

Desenvolvimento e aplicação de modelos para previsão de acidentes de trânsito

Gilmar Cardoso¹; Lenise Grando Goldner²

Resumo: Este trabalho apresenta uma síntese do estudo que desenvolveu modelos para previsão de acidentes em vias arteriais urbanas, com enfoque na metodologia aplicada e resultados obtidos. O objetivo do trabalho foi gerar modelos de previsão de acidentes a partir de variáveis relacionadas à exposição e fatores de risco. O estudo foi desenvolvido com dados de vias arteriais urbanas da cidade de Porto Alegre, capital do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Foi utilizada a técnica de Modelagem Linear Generalizada com distribuição de probabilidade de Poisson para relacionar a ocorrência de acidentes às variáveis explicativas. Os modelos de previsão de acidentes construídos explicaram mais de 60% da variabilidade dos dados. Isso comprova a relação entre os acidentes de trânsito e as variáveis estudadas.

Abstract: This paper presents a synthesis of study that developed accident prevision models to arterials streets with focus in the applied methodology and obtained results. The aim of the study was establish accident prediction models based on variables related with exposure and risk factors. The study was developing with urban arterials roads data of Porto Alegre city, capital of the state of Rio Grande do Sul, Brazil. Generalized Linear Modeling techniques with Poisson likelihood distribution were used to relate accident frequencies to explanatory variables. The constructed accident prediction models were capable of explain more than 60% of data variation. This fact proves the relationship between traffic accidents and the studied variables.

1. INTRODUÇÃO

A competitividade da economia globalizada imposta ao setor privado e a escassez de recursos públicos para investimentos em infra-estrutura, constroem um cenário onde é cada vez mais importante a aplicação do conhecimento científico e o desenvolvimento tecnológico, no intuito de maximizar os resultados positivos com o menor gasto possível. O setor de transporte está inserido nesse ambiente e um dos itens onde ainda há um longo caminho a ser percorrido no que diz respeito à busca pela qualidade é a segurança viária. Quanto a esse aspecto, percebe-se que os maiores reflexos na economia, através dos elevados custos sociais dos acidentes de trânsito, estão nos países em desenvolvimento, entre eles o Brasil, uma vez que a maioria dos países desenvolvidos já enfrentou esse problema, diminuindo significativamente as taxas de acidentalidade e mortalidade no trânsito.

Diante dessa realidade, verifica-se que é possível um aprendizado através das experiências internacionais, mas é imprescindível a realização de estudos com o objetivo de conhecer a realidade a ser enfrentada e determinar as maneiras mais eficazes de se resol-

ver os problemas inerentes à segurança viária e, por conseqüência, diminuir os custos sociais com acidentes de trânsito.

Outra constatação é que a maioria das ações públicas ainda é realizada com enfoque nos aspectos comportamentais (fatores humanos), principalmente através de campanhas educativas ou ações de fiscalização. Essas medidas certamente são importantes, mas não são a única maneira de reduzir acidentes e suas conseqüências. É necessária também a implementação de medidas que visem uma melhor adequação das condicionantes viário-ambientais às necessidades dos usuários das vias públicas.

Este estudo teve o objetivo de contribuir para soluções relacionadas à segurança viária através do desenvolvimento de modelos para previsão de acidentes de trânsito. O estudo foi realizado em vias arteriais urbanas da cidade de Porto Alegre, capital do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Os modelos desenvolvidos determinam o valor anual esperado de acidentes de trânsito, a partir do conhecimento de condicionantes viário-ambientais. Foram determinados modelos para dois tipos de acidentes de trânsito: colisão e atropelamento. O artigo enfatiza a metodologia aplicada e os resultados obtidos, incluindo comentários gerais sobre a pesquisa que fez parte da tese de doutorado de Cardoso (2006).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica realizada como parte da tese onde foram desenvolvidos os modelos para previsão de acidentes de trânsito, teve por objetivo o enfoque

¹ Gilmar Cardoso, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, Brasil (e-mail: gilmar.cardoso@antt.gov.br).

² Lenise Grando Goldner, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, Brasil (e-mail: lenise@evc.ufsc.br).

de três aspectos principais, sendo eles: (i) conhecimentos gerais sobre segurança viária; (ii) a escolha das variáveis utilizadas para modelar acidentes de trânsito; e (iii) o conhecimento dos principais modelos de previsão de acidentes disponíveis na bibliografia internacional. Assim sendo, essa revisão junto com o conhecimento da malha viária estudada, possibilitaram a determinação das variáveis (fatores viário-ambientais) a serem utilizadas para a construção dos modelos de previsão e a escolha da técnica estatística a ser utilizada. Na breve revisão apresentada neste artigo, serão abordados os segundo e terceiro aspecto estudados. Maiores detalhes poderão ser encontrados na pesquisa que deu origem a este artigo, Cardoso (2006).

2.1. Variáveis envolvidas na modelagem

Inicialmente, cabe salientar que, de acordo com os objetivos do estudo realizado, foram consideradas as variáveis relacionadas ao meio-ambiente viário e que expressem tanto medidas de exposição ao risco, quanto fatores de risco para a ocorrência de acidentes de trânsito. Em relação a essa distinção, Chapman (1973) descreve a exposição ao risco como o número de oportunidades para ocorrer acidentes de um certo tipo em um determinado período ou área. Para Qin et al. (2004), esta definição considera que a exposição pode incluir fatores relacionados ao meio ambiente viário, aos veículos ou aos condutores. Isso indica que tanto a exposição quanto o risco podem depender, em alguns aspectos, dos mesmos fatores, tais como: volume de tráfego; período do dia; condições climáticas; dentre outros. Pode-se, então, dizer que todos estes fatores interagem entre si.

Uma variável fundamental a ser considerada em estudos desta natureza, bem como na maioria das pesquisas na área de transporte, é o volume de tráfego de veículos. Em alguns modelos, principalmente para vias rurais, esta variável contribui com a maior parcela de explicação na variabilidade dos acidentes. Isso pode ser verificado, normalmente, quando a modelagem da realidade, e por consequência dos fatores de risco quanto aos acidentes de trânsito, possui um elevado grau de complexidade. Assim sendo, a preponderância do volume veicular em relação a outras variáveis, faz com que o modelo explique a ocorrência de acidentes somente através a exposição ao risco. Esse fato foi apontado no modelo de previsão desenvolvido por Greibe (2003), para o caso particular de interseções, onde o autor não conseguiu demonstrar a influência de outras variáveis explicativas como evidenciado para o caso de segmentos viários.

Alguns estudos desenvolvidos relatam a utilização da variável volume de tráfego veicular em conjunto a outros aspectos. Brüde e Larsson (1993) desenvolve-

ram um modelo para previsão de acidentes em interseções, com envolvimento de pedestres e ciclistas. Zhou e Sisiopiku (1997) desenvolveram um método que buscou a correlação entre taxas de acidentes e a relação volume de tráfego e capacidade da via (v/c), no momento do acidente. Lord et al. (2005) estudaram segmentos de freeways com dois objetivos básicos: (i) investigar a influência da distribuição horária do tráfego (razão v/c e densidade) sobre os acidentes de trânsito e (ii) avaliar diferentes formas de modelar as características do volume de tráfego.

Outra variável importante é o volume de pedestres, que deve ser considerada para os modelos macroscópicos, que utilizam a totalidade dos acidentes sem desagregação quanto ao tipo, quando há um número significativo de acidentes envolvendo pedestres para os locais analisados. Por outro lado, a presença deste fator possui importância fundamental quando se pretende desenvolver um modelo particular para os acidentes do tipo atropelamento. Neste último caso, torna-se, analogamente ao volume veicular, uma medida de exposição ao risco. Um estudo realizado em vias arteriais com corredores exclusivos para ônibus em Porto Alegre (Cardoso e Goldner, 2004), próximo a estações de embarque/desembarque de passageiros, verificou o comportamento de pedestres quanto à condição de travessia da via. O resultado final desse trabalho demonstrou que o comportamento dos pedestres ao realizar a travessia das vias (avaliado em quatro níveis quanto à segurança na travessia), naqueles locais avaliados, tinha relação com a ocorrência de acidentes do tipo atropelamento.

No caso particular de vias arteriais urbanas, classe analisada neste estudo, que desempenham uma função mista de mobilidade e acessibilidade, um importante fator a ser considerado é a densidade de acessos à via. Em relação a esse fator, pode-se diferenciar dois grupos distintos: (i) os acessos às propriedades ao longo da via e (ii) os acessos através de vias secundárias, gerando um incremento no tráfego da via arterial. Este segundo grupo pode ainda ser dividido em acessos semaforizados ou não, obviamente com riscos diferenciados em relação à ocorrência de acidentes de trânsito. Segundo Papayannoulis et al. (1999), existe um consenso de que aumentando o espaço entre os acessos, melhora-se a segurança e o fluxo de tráfego em uma via arterial, pelos seguintes motivos: (i) reduz-se o número de conflitos para o trecho, (ii) proporciona-se uma maior distância para reação às manobras e (iii) propicia-se uma melhora no projeto das faixas de tráfego.

A velocidade dos veículos na corrente de tráfego é também uma variável relevante em relação aos modelos de previsão de acidentes. No estudo de Greibe (2003), por exemplo, o autor atribui parte da variância

não explicada pelo modelo ao fato de ter utilizado a velocidade regulamentar das vias e não uma medida que traduzisse a velocidade real, desenvolvida pelos veículos. Segundo o Transportation Research Board (TRB, 1998), a escolha da velocidade por um condutor define um risco que tem efeito tanto na probabilidade de ocorrer um acidente, quanto na severidade deste, caso ocorra.

Outra variável presente na bibliografia avaliada é o uso do solo (Lupton et al., 1996; Bonnesson e McCoy, 1997; Greibe, 2003). Para o TRRL (1991), o uso do solo e o planejamento de transportes têm efeitos fundamentais sobre a segurança viária, tanto a curto, como em longo prazo. Mudanças no perfil do uso do solo adjacente às vias não devem ser analisadas somente para o presente, mas as suas conseqüências devem ser projetadas para o futuro.

Outros dois fatores também foram julgados importantes para os modelos de previsão, ainda na etapa de revisão bibliográfica. A presença ou não de estacionamento regulamentado, considerada em alguns modelos para a previsão de acidentes (Bonnesson e McCoy, 1997; Greibe, 2003) e as condições da sinalização viária, este último baseado na experiência prática e conhecimento da rede viária estudada.

2.2. Modelos para a previsão de acidentes

A previsão da ocorrência de acidentes de trânsito é normalmente feita através de modelos matemáticos que, de uma maneira geral, determinam o valor esperado de uma taxa de acidentes, em função de determinadas variáveis que possuem influência significativa para que os acidentes aconteçam. Os fatores influentes em acidentes de trânsito variam de acordo com o meio-ambiente viário e características inerentes aos seus usuários (condutores e pedestres). Os modelos de previsão de acidentes costumam determinar um valor esperado de acidentes (ou taxa de acidentes), com determinadas características, em uma unidade de tempo, num local analisado. Isso é feito por modelos probabilísticos que determinam a freqüência com que os acidentes (eventos raros) ocorrem sob determinadas condições. Na seqüência deste item são descritas algumas experiências na modelagem de acidentes de trânsito.

Brüde e Larsson (1993) desenvolveram um modelo para previsão de acidentes em interseções, com envolvimento de pedestres e ciclistas. Utilizaram dados de interseções de 30 municípios da Suécia, todas fazendo parte do sistema viário principal de cada cidade. Foram analisadas 285 interseções para formular o modelo de previsão para acidentes envolvendo pedestres e 377 interseções para o modelo de previsão de acidentes com ciclistas. As interseções variavam quanto ao tipo: interseções não semaforizadas, interseções semaforizadas e rotatórias. O trabalho usou como técnica

estatística o método dos mínimos quadrados, definindo a taxa de acidentes como variável dependente.

Mountain *et al.* (1996) desenvolveram modelos para previsão de acidentes em interseções e segmentos de rodovias da Grã-Bretanha. Foram considerados acidentes em interseções, aqueles ocorridos em até 20m antes da área de conflito da interseção. Para o estudo, foram utilizados dados de 3.800 km de rodovias, havendo 5.000 interseções com vias secundárias nesses trechos avaliados. Os modelos de previsão foram construídos utilizando Modelagem Linear Generalizada, com distribuição de probabilidade de Poisson e função de ligação logarítmica.

Bonneson e McCoy (1997) estudaram o efeito na segurança viária de arteriais urbanas a partir de melhorias realizadas no divisor físico central. Foram utilizados dados de acidentes de trânsito, ocorridos nas cidades de Phoenix e Omaha, nos Estados Unidos, em conjunto a variáveis causais, modelando a previsão de acidentes através de uma regressão binomial negativa. Uma análise prévia, utilizando ANOVA indicou que os elementos significativos para a freqüência de acidentes eram: tipo de tratamento do canteiro central, volume de tráfego médio diário, comprimento do segmento, uso do solo, presença ou não de estacionamento paralelo, densidade de acessos de propriedades particulares, densidade de aproximação de vias secundárias e o percentual de acidentes somente com danos materiais.

Levinson (1999) pesquisou vias arteriais em diferentes estados americanos e desenvolveu um método de previsão de acidentes de trânsito para estas vias, baseado no volume de tráfego da arterial, volume de tráfego dos acessos e densidade de acessos. O objetivo desse estudo foi explicar a relação entre as taxas de acidentes em interseções e o volume de tráfego da via arterial e dos acessos, em locais com tratamentos implantados.

Sawalha e Sayed (2001) desenvolveram modelos de previsão de acidentes para diferentes propósitos, sendo eles: (i) determinar as variáveis relacionadas ao tráfego e a geometria das vias que apresentam influência significativa na ocorrência de acidentes; (ii) avaliar de maneira geral a segurança em vias arteriais e determinar a evolução dos acidentes antes e depois de um determinado tratamento; e (iii) avaliar o efeito de diferentes tipos de divisor físico central. Desta forma, o estudo construiu modelos de previsão de acidentes que explicam a ocorrência de acidentes em função das variáveis determinadas significativas. A técnica utilizada foi a Modelagem Linear Generalizada, com distribuição de probabilidade de Poisson. Para esse estudo, foi utilizada uma amostra com dados de acidentes, volume de tráfego e características geométricas de 58 vias arteriais das cidades de Vancouver e Richmond,

no Canadá. Os dados de acidentes foram de 3 anos (1994 a 1996).

Greibe (2003) apresenta modelos de previsão de acidentes de trânsito para interseções e segmentos viários, em área urbana. O modelo de previsão foi desenvolvido a partir de dados de 1036 interseções e 142 km de segmentos viários urbanos, na Dinamarca. Foi analisada uma série de fatores causais de acidentes de trânsito, além do fluxo de tráfego. No modelo para interseções, Greibe (2003) não conseguiu obter valores que sustentassem a utilização de outras variáveis explicativas além do fluxo de tráfego veicular. Isto deve-se ao fato de que o volume de tráfego médio diário, representou 90% da variância explicada pelo modelo. Os modelos que utilizaram variáveis explicativas relacionadas ao fluxo de usuários vulneráveis (pedestres e ciclistas), tiveram uma melhoria de somente 4% a 5% na variância explicada, em relação aos que não utilizaram.

Lord *et al.* (2005) desenvolveram modelos de previsão de acidentes de trânsito em função do fluxo de tráfego e suas características. Modelaram a taxa anual de acidentes por quilômetro, em função do fluxo de tráfego, da densidade e da razão v/c, em três modelos distintos. Os acidentes de trânsito modelados foram divididos em acidentes com apenas um veículo e com mais de um veículo. O estudo utilizou a distribuição de Poisson para gerar os modelos e Modelagem Linear Generalizada (GLIM) para o cálculo dos coeficientes.

3. METODOLOGIA APLICADA

Este estudo foi desenvolvido através das seguintes etapas metodológicas:

3.1. Delimitação do estudo

Como a área de estudo foi a rede viária de Porto Alegre, a primeira delimitação do estudo foi que o mesmo teria como foco vias arteriais urbanas. Isso porque é nesta classe viária que ocorre a maioria dos acidentes de trânsito na cidade, principalmente acidentes com vítimas. A partir da definição de que seriam estudadas arteriais urbanas, foi necessária uma nova delimitação: os trechos ou cruzamentos que seriam estudados.

3.2. Escolha dos tipos de acidentes para construção do modelo

Analisando os dados estatísticos de acidentes de trânsito ocorridos na rede viária de Porto Alegre (EPTC, 2005), verificou-se que os acidentes dos tipos atropelamento, abalroamento e colisão, foram responsáveis por 79% de todos os acidentes, 81% dos acidentes com vítimas e 77% dos acidentes com vítimas fatais. Se os acidentes do tipo choque forem acrescentados, os percentuais somam: 90% de todos os acidentes e

92% dos acidentes com vítimas e vítimas fatais. Portanto, num primeiro momento, concluiu-se que as análises deveriam se concentrar nestes quatro tipos de acidentes.

Todavia, o foco desta pesquisa foi a determinação de modelos de previsão de acidentes para trechos de vias arteriais, buscando a determinação de um valor esperado para ocorrência de acidentes, mediante determinados fatores de exposição e risco. Os acidentes do tipo choque envolvem um único veículo em movimento, chocando-se contra um objeto fixo. Normalmente, estão relacionados ao excesso de velocidade e não possuem uma distribuição espacial e temporal (faixa horária do dia) comum aos acidentes dos tipos abalroamento e colisão. Estes acidentes envolvendo apenas um veículo, normalmente ocorrem em períodos de baixo fluxo de tráfego, sendo em muitos casos relacionados a velocidade elevada. Já os acidentes dos tipos abalroamento e colisão são típicos de conflito no tráfego, uma vez que envolvem pelo menos dois veículos em circulação. Diante dessas características, estimou-se que os acidentes dos tipos abalroamento e colisão são mais adaptados para a determinação de modelos de previsão, pois tendem a sofrer influência das características viário-ambientais. Assim sendo, optou-se por não utilizar os acidentes do tipo choque no estudo realizado.

Com a exclusão do tipo choque, restaram três tipos de acidentes, entre aqueles com maior incidência: abalroamento, colisão e atropelamento. Dessa forma, optou-se pela estratificação de dois grupos de acidentes de trânsito para a determinação dos modelos de previsão. O primeiro formado pelos acidentes dos tipos abalroamento e colisão, doravante denominado grupo colisão e o segundo grupo por acidentes do tipo atropelamento. A adoção da denominação colisão, agrupando os acidentes classificados como abalroamentos, tem por base a classificação de tipos de acidentes de trânsito determinada pela NBR-10697 (ABNT, 1989), norma que determina uma classificação única para estes tipos de acidentes, agrupando-os no tipo colisão.

3.3. Definição dos trechos de análise

Para escolha dos trechos a serem estudados, foi realizada uma análise espacial dos acidentes de trânsito, na rede viária de Porto Alegre, no período de análise (1998 a 2004), utilizando-se um software de Sistema de Informações Geográficas (SIG). O sistema de cadastro de acidentes de trânsito do órgão municipal responsável pelo trânsito (Empresa Pública de Transporte e Circulação – EPTC) é integrado ao SIG e os dados de acidentes de trânsito estão em um nível específico (*layer* Acidentes). Cada acidente de trânsito registrado é localizado pontualmente no SIG, com os

respectivos dados tabulares. A localização espacial dos acidentes de trânsito é feita pelo órgão gestor desde 1998. Este fator foi levado em conta para a definição do horizonte temporal de dados utilizados neste estudo (1998 a 2004), o qual contempla (ao longo de todo o período) o registro de dados georeferenciados, facilitando a escolha dos trechos para análise e demais estudos realizados. Dessa forma, utilizando o SIG, foram determinados os trechos de vias arteriais com maior incidência de cada tipo de acidente analisado e procedeu-se a escolha dos trechos a serem estudados, os quais deveriam necessariamente envolver uma concentração não pontual (ex: uma única interseção) de acidentes de trânsito para o tipo analisado. Foram escolhidos 38 trechos para acidentes do tipo colisão e 39 trechos para atropelamentos. Como a análise deu-se para cada sentido da via arterial, a partir dos trechos escolhidos foram avaliados 73 segmentos (por sentido) para colisão, totalizando 24,5 km de via e 74 segmentos para atropelamentos, com 15,0 km de via.

3.4. Seleção das variáveis a serem coletadas

Além dos dados de exposição e risco, apontados como significativos para a modelagem de acidentes, conforme exposto no item 2.1, foram coletados outros dados ligados às condições dos trechos analisados, para os quais se esperava alguma influência na ocorrência de acidentes. Para tanto, foi realizada inicialmente uma inspeção visual dos trechos analisados, sendo anotados todos os fatores de risco observados que poderiam influenciar a ocorrência de acidentes para os dois tipos de acidentes analisados. Dessa forma, foram levantados dados de 20 variáveis que representam fatores viário-ambientais, incluindo além daquelas citadas no item 2.1, as seguintes variáveis: (i) tipo de pavimento, (ii) condições de conservação do pavimento, (iii) existência de corredor exclusivo para ônibus, (iv) existência de estação de embarque/desembarque em corredor exclusivo para ônibus (caso o corredor exista), (v) existência ou não de parada de ônibus no segmento e (vi) condições de visibilidade e densidade de vegetação lateral.

3.5. Estruturação dos modelos de previsão e aplicação do produto

Para a estruturação dos modelos utilizou-se o pacote de software *SAS*. A utilização deste pacote computacional deve-se à sua capacidade de processamento e por trabalhar com modelagem linear generalizada (conhecida pela sigla *GLM*, do inglês *Generalised Linear Modelling*), permitindo a escolha da distribuição estatística adequada ao fenômeno estudado.

O *SAS* é um software onde os modelos podem ser construídos utilizando a distribuição de probabilidade mais adaptada ao fenômeno e também possibilita flexibilidade, usando uma série de modelos não lineares,

que podem ser convertidos em modelos lineares através do uso de uma das funções de ligação criadas (*link functions*).

A distribuição de Poisson é utilizada por muitos autores para determinar o número de acidentes ocorridos durante um certo intervalo de tempo. A escolha baseia-se no fato de que o número de acidentes é razoavelmente estável para um período e cada acidente é imprevisível, além de os acidentes serem eventos independentes.

Tendo em vista as características já citadas e a extensa revisão da bibliografia sobre modelos de previsão de acidentes, conclui-se que, para a estruturação e validação dos modelos de previsão de acidentes de trânsito, seria utilizada a distribuição de Poisson, com função de ligação logarítmica. Dessa forma, foi escolhido o software *SAS*, o qual possui ferramentas que possibilitam esta análise.

O primeiro passo para a estruturação dos modelos de previsão de acidentes foi a codificação dos valores de cada variável explicativa. A codificação dos valores observados para cada variável foi realizada utilizando intervalo de variação compreendido de 0 a 1. Desta forma, todos os valores observados para cada variável explicativa devem ser transformados para que estejam compreendidos em um intervalo de variação entre 0 e 1. Algumas variáveis utilizadas nos modelos já possuíam apenas os valores 0 (representando não) e 1 (representando sim). A codificação foi, então, realizada para as variáveis contínuas. Nestes casos assumiu-se o valor 0 para o menor valor observado na amostra de segmentos viários utilizados na construção dos modelos, e o valor 1 para máximo valor observado na amostra utilizada. A transformação dos valores observados para valores codificados (escala de 0 a 1) é feita utilizando a Equação 1, da seguinte forma:

$$V_{cod} = \frac{V_{obs} - A}{B - A} \quad (1)$$

em que: V_{cod} : valor codificado da variável (intervalo de 0 a 1);

V_{obs} : valor observado para a variável;

A : menor valor observado da amostra;

B : maior valor observado da amostra.

A Tabela 1 apresenta a lista de todas as variáveis que foram significativas em pelo menos um dos modelos de previsão e os valores A e B , utilizados para a codificação dos valores das variáveis explicativas, para cada variável significativa utilizada nos modelos de previsão desenvolvidos. Os modelos de previsão foram estruturados para 10 variáveis resposta, cada uma representando a média anual, sendo elas: (i) total de acidentes; (ii) total de acidentes no período diurno; (iii) total de acidentes no período noturno; (iv) total de

Tabela 1. Variáveis significativas para os modelos de previsão desenvolvidos e valores para codificação

<i>Variável</i>	<i>Descrição</i>	<i>Colisão</i>		<i>Atropelamento</i>	
		<i>A</i>	<i>B</i>	<i>A</i>	<i>B</i>
Vol_veic	Volume médio diário de veículos	6878	37286	962	38924
P_motos	Percentual de motocicletas	3,26	9,28	--	--
P_pes	Percentual de veículos pesados	1,74	22,03	--	--
P_TANF	Percentual de travessia durante o verde e sobre a faixa de segurança	--	--	9	79
P_TAFF	Percentual de travessia durante o verde, mas fora da faixa	--	--	3	45
Fl_ped_h	Fluxo horário de pedestres	--	--	55	4395
V ₈₅	Velocidade no 85º percentil	44,2	79,2	--	--
Comp_tot	Comprimento total do segmento	121	595,3	35	480
Larg_tot	Largura total do segmento	0	11,9	--	--
Pav_rr	Pavimento ruim ou regular	0	1	0	1
Veget_peq	Densidade de vegetação lateral pequena	0	1	--	--
Veget_m_g	Densidade de vegetação lateral classificada como média ou grande	0	1	0	1
PO	Existência de parada de ônibus	0	1	--	--
V_ac_tot	Volume veículos que acessam a via	0	17187	--	--
V_cruz_sem	Volume de veículos em cruzamentos semaforizados	0	40125	--	--
V_cruz_n_sem	Volume de veículos em cruzamentos não semaforizados	0	1100	--	--
V_cruz	Volume de veículos cruzando a via	0	40125	--	--

acidentes em dias com condições boas de tempo; (v) total de acidentes em dias chuvosos; (vi) UPS total em acidentes; (vii) UPS em acidentes no período diurno; (viii) UPS em acidentes no período noturno; (ix) UPS em acidentes em dias com condições boas de tempo e (x) UPS em acidentes em dias chuvosos.

A Unidade Padrão de Severidade (UPS) é uma ponderação dos acidentes de trânsito, conforme a severidade. No Brasil o DENATRAN (Departamento Nacional de Trânsito), em 1987 sugere a adoção dos seguintes pesos: 1 para acidentes sem vítimas, 5 para acidentes com feridos e 13 para acidentes com vítimas fatais. O número de UPS é obtido então pela soma entre o número de acidentes com somente danos materiais multiplicado por 1, o número de acidentes com feridos multiplicado por 5 e o número de acidentes com vítimas fatais multiplicado por 13.

Existem no país, especificamente para áreas urbanas, estudos mais recentes, como o do ANTP/IPEA (2003), que sugere que, se forem considerados os valores referentes ao custo social dos acidentes, utilizar-se o peso 1 para acidentes somente com danos materiais, 5 para acidentes com feridos e 44 para acidentes com vítimas fatais. Neste estudo foram testados os dois valores UPS citados, todavia os resultados apresentados são para os valores de UPS definidos pelo DENATRAN (1987), uma vez que estes valores já estão consolidados em outros estudos apresentados e não foram encontradas diferenças significativas na variabilidade explicada pelos modelos de previsão de

acidentes, quando utilizados os valores de UPS baseados no estudo do ANTP/IPEA (2003).

4. RESULTADOS OBTIDOS

Em acidentes do tipo colisão foram determinados modelos de previsão para as 10 variáveis resposta. No entanto, o modelo tendo como variável resposta o valor da Unidade Padrão de Severidade (UPS) em acidentes em dias chuvosos é capaz de explicar apenas 33,80% da variabilidade dos acidentes do tipo colisão para esta condição.

O resultado das análises desenvolvidas possibilitou a determinação de modelos de previsão, no caso de acidentes do tipo atropelamento para as seguintes variáveis: (i) UPS em atropelamentos; (ii) UPS em atropelamentos em dias com condições boas de tempo; e (iii) UPS em atropelamentos no período diurno. A impossibilidade de gerar modelos de previsão para os demais itens pode ser explicada pela menor quantidade de acidentes registrados para este grupo e pela impossibilidade de modelar a média do valor total de acidentes. Tal fato indicou que os dados considerados permitiram modelar os valores médios de atropelamentos somente quando considerada a severidade na ocorrência destes, aqui descrita pelo valor UPS.

A Tabela 2 apresenta os valores da variância explicada pelos modelos de previsão desenvolvidos.

Os modelos desenvolvidos possuem função de liga-

Tabela 2. Variância explicada para os modelos de previsão de acidentes, de acordo com a variável resposta

<i>Total de Colisão</i>		<i>UPS em Colisão</i>		<i>UPS em Atropelamento</i>	
<i>Variável resposta</i>	<i>Variância Explicada</i>	<i>Variável resposta</i>	<i>Variância Explicada</i>	<i>Variável resposta</i>	<i>Variância Explicada</i>
Total	67,36%	Total	64,05%	Total	60,96%
per.diurno	66,50%	per.diurno	62,92%	c/ tempo bom	61,73%
per.noturno	62,87%	per.noturno	59,11%	per.diurno	45,57%
c/ tempo bom	66,49%	c/ tempo bom	63,07%		
c/ chuva	47,01%	c/ chuva	33,80%		

ção log, como já citado. Deste modo, a equação apresentada em cada relatório do SAS possui como variável resposta o logaritmo na base e da variável modelada. Assim sendo, os modelos de previsão apresentam a forma mostrada na Equação 2:

$$VR = e^{(\beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2 + \dots)} \quad (2)$$

em que: VR : variável resposta;

β_0 : constante;

β_i : parâmetros do modelo;

X_i : variáveis explicativas (fatores de risco e exposição analisados).

Nas Tabelas 3 e 4 são apresentados os valores dos parâmetros de cada variável explicativa, calculados no SAS para os modelos de previsão. Nos casos em que a variável não foi significativa para o modelo, conforme a variável resposta apresentada na coluna, a célula correspondente está vazia.

Com os modelos estruturados buscou-se conhecer a contribuição de cada fator de risco estudado (variáveis explicativas) para a média anual de acidentes determinada em cada modelo de previsão (variável resposta). Assim sendo, foi calculada a distribuição percentual da variância explicada para cada variável explicativa,

Tabela 3. Valores dos parâmetros de cada variável resposta (codificada) para os modelos de previsão de acidentes do tipo colisão

<i>Variável Explicativa</i>	<i>Número de colisões</i>					<i>UPS em colisões</i>				
	<i>Total</i>	<i>dia</i>	<i>noite</i>	<i>tempo bom</i>	<i>chuva</i>	<i>Total</i>	<i>dia</i>	<i>noite</i>	<i>tempo bom</i>	<i>chuva</i>
Constante	1,4338	1,2274	0,0237	1,0985	-0,3152	1,9968	1,6903	0,4369	2,0009	0,7127
Vol_veic	0,7724	0,8136	0,5614	0,645	1,1288	0,6479	0,6163	0,6326	0,6470	0,9509
P_motos	0,4359	0,5156		0,455	0,6758	0,2381	0,3267			
V₈₅	-0,4388	-0,6103								
Comp_tot	0,7991	0,7148	1,3114	0,8529	0,7095	1,0634	1,0013	1,1789	1,0982	0,7388
Larg_tot	0,4601	0,5048	0,9035	0,5416		0,4841	0,4753	0,6404	0,3969	
Pav_rr								0,2593		
Veget_pequena						-0,1231	-0,1365			
Veget_m_g	0,2002	0,2126		0,2307						
PO	0,2909	0,2859		0,2523	0,4449	0,2616	0,2603	0,2858	0,2357	
V_ac_tot	0,2315			0,3237						
V_cruz_sem	0,3403					0,3972		0,6317	0,4134	
V_cruz_n_sem	0,4075					0,6024		1,4413	0,7558	
V_cruz		0,3305	0,5013	0,3495			0,3429			

Tabela 4. Valores dos parâmetros de cada variável resposta (codificada) para os modelos de previsão de acidentes do tipo atropelamento

<i>Variável Explicativa</i>	<i>UPS em Atropelamentos</i>	<i>UPS em Atropelamentos c/ tempo bom</i>	<i>UPS em Atropelamentos período diurno</i>
Constante	1,5409	1,2441	1,4988
Vol_veic	0,4678	0,4411	0,3778
p_TANF	-0,3663		
P_TAFF		0,2717	
Fl_ped_h	0,4259	0,2729	
Comp_tot	1,3135	1,3074	1,1955
Pav_rr	0,2226	0,2416	
Veget_m_g	0,1773	0,1815	0,2240

nos modelos de previsão desenvolvidos. A Tabela 5 apresenta os valores do percentual de participação de cada variável explicativa no valor total da variável resposta para os modelos de previsão que calculam o valor anual esperado para os totais de acidentes ou de UPS.

Posteriormente, o valor da taxa anual de acidentes calculada pelo modelo foi comparada ao valor da taxa observada em cada segmento utilizado para a validação. A partir do conhecimento dos valores observados e esperados de acidentes em cada segmento, fez-se uma comparação dos mesmos com o objetivo de verificar a discrepância entre eles. Os resultados dessa comparação foram analisados através do erro médio, erro percentual médio, erro absoluto médio e do erro absoluto percentual médio. A Tabela 6 mostra os valores obtidos para os modelos de previsão relacionados aos totais de acidentes ou UPS.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos com a construção dos modelos para previsão de acidentes em vias arteriais, baseados em condicionantes viário-ambientais evidenciam a influência destas na ocorrência de acidentes de trânsito para os tipos analisados. Os valores da variabilidade explicada pelos modelos de previsão e dos erros calculados na aplicação desses modelos são bastante satisfatórios quando comparados a estudos semelhantes relatados na bibliografia internacional (Mountain *et al.*, 1996; Brüde e Larson, 1993; Greibe, 2003).

Dessa forma, ficou comprovada a influência significativa de fatores ligados às condições de visibilidade, manutenção do pavimento, localização de pontos de ônibus, volume de acessos e cruzamentos às vias arteriais, dentre outros. Esses fatores podem ser considerados como controláveis pela gestão do trânsito. A partir desta constatação, percebe-se que a ação mais

efetiva do gerenciamento de transporte em relação às condicionantes viário-ambientais pode resultar em uma queda significativa no número e gravidade dos acidentes de trânsito, caindo por terra a crença de que os problemas de segurança viária estão prioritariamente relacionados aos fatores humanos (comportamentais). Os modelos de previsão desenvolvidos podem ainda ser utilizados como ferramenta auxiliar à tomada de decisão em relação a intervenções no sistema viário, uma vez que permitem estimar as taxas anuais de acidentes considerando alterações que afetem as variáveis utilizadas para a construção dos modelos de previsão.

Por fim, salienta-se que a metodologia utilizada neste trabalho pode também ser aplicada em rodovias e outras classes de vias urbanas, buscando-se determinar a participação e a importância dos fatores viário-ambientais para a ocorrência de acidentes de trânsito nestes casos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTP/IPEA (2003) *Impactos sociais e econômicos dos acidentes de trânsito nas aglomerações urbanas* – Síntese da Pesquisa, 21 p.
- Bonneson, J. A.; McCoy, P. T. (1997) Effect of median treatment on urban arterial safety – an accident prediction model. *Transportation Research Record*, v.1581, p. 27-36.
- Brüde, U.; Larsson J. (1993) Models for predicting accidents at junctions where pedestrians and cyclists are involved. How well do they fit? *Accident Analysis & Prevention*, v. 25, n. 5, p. 499-509.
- Cardoso, G.; Goldner, L. G. (2004) Um estudo do risco de atropelamentos em vias com corredores exclusivos para ônibus em Porto Alegre – RS. *XVIII ANPET*. Florianópolis, v. Comunicações Técnicas.
- Cardoso, G. (2006) *Modelos de previsto de acidentes de trânsito em vias arteriais urbanas*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.
- Chapman, R.A. (1973) The concept of exposure. *Accident Analysis & Prevention*, v. 5, n. 2, p. 95-110.
- DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito (1987) *Manual de Identificação análise e tratamento de pontos negros*, 2ª ed., 127p, Brasília - DF.
- EPTC – Empresa Pública de Transportes e Circulação (2005) *Consulta de estatísticas de acidentes de trânsito*. Disponível em: <<http://www.eptc.com.br>>, Acesso em 15 de junho de 2005.

Tabela 5. Percentual de participação de cada variável explicativa no valor total da variável resposta, para modelos de previsão acidentes (média anual de acidentes)

	Vol_veic	P_motos	V85	Comp_tot	Larg_tot	Veget_m_g	Veget_peq	PO	V_ac_tot	V_cruz_sem	V_cruz_n_sem	Pav_rr	P_TANF	P_TAFF	Fl_ped_h
Total de Colisões	17,6	10,0	10,0	18,3	10,5	4,6		6,6	5,3	7,8	9,3				
UPS em Colisões	17,0	6,2		27,9	12,7		3,2	6,9		10,4	15,8				
UPS em Atropelamentos	15,7			45,0		6,0						7,5	12,3		14,3

Tabela 6. Valores médios de erro obtidos pela diferença entre o valor calculado pelo modelo de previsão o valor observado nos segmentos avaliados

	Erro Médio	Erro Perc. Médio	Erro Abs. Médio	Erro Abs. Perc. Médio
Total de Colisões	-1,66	-7,90%	5,15	24,50%
UPS em Colisões	0,36	1,30%	6,67	23,40%
UPS em Atropelamentos	1,64	19,30%	2,03	23,70%

- Greibe, B. (2003) Accident prediction models for urban roads. *Accident Analysis & Prevention*, v. 35, n. 2, p. 273-285.
- Levinson, H. S. (1999) Access Spacing and Accident. TRB Circular E-C019, *Urban Street Symposium*, Dallas – Texas – EUA, pp. C.1/1 – C.1/13.
- Lord, D.; Manar A.; Vizioli A. (2005) Modeling crash-flow-density and crash-flow-V/C ratio relationships for rural and urban freeway segments. *Accident Analysis & Prevention*, v. 37, n.1, p. 185-199.
- Lupton, K.; Jarrett, D. F.; Wright, C. C.; Mountain, L. J.; Fawaz, B. A. (1996) A database for assessing the safety effects of highway improvements. *Traffic Engineering and Control*, v. 37, n. 5, p. 321-326.
- Mountain, L.; Fawaz, B. E Jarrett, D. (1996) Accident prediction models for roads with minor junctions. *Accident Analysis & Prevention*, v. 28, n. 6, p. 695-707.
- Papayannoulis, V.; Gluck, J. S.; Feeney, K. (1999) Access Spacing and Traffic Safety. TRB Circular E-C019, *Urban Street Symposium*, Dallas – Texas – EUA, pp. C.2/1 – C.2/15.
- Qin, X.; Ivan, J. N. E.; Ravishanker, N. (2004) Selecting exposure measures in crash rate prediction for two-lane highway segments. *Accident Analysis & Prevention*, v. 36, n. 2, p. 183-191.
- Sawalha, Z; Sayed, T. (2001) Evaluating safety of urban arterial roadways. *Journal of Transportation Engineering*. v. 127, n. 2, p. 151-158.
- TRB - Transportation Research Board (1998) Managing Speed: Review of current practice for setting and enforcing speed limits. *Transportation Research Record - Special Report 254*, National Academy Press, Washington, DC.
- TRRL - Transport and Road Research Laboratory (1991) *Towards Safer Roads in Developing Countries*. 219 p.
- Zhou, M; Sisiopiku, V. P. (1997) Relationship between volume-to-capacity ratios and accidents rates. *Transportation Research Record*, v. 1581, p. 47-52.