

## **CALIBRAÇÃO DO MODELO PARA ESTIMATIVA DE VELOCIDADE EM ONDULAÇÕES TRANSVERSAIS EM VIAS URBANAS**

**Rogério Faria D'Avila**

**Clarissa Pontes Melo**

**Heloisa Maria Barbosa**

Núcleo de Transportes – NUCLETRANS

Departamento de Engenharia de Transportes e Geotecnia

Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG

### **RESUMO**

Este trabalho tem como objetivo a avaliação do efeito de ondulações transversais na redução de velocidade de veículos leves, com ênfase no tratamento de dados em Software de estatística. Foram selecionadas ondulações na cidade de Belo Horizonte, onde se fez o inventário viário destes locais e coletou-se a velocidade dos veículos. Esses dados foram trabalhados em planilhas eletrônicas e Software específico para calibração de modelos (Minitab) para estimativa da velocidade na ondulação em função das variáveis explicativas que serão explanadas ao longo deste estudo. A análise realizada apontou um modelo com indicador de explicação de 81% das variáveis utilizadas no processo de modelagem.

### **ABSTRACT**

This study aims to evaluate the effect of transverse undulations in reducing speed of light vehicles, with emphasis on the treatment of data in statistical software. Were selected ripples in the city of Belo Horizonte, where did these local road inventory and yielded the speed of vehicles. These data were processed in spreadsheets and software-specific calibration models (Minitab). We tested various designs and one selected with the highest index of explanation, explaining 81% of the variables used in the process.

### **1. INTRODUÇÃO**

Os processos acelerados de urbanização, associados ao maior dinamismo das cidades e o crescimento significativo da frota de veículos em circulação, nas últimas décadas, têm produzido profundas mudanças na estrutura das cidades brasileiras. Cada vez mais o transporte se torna essencial à continuidade deste crescimento. Porém, este cenário tem gerado preocupação, especialmente quando se trata de áreas mais sensíveis, gerando custos econômicos decorrentes de acidentes e problemas ambientais, causados por altas velocidades e excessivo volume de tráfego. Verifica-se assim, em muitas cidades, um modelo de mobilidade apoiado no uso insensato do automóvel, responsável por problemas decorrentes do tráfego, tais como poluição urbana, congestionamentos e acidentes no trânsito. As condições de vida tornam-se assim, precárias.

Nas últimas décadas o Brasil foi, paulatinamente, ocupando lugar entre os campeões mundiais de violência de trânsito, reflexo da insuficiência das medidas de controle público de velocidade na via e nos veículos da impunidade. Segundo informações da Polícia Militar de Minas Gerais, em 2008, apenas em Belo Horizonte foram registrados 2200 acidentes, colisões envolvendo vítimas ou não, em vias localizadas no Hipercentro da cidade. Isso pode ser interpretado como uma real necessidade de novas estratégias de transporte, direcionadas para as questões mais urgentes como à segurança viária. A severidade dos acidentes está relacionada com a velocidade do veículo no momento da colisão. Logo, o controle efetivo da velocidade e a redução do seu excesso resultam em diminuição de acidentes, e consequentemente de vítimas fatais, e da severidade dos ferimentos dessas. Uma das dificuldades em determinar como se comportam as variações das velocidades consiste em identificar quais os fatores existentes na via que influenciam diretamente estas velocidades

como, por exemplo, a composição do tráfego, condições da via, e o uso do solo da área de influência. (Leutzbach, 1988)

Diante destes problemas, verifica-se a urgência na elaboração de projetos viários e de circulação, visando à redução da velocidade ou mesmo diminuição do fluxo veicular, sobretudo em vias locais. Uma importante medida refere-se à utilização de moderadores de tráfego – *Traffic Calming*, termo que designa a aplicação através da engenharia de tráfego, de medidas físicas e de regulamentação, desenvolvidas para induzir os motoristas a um modo de dirigir mais apropriado à segurança, através do controle da velocidade. São medidas de fácil instalação, de baixo custo de implantação e muito eficientes na redução da velocidade.

As ondulações transversais são tipos de moderadores de tráfego, que se referem a porções elevadas da via com perfil circular, em ângulo reto em relação à direção do tráfego e usualmente inseridas de meio-fio a meio-fio. Se para os motoristas estes dispositivos causam transtorno, já que a tentativa de ultrapassar estas barreiras com grande velocidade pode causar abruptas variações no veículo e danos ao mesmo (Bagnato, 1998 apud Barbosa 2011) para os pedestres garantem maior segurança na travessia de vias nas imediações das ondulações.

Este artigo apresenta o estudo do efeito de ondulações transversais na velocidade de veículos leves, feito a partir de dados de velocidade coletados por Patrocínio et al. (2011) em ondulações transversais de Belo Horizonte. O objetivo trata da avaliação destes dispositivos quanto à sua eficácia e segurança local por meio do estudo das variáveis que influenciam a velocidade veicular ao transpor ondulações transversais. Para o presente estudo procurou-se dar um enfoque estatístico, possibilitando um refinamento na modelagem realizada anteriormente. Espera-se que o modelo seja um subsídio útil no planejamento de transportes.

O referido artigo está dividido em cinco seções, sendo esta Introdução a primeira. Estudos realizados para investigar os impactos de medidas de moderação de tráfego na velocidade estão apresentados na segunda seção. A seguir, é detalhada a metodologia adotada no presente estudo. Os resultados e discussão compõem a seção 4 e por fim são apresentadas as conclusões do estudo.

## **2. VELOCIDADE EM MODERADORES DE TRÁFEGO**

Vários estudos produziram modelos que podem ser utilizados para estimar a variação de velocidade ao longo da via devido à presença de dispositivos de moderação de tráfego. Os estudos apresentam enfoques diversificados ao considerar o efeito dos dispositivos individualmente, ou dois desses em sequência, na velocidade veicular.

Engel e Thomsen (1992) realizaram um estudo em 44 vias, onde a velocidade veicular limite foi reduzida, devido a um novo código introduzido no tráfego rodoviário dinamarquês em 1977. Nas vias em estudo a velocidade foi reduzida para 15 ou 30 km/h em função de uma variedade de dispositivos de moderadores de tráfego. Os principais resultados do modelo foram: a altura de uma ondulação transversal apresentou o maior efeito sobre mudanças na velocidade; para cada 1 cm de altura houve uma expectativa de redução de velocidade de 1 km/h, ou seja, caso o dispositivo tenha 10 cm de altura, esse provocará a redução de velocidade em 10 km/h. A presença de um estreitamento na faixa de rodagem irá resultar a redução da velocidade em 4,7 km/h, assim como a presença de um deslocamento lateral duplo.

Webster (1993), no estudo com plataformas de 100 mm de altura, realizado em 24 locais, obteve por meio de análise de regressão linear duas equações que relacionam a velocidade dos veículos entre os dispositivos e o seu espaçamento. Estas equações, transformadas em km/h, são as seguintes:

$$V_{85} = 20,720 + 0,171 S \quad r = 0,93 \quad \text{S.E.} = 2,720 \quad (1)$$

$$V_{\text{média}} = 17,696 + 0,144 S \quad r = 0,91 \quad \text{S.E.} = 2,576 \quad (2)$$

Em que:  $V_{85}$  = velocidade do percentil 85 no ponto médio entre os dispositivos.  
 $V_{\text{média}}$  = Velocidade média no ponto médio entre os dispositivos.  
 $S$  = Espaçamento entre os dispositivos.  
 $r$  = Coeficiente de correlação.  
 $\text{S.E.}$  = Erro padrão em km/h.

Pela primeira equação obtém-se uma velocidade, para o 85º percentil, de 30 km/h quando o espaçamento entre os dispositivos for de aproximadamente 23 m. Pela segunda equação encontra-se um valor de aproximadamente 72 m entre os dispositivos para uma velocidade média de 30 km/h.

No estudo de Barbosa *et al.* (2000) foram considerados quatro tipos de medidas de moderação de tráfego: ondulações, plataformas, almofadas e chicanas. O estudo foi realizado em seis vias distintas, em trechos com uma sequência de três medidas. A coleta de dados resultou na obtenção de perfis de velocidade para cada veículo monitorado ao longo de cada trecho. Um modelo empírico desenvolvido mostrou que dos quatro elementos, as plataformas apresentam impactos mais consistentes na redução da velocidade, seguido das ondulações, almofadas e das chicanas. As diferenças em impactos entre medidas do mesmo tipo geram a hipótese dessas diferenças serem atribuídas ao local: o tipo de via e suas características sugerem uma grande influência ao controlarem a velocidade dentro de certos níveis. O estudo resultou na formulação de um modelo para estimativa do perfil de velocidades, por meio de regressão linear múltipla, com 55% de capacidade de explicação da variável velocidade para as quatro medidas de moderação mencionadas.

Ewing e Brown (2009) analisaram a interferência da geometria viária e do espaçamento no impacto gerado pelos dispositivos de moderação de tráfego. O primeiro determina a velocidade na qual os motoristas trafegam pelos dispositivos, enquanto o segundo define o tanto que os motoristas aceleram entre dispositivos. As ondulações transversais têm o maior impacto na velocidade do 85º percentil, comparadas a outros dispositivos, reduzindo em média mais de 11 km/h na velocidade. Garcia et al. (2010) analisaram diferentes medidas de moderação implantadas em sequência, cujas características geométricas foram medidas utilizando-se um perfilômetro digital, de modo a correlacionar as dimensões dos dispositivos ao comportamento do condutor. A partir desses perfis de velocidade foi possível calcular a redução de velocidade entre os elementos moderadores, e no caso das ondulações registrou-se uma redução de 20 a 25 km/h, redução que depende de outras variáveis, tais como da geometria dos dispositivos e da distância ao dispositivo anterior. Um modelo estatístico ressalta que 70,7% da variância correspondente à velocidade nas ondulações se explica mediante a distância ao elemento anterior.

### 3. METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho é composta pelas seguintes etapas: (i) descrição do banco de dados a ser utilizado e da área de estudo; (ii) levantamento da necessidade de dados complementares; (iii) modelagem estatística; e (iv) avaliação dos resultados. O detalhamento das etapas é apresentado a seguir.

#### 3.1 Descrição do banco de dados e da área de estudos

O banco de dados adotado para este trabalho foi obtido por Patrocínio et al. (2011) por meio de medição de velocidades em 17 ondulações transversais localizadas na região oeste de Belo Horizonte, em vias regulamentadas com velocidade máxima de 30 ou de 40 km/h. Consta desse banco de dados o levantamento cadastral referente às dimensões dos dispositivos moderadores de tráfego (largura, altura, comprimento); às características viárias – largura e número de faixas, estado de conservação da pavimentação, greide, à presença de canteiro central e de faixas de estacionamento, além das condições de tráfego. Os dados referem-se à velocidade veicular medida em fluxo livre (velocidade de entrada antes da ondulação) e na ondulação. A Figura 1 ilustra um dos dispositivos estudados, localizado à Rua Coronel José Dias Bicalho.



Figura 1 – Ondulação localizada à Av. Coronel José Dias Bicalho

Fonte: Google Maps

As seções de via pesquisadas apresentavam ondulações transversais (OT) implantadas de forma que não houvesse qualquer interferência no que tange à redução de velocidade por parte do motorista. A Tabela 1 apresenta as OT's que compõem o banco de dados.

Tabela 1 – OT's constantes no banco de dados

ID	Local	ID	Local
1	Av. Coronel José Dias Bicalho	10	Av. Amintas Jaques, nº11
2	Av. Coronel Oscar paschoal	11	Av. Clóvis Salgado
3	Av. Clóvis Salgado 1(Cojan)	12	Av. Dep. Ânuar Menhcm n440
4	R. Romualdo Lopes Cançado	13	Av. Portugal nº421
5	Av. Presidente Tancredo Neves	14	Av. Miguel Perrela
6	Av. Benvindo Belém de Lima	15	Av. Dr.Sylvio Meniucci, nº1
7	Av. Santa Teresinha	16	Av. Dr Sylvio Meniucci
8	Av. Amintas Jaques, nº9	17	Av. Cremona
9	Av. Amintas Jaques, nº10		



### 3.2 Medição de Velocidade

As medições de velocidades dos veículos foram feitas com um radar de mão Bushnell Speedster Modelo 10-1907. Este radar não permite precisar o veículo alvo caso exista mais de um veículo próximo ao ponto de medição. Esta característica implica que o veículo alvo deve estar completamente isolado, isto é, trafegando sem outro veículo se aproximando ou se afastando do veículo alvo.

O procedimento consistiu no posicionamento do observador em local na via de forma que o motorista não percebesse sua presença com o Radar, fato que influenciaria o comportamento do condutor. O radar de mão tem um alcance de 400m e mede velocidades de afastamento e de aproximação através do efeito Doppler. O melhor resultado é obtido quando o radar é direcionado coincidindo com a linha de percurso do veículo. Seguindo a mesma metodologia de Barbosa e Moura (2008) adotou-se 60 (sessenta) medições, por dispositivo, para a pesquisa de velocidade pontual.

### 3.3 Levantamentos da necessidade de dados complementares

Para um estudo como esse faz-se necessário levantar dados que refletem o comportamento de motoristas, tais como idade, gênero, dentre outros. No princípio deste trabalho essas variáveis estavam sendo contempladas em uma pesquisa complementar, porém a obtenção desses dados na atualidade, nos mesmos locais onde as velocidades foram coletadas anteriormente, podem não ter validade, uma vez que, os dados poderiam ser incompatíveis. Portanto, descartou-se a possibilidade de utilização desses neste modelo.

A Tabela 2 ilustra, de forma simplificada, o banco de dados disponível utilizado neste trabalho. Como pode ser observado o banco de dados possui, ao todo, 18 variáveis de análise e nesta nova abordagem cada uma delas foi testada para o desenvolvimento do modelo de predição da velocidade no dispositivo.

**Tabela 2 – Banco de Dados**

Sinalização Deficiente	OT	Interferencia	Largura ótica	Velocidade Regulamentada	Vel. Entrada	In Velocidade Entrada	Vel. disp.	Delta v	% reducao	comp OT	In com OT	larg. da via	In largura da via	Altura OT	In altura OT	C/2	h/(c/2) %
0	1	0	0	40	25	3,218875825	17	8	0,32	3,7	1,30833	7	1,94591	0,12	-2,12026	1,85	0,0648649
0	1	0	0	40	26	3,258096538	17	9	0,346154	3,7	1,30833	7	1,94591	0,12	-2,12026	1,85	0,0648649
0	1	0	0	40	29	3,36729583	17	12	0,413793	3,7	1,30833	7	1,94591	0,12	-2,12026	1,85	0,0648649
0	1	0	0	40	30	3,401197382	17	13	0,433333	3,7	1,30833	7	1,94591	0,12	-2,12026	1,85	0,0648649
0	1	0	0	40	31	3,433987204	17	14	0,451613	3,7	1,30833	7	1,94591	0,12	-2,12026	1,85	0,0648649
0	1	0	0	40	33	3,496507561	17	16	0,484848	3,7	1,30833	7	1,94591	0,12	-2,12026	1,85	0,0648649
0	1	0	0	40	34	3,526360525	17	17	0,5	3,7	1,30833	7	1,94591	0,12	-2,12026	1,85	0,0648649
0	1	0	0	40	37	3,610917913	17	20	0,540541	3,7	1,30833	7	1,94591	0,12	-2,12026	1,85	0,0648649
0	1	0	0	40	37	3,610917913	17	20	0,540541	3,7	1,30833	7	1,94591	0,12	-2,12026	1,85	0,0648649
0	1	0	0	40	40	3,688879454	17	23	0,575	3,7	1,30833	7	1,94591	0,12	-2,12026	1,85	0,0648649
0	2	1	1	30	27	3,295836866	17	10	0,37037	3,8	1,335	13	2,56495	0,11	-2,20727	1,9	0,0578947
0	2	1	1	30	30	3,401197382	17	13	0,433333	3,8	1,335	13	2,56495	0,11	-2,20727	1,9	0,0578947
0	2	1	1	30	31	3,433987204	17	14	0,451613	3,8	1,335	13	2,56495	0,11	-2,20727	1,9	0,0578947
0	2	1	1	30	33	3,496507561	17	16	0,484848	3,8	1,335	13	2,56495	0,11	-2,20727	1,9	0,0578947
0	2	1	1	30	35	3,555348061	17	18	0,514286	3,8	1,335	13	2,56495	0,11	-2,20727	1,9	0,0578947
0	2	1	1	30	35	3,555348061	17	18	0,514286	3,8	1,335	13	2,56495	0,11	-2,20727	1,9	0,0578947
0	2	1	1	30	37	3,610917913	17	20	0,540541	3,8	1,335	13	2,56495	0,11	-2,20727	1,9	0,0578947
0	2	1	1	30	38	3,63758616	17	21	0,552632	3,8	1,335	13	2,56495	0,11	-2,20727	1,9	0,0578947
0	2	1	1	30	38	3,63758616	17	21	0,552632	3,8	1,335	13	2,56495	0,11	-2,20727	1,9	0,0578947
0	2	1	1	30	41	3,713572067	17	24	0,585366	3,8	1,335	13	2,56495	0,11	-2,20727	1,9	0,0578947
0	2	1	1	30	41	3,713572067	17	24	0,585366	3,8	1,335	13	2,56495	0,11	-2,20727	1,9	0,0578947
0	3	0	0	40	30	3,401197382	17	13	0,433333	3,7	1,30833	10,9	2,38876	0,12	-2,12026	1,85	0,0648649
0	3	0	0	40	35	3,555348061	17	18	0,514286	3,7	1,30833	10,9	2,38876	0,12	-2,12026	1,85	0,0648649
0	3	0	0	40	35	3,555348061	17	18	0,514286	3,7	1,30833	10,9	2,38876	0,12	-2,12026	1,85	0,0648649
0	3	0	0	40	35	3,555348061	17	18	0,514286	3,7	1,30833	10,9	2,38876	0,12	-2,12026	1,85	0,0648649
0	3	0	0	40	35	3,555348061	17	18	0,514286	3,7	1,30833	10,9	2,38876	0,12	-2,12026	1,85	0,0648649
0	3	0	0	40	37	3,610917913	17	20	0,540541	3,7	1,30833	10,9	2,38876	0,12	-2,12026	1,85	0,0648649
0	3	0	0	40	38	3,63758616	17	21	0,552632	3,7	1,30833	10,9	2,38876	0,12	-2,12026	1,85	0,0648649
0	3	0	0	40	41	3,713572067	17	24	0,585366	3,7	1,30833	10,9	2,38876	0,12	-2,12026	1,85	0,0648649

Essas ondulações foram inicialmente analisadas por Patrocínio et al (2011) para a criação de um modelo para estimar a velocidade em uma OT. O modelo de predição desenvolvido apresentou um baixo indicador de explicação provavelmente devido às variáveis utilizadas. Seria necessário, porém a inclusão de mais variáveis para que esse apresentasse uma explicação mais coerente.

### 3.2 Levantamentos da necessidade de dados complementares

Para um estudo como esse faz-se necessário levantar dados que refletem o comportamento de motoristas, tais como idade, gênero, dentre outros. No princípio deste trabalho essas variáveis estavam sendo contempladas em uma pesquisa complementar, porém a obtenção desses dados na atualidade, nos mesmos locais onde as velocidades foram coletadas anteriormente, podem não ter validade, uma vez que, os dados poderiam ser incompatíveis. Portanto, descartou-se a possibilidade de utilização desses neste modelo.

### 3.3 Modelagem estatística

De posse do banco com os dados levantados em campo foi possível realizar o processo de calibração do modelo através do *software* estatístico Minitab. A primeira etapa consistiu em avaliar as correlações entre as variáveis, utilizando-se o método estatístico Best-Subsets. Esse consiste em calcular correlações da demanda com uma série de possíveis variáveis e sua aplicação só é possível quando se dispõe de um *software* estatístico em função da grande quantidade de cálculos necessários. (Hair Junior, 1998 *apud* Proto e Mequita, 2003)

Na regressão tradicional o procedimento de mínimos quadrados ordinários estabelece um modelo de predição que fornece o menor valor da soma do quadrado dos erros. As inferências são obtidas a partir das exigências de normalidade dos erros, com média zero e variância constante, e independência entre si, ou seja,  $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$  e  $Cov(\varepsilon_i, \varepsilon_j) = 0, i \neq j$ . Essa suposição implica que a variável resposta  $Y$  também tenha distribuição normal. (Tachibana et al., 2007; Charnet et al., 1999)

Ressalta-se que, além das variáveis avaliadas no modelo proposto por Patrocínio et al (2011), foram incluídas as condições do tempo, sinalização deficiente e greide, consideradas como variáveis *dummy* no modelo. No caso da condição do tempo considerou-se “0” para tempo bom e “1” para tempo ruim. Já sobre a sinalização, considerou-se “0” para sinalização boa e “1” para aquela ruim. Segundo Wooldridge (2008), as variáveis binárias (*dummy*) ou variáveis dicotômicas são formas de agregar informações qualitativas em modelos de regressão estatística.

Período sem intervenção:  $D = 0$

$$Y_t = \alpha + \delta X_t + \beta X_t + \varepsilon_t \quad (3)$$

Período da intervenção:  $D = 1$

$$Y_t = \alpha + (\delta + \beta)X_t + \varepsilon_t \quad (4)$$

Em que:

$\alpha$  = intercepto

$\beta$  = inclinação

$\varepsilon$  = erro

De acordo com as informações obtidas no banco de dados verificou-se um comportamento exponencial para a altura do dispositivo. Neste caso optou-se por realizar um ajuste logaritmo de base  $e$ , ou seja, neperiano. O logaritmo natural (ou neperiano) de um dado número real  $u$ ,  $\ln(u)$ , pode ser definido do ponto de vista geométrico, como a área da região plana localizada sob o gráfico da curva  $y = 1/x$ , acima do eixo  $y = 0$ , entre as retas  $x = 1$  e  $x = u$ .

Ao levantar todas as variáveis possíveis para a aplicação no modelo, tomou-se cuidado para não inserir aquelas que fossem altamente correlacionáveis, pois isso acarretaria um valor de explicação do modelo não condizente com a realidade. Neste contexto, procurou-se eliminar de imediato nessa etapa do estudo aquelas que possuem correlação total, como, por exemplo, o caso da variável “ $c/2$ ” que representa a metade do valor do comprimento da OT. Sabe-se que essas duas variáveis, caso juntas em uma calibração de modelo, poderá elevar o valor de  $R^2$ . Outra retirada de imediato foi o  $\Delta v$  que corresponde à diferença entre a velocidade de entrada e a velocidade no dispositivo. Portanto, nessa etapa foram eliminadas, além dessas mencionadas, mais três variáveis do banco de dados. A Figura 2 apresenta o resultado obtido através do *Software* Minitab.

**Best Subsets Regression: Vel.disp. versus Sinalização Defi; OT; ...**

Response is Vel.disp.

Vars	R-Sq	R-Sq(adj)	C-p	S	Mallows																
1	19,6	19,6	8294,4	2,4192																	
1	5,9	5,8	9878,4	2,6175																	
2	91,2	91,2	29,9	0,80002																	
2	24,7	24,6	7706,4	2,3422																	
3	91,3	91,3	23,9	0,79725																	
3	91,3	91,2	26,9	0,79844																	
4	91,3	91,3	20,6	0,79556																	
4	91,3	91,3	22,0	0,79613																	
5	91,4	91,3	17,7	0,79399																	
5	91,4	91,3	17,8	0,79404																	
6	91,4	91,4	13,1	0,79178																	
6	91,4	91,4	15,5	0,79274																	
7	91,5	91,4	12,1	0,79100																	
7	91,4	91,4	14,5	0,79192																	
8	91,5	91,4	11,9	0,79049																	
8	91,5	91,4	13,7	0,79122																	
9	91,5	91,4	11,6	0,78997																	
9	91,5	91,4	12,9	0,79050																	
10	91,5	91,4	10,9	0,78929																	
10	91,5	91,4	12,8	0,79005																	
11	91,5	91,4	12,0	0,78933																	

**Figura 2 – Resultado do método Best-Subsets**

Conforme ilustra a Figura 2 nem todas as variáveis são correlacionadas o que sugere seu ajuste, para composição do modelo. Retirando-se aquelas que não possuem boa correlação foi possível realizar análise de regressão múltipla e encontrar um modelo que tende a explicar a velocidade no dispositivo. Porém, verificou-se a existência de componentes residuais inconsistentes com as demais observações do mesmo conjunto de dados, ou seja, outlier. Para isso foi necessário realizar uma avaliação se realmente os dados são outliers e qual o melhor tratamento para eles.

De acordo com Barnett e Lewis (1994), para auxiliar o estudo do assunto, algumas etapas devem ser cumpridas. Aquela inicial consiste na identificação das observações que são potencialmente atípicas. Posteriormente aplicam-se os testes mais adequados às observações com intuito de verificar se essas são efetivamente outliers potenciais. Na terceira e última etapa é definido qual o tratamento mais adequado para tais observações. A maneira mais simples de lidar com os outliers é eliminá-los, entretanto, apesar de comum, esta abordagem só se justifica nos casos em que a correção dos erros é inviável. Caso contrário, as observações consideradas como outliers devem ser tratadas cuidadosamente, pois é possível que contenham informações que possam vir a ser decisivas no conhecimento da população, a qual pertence à amostra em estudo.

Após o processo minucioso de outliers pelo método de Bacon que consiste em:

- (i) Identificar um subconjunto inicial básico  $G$  com tamanho de  $m > p$  observações livres de outliers.
- (ii) Ajustar um modelo apropriado para o subconjunto básico, e a partir do modelo calcular a discrepância de cada uma das observações.
- (iii) Definir um novo subconjunto  $G$  contendo todos os pontos com discrepância menor que  $C_{npr}X_{p,\alpha/n}$ , onde  $X_{p,\beta}^2$  é o percentil  $1-\beta$  da distribuição qui quadrado com  $p$  graus de liberdade e  $C_{npr} = C_{np} + C_{hr}$  é um fator de correção.

O pequeno esforço de computação exigido pelo algoritmo Bacon e em particular o fato de que este esforço cresce lentamente com o aumento do tamanho da amostra, torna este método particularmente adequado para grandes conjuntos de dados (Fonseca, 2011). A análise apontou para comportamentos de outlier as variações de velocidade menor do que 5, ou seja, quando a velocidade de entrada menos a velocidade no dispositivo for menor ou igual a 5. Isso pode ser explicado, pois quando a variação é pequena significa que a OT não foi suficiente para reduzir a velocidade do motorista. Isso pode ser por diversos fatores humanos que poderão ser mais bem avaliados em trabalhos posteriores. Outro fator de ajuste no modelo foi calcular o “ln” da variável altura da OT. Esse processo foi realizado, pois segundo as fórmulas de cálculo de altura da OT o indicador varia de forma exponencial.

#### **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Este item tem por objetivo apresentar os resultados deste estudo com foco no objetivo final, ou seja, desenvolver um modelo de predição da velocidade de um veículo ao trafegar por uma ondulação transversal.

Após todos os ajustes anteriormente descritos foi possível aplicar a metodologia de regressão múltipla e encontrar o modelo para explicar a velocidade no dispositivo. As variáveis utilizadas na modelagem foram: Sinalização deficiente, OT (Ondulação Transversal), Interferência, Largura Ótica, Velocidade Regulamentada, Velocidade de Entrada, Porcentagem



de Redução, Comprimento da OT, Largura da via, Altura da via, Altura da OT, Ln Altura da OT e Condição do Tempo. A partir da análise do método Best-Subsets é possível identificar dentre quais conjuntos de variáveis aquele de melhor aplicação para o objetivo proposto. Esse processo de análise se dá de duas formas, onde a primeira é identificar quais conjuntos de dados possuem o maior  $R^2$  e a segunda etapa é verificar qual o melhor indicador Mallows C-p que tem o objetivo de encontrar modelos adequados traçando uma estatística espacial. O melhor modelo será aquele que apresentar o menor valor de C-p. (Charnet, et al. 1999). No processo de modelagem, tentou-se incorporar várias outras variáveis no modelo que até então não haviam sido incorporadas em um estudo de efeito de ondulação transversal em via urbana como greide, sinalização deficiente, clima e outros.

Ressalta-se que a variável porcentagem de redução da velocidade (%) não foi considerada no modelo, porque é direta (decorrente da diferença entre a velocidade de entrada e a velocidade no dispositivo), ademais é difícil de ser obtida para ser utilizada, isto é, teria que partir de casos semelhantes com velocidades na ondulação transversal conhecidas. A Tabela 3 mostra o resultado da análise de regressão com as variáveis acima mencionadas.

**Tabela 3 - Resultado da Análise de Regressão**

Preditor	Coef	Se Coef	T	P	VIF
Constant	-121,72	37,28	-3,26	0,001	
Vel. Entrada	0,10302	0,01	9,01	0,000	1
Comp. OT	9,455	2,781	3,4	0,001	52,8
Ln Largura da Via	-31,4	8,09	-3,88	0,000	301,7
h/(c/2)	542	154,3	3,51	0,000	162,6
S = 2,55		R-Sq = 81,2%		R-Sq (adj) = 81,8%	

Conforme análise das informações da Tabela 3 todas as variáveis apresentaram p-value menor que 5%, o que torna o modelo válido. Além disso, verifica-se que o  $R^2$  do modelo proposto neste estudo foi de 81,2% o que o torna significativamente consistente. Por fim, o modelo proposto conforme a análise de regressão é:

$$Vel. disp. = - 122 + 0,103 Vel. Entrada + 9,45 comp OT - 31,4 ln altura OT + 542 h/(c/2) \% \quad (5)$$

Em que:

Vel disp = velocidade no dispositivo

Vel. Entrada = velocidade de entrada ou de fluxo livre

Comp OT = comprimento da ondulação transversal

Ln Altura OT = Logaritmo Neperiano da Altura da Ondulação Transversal

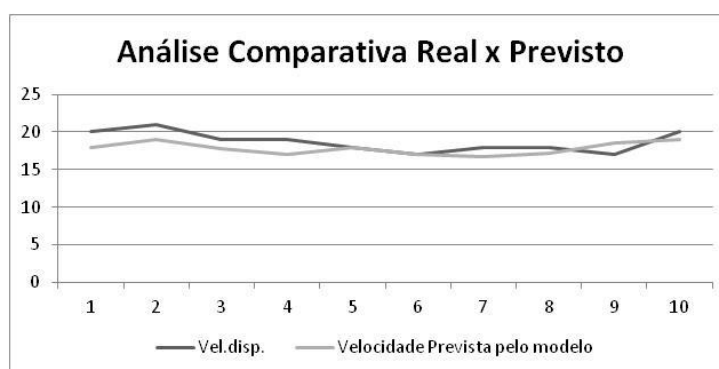
h/(c/2)% = Greide da Ondulação Transversal

É importante ressaltar que o modelo apresentado apresenta boa aderência das variáveis, uma vez que, a velocidade de entrada é de preponderância para a identificação do comportamento do usuário. As variáveis de comprimento, altura e greide da ondulação transversal dizem respeito ao comportamento do usuário ao utilizar o dispositivo. Verificam-se que os coeficientes das variáveis Vel. Entrada, Comp. OT e h/(c/2)% apresentaram comportamento

positivo, já a constante do modelo e a variável  $\ln$  Altura OT apresentaram comportamento com sinal negativo e isso pode ser explicado devido ao ajuste logarítmico dessa variável que implica em mudança de simetria. Verifica-se ainda que, os coeficientes de cada variável possuem uma ordem de grandeza esperada, como por exemplo, o coeficiente da variável  $h/(c/2)\%$  que possui valores abaixo de 10%. Considera-se a partir de todas as avaliações realizadas que o modelo é válido e acredita-se que uma avaliação futura possa ser feita considerando variáveis como idade, sexo e outras variáveis qualitativas para elevar ainda mais a explicação do modelo. A Tabela 4 e Figura 3 resumem os resultados comparativos para alguns dados de OT tomados aleatoriamente e, como pode ser visto, a diferença obtida entre o real medido em campo e o previsto pelo modelo é pouco significativa.

**Tabela 4 - Resultado da Análise de Regressão**

Vel.red.	Vel.disp.	Comp. OT	Larg. via	Altura OT	$h/(c/2)\%$	Velocidade Prevista pelo modelo	Diferença km/h
33	20	3,7	7	0,12	0,065	18	2
41	21	3,8	13	0,11	0,058	19	2
41	19	3,7	10,9	0,12	0,065	18	1
35	19	3,3	6,2	0,11	0,067	17	2
53	18	3,8	10	0,11	0,058	18	0
34	17	3,8	6,4	0,11	0,058	17	0
31	18	3,8	5,2	0,11	0,058	17	1
35	18	3,5	5,4	0,12	0,069	17	1
49	17	3,7	7,6	0,11	0,059	18	1
49	20	3,7	6,5	0,11	0,059	19	0



**Figura 3 – Análise Comparativas**

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme pode ser visto ao longo deste estudo, o objetivo principal foi calibrar um modelo para explicar a velocidade veicular em uma ondulação transversal. Para isso, foi necessária a posse de uma base de dados consistentes e um processo de análise assertivo e coerente. O banco de dados utilizado para este estudo teve como base um levantamento realizado por Patrocínio *et al* (2011) no qual foram avaliadas 17 ondulações transversais em vias coletoras e locais na cidade de Belo Horizonte.

O modelo desenvolvido neste artigo apresentou uma série de intervenções, como análise de outliers, transformação de logaritmo neperiano, variáveis dummy e análise de regressão. Após todo o processo de estruturação das variáveis correlacionadas foi possível encontrar um modelo que apresentou 81% de explicação com todas as variáveis com significância dentro dos padrões estatísticos aceitos. Ressalta-se que o resultado de porcentagem de redução da velocidade não entrou no modelo porque é uma variável direta (decorrente da diferença), e é difícil de ser obtida para utilização, isto é, teria que partir de casos semelhantes com velocidades conhecidas. No processo de modelagem, tentou-se incorporar várias outras variáveis no modelo que até então não haviam sido incorporadas em um estudo de efeito de ondulação transversal em via urbana como greide, sinalização deficiente, clima e outros. Assim, julga-se que o modelo proposto neste artigo é capaz de subsidiar de forma significativa estudos na área de transportes no que tange a implantação de ondulações transversais em vias urbanas.

#### **Agradecimentos**

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais – FAPEMIG pela concessão de auxílio para realização dessa pesquisa.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Barbosa, H.M. (2000). Análise Comparativa dos Impactos de Medidas Moderadoras de Tráfego na Velocidade. XI Congresso Panamericano de Engenharia de Trânsito e de Transportes. 2000. Gramado - RS. p. 87-101.
- Barbosa, H.M e Moura, M.V. (2008) Ondulações Transversais para controle da velocidade veicular. XXII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, Panorama Nacional da Pesquisa em Transportes 2008. Rio de Janeiro. p. 941-951.
- Barnet, V. e Lewis, T. (1994). Outliers in statistical data. Third Edition, John Wiley & Sons Inc, New York.
- BHTRANS/NUCLETRANS (1998) *Manual de Menidas Moderadoras de Tráfego- Traffic Calming*. Escola de Engenharia de UFMG/BHTRANS.
- Charnet, R.; Freire, C.A. De L.; Charnet, E.M.R.; Bonvino, H. Análise de modelos de regressão linear com aplicações. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 1999.356p.
- Fonseca, V. (2011). “Detecção de outliers em dados amostrais de uma pesquisa econômica”. Rio de Janeiro-RJ.
- Garcia, A; Torres, A.; Romero, M. A.; Moreno, A. T. (2010) Evolución de las Velocidades ante Dispositivos Moderadores del Tráfico. XVI PANAM, Lisboa, Portugal.
- Leutzbach, W. (1988) Introduction to the theory of traffic flow. Berlin.
- Patrocínio, C G, Barbosa, H.M.; Santos, F H C;. Avaliação do Efeito de Ondulações Transversais na Velocidade em Vias Urbanas. In: XXV ANPET Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2011, Belo Horizonte. Anais do XXV ANPET, 2011. p. 1-12.
- Proto, L; Mesquita, M. Previsão de demanda para planejamento da capacidade de empresa do setor cimenteiro, 2003. Ouro Preto-MG.
- Tachibana, V.M.; Imai, N.N.; Ennes, R.; Vicentin, D.M. Aplicação de técnicas utilizando regressão clássica e espacial na cidade de Presidente Prudente-SP. Anais do II Simpósio Brasileiro de Geomática e V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, Presidente Prudente-SP, pp.719-725.
- Webster, D.C. (1993). *Road Humps for Controlling Vehicle Speeds*. TRL Project Report 18, Crowthorne.
- Wooldridge, Jeffrey M. “Introdução à econometria: uma abordagem moderna”. São Paulo: Cengage Learning, 2008. Capítulo 7 (pp.207-242).

---

Clarissa Pontes Melo (clarissapontes@gmail.com)  
Rogério D´Avila (rfdavila@yahoo.com.br)  
Heloiisa Maria Barbosa (heloiisa@etg.ufmg.br)  
Escola de Engenharia da UFMG  
Departamento de Engenharia de Transportes e Geotecnia,  
Núcleo de Transportes – NUCLETRANS  
Avenida Antonio Carlos, 6627, Campus Pampulha  
31270-901 – Belo Horizonte.