objetos fixos, nos atropelamentos e nos capotamentos. O amanhecer ou entardecer é ressaltado para as derrapagens.

Comparando-se os resultados obtidos pelas RNAs nos quatro tipos de colisões, nota-se que a luz solar tem maior peso em três deles (frontal, traseira e transversal), Figuras 7.43, 7.44 e 7.46. A importância que a luz solar tem em relação aos demais tipos de iluminação está bem destacada no caso de colisão transversal. A luz solar foi menos relevante somente na colisão lateral, que neste caso é a luz artificial, Figura 7.45.

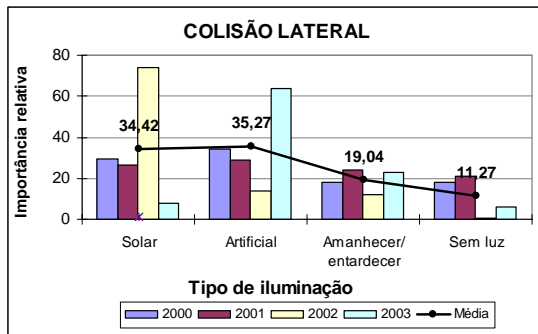
Os resultados da importância relativa de cada tipo de iluminação no choque com objeto fixo, obviamente, vem de encontro com os resultados obtidos anteriormente para o horário do dia, onde a madrugada e o período noturno são mais relevantes (Figura 7.19 e 7.47).



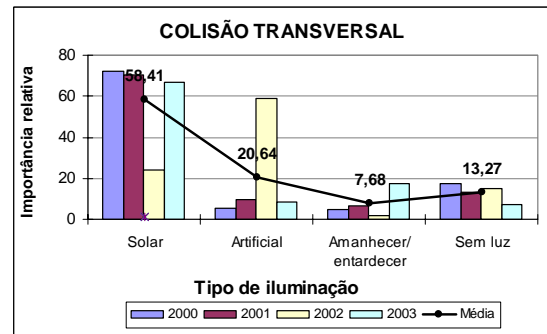
**Figura 7.43-** Importância relativa do tipo de iluminação para a colisão frontal.



**Figura 7.44-** Importância relativa do tipo de iluminação para a colisão traseira.

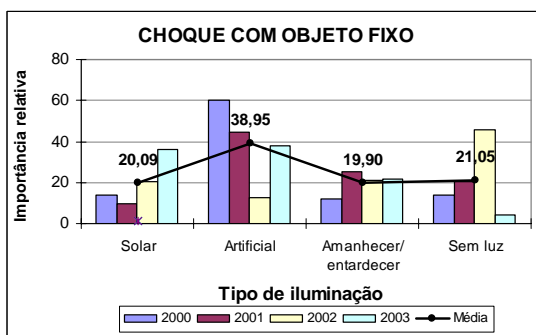


**Figura 7.45-** Importância relativa do tipo de iluminação para a colisão lateral.

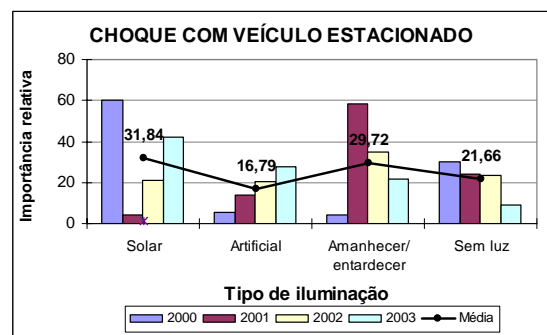


**Figura 7.46-** Importância relativa do tipo de iluminação para a colisão transversal.

No acidente choque com veículo estacionado, a luz artificial é a que tem menor relevância. Embora a situação “sem luz” tenha sido obtida como a mais relevante que a de luz artificial no choque com veículo estacionado, isto parece não ser muito coerente, pois é muito raro não ter nenhum tipo de iluminação em uma via urbana (solar ou artificial). Na média, o tipo de iluminação mais relevante no choque com veículo estacionado é a luz solar, no entanto não há um padrão muito bem definido para a iluminação neste tipo de acidente e o valor da média deve ser visto com cautela. A luz solar é muito relevante no ano de 2000 quando comparado com outros tipos de iluminação, mas é de menor relevância no ano de 2001. O amanhecer ou entardecer foi muito relevante que a luz solar em 2001.



**Figura 7.47-** Importância relativa do tipo de iluminação para o choque com objeto fixo.

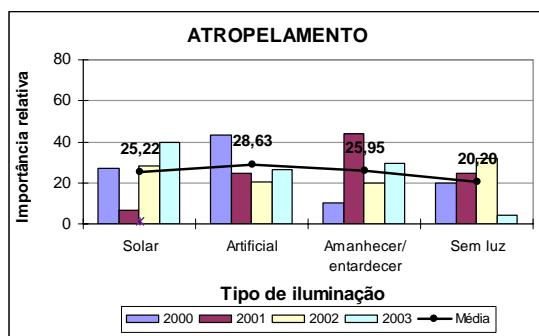


**Figura 7.48-** Importância relativa do tipo de iluminação para choque com veículo estacionado.

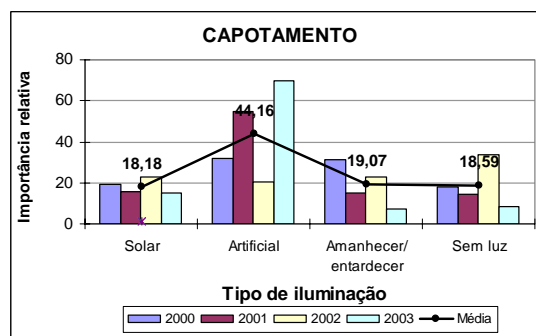
No atropelamento não houve um tipo de iluminação de grande destaque em relação aos demais tipos de iluminação. Todos os tipos de iluminação apresentaram valores médios entre 25 e 29 com exceção da situação sem luz, que ficou entorno de 20 (Figura 7.49). Verificando-se os valores da importância relativa de cada ano, luz artificial é a mais relevante e em seguida a situação de penumbra. Isso confirma a probabilidade descrita por GOLD (1995) de que atropelamentos ocorrem mais no período noturno. A dificuldade do pedestre de ser percebido pelos motoristas à noite deve ser a causa da maior incidência de atropelamentos no período noturno como acontecem nos países europeus (ECMT, 2000).

A luz artificial é muito relevante no capotamento (Figura 7.50). O amanhecer ou o entardecer é o mais relevante que a luz solar e a artificial na derrapagem (Figura, 7.51), no tombamento (Figura 7.52) e no engavetamento (Figura 7.53).

A luz solar e a artificial têm, praticamente, a mesma importância quando são considerados todos os acidentes (Figura 7.54). Quando se separam os acidentes conforme a severidade, a luz artificial tem muita importância tanto em acidentes sem vítima quanto em acidentes com vítima (Figuras 7.55 e 7.56). Nota-se que, nesses dois casos analisados, a condição “sem luz” é extraída pela RNA como mais importante que a situação com luz solar e o amanhecer ou entardecer. Esses resultados parecem ser inconsistentes quando comparados com os resultados já encontrados anteriormente para o horário do dia, uma vez que ocorrem muito mais acidentes de dia e nos horários de pico da manhã e da noite, amanhecer e entardecer.

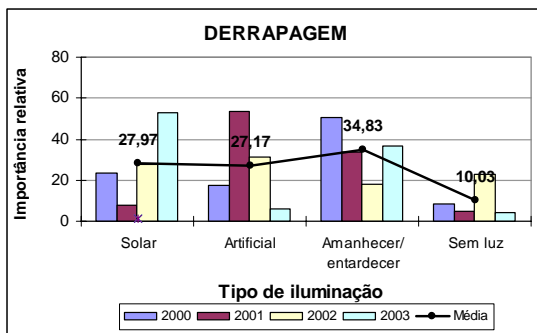


**Figura 7.49-** Importância relativa do tipo de iluminação para atropelamento.

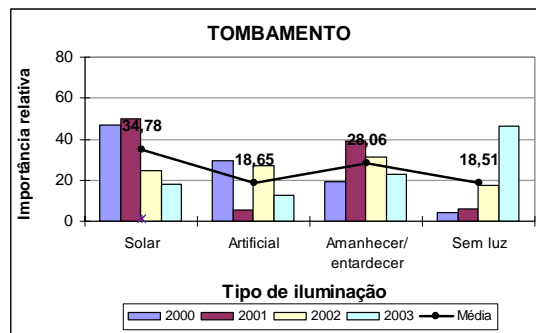


**Figura 7.50-** Importância relativa do tipo de iluminação para capotamento.

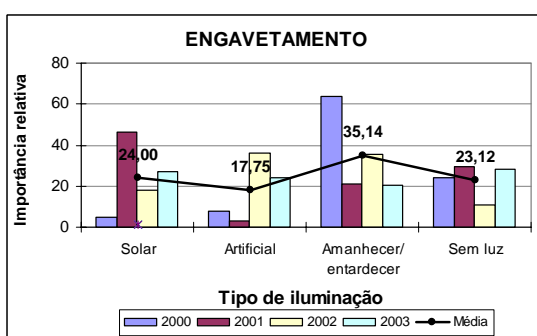




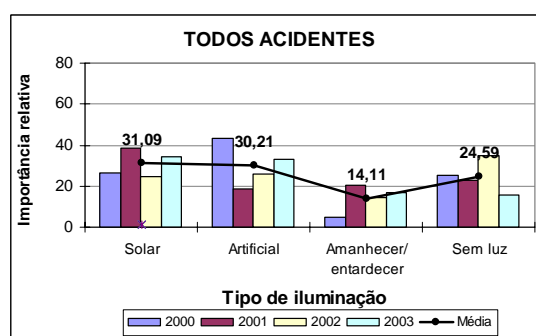
**Figura 7.51-** Importância relativa do tipo de iluminação para derrapagem.



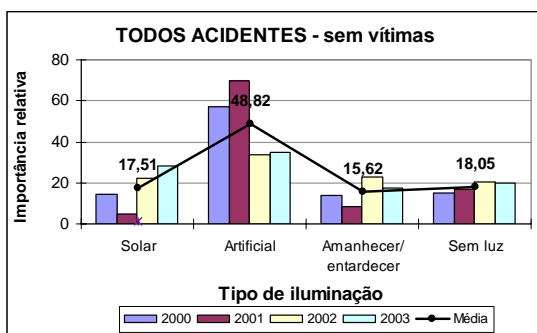
**Figura 7.52-** Importância relativa do tipo de iluminação para tombamento.



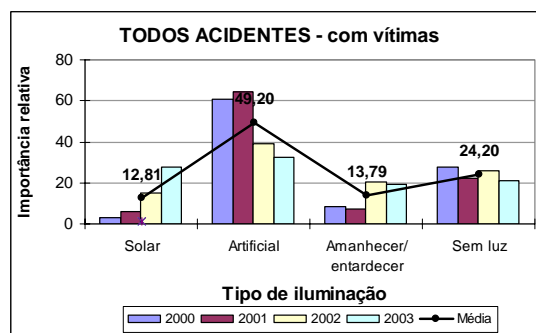
**Figura 7.53-** Importância relativa do tipo de iluminação para engavetamento.



**Figura 7.54-** Importância relativa do tipo de iluminação para todos acidentes.



**Figura 7.55-** Relevância do tipo de iluminação para acidente sem vítima.



**Figura 7.56-** Relevância do tipo de iluminação para acidente com vítima.

### 7.1.5 Hierarquia da via

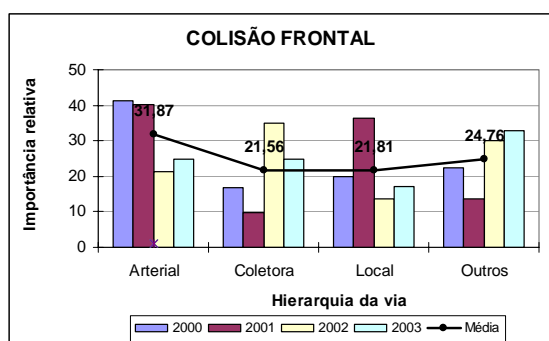
Cada via urbana de São Carlos foi pré-classificada, conforme a sua atual função no sistema viário básico da cidade, em uma das quatro categorias: arterial, coletora, local e outros. Cada interseção é formada por duas ou mais vias. Para um cruzamento formado pelo

encontro de uma via arterial com uma coletora, foram codificadas como verdadeira tanto a coluna da via arterial como também a da coletora, e assim por diante. No grupo “outros” estão às vias preferenciais de pedestres como o “calçadão” e as vias internas de condomínios horizontais fechados ou distritos industriais. Os resultados extraídos através das RNAs para cada hierarquia em cada tipo de acidente são mostrados nas Figuras 7.57 a 7.68 e para a severidade nas Figuras 7.69 e 7.70.

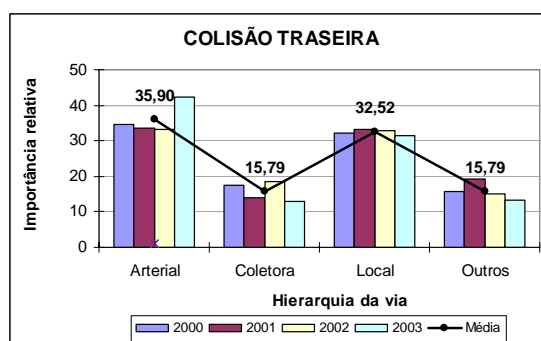
Entre os doze tipos de acidentes, dez tem a via arterial como mais importante. Nos outros dois tipos, a via local é mais relevante para a colisão lateral (Figura 7.59) e a hierarquia “outros” a mais relevante para o capotamento (Figura 7.64).

O fato das RNAs terem apresentado a via arterial como a mais importante em quase todos tipos de acidentes possivelmente confirme as evidências de que nessas vias há mais acidentes, independente do tipo, pois são vias por onde trafegam o maior volume de veículos.

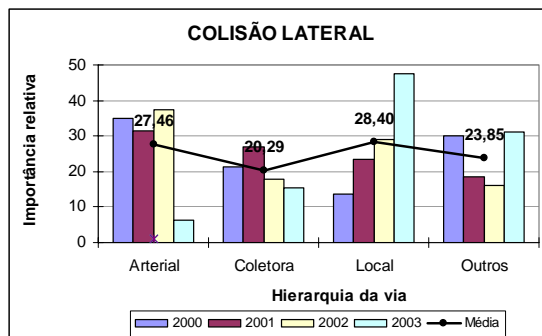
Considerando todos os tipos de colisões, esperava-se que a via coletora fosse a segunda mais relevante. Conforme valores extraídos pelas RNAs, a via coletora não se posiciona em segundo lugar em nenhum dos quatro tipos de colisões. As vias locais são mais relevantes que as coletoras na colisão traseira e transversal e as vias classificadas como “outros” para a colisão frontal. Como a comparação da relevância tratada aqui é entre os valores da média dos quatro anos observados, esses valores devem ser avaliados com certo cuidado. Nas colisões frontal, lateral e transversal, os valores da importância de cada hierarquia da via não estão muito homogêneos quando se compara um ano com os demais anos (Figuras 7.57 ao 7.60).



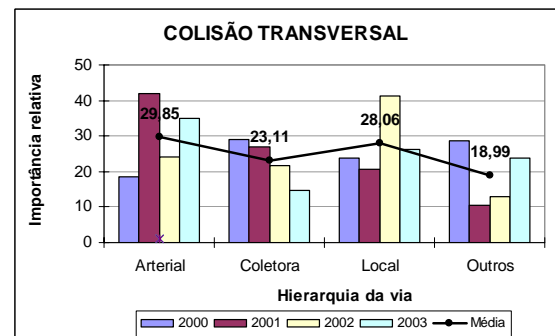
**Figura 7.57-** Importância relativa da hierarquia da via para a colisão frontal.



**Figura 7.58-** Importância relativa da hierarquia da via para a colisão traseira.



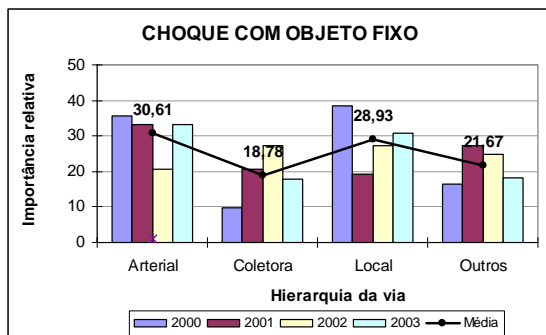
**Figura 7.59-** Importância relativa da hierarquia da via para a colisão lateral.



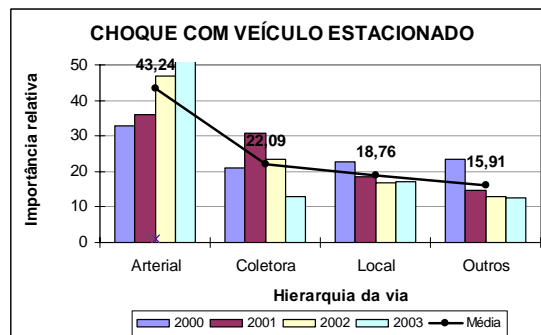
**Figura 7.60-** Importância relativa da hierarquia da via para a colisão transversal.

A via local tem praticamente a mesma relevância de uma via arterial no acidente do tipo choque com objeto fixo (Figura 7.61). Como a maioria das vias da cidade é local e vias com esta hierarquia estão presentes em quase todas as interseções, possivelmente a RNA esteja extraindo a via local como tão importante quanto à via arterial devido à frequência com que essa informação aparece nos acidentes em interseções.

Já, considerando os acidentes envolvendo choque com veículo estacionado, quanto maior for a hierarquia da via mais relevante é a sua importância. Muitas razões podem justificar esse resultado da Figura 7.62. Uma das razões é que grande parte do comércio da cidade de São Carlos está localizada na área de alto e médio adensamento, onde as principais vias que passam dentro dessas áreas são as arteriais e coletoras (vide Figuras 6.2 e 6.3). Nessas áreas de grande concentração de comércio também há uma grande movimentação de veículos, inclusive de veículos pesados como o ônibus de transporte coletivo urbano e o caminhão. Vagas de estacionamento na via pública são escassas em áreas com alto adensamento e o motorista, por várias razões, estacionam seus veículos muito próximos da interseção, até mesmo sobre a faixa de pedestre. Assim, é provável que os veículos em movimento estejam tendo dificuldades em realizar conversões, principalmente veículos de grande porte, vindo a chocar-se com os veículos estacionados. A outra razão talvez seja a forma de disposição das vagas de estacionamento na via pública em paralelo, em 45° ou em 90°. É comum acontecer o choque do veículo que está realizando a conversão com aquele que está tentando sair da vaga de estacionamento em 45° localizado próximo à interseção.

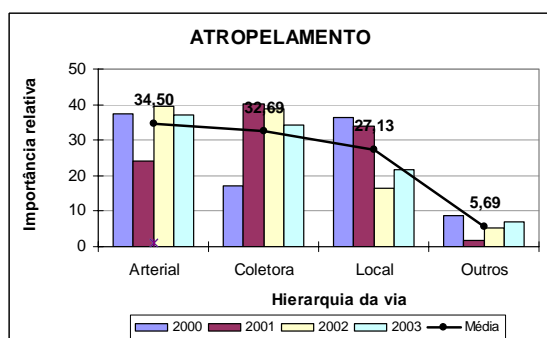


**Figura 7.61-** Importância relativa da hierarquia da via para o tipo choque com objeto fixo.

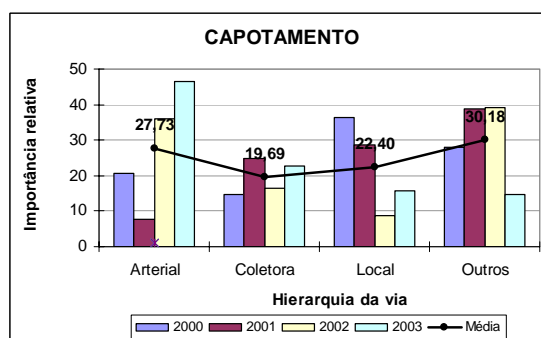


**Figura 7.62-** Importância relativa da hierarquia da via para choque com veículo estacionado.

Quanto maior for a hierarquia da via, maior é a probabilidade de atropelamento (Figura 7.63). As atividades comerciais da cidade estão estabelecidas, em geral, em vias de maior hierarquia e, nesses locais há uma concentração de pedestres e veículos, portanto era presumível que as vias arteriais e as coletoras fossem extraídas pelas RNAs como as mais importantes. Por outro lado, era uma incógnita qual ou quais vias seriam as mais importantes no capotamento, derrapagem e tombamento, visto que esses tipos de acidentes são muito raros em interseções. Comparando-se as Figuras 7.64, 7.65 e 7.66, observa-se que ano a ano os padrões são bem diferentes para cada um desses três tipos de acidentes.



**Figura 7.63-** Importância relativa da hierarquia da via para atropelamento.

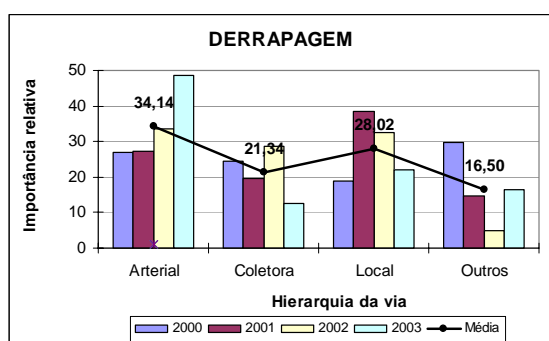


**Figura 7.64-** Importância relativa da hierarquia da via para capotamento.

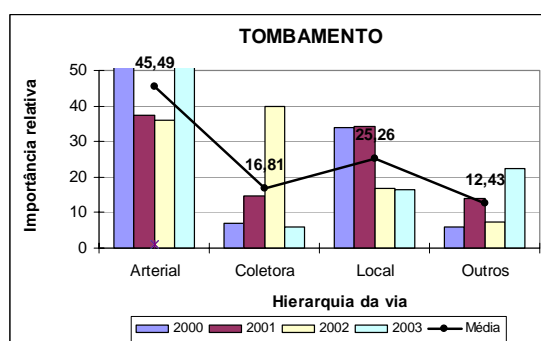
Na média, para o capotamento, em ordem decrescente de relevância, estão: “outro”, arterial, local e coletora (Figura 7.64). Resultado não consistente, haja visto que o capotamento é muito raro de ocorrer em interseção, muito mais raro ainda é ocorrer em interseções localizadas em áreas industriais, condomínios fechados e vias preferenciais do pedestre. A via arterial é a que tem maior influência na derrapagem e no tombamento

(Figuras 7.65 e 7.66), mas a influência da via arterial é muito maior para este segundo tipo de acidente. Em seguida, a coletora é a que tem mais relevância nos dois casos, depois a local e por último “outros”.

A mesma situação do atropelamento foi encontrada para o engavetamento (Figura 7.67). Na medida que a via se torna mais importante pela sua função desempenhada no sistema viário básico da cidade, maior é a sua influência no acidente do tipo engavetamento.

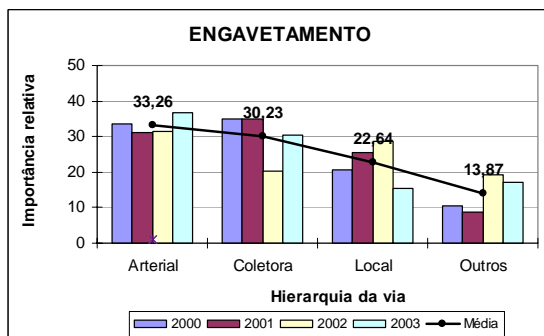


**Figura 7.65-** Importância relativa da hierarquia da via para derrapagem.

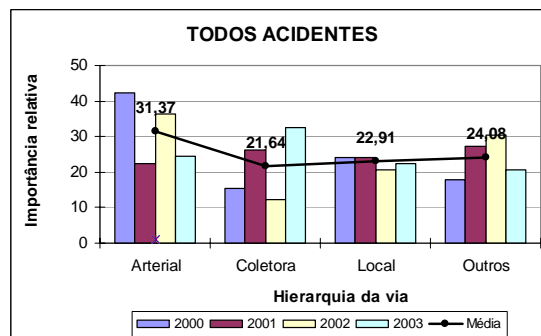


**Figura 7.66-** Importância relativa da hierarquia da via para tombamento.

As RNAs extraíram valores consideravelmente iguais para cada hierarquia de via em cada um dos quatro anos analisados quando todos os acidentes foram considerados (Figura 7.68). Na média, a arterial é a que apresenta diferença significativa em relação às demais.

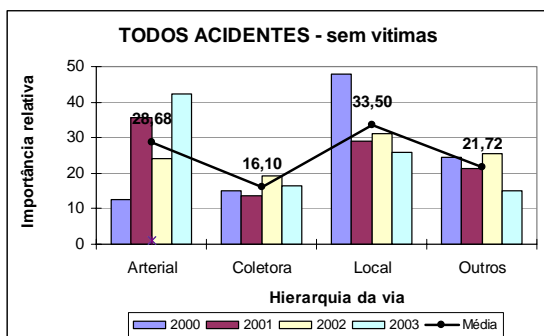


**Figura 7.67-** Importância relativa da hierarquia da via para engavetamento.

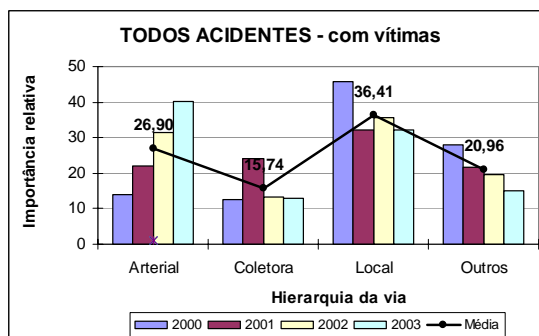


**Figura 7.68-** Importância relativa da hierarquia da via para todos os acidentes.

Nos dois grupos de severidade, sem ou com vítima, pela avaliação da RNA, a importância da hierarquia ficou disposta, do mais relevante para o menos, da seguinte forma: local, arterial, outros e coletora (Figuras 7.69 e 7.70).



**Figura 7.69-** Importância relativa da hierarquia da via para acidente sem vítima.



**Figura 7.70-** Importância relativa da hierarquia da via em acidente com vítima.

### 7.1.6 Adensamento do solo

Nesta pesquisa o adensamento do solo foi dividido em cinco classes: alto, médio, baixo, sem adensamento e o especial. No grupo “especial” estão as interseções localizadas em distritos industriais ou locais que não foi possível ser classificado em um dos quatro primeiros grupos, conforme informações constantes no mapa de adensamento do solo da Secretaria Municipal de Habitação e Desenvolvimento Urbano de São Carlos (PMSC, 2004b).

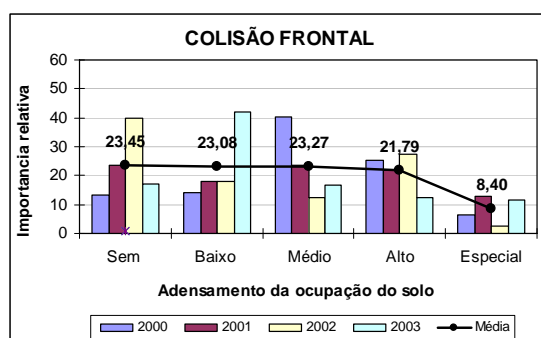
As relevâncias de cada tipo de adensamento do solo apresentadas pelas RNAs em cada tipo de acidente avaliadas pela RNA estão ilustradas nas Figuras 7.71 a 7.82 e para a severidade nas Figuras 7.83 e 7.84.

Os resultados encontrados para as colisões são bem interessantes. Na colisão frontal, quanto menos intensa é a ocupação do solo nas proximidades da interseção, maior é a sua relevância (Figura 7.71). No entanto, com exceção do grupo especial, a diferença entre os valores da importância de um tipo de adensamento do solo para o outro é pequena. Por outro lado, quanto mais intenso é o adensamento do solo, maior é a sua influência na colisão transversal (Figura 7.74).

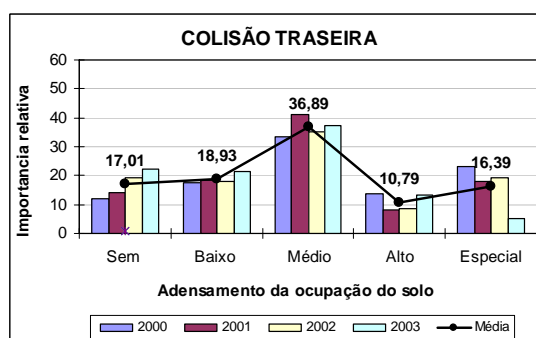
A Figura 7.72 ilustra que há um padrão bem definido na colisão traseira quando se refere ao adensamento do solo. Este tipo de colisão parece ser bem característico de locais de

médio adensamento. O adensamento médio também é o mais relevante na colisão lateral, porém essa relevância não é tão acentuada quando comparada com os demais tipos de adensamento (Figura 7.73). Informação curiosa obtida é o caso do adensamento alto ser menos relevante que a “especial” para a colisão traseira. Conforme observado *in loco*, de várias interseções que foram visitadas, esse resultado não parece muito coerente.

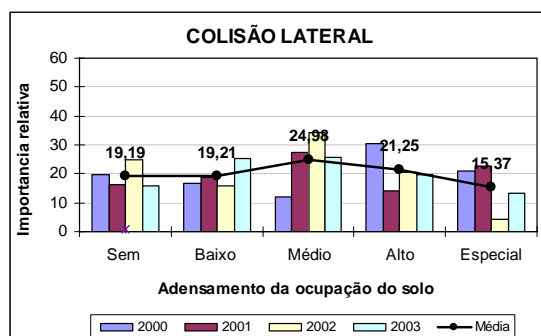
O adensamento médio é mais relevante para o choque com objeto fixo. O adensamento alto, baixo e sem adensamento têm pesos quase iguais em choque com objeto fixo, como pode ser observado na Figura 7.75. No choque com veículo estacionado (Figura 7.76), quanto mais intensa é a ocupação do solo, mais relevante.



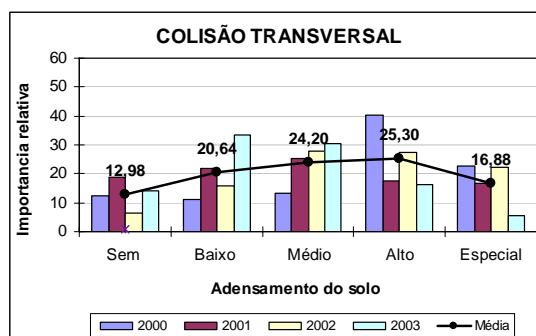
**Figura 7.71-** Importância relativa do adensamento do solo para colisão frontal.



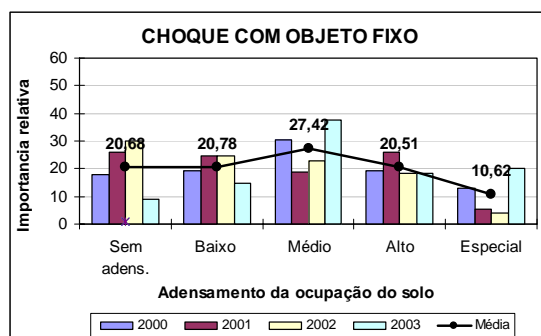
**Figura 7.72-** Importância relativa do adensamento do solo para colisão traseira.



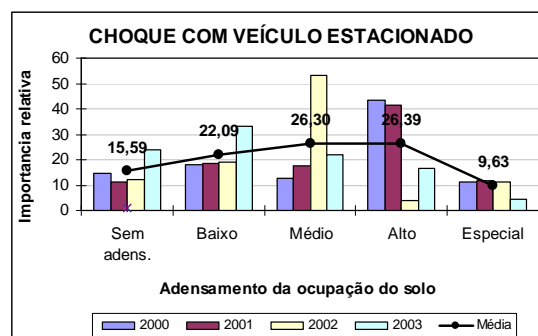
**Figura 7.73-** Importância relativa do adensamento do solo para colisão lateral.



**Figura 7.74-** Importância relativa do adensamento do solo para colisão transversal.



**Figura 7.75-** Importância relativa do adensamento do solo para o choque com objeto fixo.

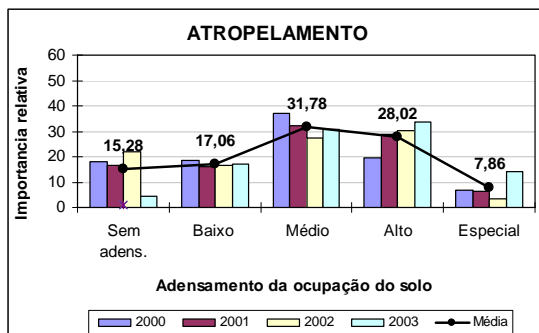


**Figura 7.76-** Importância relativa do adensamento do solo para o choque com veículo estacionado.

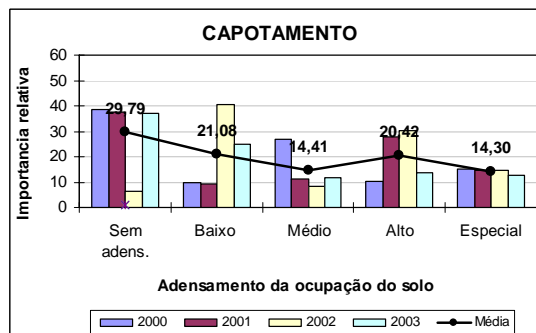
Conforme LASCALA *et al.* (2000) e GEURTS *et al.* (2005), interseções localizadas em áreas com alta densidade, ou melhor, onde há intensa atividade comercial são locais mais propícios para atropelamentos. Semelhante aos resultados desses dois estudos, as RNAs também extraíram as zonas mais densas como as mais relevantes para o atropelamento nesta pesquisa (Figura 7.77). Em zonas de baixo adensamento ou sem adensamento sem dúvida não há muito trânsito de pedestres, portanto, quando ocorrem atropelamentos, em geral, são fora da interseção.

Locais sem adensamento em São Carlos estão localizados no entorno de algumas vias de pista dupla marginais aos cursos d'água e nas áreas recentemente loteadas (Figura 5.2). Esses locais são propícios para a ocorrência de capotamento, pois o motorista tende a desenvolver maior velocidade devido às características geométricas da via (Figura 7.78). Também foi constatado que locais sem adensamento tem maior influência na derrapagem (Figura 7.79). De menor relevância tanto no capotamento quanto na derrapagem são os locais com adensamento especial. Por outro lado, interseções situadas em locais com adensamento “especial” são relevantes no tombamento (Figura 7.80). Contudo, embora essa situação aparentemente mostre um padrão, não se pode afirmar com certeza que importância esse tipo de adensamento possui. Por exemplo, pode-se observar na Figura 7.80 que o adensamento “especial” teve valores irrelevantes para o ano de 2000 e 2002, mas relevantes em 2001 e 2003.

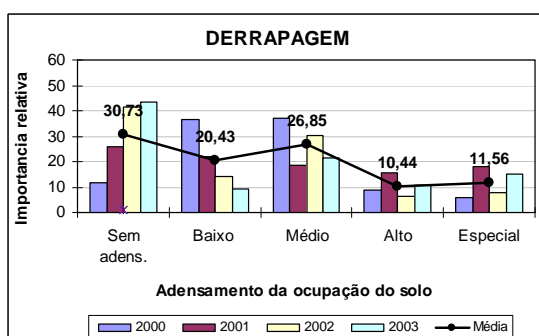




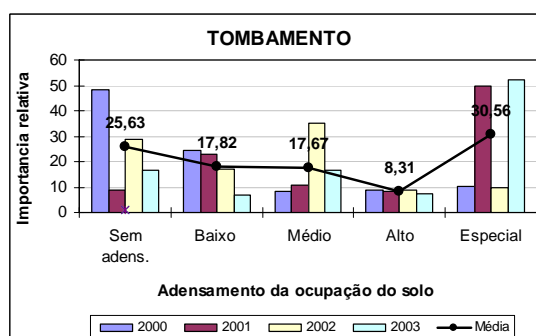
**Figura 7.77-** Importância relativa do adensamento do solo para atropelamento.



**Figura 7.78-** Importância relativa do adensamento do solo para capotamento.

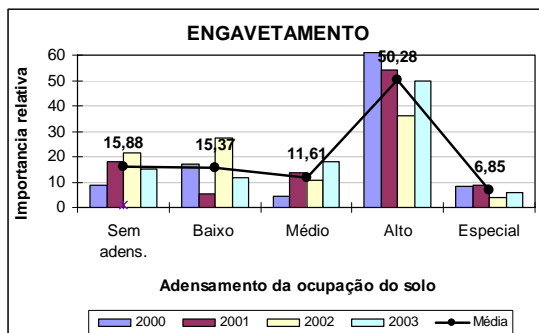


**Figura 7.79-** Importância relativa do adensamento do solo para derrapagem.

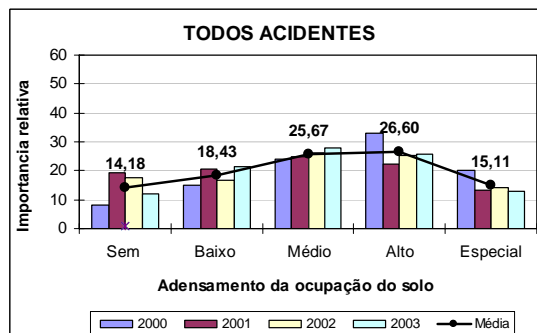


**Figura 7.80-** Importância relativa do adensamento do solo para tombamento.

O alto adensamento possui a maior influência no engavetamento (Figura 7.81). No geral, pode-se dizer que as chances de ocorrerem acidentes aumentam com a intensidade da ocupação do solo (Figura 7.82). Áreas muito adensadas são locais onde estão concentrados todos os tipos de atividades comerciais e de prestação de serviço, atraindo grande volume de tráfego veicular e de pedestre, por consequência com maior número de conflitos nas interseções e maior quantidade de acidentes. A mesma situação foi constatada por GEURTS *et al.* (2005), na Bélgica, e eles argumentam que não é uma tarefa simples achar explicação para a causa dos acidentes nessas áreas densas, pois são locais de complexa interação entre a infraestrutura e equipamentos urbanos com os variados comportamentos que exprimem os desejos de cada pessoas.

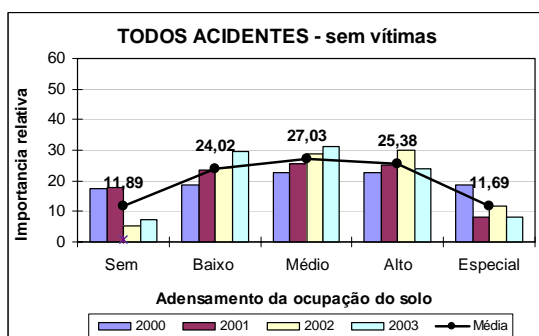


**Figura 7.81-** Importância relativa do adensamento do solo para engavetamento.

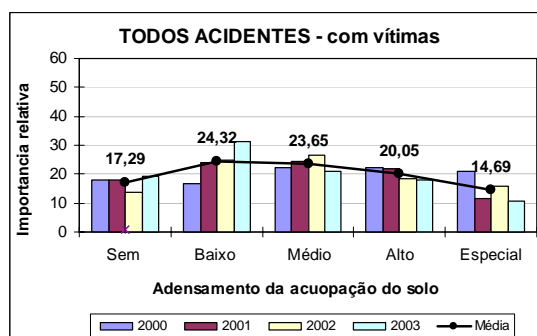


**Figura 7.82-** Importância relativa do adensamento do solo para todos os acidentes.

Áreas de adensamento médio são apontadas pela RNA como a mais significativa em acidentes sem vítimas. Em seguida, de relevância um pouco menor, mas bem significativos em acidente sem vítima, são o alto e o baixo adensamento (Figura 7.83). Diferente do caso de acidente sem vítima, quanto menos intensa é a ocupação do solo no entorno da interseção, mais provável que seja de maior peso para acidente com vítima (Figura 7.84).



**Figura 7.83-** Importância relativa do adensamento do solo para acidente sem vítima.



**Figura 7.84-** Importância relativa do adensamento do solo para acidente com vítima.

### 7.1.7 Sinalização de trânsito

Os resultados da RNA para sinalização de trânsito estão ilustrados nas Figuras 7.85 a 7.96. Estes resultados mostram o quão relevante é cada tipo de dispositivo de controle de tráfego instalado nas interseções, mas não verifica a intensidade da contribuição de cada

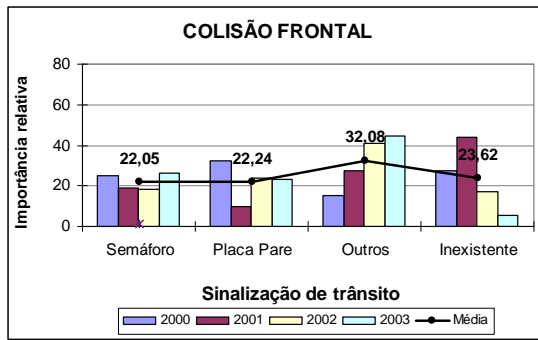
dispositivo no acidente. Os tipos de sinalização registrados no banco de dados relacional de acidentes de São Carlos são: semáforo, placa PARE, dê preferência e “outros”. De acordo com o que foi observado em campo, foi constatado que “outros” em geral são canalizações com tachão ou meio-fio, setas, legendas pintadas no pavimento, placa de proibido seguir em frente, etc. Como a sinalização por placa Dê a preferência é rara em São Carlos, essa também foi classificada no item “outros”. A classificação e o resultado da sinalização de trânsito para o grau de severidade estão ilustrados na Figuras 7.97 e 7.98.

Os resultados encontrados para a sinalização de trânsito em alguns tipos de acidentes são bem curiosos. Locais com “outra” forma de controle da interseção, que não sejam o semáforo ou a placa “PARE”, é um fator com bastante influência na ocorrência de alguns tipos de acidentes como a colisão frontal, derrapagem, tombamento e engavetamento (Figuras 7.85 e 7.93 ao 7.95).

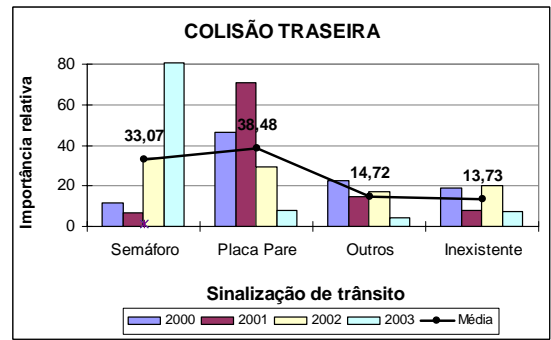
Análogo ao resultado encontrado no trabalho de YAN *et al.* (2005), a colisão traseira acontece com mais frequência em interseções semaforizadas (Figura 7.86). Pelo valor da média, interseções com semáforo também parecem ser o local com maior incidência de colisão lateral (Figura 7.87). Por outro lado, interseções com semáforo são locais com menores incidências de colisões transversais.

Observando-se as Figuras 7.86 e 7.88, percebe-se que o alerta feito por alguns autores e manuais especializados em tráfego parece ficar bem claro aqui: semáforo reduz acidentes em interseção com alto volume de tráfego, principalmente colisões transversais, mas pode aumentar outros tipos de acidentes como a colisão traseira (DENATRAN, 1984; VASCONCELLOS, 1987; TRB, 2000). Outra informação também interessante é que acidentes como o choque com objeto fixo, choque com veículo estacionado e tombamento ocorrem com maior frequência em interseções sem sinalização (Figuras 7.89, 7.90 e 7.94).

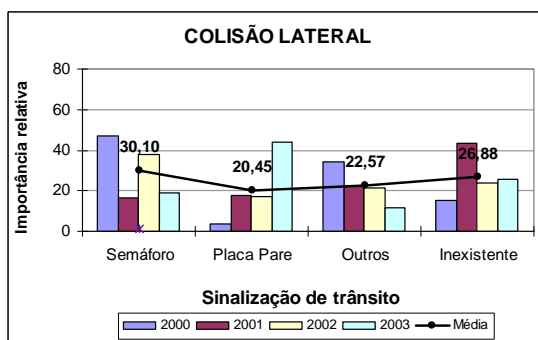
O choque com objeto fixo ocorre com maior frequência em interseção sem nenhum tipo de sinalização de trânsito (Figura 7.89). Interseções sem nenhuma sinalização de trânsito também são locais mais frequentes de acidentes do tipo choque com veículo estacionado (Figura 7.90), mas interseções com semáforo não são os locais de menor frequência para os dois tipos de choques. Interseção com semáforo é o segundo local com maiores incidências de choques com veículo estacionado.



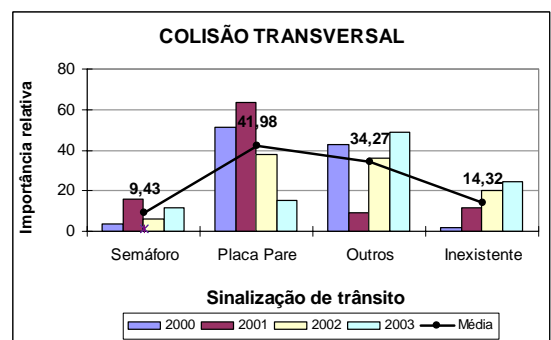
**Figura 7.85-** Importância relativa da sinalização de trânsito para colisão frontal.



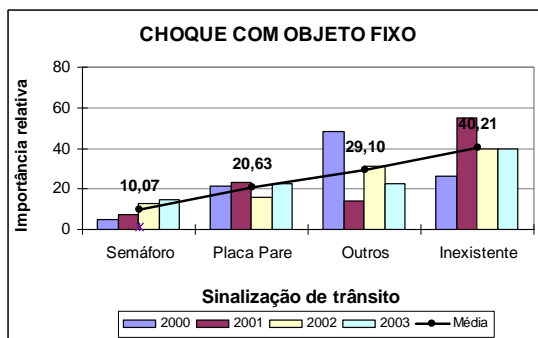
**Figura 7.86-** Importância relativa da sinalização de trânsito para colisão traseira.



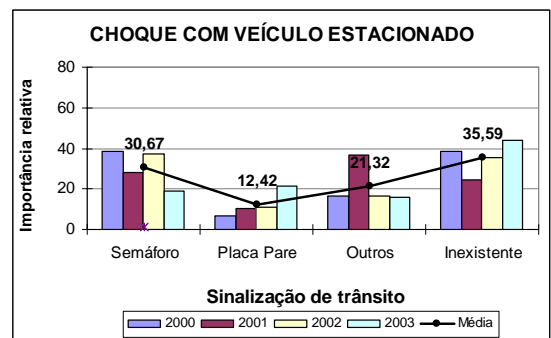
**Figura 7.87-** Importância relativa da sinalização de trânsito para colisão lateral.



**Figura 7.88-** Importância relativa da sinalização de trânsito para colisão transversal.



**Figura 7.89-** Importância relativa da sinalização de trânsito para choque com objeto fixo.



**Figura 7.90-** Importância relativa da sinalização de trânsito para o choque com veículo estacionado.

PREUSSER *et al.* (2002) estudaram padrões de atropelamentos e descobriram que 94% dos casos aconteceram em interseções semaforizadas com veículos realizando conversão à direita ou à esquerda. TOURINHO e PIETROANTONIO (2005) estudando algumas interseções de São Paulo com a técnica de análise de conflitos concluíram que interseções

dotadas de semáforo são locais com alto volume de tráfego veicular como também de alto volume de pedestre, portanto também são locais de maior conflito entre pedestres e veículos.

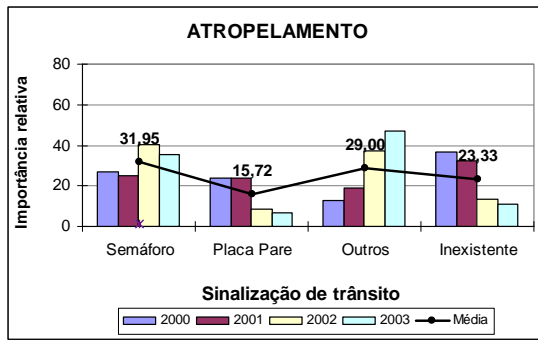
LEDEN (2002), pesquisando interseções com semáforo na cidade de Hamilton, no Canadá, concluiu que nem sempre interseção controlada por este tipo de equipamento é a mais segura, pois dependerá do número de pedestres e melhorias adicionais implantadas conjuntamente com o semáforo. LEDEN (2002) explica ainda que o risco do pedestre diminui com o aumento do volume de pedestres porque há aumento no nível de “alerta” do motorista. Mas o pesquisador alerta que o aumento do volume de pedestres também poderá aumentar o número de atropelamentos se não for ajustado o semáforo adequadamente para proporcionar segurança a eles como também se a calçada não tiver largura adequada para acomodar todos pedestres.

Os resultados da RNA para o atropelamento (Figura 7.91) já eram esperados, diante dos resultados encontrados por PREUSSER *et al.* (2002), TOURINHO e PIETROANTONIO (2005) e LEDEN (2002). Nesta pesquisa, de acordo com a classificação apresentada pela RNA, o pressuposto de que interseções com semáforo são locais onde aconteceram mais atropelamentos foi confirmado.

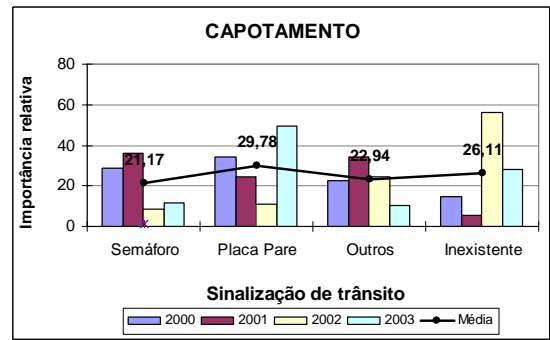
Interseção com placa PARE é o segundo local com maior volume de tráfego, mas esse não é o segundo local com maior número de atropelamentos segundo a classificação feita pela RNA. A Figura 7.91 está indicando que atropelamentos são mais freqüentes em locais sem nenhum tipo de sinalização ou com outras formas de sinalização do que em locais com a placa PARE. As possíveis causas são as velocidades de aproximação dos veículos nas interseções e o tipo de pedestre que está realizando a travessia. Interseção sem sinalização de trânsito é comum nas periferias da cidade e nessas áreas é freqüente encontrar crianças brincando na rua ou fazendo travessia para ir a escola.

Os resultados encontrados para o capotamento são muito diferentes de um ano para o outro e a média dos quatro anos parece não ser adequado para definir o padrão de sinalização com maior contribuição para este tipo de acidente (Figura 7.92).

Embora a média não seja adequada para determinar o padrão para alguns casos, para outras parece ser conveniente. Pelo valor médio, interseções sem nenhum tipo de sinalização ou com outras formas de controle, que não sejam semáforo ou placa PARE, são locais de maior freqüência para a derrapagem e o tombamento (Figuras 7.93 e 7.94).

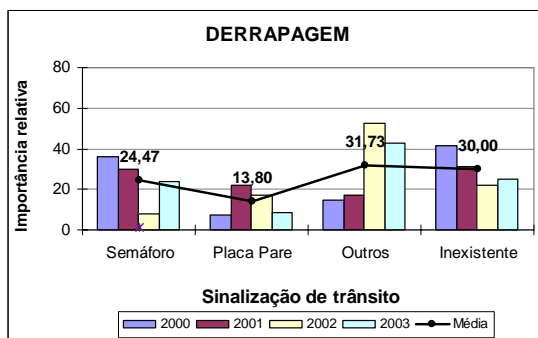


**Figura 7.91-** Importância relativa da sinalização de trânsito para atropelamento.

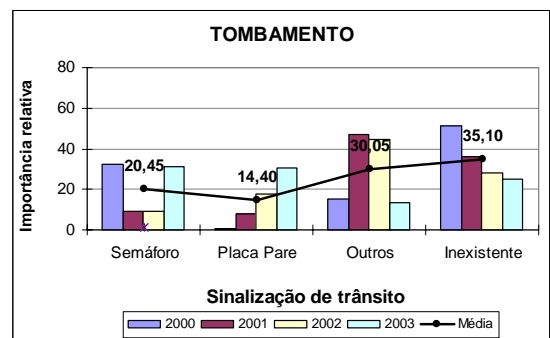


**Figura 7.92-** Importância relativa da sinalização de trânsito para capotamento.

Os engavetamentos ocorrem com maior frequência em locais de alto volume de tráfego com as interseções que possuem algum dispositivo de controle de tráfego, tais como semáforo e placa de parada obrigatória. Assim, era esperada que interseção sem nenhum tipo de sinalização fosse considerada pouco relevante pela RNA. Os valores das importâncias relativas para o semáforo, o PARE e o outro tipo de sinalização são praticamente iguais na média, ou seja, o número de engavetamento foi mais ou menos igual nos três tipos de sinalização (Figura 7.95).



**Figura 7.93-** Importância relativa da sinalização de trânsito para derrapagem.



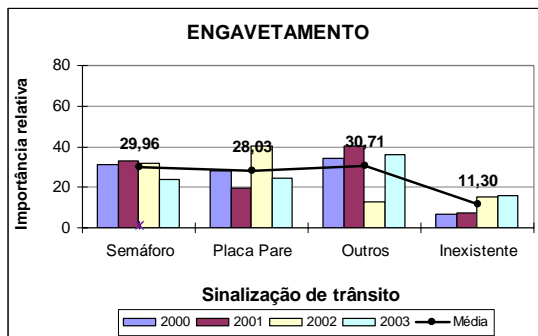
**Figura 7.94-** Importância relativa da sinalização de trânsito para tombamento.

GEURTS *et al.* (2005) comprovaram que interseções controladas por semáforo são segmentos de via mais perigosos na Bélgica. De acordo com a Figura 7.96, ainda que o número de interseções com cada tipo de sinalização varie de ano para o outro, para São Carlos também se pode afirmar que interseções com semáforo são locais mais perigosos.

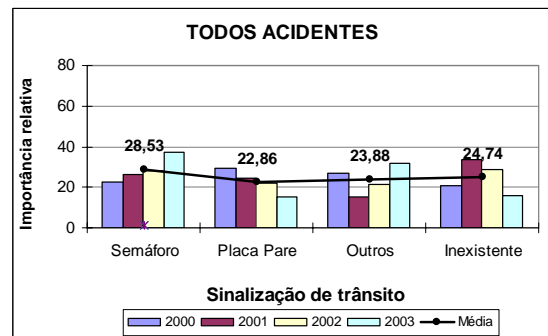
Conforme informações da Figura 7.96, deduz-se, pela média dos quatro anos, que ocorreram menos acidentes em interseções controladas por placa de parada obrigatória.

Interseção com semáforo é o segundo local com maior número de acidentes. Em terceiro, o local com outros tipos de controle como a placa “Dê a preferência”. Por último ficou a interseção sem nenhum controle.

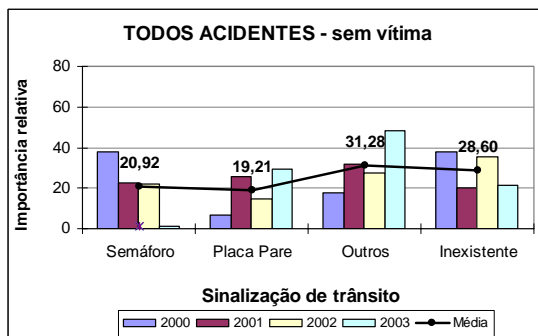
As Figuras 7.96, 7.97 e 7.98 mostram que o tipo de controle de tráfego usado na interseção tem influência decisiva sobre a frequência de acidentes e a severidade dos mesmos como havia sido comentado por FERRAZ *et al.* (1999) e MADANI *et al.* (2002).



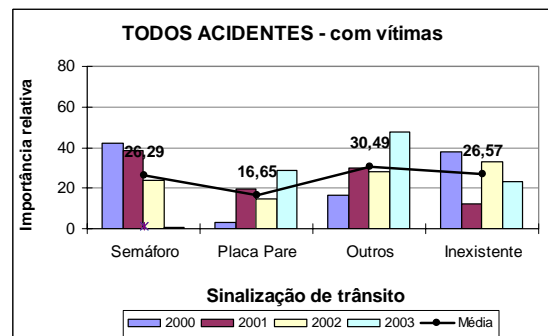
**Figura 7.95-** Importância relativa da sinalização de trânsito para engavetamento.



**Figura 7.96-** Importância relativa da sinalização de trânsito para todos acidentes.



**Figura 7.97-** Importância relativa da sinalização de trânsito para acidente sem vítima.



**Figura 7.98-** Importância relativa da sinalização de trânsito para acidente com vítima.

### 7.1.8 Idade do motorista e do pedestre

Os motoristas foram previamente distribuídos em sete grupos etários, visando facilitar a classificação pela RNA. Dessa forma, também se pode visualizar melhor a contribuição da idade do motorista em cada tipo de acidente e permite a comparação dos resultados obtidos nesta pesquisa com os da literatura. As Figuras 7.99 a 7.110 apresentam os

valores da importância relativa de cada faixa etária do motorista, de acordo com o tipo de acidente considerado na camada de saída da rede neural. As Figuras 7.111 e 7.112 mostram a importância relativa para cada ano, no período de 2000 a 2003, para a severidade dos mesmos.

Em todos os quatro tipos de colisão (frontal, traseira, lateral e transversal), a faixa etária mais relevante pela RNA é a de 25 a 34 anos (Figuras 7.99 a 7.102). Verificando as posições que as demais faixas etárias ocuparam na colisão frontal, em parte, os resultados são bem semelhantes aos encontrados por LARSEN e KINES (2002).

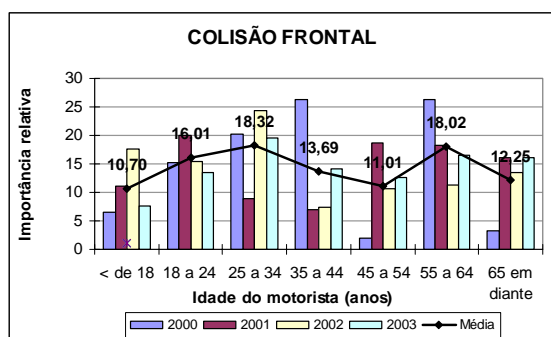


Figura 7.99- Importância relativa da idade do motorista para colisão frontal.

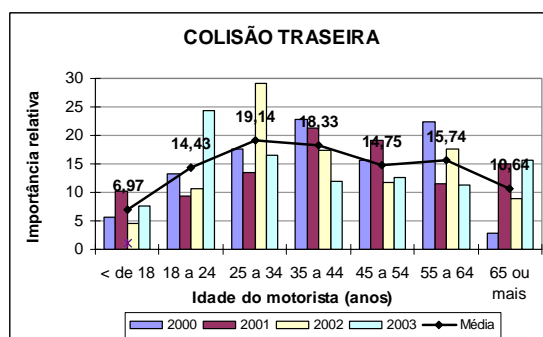


Figura 7.100- Importância relativa da idade do motorista para colisão traseira.

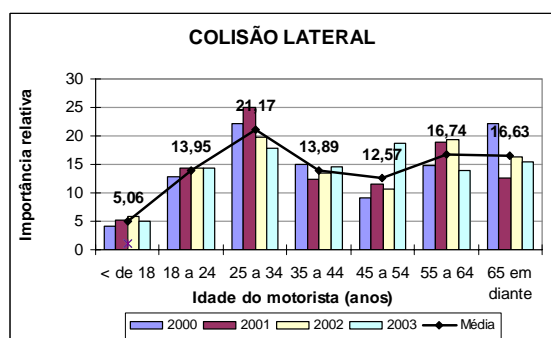


Figura 7.101- Importância relativa da idade do motorista para colisão lateral.

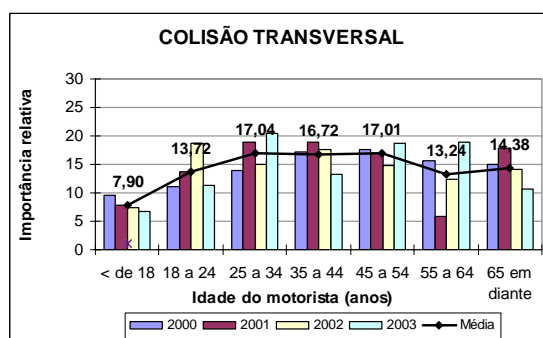


Figura 7.102- Importância relativa da idade do motorista para colisão transversal.

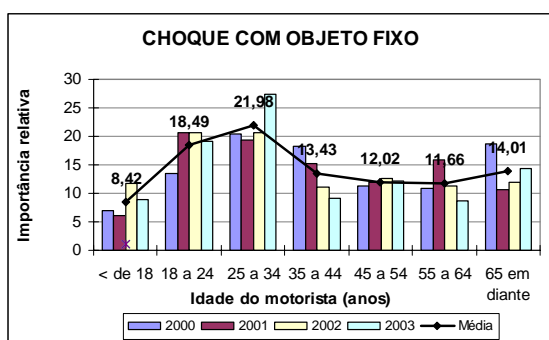
O número de motoristas envolvidos em colisão traseira diminui nas idades mais avançadas, situação constatada também por YAN *et al.* (2005). A possível explicação para o nosso caso talvez seja a mesma de YAN *et al.* (2005) que apontam como principal causa a desatenção do motorista que segue o outro veículo da frente numa distância não segura, muito



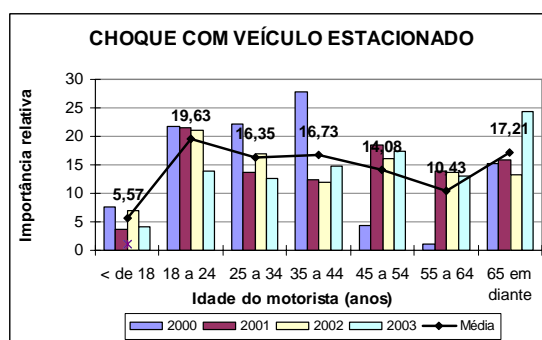
próximo, não permitindo que o acidente seja evitado em caso do veículo da frente diminuir velocidade para fazer a conversão na interseção ou para parar no semáforo.

A faixa etária menos relevante em todos os tipos de colisões é o do motorista com menos de 18 anos. Contudo, os valores encontrados pela RNA são significativos se considerarmos que esses motoristas não estão habilitados a dirigir. Provavelmente esses resultados sejam um indicativo de que boa parcela de veículos circulando pelas vias públicas da cidade estão sendo conduzidos por motoristas não habilitados legalmente, dentre os quais pessoas que nunca tiveram algum tipo de aula de direção. Conduzir um veículo sem estar habilitado é um fator de risco. BLOWS *et al.* (2005) relatam que essa atitude também é comum na Nova Zelândia, inclusive em motoristas não habilitados com mais de 25 anos. A relevância do grupo de pessoas com 65 anos ou mais extraída pela RNA na colisão lateral (Figura 7.102) é bastante significativa, merecendo mais investigações futuras.

Choque com objeto fixo é mais freqüente com jovens de 18 a 34 anos como ilustra a Figura 7.103. Por outro lado, em choque com veículos estacionados é mais comum entre jovens de 18 e 24 anos e os idosos com 65 anos ou mais (Figura 7.104). Possivelmente a causa explicativa para o choque com objeto fixo seja a embriaguês dos jovens nas madrugadas de finais de semana, constatada na pesquisa de CASTRO (1999).



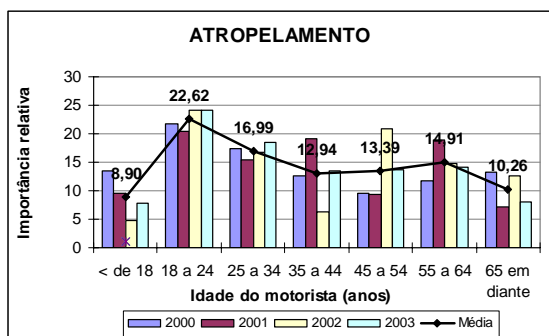
**Figura 7.103-** Importância relativa da idade do motorista para choque com objeto fixo.



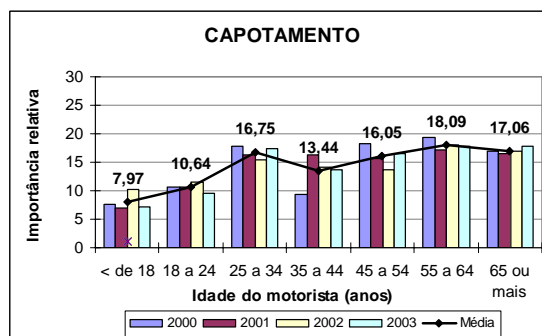
**Figura 7.104-** Importância relativa da idade do motorista para choque com veículo estacionado.

Em relação aos atropelamentos, parece estar claro que os jovens motoristas de 18 a 34 anos são mais perigosos (Figura 7.105). O resultado desta pesquisa para o atropelamento é, em parte, semelhante com o de LEE e ABDEL-ATY (2005), para a Flórida, onde os pedestres são freqüentemente atropelados por motoristas de idades entre 25 a 64 anos.

Em contrapartida, o grupo etário de 18 a 24 anos é o menos relevante quando se trata de capotamento (Figura 7.106), porque talvez existam menos motoristas com essas idades que tenham um veículo. Diferente do encontrado por ZHANG *et al.* (2000), é bastante significativo o envolvimento do idoso, principalmente em acidente com a participação de um único veículo, como o capotamento e o tombamento (Figura 7.106 e 7.108).



**Figura 7.105-** Importância relativa da idade do motorista para o atropelamento.



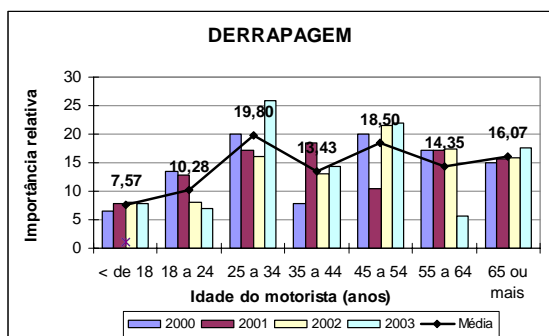
**Figura 7.106-** Importância relativa da idade do motorista para o capotamento.

A derrapagem, em geral, está associada com condições meteorológicas ruins, excesso de velocidade e a falta de habilidades e demais precauções por parte do motorista. Dessa forma, esperava-se que a faixa etária de 18 a 24 anos fosse a mais relevante, entretanto a RNA mostra ser menos relevante (Figura 7.107). Na derrapagem os três primeiros grupos etários mais relevantes são: de 25 a 34 anos, de 45 a 54 anos e de 65 anos ou mais. Outros fatores, por exemplo, a condição meteorológica e a hierarquia da via talvez sejam mais importantes que a experiência do motorista por se tratar somente de acidentes que ocorreram nas interseções.

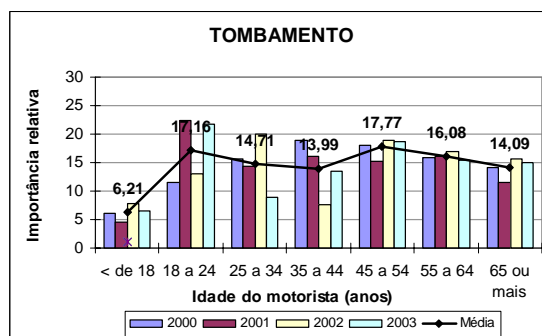
A faixa etária de 18 a 24 anos é mais relevante no tombamento (Figura 7.108). A importância relativa diminui à medida que a idade avança até atingir o valor mais baixo para o grupo dos 35 aos 44 anos, sem seguida para o grupo dos 45 a 54 anos apresenta um dos maiores valores de importância relativa e novamente a relevância tende a diminuir com o aumento da idade do motorista. É provável que esses resultados sejam um indicativo que o tombamento tem mais relação com o tipo de veículo utilizado e a forma como esses veículos são conduzidos do que com a idade do motorista.

Pela Figura 7.109 observa-se que os motoristas jovens com 18 a 34 anos se envolvem mais em engavetamentos. O resultado já era esperado uma vez que este tipo de

acidente tem maior probabilidade de ocorrer com aqueles que andam com seus veículos muito próximo do outro veículo que está a sua frente, não mantendo distância de segurança.



**Figura 7.107-** Importância relativa da idade do motorista para derrapagem.



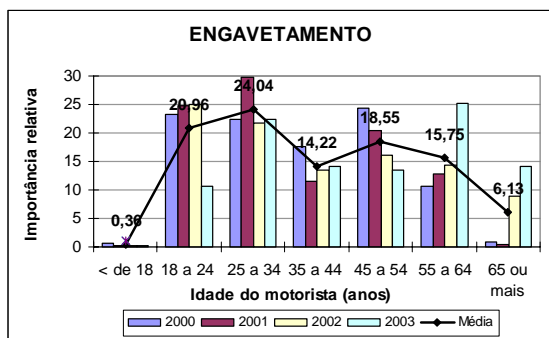
**Figura 7.108-** Importância relativa da idade do motorista para tombamento.

A relevância da idade do motorista, considerando-se todos os acidentes, é maior para o grupo de motoristas na faixa etária de 25 a 34 anos, ou seja, é mais freqüente o envolvimento desses motoristas em acidentes de trânsito (Figura 7.110). CARSTENSEN (2002), KWEON e KOCKEKMAN (2003) e YAN *et al.* (2005) também haviam encontrado um padrão semelhante aos resultados desta pesquisa em relação a idade do motorista, a exposição ao risco é mais baixa nos motoristas mais velhos. Segundo CARSTENSEN (2002), uma das razões do motorista envolver-se menos com o avanço da idade é a experiência, não só por ter mais anos de carteira de habilitação, mas sim o quanto ele já dirigiu num certo período. Outra explicação pode estar relacionada aos mecanismos pessoais adotados pelos motoristas mais velhos para compensar as condições de declínio de suas habilidades físicas. Além dessas duas causas, existem muitas outras que poderiam ser explicativas, tais como as atividades desempenhadas e o número de pessoas em cada faixa etária utilizando veículos motores nos seus deslocamentos.

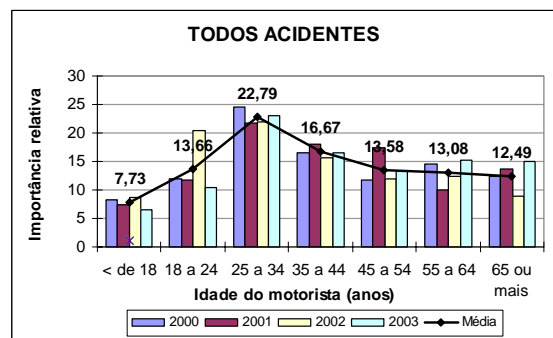
Na Flórida, Estados Unidos, DISSANAYAKE e LU (2002) observaram que tem menos colisões com idosos que os demais grupos etários por eles dirigirem menos. Isso também é verdade em outros países como o Brasil, os idosos saem menos para circular nas vias públicas e quando isto acontece, em geral, eles se deslocam mais a pé do que dirigindo um veículo.

Na Figura 7.110 observa-se ainda que o grupo dos jovens entre 18 a 24 anos foi classificado pela RNA como de relevância consideravelmente menor em relação às faixas

etárias de 25 a 34 anos e 35 a 44 anos. Por causa do resultado para o ano de 2002, na média, a relevância do grupo dos 18 a 24 anos ficou pouco acima dos 45 a 54 anos. Uma das explicações possíveis para que os mais jovens, no computo geral, estejam menos envolvidos em acidentes seja as suas condições socioeconômicas. A maior parte dos motoristas mais jovens, ainda estão estudando, tem poucos recursos econômicos e utiliza o veículo da família emprestado, quando possível.



**Figura 7.109-** Importância relativa da idade do motorista para o engavetamento.

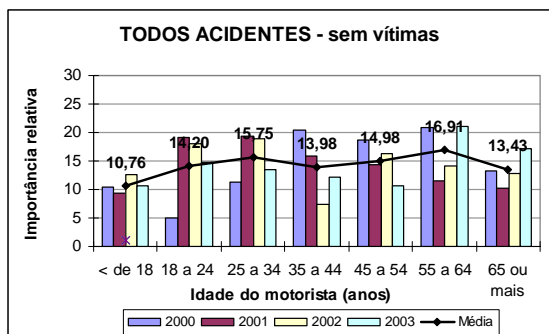


**Figura 7.110-** Importância relativa da idade do motorista considerando todos os acidentes.

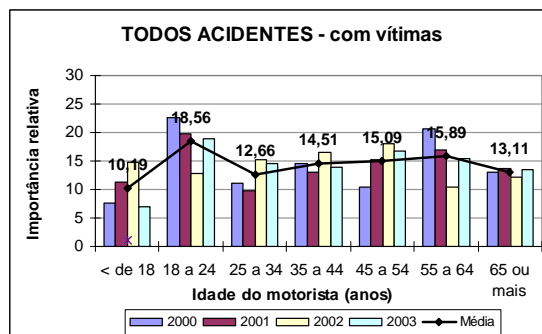
As Figuras 7.111 e 7.112 mostram os resultados da importância relativa fornecida pela RNA para cada tipo de severidade. Em acidentes sem vítimas, não há uma faixa etária bem definida que possa ser indicada como padrão. A importância relativa de cada faixa etária varia consideravelmente de um ano para o outro. Na média, à exceção do grupo de motoristas com menos de 18 anos, os valores da importância de cada faixa etária estão razoavelmente bem distribuídos, variando de 13,43 a 16,91.

Nos acidentes com vítima, ser muito jovem é o mais relevante, mas ser idoso também é. Muitas explicações são possíveis quando é analisada somente a contribuição da idade do motorista no acidente. Possivelmente, os jovens envolvem-se mais em acidentes com vítima por adotarem comportamentos de risco (CASTRO, 1999; CARSTENSEN, 2002). No caso dos idosos, a possível explicação seja mesma de WENZEL e ROSS (2005), eles envolvem-se menos em acidentes com vítimas como motoristas, pois os veículos dirigidos por eles não são carros esportes e em geral tem maiores dimensões que os protegem. Além disso, os idosos adotam atitudes menos arriscadas no trânsito. Mas segundo ZHANG *et al.* (2000), acidente na interseção com idoso é comum devido aos erros na direção, como entrar na contra-mão. Lembrando que os acidentes são fenômenos complexos e que são conseqüências da soma da contribuição de vários fatores, a idade do motorista pode ser mais ou menos

importante dependendo do tipo de acidente e do veículo utilizado, assim como das circunstâncias da interseção no momento do acidente.



**Figura 7.111-** Importância relativa da idade do motorista para acidentes sem vítima.



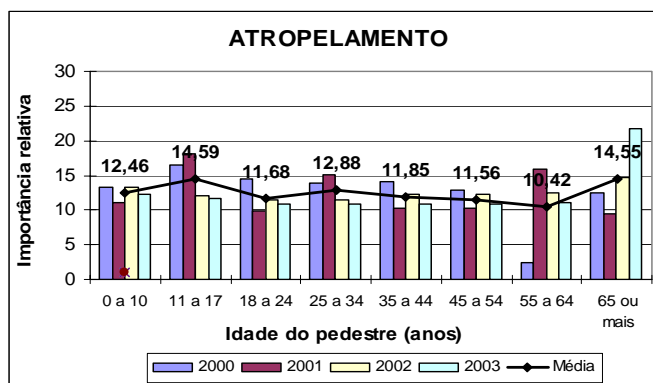
**Figura 7.112-** Importância relativa da idade do motorista para acidentes com vítima.

GEURTS *et al.* (2005) revelam que jovens até 17 anos se envolvem bastante em acidentes de trânsito como pedestres especialmente em locais considerados “*pontos negros*” situados em áreas bem adensadas. Para PREUSSER *et al.* (2002), dentre os jovens de até 17 anos, as crianças são mais prováveis de serem atropeladas. As crianças de até 14 anos são as que mais se envolvem em acidentes como pedestre segundo constatado por LEE e ABDEL-ATY (2005). Nesses trabalhos, os pesquisadores descobriram que a atitude tomada pela criança é a principal causa do acidente. As crianças são mais precipitadas, prestam menos atenção e avaliam mal os riscos do trânsito do entorno.

Os pedestres idosos também são apontados como grupo de grande risco por PREUSSER *et al.* (2002). No trabalho desses autores, verifica-se que 79% dos atropelamentos decorrentes de veículos em conversão nas interseções das cidades de Washington e Baltimore, nos Estados Unidos, envolveram pedestres adultos, em especial os mais velhos. Pedestre idoso também é grupo de risco na Flórida. LEE e ABDEL-ATY (2005) descobriram que o maior risco para o pedestre idoso, na Flórida, é devido a dificuldade de travessia nas interseções de vias muito largas.

Além das informações sobre a idade do motorista, nesta seção foi apurada a idade do pedestre envolvido no atropelamento. Como na Europa (ECMT, 2000), os idosos e as crianças também são grupos mais vulneráveis no trânsito de São Carlos. O fato das crianças estarem menos envolvidos que os adolescentes possivelmente seja porque está-se analisando somente os acidentes em interseções. Percebe-se que, de acordo com os resultados revelados

na Figura 7.113, os idosos com 65 anos ou mais é o grupo de pessoas que mais se envolvem como pedestre em atropelamento, depois deles são os pré-adolescentes e os adolescentes (11 a 17 anos).



**Figura 7.113-** Importância relativa da idade do pedestre para o atropelamento.

### 7.1.9 Tipo de veículo

As Figuras 7.114 a 7.125 mostram os resultados da importância relativa do veículo envolvido em cada tipo de acidente. O quão importante é o veículo específico, quanto a sua participação na severidade do acidente, são apresentados nas duas últimas figuras desta seção (Figuras 7.126 e 7.127).

Dos doze tipos de acidentes, dez deles há um envolvimento maior de automóveis do que os demais tipos de veículos (Figuras 7.114 a 7.125). Esse resultado já era esperado, pois os automóveis representam mais de 70% da frota total de veículos de São Carlos em todos os anos do período analisado (Tabelas 6.2 e 6.7), mas um resultado curioso foi encontrado para a colisão lateral (Figura 7.116) e o choque com veículo estacionado (Figura 7.119). O ônibus é o mais relevante no primeiro caso e o caminhão no outro.

Outro resultado interessante observado é o caso da colisão frontal, onde a bicicleta aparece em segundo lugar quanto a relevância, seguida de moto, em terceiro (Figura 7.114). Esse resultado pode ser um indício de que os ciclistas e os motociclistas não estão observando as regras de circulação e estão transitando na contramão, prática comum nas cidades

brasileiras. As bicicletas foram classificadas como o tipo de veículo com menor importância para o caso da colisão traseira (Figura 7.115).

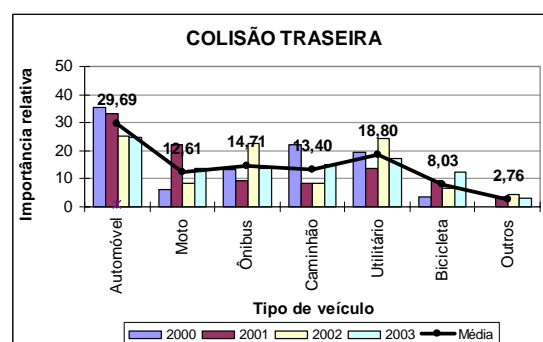
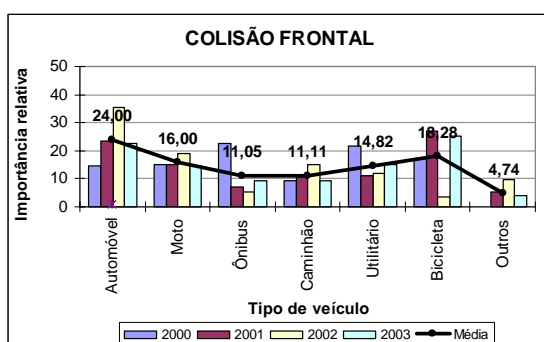
O ônibus é o que tem menor peso para o caso da colisão frontal quando comparados com os demais tipos de veículos usuais em circulação na cidade de São Carlos. Os ônibus são mais significativos apenas quando comparados com veículos classificados na categoria “outros”, na qual se incluem os veículos de uso agrícola, de reboque, *trailer* etc. Para a colisão traseira, o ônibus aparece em terceiro lugar, depois dos automóveis e dos utilitários. Confrontando os resultados da colisão frontal com os da traseira, a posição ocupada pelo ônibus pode ser uma evidência da seguinte situação: os ônibus, principalmente o coletivo urbano, têm rota específica e que, em geral, são vias principais da cidade onde o volume de tráfego veicular é mais alto do que nos demais logradouros. Nas vias de maior volume veicular, também é comum a regulamentação de fluxo em um único sentido. Em razão dessas circunstâncias, os motoristas dos demais tipos de veículo procuram respeitar a sinalização e transitam corretamente no sentido do fluxo. Assim, a colisão frontal com ônibus é menos frequente e o contrário ocorre com a colisão traseira.

Nesta pesquisa foram encontradas algumas semelhanças com as descobertas de ALBERTSSON e FALKMER (2005) como na colisão lateral e no capotamento (Figuras 7.116 e 7.121). Esses pesquisadores relatam que em geral os ônibus estão menos envolvidos em acidentes de trânsito em relação aos demais veículos na Europa, porém o ônibus mais está envolvido na colisão lateral e traseira. Na Europa, o capotamento com ônibus é muito raro, como também em São Carlos (Figura 7.121). Veículos pesados são mais propensos a colidirem com automóveis lateralmente, um resultado bem curioso que merece maiores investigações futuras. Duas situações mais prováveis de estarem acontecendo em São Carlos, e estabelecendo os ônibus como o mais relevante na colisão lateral, são:

- a) *o ponto de ônibus está localizado muito próximo do início ou fim da interseção, o motorista de outro veículo está prestando atenção nos movimentos que estão correndo na interseção e não observa direito o retorno do ônibus para a faixa de rolamento após o embarque e desembarque de passageiros;*
- b) *o motorista do ônibus está prestando atenção no fluxo de veículos da via principal e quando encontram uma brecha para realizar a conversão, à esquerda ou à direita, acaba colidindo com outro veículo que está tentando ultrapassá-lo.*

No primeiro caso, é comum a colisão entre ônibus e automóvel e, no segundo caso, ônibus com moto. Esses dois casos parecem ser o que realmente acontecem na cidade de São Carlos.

Na colisão transversal, imaginava-se que em primeiro seria o automóvel, seguido de motos e veículos utilitários conforme a proporção de cada tipo de veículo em relação à frota total do município. O automóvel e a moto são os mais relevantes de acordo com as RNAs, mas em terceiro é o caminhão, ao invés do utilitário (Figura 7.117). O determinante disso pode ser que, apesar dos caminhões representarem menos de 5% da frota total, há uma participação maior dos caminhões na circulação diária devido ao incremento dos caminhões de outros municípios que chegam para suprir o comércio local ou realizar carga e descarga nas indústrias da cidade.



**Figura 7.114-** Importância relativa do tipo de veículo para colisão frontal. **Figura 7.115-** Importância relativa do tipo de veículo para colisão traseira.

Para choque com objeto fixo (Figura 7.118), em ordem decrescente de relevância são: automóvel, utilitário, bicicleta, moto, caminhão e ônibus.

No acidente do tipo choque com veículo estacionado (Figura 7.119), o caminhão foi considerado o mais importante pela RNA, depois o automóvel, a bicicleta, o utilitário e por último o ônibus. O resultado evidencia que esse tipo de acidente acontece em interseções localizadas em áreas comerciais altamente adensadas. Outras possíveis explicações para o fato da variável caminhão ser mais relevante no choque com veículo estacionado são:

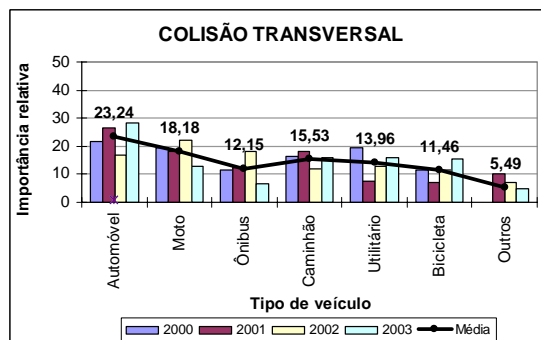
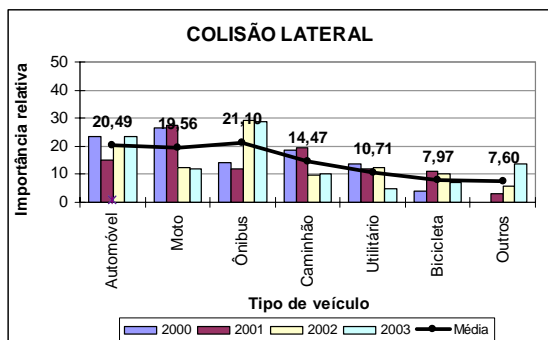
- a) as características geométricas da interseção (raio de curvatura para giro de veículos pesados, largura da via e outros);
- b) a forma de regulamentação e operação da interseção;



c) *fiscalização; e*

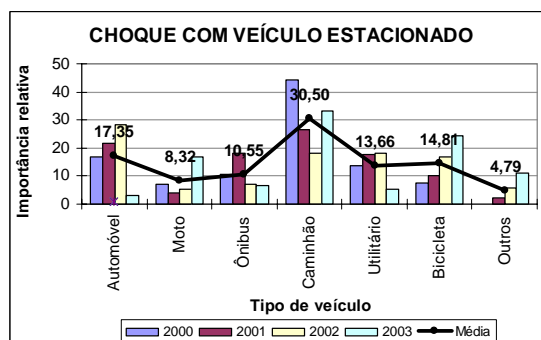
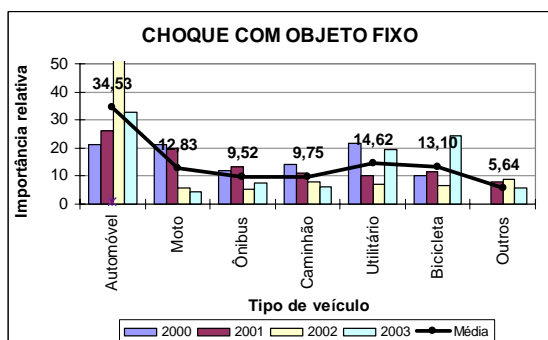
d) *outras condições específicas de cada local.*

O choque com veículo estacionado é comum em São Carlos e merece estudos mais aprofundados, como também uma comparação com outros municípios.



**Figura 7.116-** Importância relativa do tipo de veículo para colisão lateral.

**Figura 7.117-** Importância relativa do tipo de veículo para colisão transversal.



**Figura 7.118-** Importância relativa do tipo de veículo para o tipo choque com objeto fixo.

**Figura 7.119-** Importância relativa do tipo de veículo para choque com veículo estacionado.

Dentre os veículos motores, os veículos leves e mais rápidos são os mais relevantes em acidentes com um único veículo. Isso pode ser percebido nos resultados obtidos para atropelamento, capotamento, derrapagem e tombamento (Figuras 7.120 a 7.123) onde o automóvel, o utilitário e a moto são apontados como mais relevantes e, por outro lado, o ônibus e o caminhão os menos relevantes. O menos relevante ainda é a bicicleta para esses tipos de acidentes, possivelmente seja devido a forma com que o acidente com ciclista é registrado nos Boletins de Ocorrência. O capotamento, a derrapagem e o tombamento com bicicleta são registrados somente quando o ciclista sofre alguma lesão grave e é encaminhado

para alguma unidade hospitalar, mesmo assim não são, em geral, registrados como acidente de trânsito e sim como queda do ciclista. Nos casos de atropelamento do pedestre pelos ciclistas, em geral, as lesões sofridas pelos pedestres são leves, implicando no não registro pela autoridade policial.

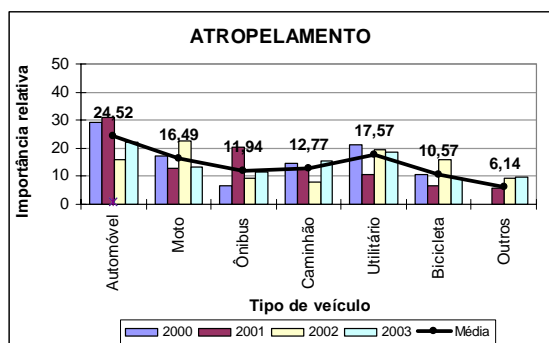


Figura 7.120- Importância relativa do tipo de veículo para atropelamento.

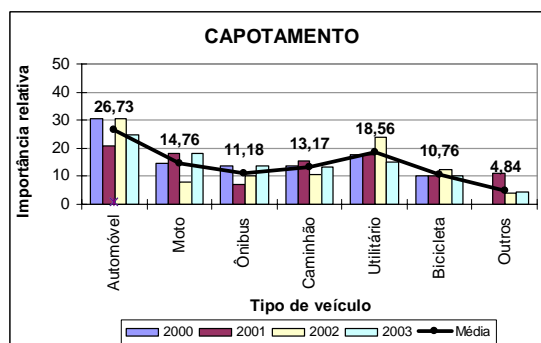


Figura 7.121- Importância relativa do tipo de veículo para capotamento.

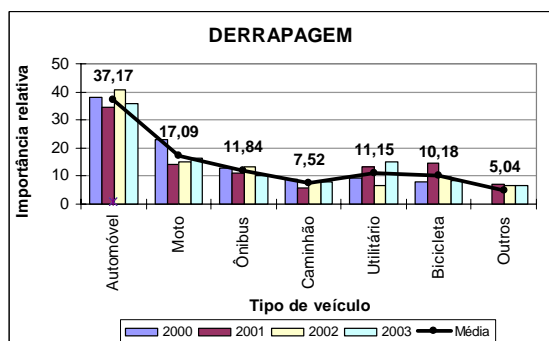


Figura 7.122- Importância relativa do tipo de veículo para derrapagem.

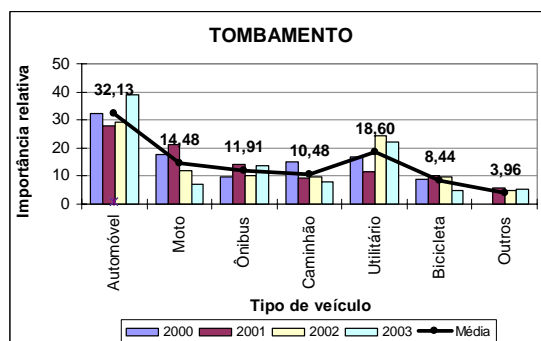


Figura 7.123- Importância relativa do tipo de veículo para tombamento.

Pela Figura 7.124, pode-se perceber que o automóvel e o utilitário são os de maior destaque no engavetamento. Esse resultado já era esperado uma vez que as outras redes neurais haviam realçado algumas características que levam ao pressuposto de que os veículos leves, principalmente o automóvel, sejam mais importantes por serem mais utilizados em todos os dias da semana. Os veículos de duas rodas são os de menor destaque no engavetamento.

O automóvel, o utilitário e o caminhão foram constatados como mais relevantes para todos acidentes ocorridos na interseção (Figura 7.125). A mesma situação é apresentada pela RNA para cada severidade (Figuras 7.126 e 7.127). Nos acidentes com somente dano

material foi encontrado que os automóveis se envolvem mais neste tipo de severidade, depois o utilitário, em seguida o caminhão, a bicicleta, a moto e o, menos envolvido de todos, ônibus. Já, para acidentes com vítima, imaginava-se que a RNA apresentasse a moto em segundo lugar ao invés do utilitário, pois IPEA (2003) revelara em seu estudo que a moto é o tipo de veículo que mais gera vítima quando envolvida em acidente. Contudo, caso aqui estudado, talvez o utilitário e o caminhão sejam realmente mais relevantes que a moto por se tratar apenas de acidentes em interseções.

Igualmente a São Carlos, estatísticas da EMDEC (2003) e da TRANSERP (2002) revelam que, tanto em Campinas como em Ribeirão Preto, o automóvel tem maior participação nos dois tipos de severidade. Porém o tipo de veículo que em segundo lugar mais se envolve em acidentes é diferente para esses dois municípios. O utilitário aparece em segundo lugar tanto em Ribeirão Preto quanto em São Carlos nos acidentes sem vítimas, mas em Campinas é o ônibus. Em acidentes com vítimas, o ônibus é um dos meios de transporte mais seguro nos três municípios comparados, como também em São Paulo (CET, 2000).

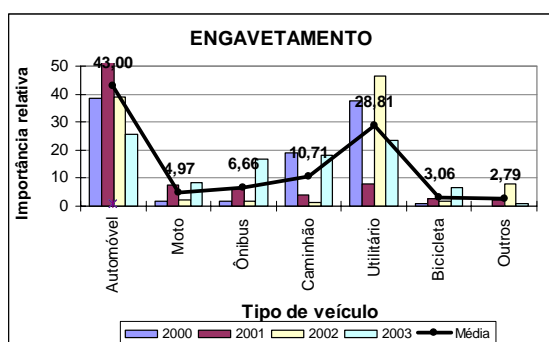


Figura 7.124- Importância relativa do tipo de veículo para engavetamento.

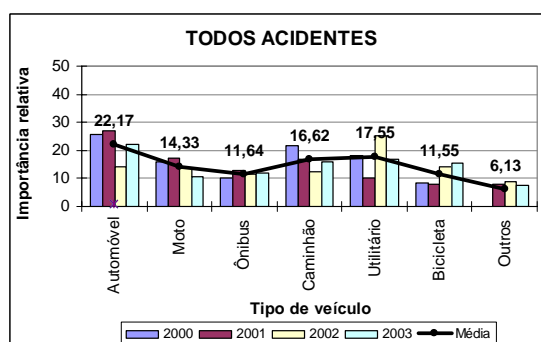


Figura 7.125- Importância relativa do tipo de veículo para todos acidentes.

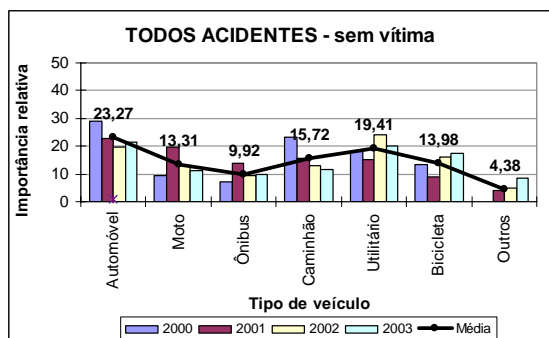


Figura 7.126- Importância relativa do tipo de veículo para acidente sem vítima.

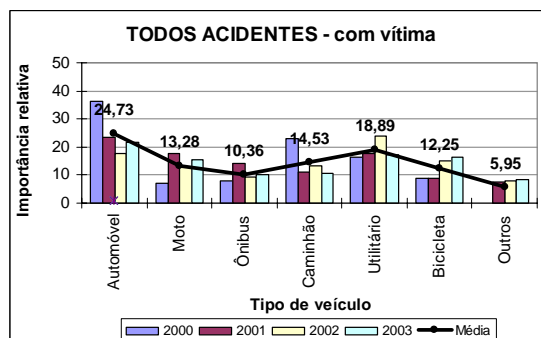


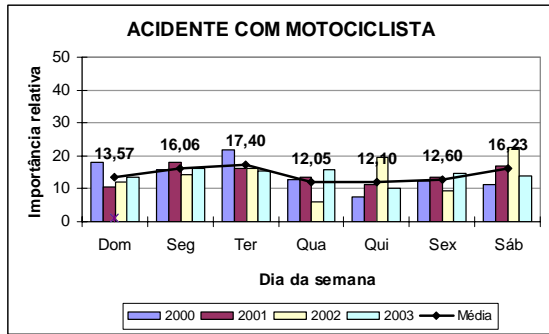
Figura 7.127- Importância relativa do tipo de veículo para acidente com vítima.

### **7.1.10 Acidente envolvendo moto**

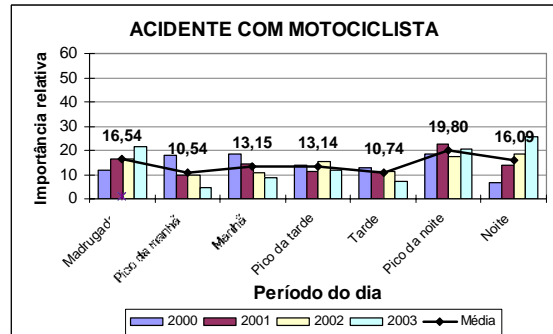
A frota de motos vem aumentando significativamente ano a ano, conseqüentemente o número de acidentes envolvendo esse tipo de veículo também tem aumentado. O mais grave é que quase todos os acidentes com motos resultam em vítimas. Por exemplo, para o ano de 2000 mais de 90% das mortes no trânsito em Campinas foram de motociclistas, embora as motos representassem menos de 10% do número total de veículos que circulavam no município (QUEIROZ e OLIVEIRA, 2002). Assim, nesta pesquisa, além dos estudos realizados para cada tipo de acidente, foi averiguado se há um padrão para acidentes envolvendo moto. As Figuras 7.128 a 7.131 mostram os resultados extraídos pelas RNAs para os acidentes com moto: dia da semana, período do dia, idade do motociclista e a fabricação da moto.

Conforme Figuras 7.128 e 7.129, nota-se que as ocorrências de acidentes com motos estão concentradas no final de semana e nos dois primeiros dias da semana, no período noturno. Como São Carlos não tem serviço de moto-táxi, pelos resultados encontrados levam a crer que boa parte dos motociclistas se envolve em acidente na condição de *motoboys*, uma categoria profissional em expansão em cidades de porte médio ou grande. O mais preocupante é que a maioria das vítimas é motociclistas jovens, de 18 a 34 anos (Figura 7.130), mesma situação encontrada em outras cidades brasileiras (CET, 2000; TRANSERP, 2002; EMDEC, 2003) e nas cidades européias (ECMT, 2000).

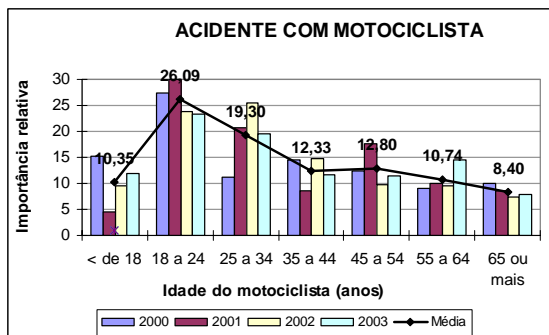
A RNA atribuiu maior peso para motos com fabricação até 05 anos e depois para 06 a 10 anos. A soma dos pesos desses dois grupos representa mais de 50% do total. Pelo gráfico da importância relativa da idade de uso da moto, ou melhor, tempo de fabricação, pode-se indiretamente deduzir e considerar que a maior parte da frota de motos em São Carlos tem até 10 anos (Figura 7.131).



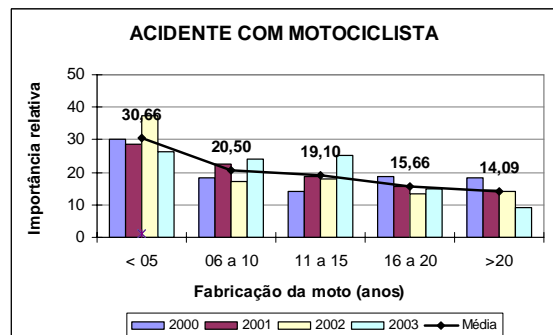
**Figura 7.128-** Importância relativa do dia de semana para acidente com moto.



**Figura 7.129-** Importância relativa do horário para acidente com moto.



**Figura 7.130-** Importância relativa da idade do motociclista para acidente com moto.



**Figura 7.131-** Importância relativa do ano de fabricação da moto.

### 7.1.11 Acidente envolvendo bicicleta

Os ciclistas são usuários vulneráveis no trânsito e merece maior atenção por parte da autoridade de trânsito, pois quando envolvidos em acidentes resultam quase sempre em vítimas. Assim, nesta pesquisa foram analisados alguns fatores que podem estar contribuindo no acidente com ciclista. As variáveis analisadas são: dia da semana, horário do dia, idade do motorista, hierarquia da via e o adensamento do solo. Os três primeiros fatores são para poder comparar São Carlos com outros municípios e os outros dois fatores na tentativa de traçar as rotas preferidas pelos ciclistas.

As Figuras 7.132 e 7.133 revelam que acidentes com ciclistas são mais frequentes na segunda e sexta-feira com maiores incidências nos horário de pico da noite. Pelos resultados desses dois fatores, apesar de não se ter dados de volume diário médio de tráfego de cada dia da semana e muito menos de hora em hora, leva ao pressuposto que há outros

fatores mais determinantes em acidentes com ciclistas como o volume veicular e a iluminação. O conflito entre veículos e ciclistas aumenta com o aumento da frota circulando e conseqüentemente as possibilidades de acidentes se elevam. O tipo de iluminação tem relação com a condição de visibilidade e, por conseguinte, à noite é mais difícil para os motoristas notarem a presença de ciclistas. Uma das principais dificuldades de visualizar os ciclistas é que eles não utilizam roupas refletivas e suas bicicletas também não têm adesivos refletivos ou iluminação, apregoados pelo Código de Trânsito Brasileiro.

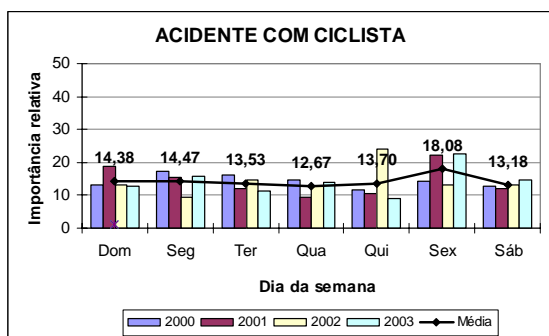


Figura 7.132- Importância relativa do dia de semana para acidente com ciclista.

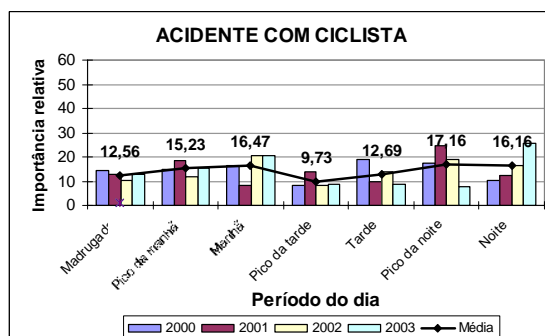


Figura 7.133- Importância relativa do horário para acidente com ciclista.

A ordem de classificação da importância de cada faixa etária do ciclista difere a cada ano, mas pode-se perceber, pela Figura 7.134, que os ciclistas mais vulneráveis são os adolescentes, logo em seguida as crianças. Jovens até 17 anos também são os ciclistas mais vulneráveis nos países da União Européia (ECMT, 2000).

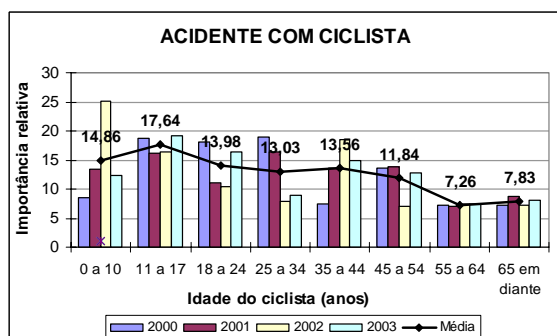


Figura 7.134- Importância relativa da idade do ciclista.

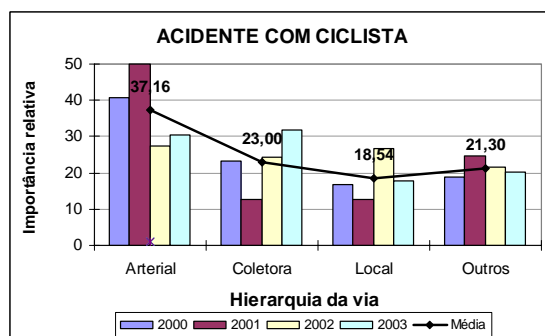
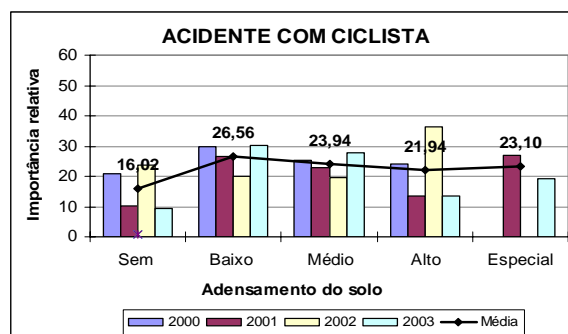


Figura 7.135- Importância relativa da hierarquia da via no acidente com ciclista.

O adensamento do solo parece não ter muita relação com acidentes envolvendo ciclistas, ao contrário da hierarquia da via (Figuras 7.135 e 7.136). Tanto ciclistas quanto os motoristas parecem ter o mesmo desejo de transitar por vias arteriais onde não necessitem fazer muitas paradas em interseções.



**Figura 7.136-** Importância relativa do adensamento do solo para acidente com ciclista.

## 7.2 Viabilidade do uso de RNA na predição de acidentes

Além do trabalho de extração de padrões de acidentes que ocorreram no período de 2000 a 2003 nas interseções urbanas de São Carlos, nesta pesquisa também foi realizada uma reavaliação da relevância dos fatores contribuintes em cada tipo de acidente, desconsiderando-se as variáveis que apresentaram o mesmo padrão em praticamente todos os tipos de acidentes tais como tipo de iluminação, sinalização e adensamento do solo. As sete variáveis escolhidas para o novo modelo visando a análise da importância relativa foram o dia da semana, horário, hierarquia da via, veículos envolvidos, idade dos motoristas e pedestres e a condição meteorológica. Os valores das importâncias relativas de cada variável, obtidos pelo modelo da RNA estão listados na Tabela 7.1.

Percebe-se que no atropelamento a idade do pedestre é o fator mais relevante, porém quando são considerados os demais tipos de acidentes, este fator se torna menos relevante em relação aos demais fatores. O tipo de veículo é o fator mais importante para os casos de tombamento, colisão transversal, traseira, choque com objeto fixo e também nos modelos que consideram todos os acidentes. Para o engavetamento, a hierarquia da via é o fator mais importante, em seguida a idade do motorista. Para o capotamento e a colisão lateral, o

fator idade dos motoristas é o mais relevante. Um resultado curioso é o caso da colisão frontal, onde o horário é o fator mais importante, merecendo mais investigações no futuro.

Os trabalhos de ABDEL-ATY *et al.* (2005) e ABDEL-ATY e KELLER (2005) apresentam a importância relativa dos fatores contribuintes nos acidentes em interseções, mas não foi possível fazer uma comparação entre os resultados desses dois trabalhos com os obtidos nesta pesquisa, pois as variáveis analisadas por aqueles pesquisadores são diferentes das variáveis aqui utilizadas.

Na predição de acidentes, o interessante é que os modelos de RNA predizem corretamente o número de atropelamentos, no entanto para os demais tipos de acidentes as RNAs apresentaram resultados muito ruins se comparado com a quantidade de cada tipo de acidente em 2003 e que foram utilizadas como exemplos de teste. Apesar do erro médio alcançado na fase de treinamento ser entorno de 5%, pelos resultados apresentados pela RNA na fase de teste, percebe-se que somente com as variáveis utilizadas nesta pesquisa não foram suficientes para que a RNA realizasse uma predição eficiente do número de acidentes em cada tipo de acidente. As características das colisões traseiras são as mesmas da colisão transversal, assim como as da colisão lateral e frontal. Percebe-se também que as características dos acidentes do tipo engavetamento também são muito semelhantes com os da colisão traseira, assim como as do choque com o veículo estacionado são muito parecidos com os da colisão transversal.



**Tabela 7.1-** Importância relativa das variáveis independentes em cada tipo de acidente pela RNA

VARIÁVEL	ATROPE- LAMENTO	CAPOTA- MENTO	DERRA- PAGEM	ENGAVE TAMEN- TO	TOMBA- MENTO	COLISÃO LATER.	COLISÃO TRASNV.	COLISÃO FRONT.	COLISÃO TRASEI.	CHOQUE OBJETO FIXO	CHOQUE VEIC. ESTAC.	TODOS
Dia da semana	0,0912	0,1613	0,0475	0,1166	0,1960	0,1960	0,0650	0,1221	0,0886	0,00410	0,2440	0,0840
Período do dia	0,0721	0,1337	0,04629	0,0268	0,1236	0,0973	0,1893	0,2410	0,0944	0,0341	0,1511	0,0445
Hierarquia da via	0,2237	0,1198	0,1291	0,2512	0,1099	0,1275	0,1136	0,2132	0,0893	0,0676	0,1769	0,1770
Tipo de veículo	0,0905	0,2449	0,1579	0,1940	0,4396	0,1880	0,3233	0,1625	0,5917	0,6872	0,1293	0,2289
Idade do motorista	0,2410	0,3131	0,1220	0,2495	0,1012	0,2069	0,1536	0,1199	0,0842	0,1471	0,1590	0,1060
Idade do pedestre	0,2530	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0789
Condição Meteorológica	0,0284	0,0271	0,0805	0,1619	0,1475	0,1844	0,01550	0,1413	0,0518	0,0229	0,1396	0,2798

## 8 CONCLUSÃO

---

A rede neural artificial – RNA - foi a ferramenta utilizada para analisar os acidentes de trânsito que ocorreram nas interseções urbanas de São Carlos. Além do motivo da RNA ter sido pouco utilizada por outros pesquisadores na extração de padrões de acidentes e na verificação da importância relativa dos fatores contribuintes nos acidentes de trânsito, a outra razão do emprego desta ferramenta fundamenta-se na não necessidade de conhecer, *a priori*, as relações entre as variáveis.

Acidentes de trânsito são fenômenos complexos, com múltiplas causas que variam de acordo com as condições específicas. Avaliar os acidentes que ocorreram em interseções urbanas requer uma abordagem diferente daquelas observadas em outros locais, pois há diferenças consideráveis nos padrões de acidentes e riscos. Comparar taxas e padrões de acidentes em diferentes interseções é complicado devido aos diferentes elementos que compõem o ambiente viário e que podem interferir na segurança do trânsito que raramente podem ser explicadas por poucas variáveis. Por outro lado, uma análise descritiva nos permite visualizar melhor a distribuição dos valores das variáveis registradas pelas autoridades.

Os padrões de acidentes variam muito em função do tipo de acidente e severidade como também de ano em ano. De maneira geral, os padrões de acidentes encontrados nesta pesquisa tem muita semelhança com os padrões encontrados nos estudos realizados por outros pesquisadores como LASCALA *et al.* (2000), ALBERTSSON e FALKMER (2005), GEURTS *et al.* (2005), LEE e ABDEL-ATY (2005), YAN *et al.* (2005) e com aqueles encontrados nos relatórios estatísticos da CET (2000), TRANSERP (2002) e EMDEC (2003).

Conforme resultados apresentados pela RNA, pode-se dizer que os atropelamentos são mais frequentes nos dias úteis da semana, no horário de pico da noite com tempo bom, em interseções com semáforo formadas por vias arteriais que passam por zonas de médio e alto adensamento do solo. Os motoristas jovens de 18 a 34 anos são os que mais se envolvem em

atropelamentos, enquanto que os jovens de até 17 anos e os idosos com 65 anos ou mais são os mais vulneráveis como pedestres.

Os capotamentos são mais frequentes na madrugada de domingo em interseções situadas em áreas sem adensamento do solo. Os valores da relevância de uma faixa etária do motorista em relação demais faixas etárias não variam muito para o capotamento, ou seja, o capotamento tem mais relação com outros fatores que com a idade dos motoristas.

As derrapagens são mais frequentes no final de semana em dias chuvosos, em interseções formadas com pelo menos uma via arterial localizadas em áreas não adensadas, sendo que é mais frequente com adultos de 25 a 34 anos e não há um determinado horário do dia que esse tipo de acidente é mais frequente.

Os engavetamentos são mais frequentes nas sextas-feiras e nos sábados, nos horários de pico da manhã e em interseções formadas por vias arteriais ou coletoras localizadas em zonas de alto adensamento. A participação de motoristas com 65 anos ou mais foi considerada pouco significativa no engavetamento, mas jovens de 18 a 34 anos foram considerados pela RNAs como muito relevantes.

Acidentes do tipo choque com objeto fixo aconteceram mais em madrugadas dos finais de semana em interseções sem nenhum tipo de sinalização. A maior parte dos choques com objetos fixos foi com motoristas jovens de 18 a 34 anos. Por outro lado, choques com veículos estacionados ocorrem mais frequentemente no dia útil da semana no período da manhã em interseções localizadas em áreas de alto adensamento, sendo que motoristas mais jovens de 18 a 24 anos ou idosos com 65 anos ou mais são os que mais se envolveram neste tipo de acidente. O primeiro tipo de choque parece estar mais relacionado com as atividades de lazer das pessoas como ir a uma boate, o segundo tipo de choque está mais relacionado com as habilidades dos motoristas. Outro dado curioso é que o caminhão está presente na maioria dos acidentes do tipo choque com veículo estacionado.

Comparando-se os quatro tipos de colisão, é interessante notar que existem diferenças significativas nos padrões apresentados pela RNA em cada um deles. Os dias úteis são mais relevantes para a colisão lateral, traseira e transversal, mas para a colisão frontal é o domingo. Em relação ao horário, o pico da tarde é mais importante para as colisões lateral e traseira, o período da manhã e o da noite são, respectivamente, mais relevantes para a colisão transversal e a frontal. Com exceção das colisões frontais serem mais frequentes em interseções localizadas em áreas sem adensamento, os demais tipos de colisões ocorrem em

áreas bem adensadas onde o controle de tráfego da interseção é realizado por placa de regulamentação de parada obrigatória ou semáforo. Padrão que chama atenção nos quatro tipos de colisões é quanto ao tipo de veículo. Os resultados da RNA indicam a necessidade de mais investigações para compreender melhor as causas que levam as motos e bicicletas se envolverem tanto em colisão frontal e os ônibus em colisão lateral.

Considerando todos os acidentes, análise global, não há um dia da semana que seja muito mais importante que os demais dia da semana, assim como um horário que se destaca em relação aos demais horários. Os acidentes em geral são mais frequentes em dias com boas condições meteorológicas, nas interseções formadas com pelos menos uma via arterial situadas em áreas com alto adensamento do solo, isto é, em interseções localizadas em áreas com grande concentração de atividades comerciais e conseqüentemente com muitos conflitos no trânsito devido ao alto volume de tráfego e distintos desejos dos usuários da via.

Já para acidentes graves com vítimas, as RNAs indicam que os motoristas de 18 a 34 anos dirigindo um automóvel na madrugada de domingo, passando por interseções sem sinalização situadas em áreas de baixo adensamento, estão mais propensos a se envolverem em acidente graves com vítimas.

A determinação das importâncias relativas das variáveis nos diferentes tipos de acidentes pela RNA permite discernir a influência de cada fator em cada tipo de acidente. Sabe-se que os fatores que influenciam na ocorrência de acidentes são inúmeros, tais como aqueles estudados por ABDEL-ATY *et al.* (2005) e ABDEL-ATY e KELLER (2005), como os fatores que foram empregados neste estudo e outros. Além do objetivo principal de extração de padrões de acidente através da RNA, foram escolhidas sete variáveis para serem empregadas na verificação da importância relativa destas em cada tipo de acidente. As sete variáveis escolhidas são: dia da semana, horário, hierarquia da via, tipo de veículo, idade do motorista e do pedestre e a condição meteorológica. O tipo de veículo é a variável considerada mais importante para os acidentes do tipo colisões traseira e transversal, choque com objeto fixo, tombamento e quando consideramos todos tipos de acidentes. Dia da semana é a variável mais relevante para a derrapagem e o choque com veículo estacionado. A hierarquia da via tem maior influência no caso do engavetamento. A idade do motorista tem maior influência no capotamento e na colisão lateral, mas é a idade do pedestre com maior influência no atropelamento.

Nesta pesquisa foi constatado que a RNA é uma ferramenta eficaz para classificação e a extração de padrões de acidentes. No entanto, para predição de acidentes a

RNA não apresentou resultados satisfatórios. O mau desempenho da RNA está relacionado com o número e os tipos de variáveis escolhidas para esta pesquisa, ou seja, usando somente as variáveis contidas no banco de dados relacional de acidentes de São Carlos não foram suficientes para que as RNAs pudessem fazer uma boa predição do número de acidentes em cada tipo. Isso pode ser observado quando se comparam os acertos para o caso do atropelamento e para demais tipo de acidentes. A RNA acertou 100% dos casos de atropelamentos, mas em outros tipos de acidente tiveram até 100% de diferença quando comparada com a realidade de 2003. Para o atropelamento, acredita-se que a variável idade do pedestre foi o diferencial para que a RNA acertasse todos os exemplos de teste. Nos demais casos, mesmo que na fase de treinamento a RNA tenha aprendido bem, apresentando erro médio muito próximo de 5%, percebe-se que só isso não é suficiente para que a RNA faça boa predição de acidentes por tipo tem que haver uma variável que seja o diferencial em cada tipo de acidente.

De uma forma geral, a habilidade dos modelos de RNA para a previsão dos acidentes de trânsito está relacionada a três fatores mencionados por MUSSONE *et al.*, (1999) que são a escolha das variáveis, qualidade das informações com mínimo de erro, e o grau de aleatoriedade dos acidentes. Esses três fatores explicam o mau desempenho da RNA para a previsão do número de acidentes em cada tipo de acidente estudado nesta pesquisa. Quando os acidentes possuem alguma variável do tipo estocástico, a natureza determinística da RNA não assegura a relevância do erro do modelo.

Da mesma forma que CUCCI NETO E WAISMAN (1999), RAIJA JR. e SOUZA (2000), MINISTERIO DOS TRANSPORTES (2002) e muitos outros pesquisadores indicavam a urgente necessidade de melhorar a maneira de registrar os acidentes de trânsito, nesta pesquisa também foi constatada essa mesma necessidade. Diversos problemas foram encontrados nos dados de acidentes registrados no banco relacional de acidentes de São Carlos. Os problemas encontrados com maior frequência foram:

- quanto ao preenchimento dos formulário - por exemplo, do total de acidentes ocorridos em interseções no ano de 2000, apenas 25% dos acidentes tinham o item sexo dos motoristas devidamente preenchidos;
- quanto a classificação do tipo de acidente - por exemplo, muitos acidentes que tiveram o envolvimento de três ou mais veículos estavam registrados como colisão traseira ao invés

de engavetamento em desconformidade com a NBR 10.697 da ABNT (1989) e recomendações do MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES (2002);

- quanto a idade do ciclista - esta informação está registrada no campo idade do motorista. Só se fica sabendo que a idade descrita no campo idade do motorista na verdade trata-se da idade do ciclista quando é observado junto com o campo veículos envolvidos e neste aparece bicicleta;
- quanto a homogeneidade das informações - por exemplo a colisão transversal, em alguns acidentes está registrado com essa denominação em outros como abalroamento.

As deficiências encontradas no banco de dados relacional de acidentes de São Carlos são os mesmos daqueles encontrados nos BOs preenchidos pela Polícia Militar, constatando-se que é indispensável e urgente ter programas de treinamento dos policiais e agentes de trânsito responsáveis pelo atendimento e preenchimento dos BOs para que se possa ter informações e estatísticas de acidentes de trânsito confiáveis.

Além de reforçar a necessidade urgente de melhorar a forma de registro dos dados de acidentes, recomendam-se algumas alterações no banco relacional de acidentes de São Carlos. A primeira alteração seria acrescentar um campo distinto para registrar a idade do ciclista para que essa informação não seja registrada no campo idade do motorista, o que facilitaria a tarefa de análise de dados. A segunda alteração seria quanto ao acréscimo de outras informações que ainda não existem no banco de dados relacional de acidentes como a escolaridade dos motoristas, se o motorista é ou não habilitado e se sim, há quanto tempo, e outras informações dos BOs policiais. Por outro lado, recomenda-se também a criação de um banco de dados com outras informações que não constam nos boletins policiais, mas que são imprescindíveis na compreensão das causas dos acidentes como as características geométricas da via, volume de tráfego diário médio, limite de velocidade regulamentada para a via e a velocidade média desenvolvida pelos veículos, se o motorista está embriagado ou não etc.

A realização de outras pesquisas mais aprofundadas na área de segurança viária é necessária para que se possa ter uma melhor compreensão dos fenômenos tão complexos como os acidentes de trânsito. Percebe-se que na cidade de São Carlos, por exemplo, aconteceram muitos acidentes em interseções sem nenhuma sinalização. Até que ponto a falta de dispositivos de controle de tráfego nas interseções influenciam de forma negativa na segurança viária é um assunto que deve ser estudado mais a fundo, pois não é possível afirmar se a inexistência da sinalização foi um fator contribuinte de muitos acidentes que ocorreram

nesta cidade. Outro exemplo é o choque com veículo estacionado, esse tipo de acidente não parece ser comum nas demais cidades brasileiras. Quais são os fatores que estão contribuindo para que esse tipo de acidente seja freqüente na cidade de São Carlos ainda é uma incógnita.

Para futuras pesquisas relacionadas com a segurança viária, em especial acidentes de trânsito, ficam registradas as seguintes sugestões:

- estudo comparativo entre os resultados da estatística descritiva com os encontrados pela RNAs para acidentes em interseções urbanas;
- trabalho comparativo com a aplicação de dois ou mais *softwares* de RNA diferentes para um mesmo banco de dados de acidentes. Exemplos, *EasyNN-Plus* com MATLAB, *EasyNN-Plus* com SNSS, etc.;
- utilização de RNA para análise da importância relativa de fatores intervenientes em acidentes que ocorreram fora das interseções urbanas (pátio de estacionamento, meio da quadra etc.);
- análise da importância de outros fatores intervenientes nos acidentes que não estão registrados no banco de dados relacional de acidentes, tais como: volume veicular médio, largura da via, número de faixas de rolamento, distância de visibilidade, via de mão única ou dupla, via de transporte coletivo, presença e o tipo de pólo gerador de tráfego, etc.;
- verificação dos padrões de acidentes e predição dos mesmos através da RNA, acrescentando outras variáveis, além das que estão atualmente registradas no banco de dados relacional de acidentes de São Carlos e daquelas incorporadas neste trabalho.

Por fim recomenda-se que sejam incentivados o uso do transporte coletivo e outros modos de transporte não motorizados com o objetivo de não só diminuir o número de acidentes, mas também a gravidade dos mesmos. O ônibus apresentou o menor valor de importância relativa em quase todos os tipos de acidentes, indicando que esse tipo de veículo envolve-se menos em acidentes.

## 9 REFERÊNCIAS

---

- ABDEL-ATY, M.; KELLER, J. Exploring the overall and specific crash severity levels at signalized intersections. *Accident Analysis and Prevention*, v. 37, n. 3, p. 417-425, mai. 2005.
- ABDEL-ATY, M.; KELLER, J.; BRADY, P. A. Analysis of the type of crashes at signalized intersections using complete crash data and Tree-Based Regression. In: *Transportation Research Board*, 84th Annual Meeting, 2005. CD ROM.
- ABDULHAI, B.; TABIB, S. Spatio-temporal inductance-pattern recognition for vehicle re-identification. *Transportation Research - Part C: Emerging Technologies*, v. 11, n. 3-4, p. 223-239, 2003.
- ABDULHAI, B.; RITCHIE, S. Enhancing the universality and transferability of freeway incident detection using a Bayesian-based neural network. *Transportation Research - Part C: Emerging Technologies*, v. 7, n. 5, p. 261-280, 1999.
- AKIYAMA, T.; KOTANI, Y.; SUZUKI, T. Practical estimation of traffic accidents at intersections by neural network. Disponível em: <<http://www.gifu-uc.ac.jp/~ceip/English/A08-2000-ISTWC.pdf>>. Acesso em: 24 ago. 2005.
- ALBERTSSON, P.; FALKMER, T. Is there a pattern in European bus and coach incidents? A literature analysis with special focus on injury causation and injury mechanisms. *Accident Analysis and Prevention*, v. 37, n. 2, p. 225-233, 2005.
- ALSOP, J. e LANGLEY, J. Under-reporting of motor vehicle traffic crash victims in New Zealand. *Accident Analysis and Prevention*, v.33, n. 3, p. 353-359, 2001.
- ANDRADE, N. P.; ANDRADE, J. P.; ARAÚJO, H. K. P. N. A diferença entre estatísticas de acidentes de trânsito e a realidade das vias. *Revista dos Transportes Públicos*. São Paulo, ANTP, ano 27, n. 104, p. 95-104, 2004.
- ANDRADE, S. M. e MELLO-JORGE, M. H. P. Acidentes de transporte terrestre em cidades da Região Sul do Brasil: avaliação da cobertura e qualidade dos dados. *Caderno de Saúde Pública*, Rio de Janeiro, n.17, p. 1449-1456, nov. - dez. 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *Pesquisa de Acidentes de Trânsito – terminologia*. NBR 10.697, 1989. 10p.



- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES - ANFAVEA. *Anuário estatístico da Indústria Automobilística Brasileira 2002*. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br>>. Acesso em: 30 nov. 2004.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS - ANTP. *Transporte Humano: Cidades com Qualidade de Vida*. 2ª edição. São Paulo: ANTP, 1999. 312p.
- AWAD, W. H.; JANSON, B.N. Prediction models for truck accidents at freeway ramps in Washington State using regression and artificial intelligence techniques. *Transportation Research Records*, v. 1635, p. 30-36, 1998.
- BANCO MUNDIAL. Urban Transport Safety and Security. In: \_ “*Cities on the Move - A World Bank Urban Transport Strategy Review*”, 2002. 232p. Disponível em: <<http://www.worldbank.org/transport/utover.htm>>. Acesso em: 30 maio 2003.
- BARROS, A. J. D.; AMARAL, R. L.; OLIVEIRA, M. S. B.; LIMA, S. C. e GONÇALVES, E. V. Acidentes de trânsito com vítimas: sub-registro, caracterização e letalidade. *Caderno de Saúde Pública*, Rio de Janeiro, n.19, p. 979-986, jul-ago. 2003.
- BÉDARD, M.; GUYATT, G. H.; STONES, M. J.; HIRDES, J. P. The independent contribution of driver, crash, and vehicle characteristics to driver fatalities. *Accident Analysis and Prevention*, v. 34, n. 6, p. 717-727, 2002.
- BLACK, W. R. Spatial interaction modeling using artificial neural network. *Journal of Transport Geography*, v. 3, n. 3, pp. 159-166, 1995.
- BLOWS, S.; AMARETUNGA, S.; IVERS, R. Q.; KAI LO, S.; NORTON, R. Risky driving habits and motor vehicle driver injury. *Analysis and Prevention*, v. 37, n. 4, p. 619-624, 2005.
- BRAGA, A. P.; CARVALHO, A. P. L.; LUDERMIR, T. B. *Fundamentos de Redes Neurais Artificiais*. Rio de Janeiro: DCC/IM, COPPE/Sistemas, NCE/ UFRJ, 1998.
- BRASIL. Ministério da Justiça. Lei Federal nº 9.503, de 23 de setembro de 1997, institui o *Código de Trânsito Brasileiro*. Diário Oficial da União, Brasília, 24 set. 1997.
- BRASIL. Ministério da Saúde. *Indicadores e Dados Básicos –Brasil 2002*. Brasília, 2002a. Disponível em: <[http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/idb2002/grupo\\_DXLS](http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/idb2002/grupo_DXLS)>. Acesso em: 01 jun. 2005.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Projeto Promoção da Saúde. Programas de Redução da Morbimortalidade por Acidentes de Trânsito: Mobilizando a Sociedade e Promovendo a Saúde. Informe Técnico Institucional. *Revista de Saúde Pública*, Rio de Janeiro, n. 36, p. 114-117, 2002b.
- BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. *Projeto Avança Brasil*. Brasília, 2003. Disponível em: <<http://www.abrasil.gov.br>>. Acesso em: 01 jun. 2005.
- BRASIL. Ministério das Cidades. *Trânsito, questão de cidadania*. Caderno 7. 84p. Brasília, 2004a. Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br/index.php?option=content&task=category&id=414>> [7TrânsitoQuestaoCidadania.pdf]. Acesso em: 01 jun. 2005.

- BRASIL. Ministério das Cidades. *Política Nacional de Mobilidade Urbana Sustentável*. Caderno 6. 72p. Brasília, nov. 2004b. Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br/index.php?option=content&task=category&id=4147>>[6PoliticaNacionalMobilidadeUrbanaSustentavel.pdf]. Acesso em: 01 jun. 2005.
- BRASIL. Ministério da Justiça. *Resolução nº 166, de 15 de setembro de 2004*, que aprova as diretrizes da Política Nacional de Trânsito. Brasília, Conselho Nacional de Trânsito, 2004c. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/download/resolucoes/resolucao166-04.doc>>. Acesso em: 01 jun.2005.
- BRONDINO, N. C. M. *Estudo da influência da acessibilidade no valor de lotes urbanos através do uso de redes neurais*. Tese de doutorado em Engenharia de Transportes. Escola de Engenharia de São Carlos – EESC, Universidade de São Paulo - USP. São Carlos, 1999. 145p.
- CARDOSO, G. *Utilização de um Sistema de Informações Geográficas visando o Gerenciamento da Segurança Viária no Município de São José-SC*. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1999. 134p.
- CARNEIRO, L. G. L. *Metodologia para previsão de demanda de passageiros para o transporte rodoviário interestadual por ônibus*. Dissertação de mestrado em Engenharia de Transportes. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília – Unb. Brasília, 2005.
- CARSTENSEN, G. The effect on accident risk of a change in driver education in Denmark. *Analysis and Prevention*, v. 34, n. 1, p. 111-121, 2002.
- CARVALHO, M. C. M. de. Previsão de demanda de transportes: uma abordagem não-linear usando Redes Neurais. In: XIII CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES. *Anais*. São Carlos: ANPET, 1999, v. 1, p. 187-200.
- CASTRO, G. C. de. O impacto do Novo Código de Trânsito nos universitários cariocas: como mudaram a forma de dirigir e como o encaram. In: XIII CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES. *Anais*. São Carlos: ANPET, 1999, v. 2, p. 57-65.
- COMPANHIA DE ENGENHARIA DE TRÁFEGO - CET. *Fatos e Estatísticas de Acidentes de Trânsito 2000*. São Paulo: Companhia de Engenharia de Tráfego-CET, 2000, 48p.
- CHEN, H.; BELL, M. Instrumented city database analyses using multi-agents. *Transportation Research - Part C: Emerging Technologies*, v. 10, p. 419-432, 2002.
- CHEN, H.; GRANT-MULLER, S. Use of sequential learning for short-term traffic flow forecasting. *Transportation Research - Part C: Emerging Technologies*, v. 9, n. 5, p. 319-336, 2001.
- CIRCUNSCRIÇÃO REGIONAL DE TRÂNSITO -CIRETRAN. *Frota de veículos de São Carlos, 1997-2003*. Departamento de Trânsito do Estado de São Paulo – DETRAN /SP. 26º Circunscrição Regional do Trânsito. São Carlos, 2004.

- COSTA, A.; MARKELLOS, R. N. Evaluating public transport efficiency with neural network models. *Transportation Research – Part C: Emerging Technologies*, v. 5, n. 5, p. 301-312, 1997.
- CUCCI NETO, J.; WAISMAN, J. Aplicações da Engenharia de Tráfego na segurança dos pedestres. In: XIII CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES. *Anais*. São Carlos: ANPET, 1999, v. 1, p. 535-545.
- DATTA, T. K.; FEBER, D.; SCHATTLER, K.; DATTA, S. Low cost treatments result in effective safety improvements. In: *Transportation Research Board, 79<sup>th</sup> Annual Meeting*, 2000. CD ROM.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DO TRÂNSITO - DENATRAN. Ministério dos Transportes. *Manual de semáforos*. 2<sup>o</sup> edição. Brasília: DENATRAN, 1984. 169p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DO TRÂNSITO - DENATRAN. Ministério da Justiça. *Manual de Municipalização do Trânsito*. Roteiro para a Implantação. Brasília: DENATRAN, 2000a. 48p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DO TRÂNSITO – DENATRAN. Ministério dos Transportes. *Instrução Básica de Estatística de Trânsito*. Manual SINET. Brasília: DENATRAN, 2000b. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/Instrução%20Basica%20de%20Estatistica%20de%20Transito/index.htm>>. Acesso em: 31 mai. 2004.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DO TRÂNSITO – DENATRAN. Ministério dos Transportes. *Frota de veículos-2003*. Brasília: DENATRAN, 2004. Disponível em: <[http://www.denatran.gov.br/Frota\\_03.htm](http://www.denatran.gov.br/Frota_03.htm)>. Acesso em: 31 mai. 2004.
- DISSANAYAKE, S.; LU, J. J. Factors influential in making an injury severity difference to older drivers involved in fixed object-passenger car crashes. *Accident Analysis and Prevention*, v. 34, n. 5, p. 609-618, 2002.
- DOUGHERTY, M. A review of neural networks applied to transport. *Transportation Research - Part C: Emerging Technologies*, v. 3, n. 4, p. 247-260, 1995.
- EMPRESA MUNICIPAL DE DESENVOLVIMENTO DE CAMPINAS - EMDEC. *Sumário Estatístico sobre a Circulação em Campinas 2002-2003*. Campinas: Prefeitura Municipal de Campinas, EMDCE, 2003. 41p. Disponível em: <<http://www.emdec.com.br/downloads/imprensa/sumario/sumario.pdf>>. Acesso em: 01 mai. 2005.
- EUROPEAN CONFERENCE OF MINISTERS OF TRANSPORT - ECMT. *Safety in Road Traffic for Vulnerable users*. Third Road Safety Week in the UN/ECE Region. Paris, France: European Conference of Ministers of Transport, 2000. 108p.
- FERNANDES, A. M. R. *Inteligência Artificial: noções gerais*. Florianópolis: Visual Books Ltda, 2003, 160p.
- FERRAZ, A. C. P.; FORTES, F. Q.; SIMÕES, F. A. *Engenharia de Tráfego Urbano. Fundamentos práticos*. Edição preliminar. Apostila de aula. Escola de Engenharia de São Carlos – EESC, Universidade de São Paulo – USP. São Carlos: Departamento de Engenharia de Transportes, 1999.

- FONTANA, A. M. *Proposta de pequenas alterações nos principais sinais de trânsito para melhorar o impacto visual: avaliação utilizando método psicofísico*. Dissertação de mestrado em Engenharia de Transportes. Escola de Engenharia de São Carlos- EESC, Universidade de São Paulo – USP. São Carlos, 2001. 105p.
- FORGENSEN, N. O. Traffic Safety. p. 102-115, In: - *Highway and Traffic Engineering in Developing Countries*. Londres: E & FN Spon, 1996. 485p.
- FRAMARIN, C. S.; NODARI, C.T.; LINDAU, L.A. Técnicas de identificação de locais propensos à ocorrência de acidentes: principais características e dificuldades de aplicação. In: XVI CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES. *Anais*. Natal: ANPET, 2002, v. 1, p. 417- 428.
- GEURTS, K.; THOMAS, I.; WETS, G. Understanding Spatial Concentration of road accidents using frequent item sets. *Accident Analysis and Prevention*, v. 37, n. 4, p. 787-799, 2005.
- GOLD, P. A. *Engenharia de Tráfego na Redução e Prevenção de Acidentes*. Material apostilado. Londrina: Instituto de Pesquisa e Planejamento de Londrina – IPPUL, 1995.
- GOLD, P. A. *Segurança de Trânsito: aplicações de Engenharia para Reduzir Acidentes*. Washington D.C.: Banco Interamericano de Desenvolvimento - BID, 1998. 211p.
- GONZALES TACO, P. W. *Redes Neurais Artificiais aplicadas na modelagem individual de padrões de viagens encadeadas a pé*. Tese de doutorado em Engenharia de Transportes. Escola de Engenharia de São Carlos – EESC, Universidade de São Paulo – USP. São Carlos, 2003. 209p.
- HAYKIN, S. *Neural networks. A comprehensive foundation*. Série: Prentice Hall International Editions. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, 1994. 696p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. *Sinopse preliminar do Censo Demográfico 2000*. Brasília, 2005a. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/estatistica/populacao/sinopse\\_preliminar/default.shtm?c=10](http://www.ibge.gov.br/estatistica/populacao/sinopse_preliminar/default.shtm?c=10)>. Acesso em: 31 mai. 2005.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. *Dados Históricos dos Censos 1940-1996*. Brasília, 2005b. Disponível em: <[www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censohistorico/1940\\_1996.htm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censohistorico/1940_1996.htm)>. Acesso em 31 mai. 2005.
- INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA - IPEA. *Impactos Sociais e Econômicos dos Acidentes de Trânsito nas Aglomerações Urbanas*. Relatório Executivo - IPEA/ANTP. Brasília: IPEA/ANTP, 2003. 43p.
- JIN, X.; CHEU, R. L.; SRINIVASAN, D. Development and adaptation of constructive probabilistic neural network in freeway incident detection. *Transportation Research – Part C: Emerging Technologies*, v. 10, n. 2, p. 121-147, 2002.
- KHATTAK, A. J. Injury severity in multi vehicle rear-end crashes. *Transportation Research Record*, n.1746, p. 59-68, 2001.
- KLEIN, C. H. Mortes no trânsito do Rio de Janeiro, Brasil. *Caderno de Saúde Pública*, Rio de Janeiro, v. 10, p. 168-176, 1994.

- KONONOV, J.; JANSON, B. N. Diagnostic methodology for the detection of safety problems at intersections. *Transportation Research Record*, n. 1784, p. 51-56, 2002.
- KOVÁCS, Z. L. *O cérebro e a sua mente. Uma introdução à neurociência computacional*. São Paulo: Edição Acadêmica, 1997. 214p.
- KUMARA, S. S. P.; WEERAKOON, W. M. S. B. Identification of Accident Causal Factors and Prediction of Hazardousness of Intersection Approaches. In: *Transportation Research Board*, 82 th Annual Meeting, 2003. CD ROM.
- KWEON, Y.; KOCKELMAN, K. M. Overall injury risk to different drivers: combining exposure, frequency, and severity models. *Accident Analysis and Prevention*, v. 35, n. 4, p. 441-450, 2003.
- LARSEN, L.; KINES, P. Multidisciplinary in-depth investigations of head-on and left-turn road collisions. *Accident Analysis and Prevention*, v. 34, p. 367-380, 2002.
- LASCALA, E. A.; GERBER, D.; GRUENEWALD, P. J. Demographic and environmental correlates of pedestrian injury collisions: a spatial analysis. *Accident Analysis and Prevention*, v. 32, n. 5, p. 651-658, 2000.
- LAW, R. Back-propagation learning in improving the accuracy of neural network-based tourism demand forecasting. *Tourism Management*, v. 21, n. 4, p. 331-340, 2000.
- LEDEN, L. Pedestrian risk decrease with pedestrian flow. A case study based on data from signalized intersections in Hamilton, Ontário. *Accident Analysis and Prevention*, v. 34, n. 4, p. 457-464, 2002.
- LEDOUX, C. An urban traffic flow model integrating neural networks. *Transportation Research - Part C: Emerging Technologies*, v. 5, n. 5, p. 287-300, 1997.
- LEE, C.; ABDEL-ATY, M. Comprehensive analysis of vehicle-pedestrian crashes at intersections at Florida. *Accident Analysis and Prevention*, v. 37, n. 4, p. 775-786, 2005.
- LEITE, J. G. M. *Engenharia de tráfego, métodos de pesquisa, características de tráfego, interseções e sinais luminosos*. São Paulo: Companhia de Engenharia de Tráfego-CET, 1980. 360p.
- LOESCH, C.; SARI, S. T. *Redes Neurais Artificiais: fundamentos e modelos*. Blumenau: editora FURB, 1996. 166p.
- MADANI, H. A.; RAHMAN, A.; JANAHI, A. Assessment of driver' comprehension of traffic signs based on their traffic, personal and social characteristics. *Transportation Research - Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, v. 5, n. 1, p. 361-374, 2002.
- MADALOZZO, H. C.; DYMINSKI, A. S.; RIBEIRO, E. P. Análise de curvas horizontais de rodovias para melhoramento de projeto e operação, utilizando Redes Neurais Artificiais. In: XVIII CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES. *Anais*. Florianópolis: ANPET, 2004, v. 1, p. 5415-426.

- MANTOVANI, V. R. Proposta de um Sistema Integrado de Gestão em Segurança de Tráfego – SIG SET. Dissertação de mestrado em Engenharia Urbana. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2003. 175p.
- MANTRI, S.; BULLOCK, D. Analysis of feedforward-backpropagation neural networks used in vehicle detection. *Transportation Research- Part C: Emerging Technologies*, v.3, n.3, p. 161-174, 1995.
- MARANA, A. N., VELASTIN, S. A., COSTA, L. F.; LOTUFO, R. A. Automatic estimation of crowd density using texture. *Safety Science*. v. 28, n. 3, p. 165-175, 1998.
- MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. *Procedimentos para Tratamento de Locais Críticos de Acidentes de Trânsito*. Manual. Brasília: MT – Programa PARE, 2002. 74p.
- MUSSONE, L.; FERRARI, A.; ONETA, M. An analysis of urban collisions using an artificial intelligence model. *Accident Analysis and Prevention*, v. 31, n. 6, p. 705-718, 1999.
- NIJKAMP, P.; REGGIANI, A.; TRITAPEPE, T. Modeling inter-urban transport flows in Italy: a comparison between Neural Network analysis and Logit analysis. *Transportation Research - Part C*. Vol. 4, n.6, p. 323-338, 1996.
- NOORALAHYAN, A.R., DOUGHERTY, M., McKEOWN, D.; KIRBY, H. R. A field trial of acoustic signature analysis for vehicle classification. *Transportation Research - Part C: Emerging Technologies*, v. 5, n. 3-4, p. 165-177, 1997.
- OLIVA, G. M.; CYBIS, H. B. B. e PRETTO, C. O. Metodologia de Redes Neurais aplicada à Previsão de Produção de Viagens. In: XV CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES. *Anais*. Rio de Janeiro: ANPET, 2001, v. 2, p. 283-289.
- OLIVEIRA, P. R. RNAs para extração de características. Dissertação de Mestrado em Ciências Matemáticas e da Computação. Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo - USP. São Carlos, 1997. 98p.
- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE – OMS. *The World Report on Road Traffic Injury Prevention: Summary-2004*. Genebra, Suíça, 2004. 74p. Disponível em: <[http://www.who.int/world-health-day/2004/infomaterials/world\\_report/es/index.html](http://www.who.int/world-health-day/2004/infomaterials/world_report/es/index.html)>. Acesso em: 01 jun. 2005.
- PAVARINO FILHO, R. V. Aspectos da educação de trânsito decorrentes das proposições das teorias da segurança - Problemas e Alternativas. *Revista Transportes*, v. XII, p. 59-68, 2004.
- PIGNATARO, L. J. *Traffic Engineering: theory and practice*. 1973. 502p. New Jersey, EUA: Prentice-Hall, 1973.
- PIZZOLATO, E.; BIRNER, C. (1992). Conceitos introdutórios sobre redes neurais. In: \_ Workshop sobre redes neurais. *Anais*. São Carlos: UFSCar, 1992. 102p.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS - PMSC. *Mapa turístico de São Carlos (SP)*. Hierarquia das vias urbanas de São Carlos. São Carlos, 2004a.

- PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS - PMSC. *Mapa de Adensamento do solo de São Carlos (SP)*. São Carlos: Secretaria Municipal de Desenvolvimento e Habitação, 2004b.
- PREUSSER, D. F.; WELLS, J. K.; WILLIAMS, A. F.; WEINSTEIN, H, B. Pedestrian crashes in Washington, DC and Baltimore. *Accident Analysis and Prevention*, v. 34, n. 5, p. 703-710, 2002.
- QUEIROZ, M. P. *Análise Espacial dos Acidentes de Trânsito do Município de Fortaleza*. Dissertação de mestrado em Engenharia de Transportes. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2003. 141p.
- QUEIROZ, M. S.; OLIVEIRA, P. C. P. Acidentes de trânsito: uma visão qualitativa no Município de Campinas, São Paulo, Brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, Rio de Janeiro, n. 18, p. 1179-1187, 2002.
- RAIA JR. A. A. *Acessibilidade e mobilidade na estimativa de um índice de potencial de viagens utilizando redes neurais artificiais e sistema de informações geográficas*. Tese de doutorado em Engenharia de Transportes. Escola de Engenharia de São Carlos – EESC, Universidade de São Paulo - USP. São Carlos, 2000. 217p.
- RAIA JR., A. A. e SOUZA, F. R. Análise Espacial dos Acidentes de Trânsito em São Carlos-SP com uso de Sistemas de Informações Geográficas. In: V CONATRAM- Congresso Nacional de Trânsito, 2000. *Anais*. Instituto Nacional de Segurança no Trânsito - INST, 2000. CD ROM.
- RAIA JR., A. A. *Banco de Dados Relacional de Acidentes de Trânsito de São Carlos*. Departamento de Engenharia Civil- DECIV, Universidade Federal de São Carlos-UFSCar. Prefeitura Municipal de São Carlos. São Carlos, 2004.
- REZENDE, S. O. *Sistemas Inteligentes: fundamentos e aplicações*. 1º ed. Barueri: editora Manole Ltda, 2003. 525p.
- RODRIGUE, J. P. Parallel modeling and neural networks: an overview for transportation/land use systems. *Transportation Research - Part C: Emerging Technologies*, v.5, n. 5, p. 259-271, 1997.
- ROZESTRATEN, R. J. A. *Psicologia do Trânsito: Conceitos e Processos básicos*. São Paulo: EDUSP, 1988. 154p.
- SCARINGELLA, R. S. A crise da Mobilidade Urbana em São Paulo. *Revista São Paulo em Perspectiva*, n. 15, p. 55-59, 2001.
- SEADE - SECRETARIA DE ECONOMIA E PLANEJAMENTO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Perfil municipal de São Carlos. São Paulo: Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados, 2004. Disponível em: <<http://www.seade.gov.br/produtos/perfil/>>. Acesso em: 31 mai. 2004.
- SHMUELI, D.; SALOMON, I. e SHEFER, D. Neural Networks Analysis of travel behaviour. P. 151-170. In: \_ *Neural Networks in Transport Applications*. Aldershot, England: Ashgate Publishing Ltda, 1998. 364p.

- SILVA, T. L. P. Q.; JACQUES, M. A. P. Estimativa do headway de descarga em interseções semaforizadas com auxílio de redes neurais artificiais. *Revista Transportes*, v. XI, n. 1, p. 25-32, 2003.
- SIMÕES, F. A. *SEGTRANS: Sistema de Gestão da Segurança no Trânsito Urbano*. Tese de doutorado em Engenharia de Transportes. Escola de Engenharia de São Carlos – EESC, Universidade de São Paulo-USP, 2001. 220p.
- SPALL, J. C.; CHIN, D. C. Traffic response signal timing for system-wide traffic control. *Transportation Research - Part C: Emerging Technologies*, v. 5, n. 3-4, p. 153-163, 1997.
- TENG, H.; QI, Y. Detection-delay-based freeway detection algorithms. *Transportation Research - Part C: Emerging Technologies*, v.11, n. 3-4, p. 265-287, 2003a.
- TENG, H.; QI, Y. Application of wavelet technique to freeway incident detection. *Transportation Research - Part C: Emerging Technologies*, v. 11, p. 289- 308, 2003b.
- TOURINHO, L. F. B.; PETROANTONIO, H. Parameters for Evaluating Pedestrian Safety Problems in Signalized Intersections Using The Traffic Conflict Analysis Technique: A study in São Paulo, Brazil. In: *Transportation Research Board*, 84<sup>th</sup> Annual Meeting, 2005. CD ROM.
- TRANSERP- EMPRESA DE TRÂNSITO E TRANSPORTE URBANO DE RIBEIRÃO PRETO. *Estatística de Acidentes de Trânsito 2002*. Ribeirão Preto, 2002. Prefeitura Municipal de Ribeirão Preto. Disponível em: <<http://feapam.com.br/transerp/estatisticas/acidentes2002.htm>>. Acesso em: 01 mai. 2005.
- TRB – TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. *Highway Capacity Manual*. Washington D.C.: Transportation Research Board, 2000. CD ROM.
- VASCONCELLOS, E. A. *Métodos para cálculo da capacidade de interseções semaforizadas*. Série: Boletim Técnico da CET n° 16. São Paulo: Companhia de Engenharia de Tráfego – CET, 1987. 121p.
- VASCONCELLOS, E. A. *Transporte urbano nos países em desenvolvimento: reflexões e propostas*. 1º Edição. São Paulo: Editora Unidas, 1996. 284p.
- VASCONCELLOS, E. A. Urban development and traffic accidents in Brazil. *Accident Analysis and Prevention*, v. 31, n. 4, p. 319-328, 1999.
- VYTHOULKAS, P.; KOUTSOPOULOS, H. N. Modeling discrete choice behavior using concepts from fuzzy set theory, approximate reasoning and neural network. *Transportation Research - Part C: Emerging Technologies*, v. 11, p. 51-73, 2003.
- WENZEL, T. P.; ROSS, M. The effects of vehicle model and driver behavior on risk. *Accident Analysis and Prevention*, v.37, n. 3, p.479-494, 2002.
- WERMERSCH, F. G. Uso de redes neurais artificiais para descoberta de conhecimento sobre a escolha do modo de viagem. Dissertação de mestrado em Engenharia de Transportes. Escola de Engenharia de São Carlos – EESC, Universidade de São Paulo - USP. São Carlos, 2002. 175p.



- WIERWILLE, W. W.; MEDINA, A. L.; HANOWSKI, R. J.; HANKEY, J. M.; LEE, S. E.; DINGUS, T. A. Identification and Evaluation of driver errors. In: *Transportation Research Board*, 84th Annual Meeting, 2005. CD ROM.
- YAN, X.; RADWAN, E.; ABDEL-ATY, M. Characteristics of rear-end accidents at signalized intersections using multiple logistic regression. *Analysis and Prevention*, Article in Press, DTD 5, 13p., 2005.
- ZHANG, H. M.; RITCHIE, S. G. Freeway ramp metering using artificial neural networks. *Transportation Research - Part C: Emerging Technologies*, v. 5, n.5, p. 273-286, 1997.
- ZHANG, J.; LINDSAY, J.; CLARKE, K.; ROBBINS, G.; MAO, Y. Factor affecting the severity of motor vehicle traffic crashes involving elderly drivers in Ontario. *Analysis and Prevention*, v. 32, n. 1, p. 117-125, 2000.
- ZHANG, X.; FORSHAW, M.R.B. A parallel algorithm to extract information about the motion of road traffic using image analysis. *Transportation Research - Part C: Emerging Technologies*, v.5, n. 2, p. 141-152, 1997.

## **ANEXO**

---

EasyNN - [Sinalização de trânsito2000.tvq]

	Semáforo	P. Pare	Outra sina+	Sinal. Ine+	C Lateral	C Transv	C. Frontal	C Traseira
#0	true	true	false	false	true	false	false	false
#1	true	true	false	false	false	false	false	true
#2	true	true	false	false	false	true	false	false
#3	true	true	false	false	true	false	false	false
#4	true	true	false	false	false	true	false	false
#5	true	true	false	false	false	true	false	false
#6	true	true	false	false	false	false	false	true
#7	true	true	false	false	true	false	false	false
#8	true	false	true	false	false	false	false	false
#9	true	false	true	false	false	false	false	true
#10	true	false	true	false	false	false	false	true
#11	true	false	true	false	false	false	false	true
#12	true	false	true	false	false	false	false	false
#13	true	false	true	false	false	true	false	false
#14	true	false	true	false	false	true	false	false
#15	true	false	true	false	false	true	false	false
#16	true	false	true	false	false	true	false	false
#17	true	false	true	false	false	false	false	false
#18	true	false	true	false	false	false	false	true
#19	true	false	true	false	false	false	false	true
#20	true	false	true	false	false	true	false	false
#21	true	false	true	false	true	false	false	false
#22	true	false	true	false	false	false	false	true
#23	true	false	true	false	false	true	false	false
#24	true	false	true	false	true	false	false	false

Learning: 40 cycles

Figura A. 1- Exemplo de codificação dos neurônios de entrada e de saída

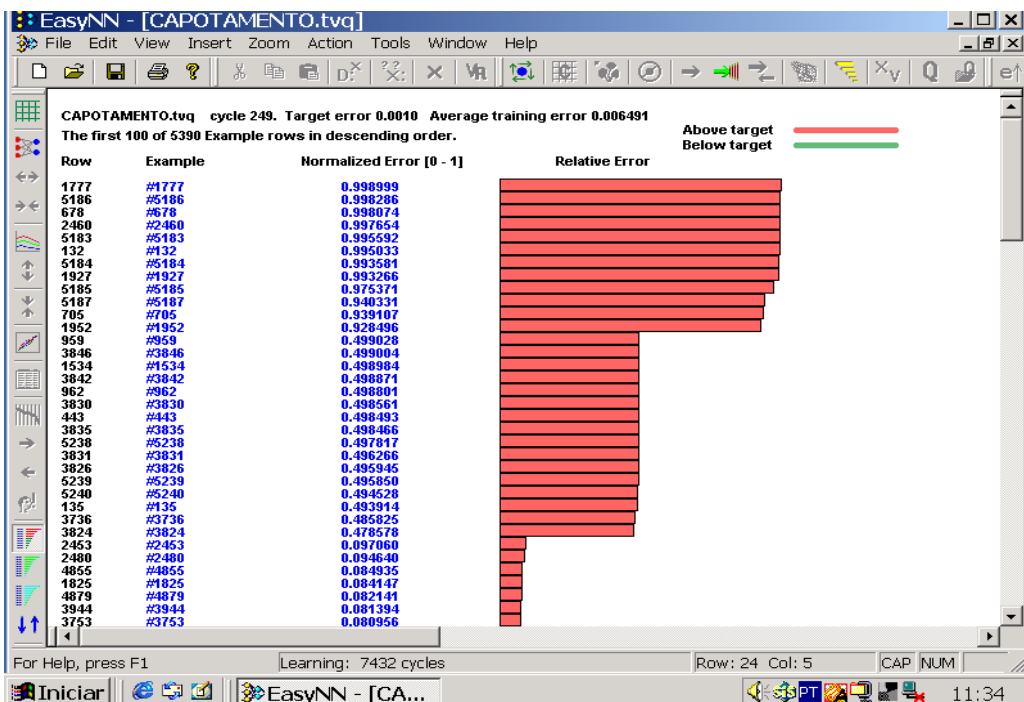


Figura A. 2- Exemplo de normalização do erro

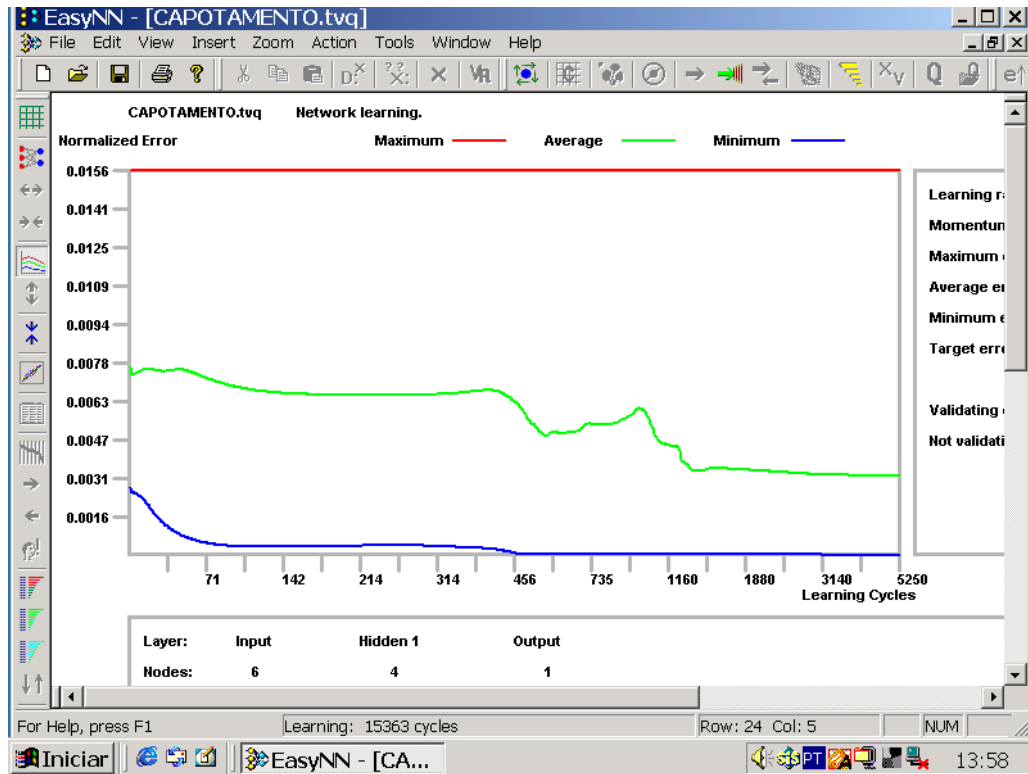


Figura A. 3- Exemplo de evolução do aprendizado

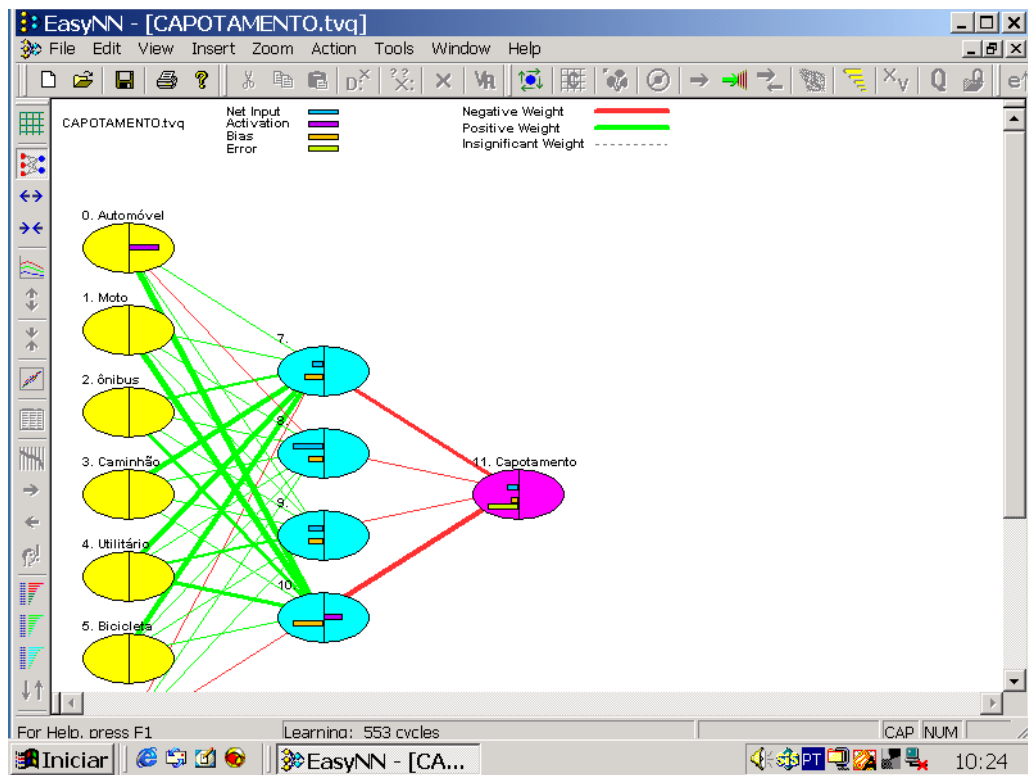
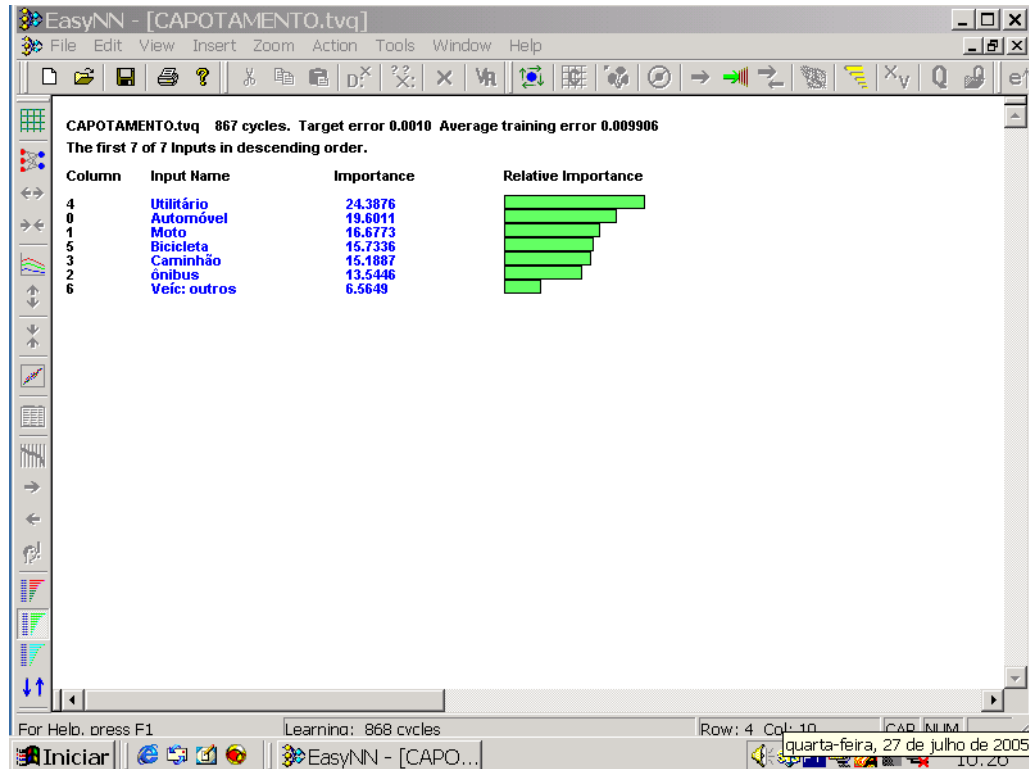


Figura A. 4- Exemplo de topologia da RNA



**Figura A. 5-** Exemplo de importância da variável do neurônio de entrada

```

ATROPELAMENTO.tvq      Node and Connection Details.

Inputs, activations and errors are those produced when the
first training example row is presented to the network.

Connection weights and bias values are valid for all rows.
0      DIA DA SEMANA
INPUT layer node. Normalized Input: 0.000000 Activation: 0.000000 Bias: 0.000000
Error: 0.000000

1      HORÁRIO
INPUT layer node. Normalized Input: 0.000000 Activation: 0.000000 Bias: 0.000000
Error: 0.000000

2      HIERARQUIA DA VIA
INPUT layer node. Normalized Input: 0.000000 Activation: 0.000000 Bias: 0.000000
Error: 0.000000

3      TIPO DE VEÍCULO
INPUT layer node. Normalized Input: 0.000000 Activation: 0.000000 Bias: 0.000000
Error: 0.000000

4      IDADE DOS MOTORISTAS
INPUT layer node. Normalized Input: 0.000000 Activation: 0.000000 Bias: 0.000000
Error: 0.000000

5      IDADE DO PEDESTRE
INPUT layer node. Normalized Input: 0.000000 Activation: 0.000000 Bias: 0.000000
Error: 0.000000

6      COND. METEOROLÓGICA
INPUT layer node. Normalized Input: 0.000000 Activation: 0.000000 Bias: 0.000000
Error: 0.000000

12     ATROPELAMENTO
OUTPUT layer node.      Net Input: -38.419124 Activation: 0.000000 Bias: 26.504610
Error: -0.000000
      Connection 35      from Node 7: Weight: -22.050994
      Connection 36      from Node 8: Weight: -27.824246
      Connection 37      from Node 9: Weight: -36.032603
      Connection 38      from Node 10: Weight: -33.059067
      Connection 39      from Node 11: Weight: -23.225100
    
```

**Figura A. 6-** Exemplo de relatório emitido pelo software *EasyNN-Plus*.