

## Movimento de veículos descrito por técnicas geodésicas

*Vehicles movement described by geodetics techniques*

Érica Santos Matos<sup>1</sup>  
Carlos Aurélio Nadal<sup>1</sup>  
Pedro Luis Faggion<sup>1</sup>  
Luís Augusto Koenig Veiga<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Paraná – UFPR. Setor de Ciências da Terra. Departamento de Geomática. Caixa Postal 19001, CEP 81531-900, Curitiba, PR, Brasil.  
ericamatos@ufpr.br; cnadal@ufpr.br; faggion@ufpr.br; kngveiga@ufpr.br

Recebido em 23/07/2015 – Aceito em 21/03/2016  
Received on 07/23/2015 – Accepted on 03/23/2016

**RESUMO** – A determinação de grandezas com acuracidade é tema recorrente nos dias atuais, principalmente no campo da metrologia. Sendo assim, este trabalho visa apresentar uma proposta para descrever o movimento de veículos com uso de técnicas geodésicas. A verificação do movimento do veículo foi realizada por meio do método de posicionamento relativo cinemático sobre uma via de geometria conhecida, adaptada para a execução dos ensaios. Foi desenvolvido ainda, protótipo de programa de processamento capaz de apresentar as características gerais da trajetória e os valores de velocidade e aceleração desenvolvidos pelo veículo nos ensaios realizados. Estes testes tinham três objetivos específicos: a verificação de velocidades constantes; a determinação de alterações na velocidade e; a verificação de frenagem. De forma geral, os resultados alcançados foram positivos indicando a viabilidade da metodologia proposta, porém a forma de sua aplicação deve ser aprimorada, visando atribuir maior robustez à modelagem do movimento em estudo.

**Palavras-chave:** velocidade, frenagem, posicionamento por satélite, Geodésia.

**ABSTRACT** –The determination of magnitudes with accuracy is a recurrent issue in the current days, especially in metrology. Thus, this paper aims to propose methodology to describe the movement of vehicles using geodetic techniques. The verification of vehicle movement has been accomplished through the relative kinematic positioning method on a road with known geometry, adapted for performed tests. It was developed further a processing program prototype able to present the general characteristics of the trajectory and speed and acceleration values developed by the vehicle in tests. These tests had three specific objectives: checking constant speeds; determining changes in velocity and; check the braking. The results achieved were positive indicating the feasibility of the proposed methodology. Overall, the results were positive indicating the feasibility of the proposed methodology, but the manner of their application must be improved in order to give more robustness to the modeling of vehicle movement.

**Keywords:** speed, breaking, satellite positioning, Geodesy.

### 1. INTRODUÇÃO

A determinação de grandezas com acuracidade é tema recorrente nos dias atuais, principalmente no campo da metrologia, que pode ser descrita como a ciência da medição, abrangendo todos os aspectos teóricos e práticos relativos às medições, qualquer que seja a incerteza, em quaisquer campos da ciência ou da tecnologia (INMETRO, 2012). Um dos ramos da metrologia é a determinação de movimento de objetos para fins de calibração e verificação de sensores. Por exemplo, tradicionalmente as velocidades de um objeto são mensuradas por três grupos de dispositivos, apresentado por MONTEIRO (2004): sensores de solo; reflexões de onda e cronotacógrafos. Já para o caso de veículos, a norma NIE-DIMEL-009 (2006) fixa os procedimentos que devem ser observados quando da execução das

verificações e inspeções metrológicas de taxímetros, propondo a implantação de uma pista de exame metrológico, similar à utilizada neste trabalho.

Todavia, no campo da Geomática, a alternativa para a descrição do movimento é o uso de um sistema de navegação por satélite, para descrever o movimento veicular, já que possui acuracidade suficiente para tal, de ordem centimétrica ou superior. Logo, o posicionamento por satélite é capaz de conciliar observações geodésicas para indicar a trajetória executada, indicando velocidade, aceleração e distâncias percorridas.

### 2. METODOLOGIA

Neste trabalho, o movimento do veículo foi capturado com o uso do método de posicionamento relativo cinemático durante sua trajetória em uma via

conhecida. A via escolhida possui geometria detalhada e foi subdividida em trechos, nos quais o veículo percorre de maneiras distintas conforme o propósito do teste. Os dados dos posicionamentos foram analisados por meio de programa desenvolvido, capaz de apresentar as características gerais da trajetória e, por sua vez, os valores de velocidade desenvolvida pelo veículo nos ensaios realizados. Por fim, ensaios foram efetuados para validar a metodologia proposta.

Simplificações no desenvolvimento deste projeto foram adotadas, a seguir citadas:

- Adotar o movimento do veículo do ponto de vista da cinética. Assumiu-se assim, que o movimento do veículo não sofre influências externas e a aceleração desenvolvida por ele é constante, ou seja, a velocidade tem variação linear.

- Usar grandezas escalares e discretas na caracterização do movimento. Todavia, recomenda-se em trabalhos futuros o uso de grandezas vetoriais e contínuas;

- Definir a trajetória com uso do método de posicionamento relativo cinemático. O pós-processamento do posicionamento relativo cinemático que permite maior flexibilidade e autonomia para averiguar a qualidade dos resultados obtidos no posicionamento por satélite, aprimorando-o, por exemplo, com a escolha de melhor geometria ou uso de outras bases de referência.

- Adaptar uma via existente para os testes, favorável aos ensaios, como a presença de variações na inclinação do greide e curvatura.

## 2.1. A descrição do movimento - conceitos

O propósito deste estudo é mostrar a viabilidade em descrever o movimento de um veículo por técnicas geodésicas. Logo é necessário apresentar alguns conceitos básicos considerando apenas a cinética do movimento. Diz-se que um corpo está em movimento quando há variação de sua posição em relação a um dado referencial.

### 2.1.1. Posição

O vetor posição  $\vec{S}_p$  de um corpo é o vetor formado entre a origem do referencial e o corpo (Fig. 1). Logo, a posição de um corpo P em relação a um referencial XYZ é descrita por:

$$\vec{S}_p = x_p \vec{i} + y_p \vec{j} + z_p \vec{k} \quad (1)$$

Onde:

$\vec{S}_p$  é o vetor posição do corpo P;

$x_p, y_p, z_p$  são as componentes escalares do vetor posição do corpo P em relação ao referencial XYZ.

$\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$  são vetores unitários que definem a direção e sentido dos eixos X, Y, Z, respectivamente.

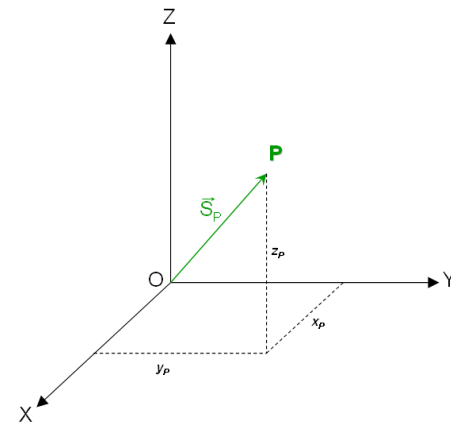


Figura 1 – Posição do corpo P.

### 2.1.2. Deslocamento e Distância Percorrida

Deslocamento de um corpo P é dado pela variação de uma posição  $\vec{S}_1$ , para uma posição  $\vec{S}_2$ . Então

$$\Delta \vec{S}_p = \vec{S}_2 - \vec{S}_1 \quad (2)$$

Onde:

$\Delta \vec{S}_p$  é o vetor deslocamento do corpo P;

$\vec{S}_1, \vec{S}_2$  são os vetores de posições ocupadas pelo corpo P, nos instantes  $t_1$  e  $t_2$  respectivamente.

Contudo, o deslocamento nada diz a respeito sobre o trajeto percorrido pelo corpo, apenas relaciona as suas posições inicial e final. Em contrapartida, o conceito de distância percorrida (grandeza escalar  $d$ ), representa o percurso total entre o início e fim do movimento, ou seja, considera a trajetória do corpo. Tal diferença é ilustrada na Fig. 2.

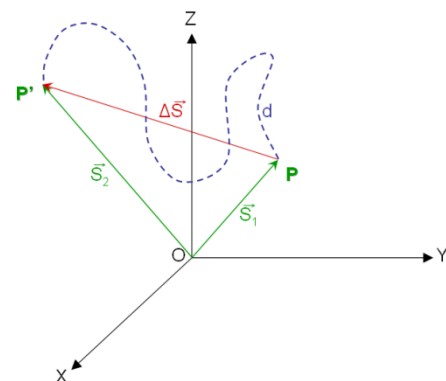


Figura 2 – Distância percorrida e deslocamento realizado pelo corpo P.

A linha azul tracejada representa a distância percorrida pelo corpo P, a partir de um instante  $t_1$ , até ocupar a posição denominada de P', em um instante  $t_2$ . A distância percorrida não coincide com o deslocamento realizado (em vermelho) pelo corpo.

### 2.1.3. Velocidade Média, Velocidade Escalar Média e Velocidade Instantânea

Sejam as posições  $\vec{S}_1$  e  $\vec{S}_2$  do corpo P nos instantes  $t_1$  e  $t_2$ , respectivamente. A velocidade média do corpo neste intervalo de tempo ( $\Delta t$ ) é dada por:

$$\vec{v}_m = \frac{\Delta \vec{S}_P}{\Delta t} = \frac{\vec{S}_2 - \vec{S}_1}{t_2 - t_1} \quad (3)$$

Onde:

$\vec{v}_m$  é a velocidade média do corpo P;

$\Delta \vec{S}_P$  é o deslocamento realizado pelo corpo P.

Assim, pode-se dizer que a velocidade média de um corpo é a rapidez com que esse corpo muda de posição ao longo de um determinado intervalo de tempo, levando em consideração apenas o deslocamento e não a trajetória percorrida.

Por sua vez, existe ainda o conceito de velocidade escalar média que é uma grandeza escalar definida em função da distância total percorrida, ou seja:

$$|v| = \frac{d}{\Delta t} \quad (4)$$

Onde:

$|v|$  é a velocidade escalar média do ponto P;

$d$  é a distância percorrida pelo corpo P.

Por fim, se o intervalo de tempo ( $\Delta t$ ) tende a zero, o deslocamento realizado também tenderá a zero, entretanto a razão entre eles tenderá a um valor limite  $v$ , que é a definição de velocidade instantânea:

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{S}}{\Delta t} \quad (5)$$

Onde:

$\vec{v}$  é a velocidade instantânea.

### 2.1.4. Aceleração Média e Aceleração Instantânea

A aceleração média é a razão entre a variação da velocidade e o intervalo de tempo correspondente, logo:

$$\vec{a}_m = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t_2 - t_1} \quad (6)$$

Onde:

$\vec{a}_m$  é a aceleração média;

$\Delta \vec{v}$  é a variação da velocidade no intervalo de tempo  $\Delta t$ ;

$\vec{v}_1, \vec{v}_2$  são as velocidades nos instantes  $t_1, t_2$ , respectivamente.

Analogamente à velocidade instantânea, se o intervalo de tempo ( $\Delta t$ ) tende a zero, a variação da velocidade também tenderá a zero, entretanto a razão entre eles tenderá a um valor limite  $a$ , que é a definição de aceleração instantânea:

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \quad (7)$$

Onde:

$\vec{a}$  é a aceleração instantânea.

Por simplificação, o intervalo de tempo para a determinação da velocidade e aceleração instantâneas neste trabalho foi definido como o menor intervalo de tempo mensurado no mesmo, assumindo o valor 1,0 segundo para  $\Delta t$ .

### 2.1.5. Equações do Movimento

Neste trabalho, utilizou-se a cinética para o estudo do movimento. Assumiu-se assim, que o movimento do veículo não sofre influências externas e que, a aceleração desenvolvida por ele é constante, implicando em uma variação linear da velocidade. Em estudos posteriores, sugere-se a adoção de modelos mais complexos e representativos da realidade. Por fim, as cinco equações que descrevem o movimento para aceleração constante encontram-se na Tab. 1.

**Tabela 1** – Equações para o movimento com aceleração constante.

Nº	Equação	Variável Ausente
I	$v = v_0 + at$	$S - S_0$
II	$S - S_0 = v_0t + \frac{1}{2}at^2$	$v$
III	$v^2 = v_0^2 + 2a \cdot (S - S_0)$	$t$
IV	$S - S_0 = \frac{1}{2}(v_0 + v)t$	$a$
V	$S - S_0 = vt - \frac{1}{2}at^2$	$v_0$

Fonte: Adaptado de Halliday et al (1984)

Nota-se que as variáveis presentes nas equações da tabela acima são grandezas escalares. Esta simplificação também será adotada em todo o desenvolvimento deste projeto.

## 2.2. A via adaptada para os ensaios

A via escolhida tem extensão aproximada de 540 metros, na forma de arco de círculo. A declividade do greide é de cerca de +3% para o trecho inicial em aclive, após 300 metros há uma curva fechada no percurso, e o segundo trecho até o final, ocorrem em um declive, com declividade do greide de -3% (Fig. 3).



**Figura 3** – Vista Geral da via adaptada.

A escolha desta via para a implantação da pista de verificação de velocidades ocorreu por dois principais fatores: pela ausência de áreas de obstruções (Fig. 4) e pela facilidade de acesso durante a execução deste trabalho.



**Figura 4** – Ausência de obstruções na via adaptada.

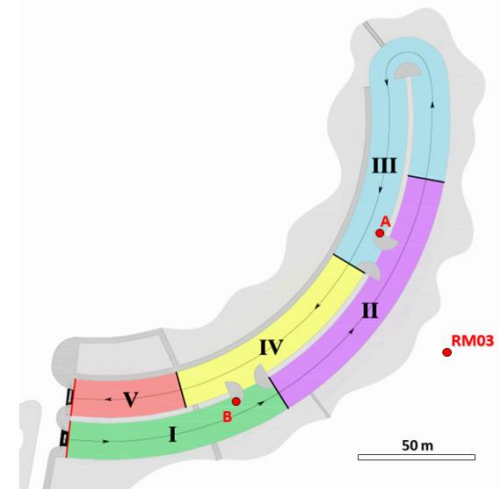
O cadastro detalhado da pista de verificação de velocidades teve como objetivo determinar características geométricas da via a ser adaptada com precisão compatível aos resultados esperados nesta metodologia, além de fornecer subsídios para a locação dos trechos da pista implantada. Técnicas topográficas foram utilizadas para determinar a geometria da via e para o detalhamento da área dos ensaios.

Em seguida, no intuito de adotar um sistema global de referência, realizou-se transporte de coordenadas com o método de posicionamento relativo estático rápido. Para tal, realizou-se a ocupação de dois dos pontos da poligonal, os pontos A e B (Fig. 5), com receptor GPS geodésico, para que em um pós-processamento, fossem determinadas as coordenadas destes pontos. Ocupou-se simultaneamente a estes, ponto com coordenadas precisas conhecidas, denominado RM03 (Fig. 5), que dista cerca de 200 m da área de testes, adotado como estação base para este posicionamento. As coordenadas geodésicas definidas para os pontos A e B da poligonal topográfica, em SIRGAS2000 são apresentadas na Tab. 2.

**Tabela 2** – Coordenadas Geodésicas dos pontos A e B, em SIRGAS2000.

PONTO	Coordenadas	Precisão
A	-25° 26' 52,88017"	± 0,002 m
	-49° 13' 53,06907"	± 0,002 m
	924,8696 m	± 0,002 m
B	-25° 26' 55,42963"	± 0,002 m
	-49° 13' 55,37424"	± 0,002 m
	921,1578 m	± 0,002 m

A via adaptada para os ensaios foi dividida em cinco trechos. Em cada trecho, o veículo realizará um movimento específico de acordo com os ensaios realizados ou conforme o tipo de trajetória a ser investigada. A Fig. 5 ilustra a divisão da pista em trechos e seu sentido de caminharmento.



**Figura 5** – A via adaptada e sua divisão em trechos (I a V).

O ideal seria ter sensores que detectassem a passagem do veículo pelos limites de trechos que fossem capazes de armazenar o instante que a passagem ocorre. Além disto, faz-se necessário a sinalização horizontal sobre a via que pudesse auxiliar piloto e copiloto a identificar o momento em que o veículo adentra em novo trecho. Todavia, utilizou-se como solução a identificação destes pontos com o posicionamento de balizas cravadas na lateral da pista para a realização dos ensaios (Fig. 6 e Fig. 7), no qual o instante de passagem dos limites dos trechos foi considerado conforme contato visual realizado pelo executor do teste.



**Figura 6** – Identificação dos limites dos trechos da pista com balizas.



Figura 7 – Veículo passando pela identificação realizada.

### 2.3. O protótipo do programa de processamento

O protótipo de programa de processamento foi desenvolvido com a implantação de rotinas no programa MATLAB. A Fig. 8 apresenta a vista geral do programa criado para a operação do usuário, de forma simples e intuitiva. Na própria interface é possível identificar as funcionalidades implantadas de modo a suprir as necessidades do usuário, que são descritas nos subitens a seguir.

#### 2.3.1. Leitura e armazenamento de dados

Os dados de entrada do programa são arquivos no formato ASCII. Consistem em uma lista de coordenadas métricas (X, Y, Z) associadas a um valor de tempo.

#### 2.3.2. Cadastro de informações gerais sobre o processamento

Após inserir corretamente o arquivo de coordenadas, o programa habilita parte da tela principal, onde serão cadastradas informações gerais sobre o processamento a ser realizado, como data, autoria e finalidade.

#### 2.3.3. Cálculo dos parâmetros gerais da trajetória

Assim que as informações gerais são salvas, o programa permite ao usuário calcular os parâmetros gerais da trajetória, que são apresentados na tela principal do programa. Estes parâmetros englobam a distância percorrida, o deslocamento realizado e o tempo total da trajetória.

#### 2.3.4. Representação gráfica

O programa gera automaticamente três gráficos em função dos dados fornecidos e dos parâmetros da trajetória calculados. São eles: velocidade versus tempo; aceleração versus tempo e velocidade versus distância percorrida.

#### 2.3.5. Indicações de mudanças no movimento

Neste ponto, o usuário pode quantificar os instantes em que o objeto altera alguma característica de seu movimento. Isto quando o objeto muda de um movimento uniformemente variado para um movimento constante ou o recíproco. O usuário pode ainda, visualizar a indicação destas mudanças nos gráficos existentes e, posteriormente, ocultá-las. A indicação da mudança é apresentada na forma de círculos vermelhos (Fig. 8).

#### 2.3.6. Geração de relatório final

Por fim, o usuário tem a opção de que o programa apresente os resultados na forma de um relatório, constando informações e gráficos inerentes à trajetória do objeto.

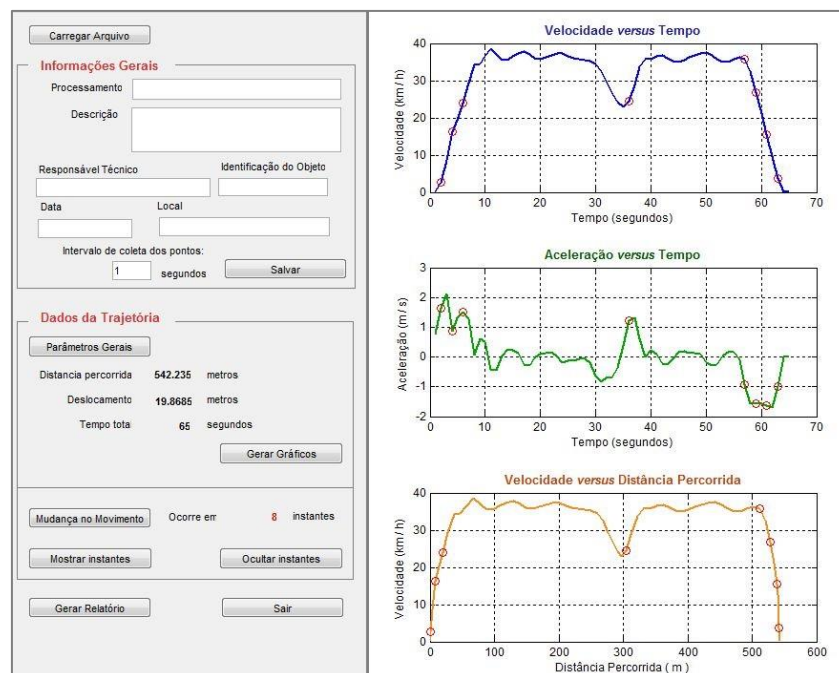


Figura 8 – Vista geral do protótipo de programa de processamento.

### 3. ENSAIOS REALIZADOS

Foram realizados três ensaios visando avaliar a viabilidade da descrição do movimento por técnicas geodésicas, a funcionalidade da via adaptada e do protótipo de programa de processamento elaborado.

O veículo utilizado para a realização dos ensaios é do modelo Gol G4, ano 2008, da Volkswagen (Fig. 9a). Além disso, para a execução dos ensaios foi utilizado um par de receptores geodésicos GPS (do inglês *Global Positioning System*), modelo 900CS, do fabricante Leica Geosystems. Um destes foi instalado sobre ponto de coordenadas conhecidas RM03 e o outro sobre o veículo. Antes de iniciar os experimentos propostos, a antena foi instalada sobre o veículo. Após isso, foram coletados parâmetros de distância à trena entre a antena e pontos notáveis do veículo (Fig. 9b).

Em questão de configuração, a taxa de coleta utilizada foi de 1 segundo, com máscara de elevação de 15° para minimizar os efeitos da troposfera. Apenas sinais de GPS foram captados, devido ao modelo do receptor.



**Figura 9** – (a) Veículo utilizado nos ensaios e (b) medição dos parâmetros para o posicionamento da antena.

Os ensaios foram realizados na via adaptada, conforme metodologia inicial proposta. As velocidades empregadas nos ensaios atingem valores de até 60 km/h. Tais velocidades foram empregadas, tomando-se todo cuidado necessário e, em data onde o fluxo de pedestres e veículos fosse praticamente nulo. Três conjuntos de ensaios foram realizados:

- Ensaio I - Verificação de velocidade constante. O objetivo é verificar a manutenção da velocidade constante de 20 km/h, 30 km/h e 40 km/h durante todo o percurso sobre a pista adaptada.
- Ensaio II - Verificação de variação de velocidade. O objetivo deste ensaio foi verificar a variação da velocidade ao longo da trajetória. Três diferentes coletas foram realizadas: (1) variação de 20 km/h para 40 km/h; (2) variação de 40 km/h para 20 km/h e (3) variação de 40 km/h para 20 km/h para 50 km/h.
- Ensaio III - Verificação de frenagem. O objetivo deste experimento foi simular a frenagem realizada

por um veículo a uma velocidade constante de 50 km/h e 60 km/h quando na possibilidade de colisão.

### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os desvios-padrão dos pontos oriundos do posicionamento relativo cinemático, após o processamento dos rastreios, foram melhores que 1,5 cm, para o posicionamento tridimensional. A Tab. 3 apresenta os valores máximos de erro no posicionamento tridimensional do veículo encontrados em cada conjunto de pontos referentes às trajetórias realizadas nos ensaios.

**Tabela 3** – Erro máximo no posicionamento 3D do veículo pelo método cinemático durante os ensaios.

ENSAIO	DESCRIÇÃO	ERRO MÁXIMO
I	20 km/h	0,0107 m
I	30 km/h	0,0133 m
I	40 km/h	0,0082 m
II	40 p/ 20 km/h	0,0096 m
II	20 p/ 40 km/h	0,0103 m
II	40 p/ 20 p/ 50 km/h	0,0108 m
III	Frenagem a 50 km/h	0,0080 m
III	Frenagem a 60 km/h	0,0083 m

As precisões alcançadas no posicionamento do veículo são consideradas suficientes para a determinação das velocidades e alterações da trajetória, em vista da magnitude das dimensões do mesmo.

#### 4.1. Ensaio I – Verificação de velocidade constante

No que tange a verificação de velocidade constante a metodologia mostrou-se viável. Houve dificuldade, por parte do piloto de teste, em manter a velocidade especificada no ensaio quando o veículo encontra-se percorrendo o declive, o que não ocorre em relação ao aclive existente na pista de teste. Esta dificuldade é observada nos instantes finais dos percursos realizados, onde há oscilação no valor da velocidade desenvolvida (Fig. 11), com a indicação de falsos instantes de alteração do movimento (círculos em vermelho) determinados pelo programa elaborado.

A presença de curva fechada no percurso da via localizada a 300 metros do ponto de partida, melhor percorrida com velocidade entre 20 km/h e 30 km/h, fora observada a priori como limitante à pista de teste. Porém mostrou-se importante para a análise dos resultados nos gráficos, tornando-se um divisor entre os percursos em aclive e declive da pista, como visto nos gráficos de velocidade nas Fig. 11 e 12, nos instantes 48 e 35 segundos respectivamente. Apenas no percurso realizado a 20 km/h não se observa tal fato, em função da invariabilidade da velocidade na execução da manobra da curva (Fig. 10).

No ensaio I, o protótipo foi capaz de realizar o processamento dos dados fornecidos, com resultados satisfatórios. O algoritmo para a determinação de mudanças no movimento teve avaliação satisfatória neste teste. Fato evidente é a indicação de mudanças nos 20

segundos iniciais que correspondem à alteração da marcha do veículo para alcançar a velocidade proposta pelo percurso, nas três velocidades testadas (Fig. 10, 11 e 12).

A divergência entre o valor encontrado e a velocidade nominal, indicada pelo velocímetro é em média menor em 2 km/h.

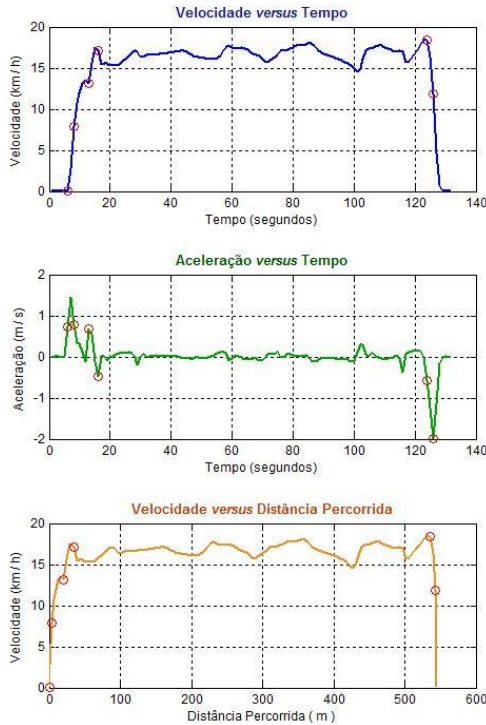


Figura 10 – Ensaio I – Velocidade constante de 20 km/h.

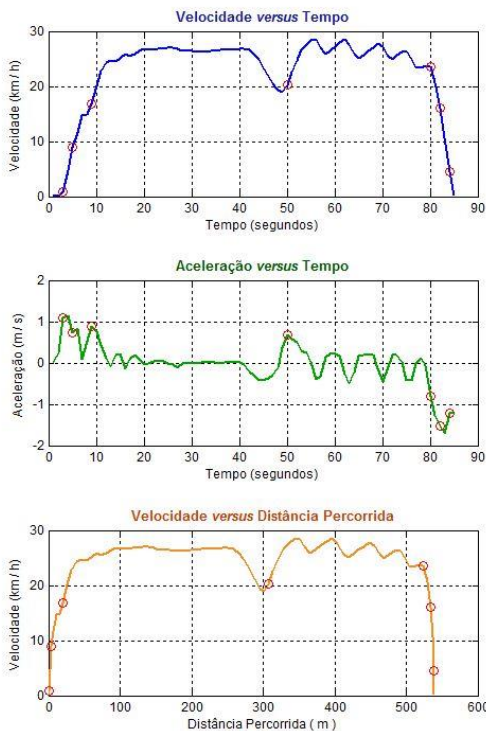


Figura 11 – Ensaio I – Velocidade constante de 30 km/h.

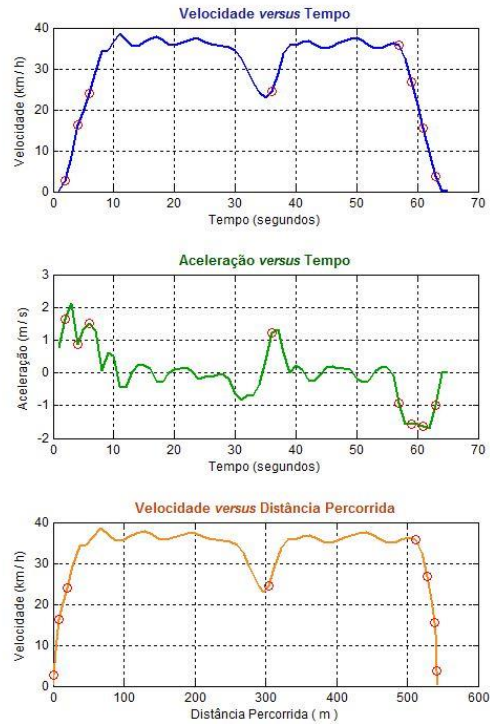
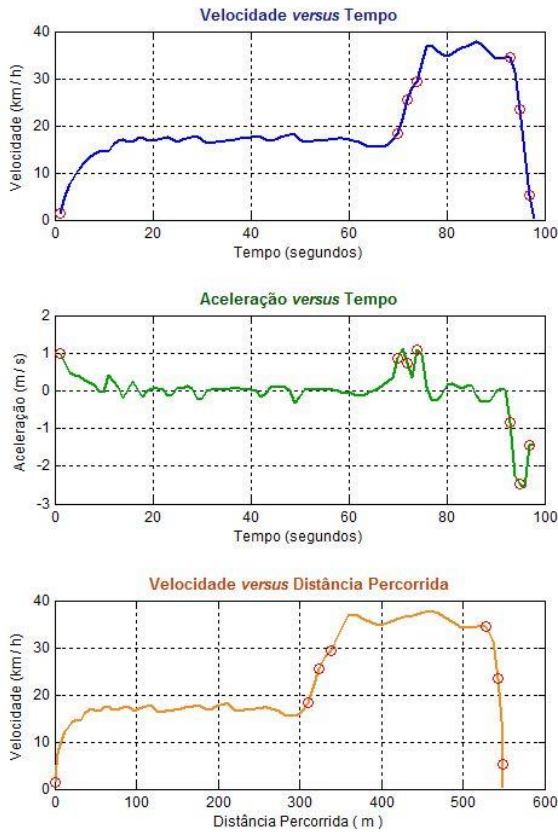


Figura 12 – Ensaio I – velocidade constante de 40 km/h.

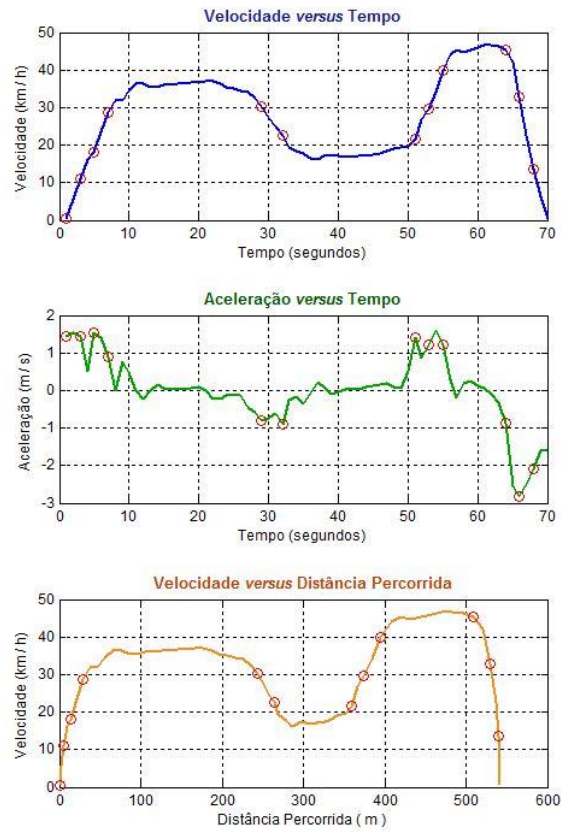
#### 4.2. Ensaio II – Verificação de variação de velocidade

As variações de velocidade propostas também foram devidamente observadas (Fig. 13, 14 e 15). A dificuldade de manter a velocidade do veículo no declive da pista e, ainda, sobre trecho onde há descontinuidade no recobrimento asfáltico foi constatada durante a execução dos ensaios.

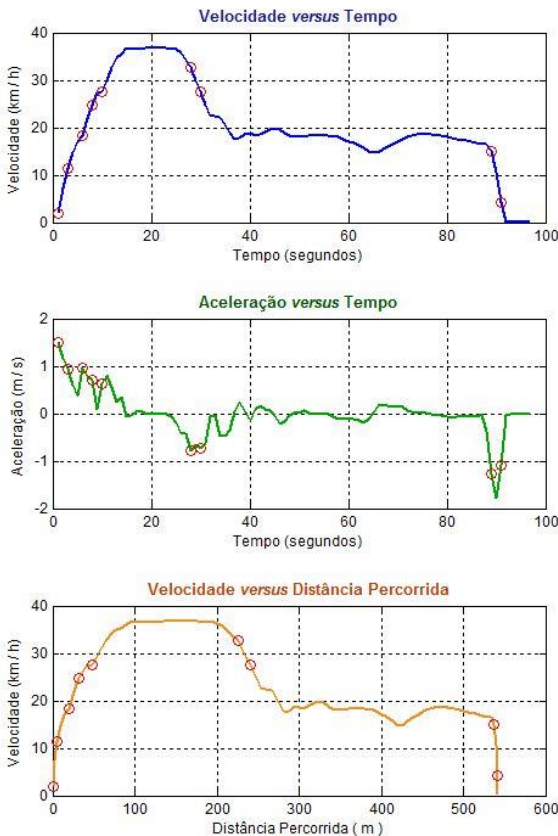
Identificou-se a necessidade de aprimorar o algoritmo para determinação das mudanças do movimento a fim de evitar a indicação de falsas mudanças, como visto no trecho entre 70 e 90 segundos, do gráfico de velocidade (em azul) da Figura 13. A descrição dos percursos realizados em formas de gráficos permite visualizar as variações impostas no ensaio claramente. Nos gráficos de aceleração (Fig. 13 a 15) é possível identificar picos positivos, indicando períodos de aceleração ou negativos, referentes à frenagem, de modo a alcançar as velocidades almejadas ou o repouso. Novamente, constatou-se que velocidade obtida por técnica geodésica difere para menos, em média, de 2 km/h daquela indicada no velocímetro. Os valores de aceleração determinados são compatíveis com o real.



**Figura 13** – Ensaio II – Variação de velocidade: 20 km/h para 40 km/h.



**Figura 15** – Ensaio II – Variação de velocidade: 40 km/h para 20 km/h para 50 km/h.



**Figura 14** – Ensaio II – Variação de velocidade: 40 km/h para 20 km/h.

### 4.3. Ensaio III – Verificação de frenagem

As Fig. 16 e 17 apresentam resultados para uma frenagem brusca a 50 km/h e 60 km/h, respectivamente. Ambas as frenagens foram realizadas após percorrer cerca de 200 metros de pista, distância necessária para atingir a velocidade dos testes. Em ambos os casos foi percorrido o trecho de aclive da pista.



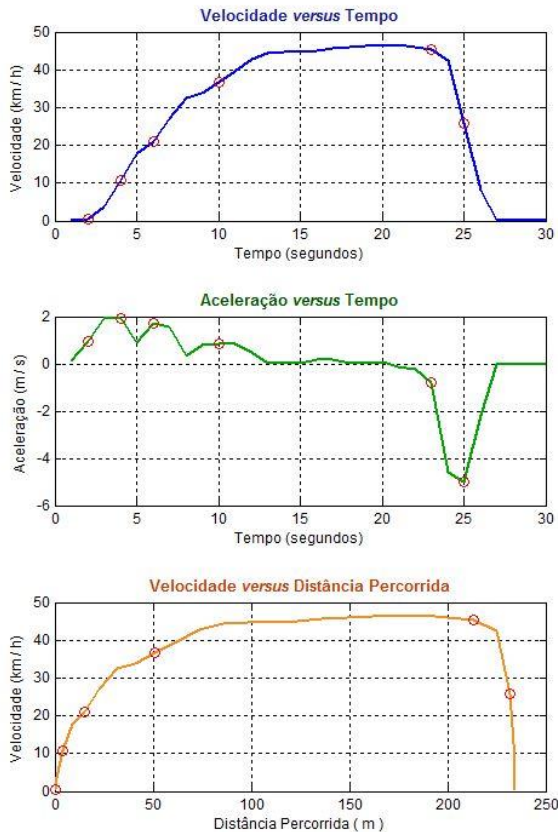


Figura 16 – Ensaio III – Frenagem a 50 km/h.

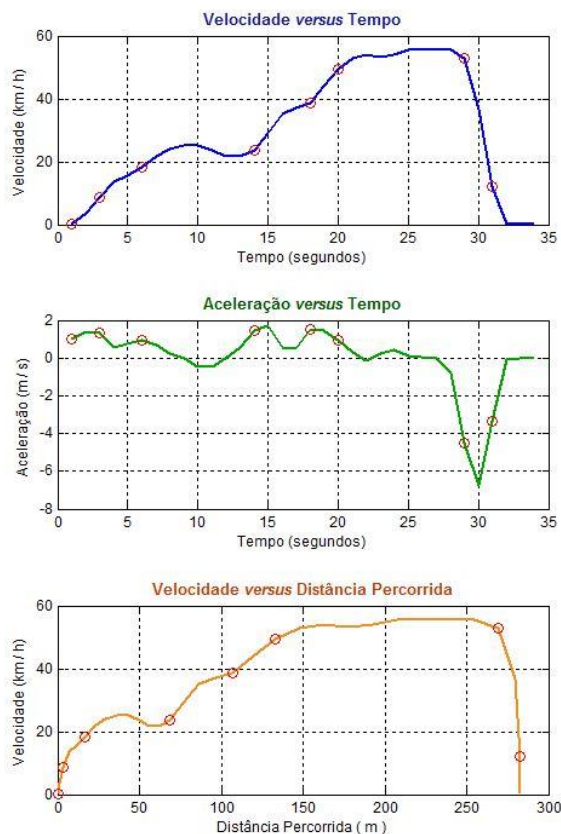


Figura 17 – Ensaio III – Frenagem a 60 km/h

Os resultados em relação ao teste de frenagem superaram as expectativas iniciais. Compararam-se os dados obtidos nos ensaios com modelo matemático (Eq. 8) para a distância percorrida durante a frenagem adotados pela AASHTO (2011) e pelo DER-SP (2006):

$$d_{frenagem} = \frac{V^2}{254 \times \left( \frac{a}{9,81} + i \right)} \quad (8)$$

Onde:

$d_f$  é a distância percorrida durante a frenagem em metros;

$V$  é a velocidade antes da frenagem em km/h;

$a$  é a taxa de desaceleração adotada como 3,4 m/s<sup>2</sup>;

$i$  é a declividade do greide;

A Tab. 4 apresenta as distâncias reais percorridas durante a frenagem e os valores calculados pela Eq. 8.

Tabela 4: Comparação das distâncias de frenagem

Frenagem	Distância real percorrida	Distância calculada pelo modelo
50 km/h	21,26 m	26,14 m
60 km/h	28,27 m	37,64 m

Nota-se que as distâncias reais percorridas são inferiores às do modelo. Assim como, os valores de velocidade observados pelo processamento (Fig. 16 e 17) são inferiores ao do velocímetro em média cerca de 2 km/h. Para compensar o efeito desta diferença, calcularam-se novos valores de distância de frenagem, para as velocidades de 48 km/h e 58 km/h, mais compatíveis com os valores percorridos, como consta na Tab. 5.

Tabela 5: Comparação das distâncias de frenagem com a compensação da divergência do velocímetro.

Frenagem	Distância real percorrida	Distância calculada pelo modelo
48 km/h	21,26 m	24,09 m
58 km/h	28,27 m	35,19 m

A Tab. 5 apresenta um decréscimo nos valores calculados pelo modelo em relação à Tab. 4. As distâncias reais percorridas ainda são inferiores que as do modelo, porém são coerentes entre si.

## 5. CONCLUSÕES

A metodologia para a descrição de movimentos de veículos por técnicas geodésicas proposta, baseando-se nos resultados dos ensaios, mostrou-se viável a ser aplicada.

Nos diversos ensaios realizados, os resultados foram satisfatórios, de forma a fornecer subsídios para suprir aos objetivos pressupostos. A viabilidade desta metodologia é ainda confirmada pelo fato de ser adaptável a qualquer local (desde que adequado para o mesmo) e a qualquer

tipo de via - considerando alterações em recobrimento e geometria, visto que o GPS é um sistema de abrangência global.

Todavia, ressalta-se que os bons resultados do posicionamento relativo cinemático realizado, com pontos da trajetória definidos com precisões superiores ao centímetro é uma das sustentações da viabilidade do projeto. A garantia da qualidade do posicionamento ocorreu por tomadas de decisões ao longo do desenvolvimento deste projeto destaca-se: a escolha de uma via sem áreas de obstruções aos sinais provenientes do GPS; o uso do ponto de coordenadas precisas conhecidas, RM03, distante ao ponto extremo da pista cerca apenas de 200 metros.

Por sua vez, o protótipo do programa atendeu as necessidades do usuário, pois a visualização da trajetória por meio de gráficos torna as análises mais claras e objetivas. Percebeu-se a necessidade de adaptar o algoritmo de identificação dos instantes de alterações da mudança no movimento, visto que o mesmo indicou durante os ensaios falso-instantes. Fato este que não prejudicou a interpretação dos resultados nem foi empecilho à utilização do programa. Outros pontos são recomendados para o programa como o uso de modelos mais representativos da realidade e a comunicação em tempo real com o receptor GPS e a outros terminais - para que os dados possam ser processados e acompanhados em tempo real pela equipe em campo ou remotamente.

A metodologia proposta mostrou-se adequada no que trata de coleta de campo. A dificuldade de manter velocidades em declives foi constatada. Em se tratando do veículo, recomenda-se que o uso de dispositivo que armazene as velocidades desenvolvidas pelo veículo e as velocidades nominais indicadas pelo velocímetro para que seja possível uma comparação em relação aos resultados de técnicas geodésicas com maior rigor. A divergência entre as velocidades calculadas pelo posicionamento e as indicadas pelo velocímetro não podem ser fundamentadas, já que o controle foi apenas feito visualmente. Sugere-se ainda, que o posicionamento da antena seja, não apenas em relação a pontos notáveis (e externos) do veículo, podendo englobar o sistema de eixos do mesmo, por exemplo.

Em relação à via adaptada algumas considerações devem ser feitas. O fato de esta ter formato de arco de círculo, possuir em sua extensão trecho de aclave e declive e ainda uma curva fechada, ou seja, um caso excepcional de via, que a princípio fora vista como provável empecilho à metodologia, apresentou-se como o contrário. As diversas exceções citadas e os resultados obtidos nos testes indicam que a metodologia proposta é adaptável a diversos tipos de vias e que, com isso, simula com maior veracidade a realidade desenvolvida pelo veículo.

A sinalização da pista utilizada nos ensaios foi rudimentar, mas suficiente para a correta execução dos mesmos. Notou-se a necessidade de utilizar sinalização horizontal na via, indicando posições de saída e chegada, limites de trechos e suas identificações, bem como sinalização horizontal, com o mesmo intuito. O

posicionamento inicial do veículo deve ser revalidado, de forma que, consiga que para todos os testes, o ponto de partida seja, com dada incerteza, o mesmo. Para estudos posteriores, o uso de sensores nos limites de trecho capazes de identificar e mensurar o tempo da passagem do veículo permitirá associar este aos dados provenientes do GPS, tornando as análises mais abrangentes.

A integração de outros sensores, como os sistemas inerciais, agregará maior gama de informação, permitindo a modelagem mais real do desenvolvimento do veículo. Testes com pistas com diversos tipos de recobrimento, inclinação, formato e condição ambiental, permite qualificar o comportamento das velocidades do veículo em diversas situações, como simular o efeito de uma frenagem, em uma pista coberta por óleo, por exemplo.

Por fim a metodologia proposta, agregada a estudos mais aprofundados e direcionados pode tornar-se um novo artifício para a verificação de movimento de veículos e outros objetos, fornecendo artifícios para a calibração de outros sensores: lombadas eletrônicas, taxímetros, radares, especificações técnicas de veículos, agricultura de precisão, perícia, enfim, em diversas áreas e aplicações nas quais o conhecimento das velocidades com acuracidade se faz necessária.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO – American Association of State Highway and Transportation Officials. *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*. 6 ed., Washington D.C., 2011.
- DER-SP – Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo. *Notas Técnicas de Projeto Geométrico*. São Paulo, 2006.
- HALLIDAY, D; RESNICK, R; WALKER, J. *Fundamentos de Física 1 – Mecânica*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1984.
- INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. *NIE-DIMEL-009: Verificação e inspeção de taxímetros*. Duque de Caxias, 2006.
- INMETRO – INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. *Vocabulário internacional de Metrologia: Conceitos fundamentais e gerais e termos associados (VIM 2012)*. Duque de Caxias, 2012.
- MONTEIRO, P. R. S. *Gestão de Tráfego com o Uso de Dispositivos Eletrônicos de Controle de Velocidade*. Dissertação de mestrado em Engenharia de Transportes. Instituto Militar de Engenharia: Rio de Janeiro. 2004.