

## Identificando Comportamentos Anômalos em Trajetórias de Objetos Móveis

Eduardo M. Carboni and Vania Bogorny

INE – Departamento de Informática e Estatística  
Universidade Federal de Santa Catarina(UFSC) – Florianópolis – SC – Brasil

eduardo@inf.ufsc.br, vania@inf.ufsc.br

**Abstract.** *Mobile Devices such as GPS and mobile phones generate a new data type called trajectory. Several studies are looking for patterns in trajectories, but only a few have focused on the discovery of behavior patterns. This paper proposes a method for analyzing the behavior of moving objects along their trajectories, based on characteristics as abrupt accelerations, abrupt decelerations, and abrupt changes of direction in high speed. The method was evaluated with experiments on real data and presented good results.*

**Resumo.** *Dispositivos móveis tais como GPS e celulares geram um novo tipo de dado chamado de trajetória. Vários estudos buscam descobrir padrões em trajetórias, mas poucos têm focado na descoberta de padrões de comportamento. Este artigo propõe um método para análise de comportamento do objeto móvel ao longo de sua trajetória, com base em características como acelerações bruscas, desacelerações bruscas e mudanças bruscas de direção em alta velocidade. O método é avaliado através de experimentos com dados reais que apresentaram bons resultados.*

### 1. Introdução e Motivação

Dispositivos móveis vêm ficando cada vez mais populares devido a sua redução de preço. Com isso, está surgindo um grande volume de dados gerados por estes dispositivos, representando “as pegadas” do objeto ou o caminho que o objeto percorreu. Dados que representam o caminho percorrido pelo objeto são representados na forma de  $tid$ ,  $x$ ,  $y$  e  $t$ , onde  $tid$  é o identificador do objeto,  $x$  e  $y$  representam as coordenadas geográficas e  $t$  é o tempo no instante da coleta do ponto. O conjunto destes pontos gera um novo tipo de dado espaço-temporal chamado de *trajetória*.

Nos dias atuais, existem muitos estudos que exploram dados de trajetórias. Alguns trabalhos procuram por regiões importantes ao longo das trajetórias Alvares [Alvares et al. 2007], Palma [Palma et al. 2008], Rocha [Rocha et al. 2010]. Outros trabalhos tentam classificar as trajetórias em tipos específicos, como trajetórias de turistas, trajetórias de viajantes Baglioni [Baglioni et al. 2009], trajetórias que desviam de determinados locais ou objetos Alvares [Alvares et al. 2011], perseguição entre trajetórias Siqueira [Siqueira et al. 2011], etc.

Pode-se destacar o estudo realizado por Alvares [Alvares et al. 2007], que encontra regiões importantes em trajetórias utilizando a intersecção do trajeto com regiões geográficas importantes como hotéis, restaurantes, etc. Existe também o estudo

realizado por Palma [Palma et al. 2008], que retorna como regiões importantes das trajetórias aquelas com velocidade baixa, encontrando regiões com engarrafamentos, por exemplo. Ainda, é importante destacar o modelo proposto por Rocha [Rocha et al. 2010], que encontra regiões importantes com base na mudança de direção de um objeto como, por exemplo, a mudança de direção que barcos pesqueiros realizam durante a atividade de pesca.

No que se refere à análise do comportamento do objeto através de sua trajetória, ainda existem poucos estudos. Em Baglioni [Baglioni et al. 2009], é analisado o comportamento do objeto através da análise da origem, destino e locais percorridos pelas trajetórias. Com base nisso, as trajetórias são classificadas em trajetórias turísticas, de trabalho, entre outras. Em Alvares [Alvares et al. 2011], é verificado o comportamento do objeto e definido um algoritmo para verificar se a trajetória está desviando de algum objeto específico como, por exemplo, câmeras de segurança. Em Siqueira [Siqueira et al. 2011], são comparados os comportamentos entre trajetórias, com o objetivo de descobrir se uma trajetória está perseguindo outra trajetória.

Dentre os estudos destacados, nenhum deles classifica os objetos móveis de acordo com o seu comportamento ao longo da trajetória *do mesmo objeto*. Assim, este artigo apresenta um método para analisar as trajetórias de objetos móveis, encontrar regiões de comportamento anômalo e classificar os objetos com comportamentos normais e anormais, analisando acelerações bruscas, desacelerações bruscas e mudanças bruscas de direção. Com essa abordagem é possível monitorar veículos de transporte com o objetivo de descobrir se o condutor possui um comportamento anômalo, pois no caso de uma empresa de transporte coletivo, por exemplo, se um veículo percorre curvas em alta velocidade, desacelera e acelera bruscamente com frequência, pode gerar desconforto aos passageiros. Outro ponto de destaque é no transporte de alimentos. Segundo informações da ANVISA, cerca de 30% de frutas e verduras transportadas são perdidas por esmagamentos durante o transporte. No caso de transporte de produtos perigosos, este trabalho é interessante para traçar o perfil do condutor através da análise de trajetórias passadas, buscando evitar acidentes futuros.

O restante do artigo está organizado da seguinte forma: a seção 2 apresenta o método proposto. A seção 3 apresenta parte dos experimentos realizados para validar o trabalho. A seção 4 descreve a conclusão e os objetivos futuros.

## **2. O Método Proposto**

O método proposto percorre os pontos de uma trajetória em busca de regiões que apresentam comportamentos de aceleração brusca, desaceleração brusca ou mudança brusca de direção. Uma aceleração é tida como uma sequência de pontos onde a velocidade do objeto aumenta. Já uma *aceleração brusca* é definida como uma sequência de pontos com velocidade crescente e a velocidade aumenta mais que um determinado percentual. Porém, quanto maior for a velocidade, menor será seu percentual de aceleração. Por exemplo, um veículo com velocidade de 1 Km/h passando para 2 Km/h em um segundo tem um aumento percentual de 100% em sua velocidade, mas esta não é considerada uma aceleração brusca, enquanto um veículo à 100 Km/h passar para 120 Km/h teria um aumento de 20% da velocidade, podendo ser considerado um aumento brusco.

Para resolver a situação do percentual de aumento da aceleração, foi criada uma tabela com graus de importância (pesos) para faixas de velocidade, a fim de utilizar estes pesos para identificar movimentos bruscos. Estes pesos foram gerados a partir de experimentos realizados com veículos de passeio e estão ilustrados na tabela 1.

**Tabela 1 - Faixas de Velocidade e Pesos.**

Velocidade: Km/h	Peso (grau de importância):
> 0 e < 1	20
>= 1 e < 3	10
>= 3 e < 10	4
>= 10 e < 30	3
>= 30 e < 70	2
>= 70	1

A velocidade de um ponto, multiplicada pelo peso correspondente e multiplicada pelo percentual de aceleração, definirá o aumento mínimo da velocidade do ponto seguinte para que seja caracterizada uma aceleração brusca. Por exemplo, quando um objeto móvel estiver a uma velocidade de 2 Km/h (terá peso 10 pela tabela), um aumento de 20% na aceleração corresponderia a um aumento mínimo da velocidade para 6 Km/h (velocidade atual  $2 + (2 \cdot 10 \cdot 20\%)$ ) para caracterizar uma aceleração brusca.

A região de uma trajetória que apresenta uma seqüência de pontos com velocidade decrescente é um local que apresenta desaceleração. Se esta região apresentar uma desaceleração maior que determinado percentual, ela é definida como um local com *desaceleração brusca*. O mesmo problema encontrado com as acelerações acontece com as desacelerações, pois uma desaceleração terá um percentual de perda de velocidade maior quando estiver a uma velocidade menor. A tabela com graus de importância é a tabela 1 demonstrada anteriormente, e os pesos também são multiplicados ao percentual de desaceleração.

Ainda existe a situação onde um objeto móvel muda bruscamente a sua direção. Isto ocorre quando o objeto percorre uma região mudando a direção à uma velocidade considerada alta para a diferença das direções durante o trajeto. Também foi criada uma tabela com faixas de mudanças de direção e um limite de velocidade aceitável, mas por limitações de espaço esta tabela não será detalhada.

Uma vez definidos os pesos para os movimentos bruscos é possível definir um algoritmo para extrair estas informações das trajetórias. O algoritmo (resumido na figura 1) recebe como entrada as trajetórias, a tabela de pesos, e os percentuais do aumento da aceleração, desaceleração e mudança de direção (linhas 1, 2 e 3). Em seguida, para cada trajetória do conjunto (linha 4) o algoritmo identifica as regiões com comportamentos anormais (linha 5). O resultado é armazenado criando um buffer ao redor de todas as regiões anômalas (linha 6), gerando polígonos, a fim de facilitar a visualização do resultado e verificar se existe sobreposição de regiões com comportamento anômalo entre diferentes trajetórias.

Uma vez gerados os polígonos, estes são comparados com regiões de comportamento anômalo intra trajetórias e entre trajetórias de diferentes objetos (linha 7 e 8), para descobrir trajetórias que apresentam regiões de comportamento anômalo no

seu trajeto (intra trajetória), e verificar também se essas regiões acontecem em trajetórias de outros objetos (entre trajetórias). O fato de um objeto móvel ter regiões (subtrajetórias) com comportamento anômalo na sua trajetória pode não representar mau comportamento, mas podendo ser forçado a isto devido algum evento externo como um buraco na rodovia, a interdição da rodovia para fins de obras, um animal atravessando a pista, etc.

Buscando diferenciar o comportamento anômalo forçado por eventos externos de comportamento anômalo causado pela negligência do objeto móvel, é verificado se mais de uma trajetória tem o mesmo comportamento anômalo no mesmo local (linha 7 e 8 do algoritmo). Quando várias trajetórias têm comportamento anômalo na mesma região, é provável que o problema seja uma causa externa (natural). Neste caso o comportamento não é classificado como anômalo.

```

Entrada
1 -  $T$  // Conjunto de Trajetórias
2 -  $C$  // Tabela de Pesos
3 -  $P_{ace}$ ,  $P_{des}$ ,  $P_{dir}$  // Percentuais aceitáveis de aceleração ( $P_{ace}$ ), desaceleração ( $P_{des}$ ) e de mudança de direção ( $P_{dir}$ )
Método
4 - para cada trajetória  $t$  em  $T$ 
5 -   para cada 3 pontos, identifica regiões com aceleração, desaceleração e direção anômala e adiciona em  $a$ 
6 -   para todos  $a$ , cria buffers em suas áreas
7 - para todas regiões  $a$ 
8 -   para cada  $a$  de uma trajetória  $t_x$  que intercepte  $a$  de uma trajetória  $t_{x+n}$ , adiciona em  $A$ 
Saída
9 -  $a$  // Conjunto de regiões com comportamento anômalo de todas as trajetórias
10 -  $A$  // Conjunto de regiões com comportamento anômalo em locais que se repetem em trajetórias distintas
    
```

**Figura 1 - Pseudocódigo do algoritmo**

### 3. Experimentos Parciais

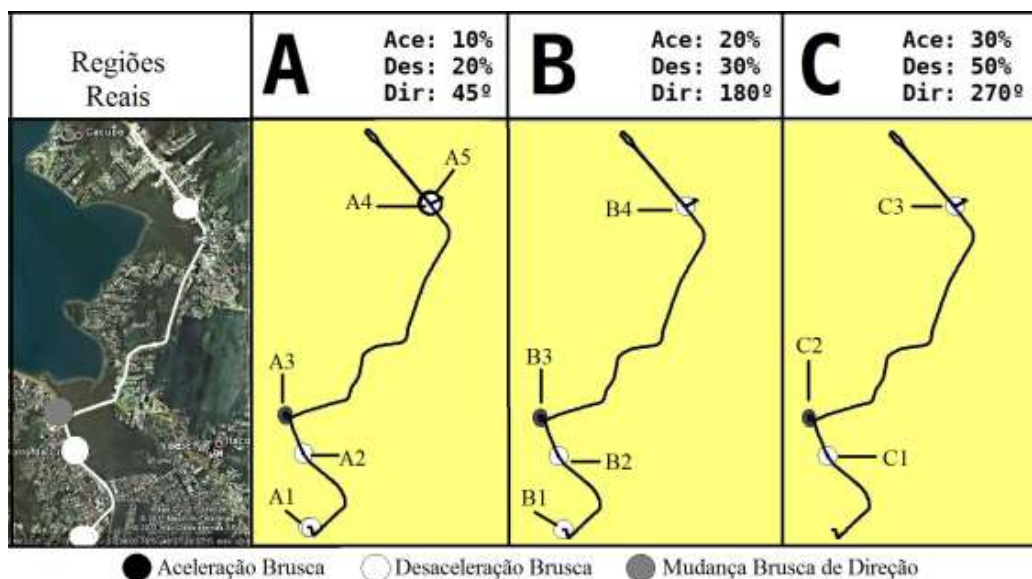
Para a validação do método foram realizados experimentos com diferentes conjuntos de dados. Neste artigo, por limitações de espaço, serão mostrados resultados com um conjunto de dados coletado por um GPS/Celular em intervalos de 1 em 1 segundo, no estado de Santa Catarina.

Para evitar a geração de regiões de comportamento anômalo em locais com falhas na coleta dos pontos, decidiu-se analisar os pontos pelo menos de 3 em 3, ao invés de analisar o comportamento a cada 2 pontos, já que os dados analisados foram gerados de segundo em segundo. Contudo, estudos estão sendo realizados considerando mais pontos. Foram realizados experimentos distintos em relação aos percentuais de aceleração, desaceleração e mudança de direção aceitável.

Dentre as trajetórias analisadas, foram selecionadas algumas em que os locais onde ocorreram comportamentos anormais eram conhecidos (semáforos, algumas curvas e origens e destinos das trajetórias).

A figura 2 (lado esquerdo) ilustra uma trajetória real na cidade de Florianópolis, onde foram destacadas as regiões com comportamento anômalo previamente conhecido. Existem três regiões com desaceleração brusca e uma com mudança brusca de direção. A mudança brusca de direção é representada por um polígono cinza escuro,

representando uma curva realizada em alta velocidade. As regiões com desacelerações bruscas estão demonstradas pelos polígonos em branco, que representam o momento em que o objeto vai entrar na rodovia de alto fluxo de veículos, necessitando diminuir a velocidade para esperar os outros veículos passarem e não haver colisão, um semáforo e o destino da trajetória.



**Figura 2 - Trajetória com regiões de comportamento anormal**

Tendo o conhecimento das regiões de comportamento anômalo ao longo da trajetória, foram realizados experimentos com percentuais diferentes para aceleração brusca, desaceleração brusca e mudança brusca de direção.

Os melhores valores encontrados foram de 20% para o primeiro comportamento, 30% para o segundo e 180% para o terceiro, conforme pode ser visto na figura 2 (B). Comparado os experimentos B e C, tem-se que o último não encontrou o destino da trajetória como uma desaceleração brusca, ou seja, a região B1. Já se comparados os experimentos A e B, tem-se que o primeiro retornou uma região de aceleração brusca que não existiu (A5), localizada bem próxima a região de desaceleração brusca A4.

Nas comparações entre trajetórias que passaram no mesmo local, com o objetivo de descobrir se esses locais de comportamento anômalo se repetem em várias trajetórias, o resultado foi que as regiões que apresentaram comportamento anômalo em uma trajetória, também o apresentaram em muitas outras. Assim, é possível inferir que este não é um comportamento particular da trajetória, mas sim de várias trajetórias, sendo um problema provavelmente relacionado à rodovia, e não particular do objeto móvel.

#### 4. Conclusão e Trabalhos Futuros

Este trabalho propôs classificar o comportamento de objetos móveis em normal ou anormal, com base em acelerações bruscas, desacelerações bruscas e mudanças bruscas de direção ao longo das trajetórias. Foram definidas tabelas de pesos para análise de movimentos bruscos e foi criado um algoritmo que retorna as regiões (subtrajetórias) de

acelerações bruscas, desacelerações bruscas e mudanças bruscas de direção. Foram realizados experimentos com dados reais com o objetivo de definir o comportamento dos objetos e validar este trabalho. O algoritmo encontrou as regiões onde houve comportamento anômalo. Também foi verificado se os comportamentos anormais se repetiam em mais de uma trajetória na mesma região. Com isso, foi possível verificar se o objeto móvel tinha um comportamento anormal em virtude da maneira como dirige ou se a razão está relacionada a fatores externos como as condições da rodovia. Em relação à trabalhos futuros, pretende-se definir novas medidas que garantam com mais certeza se um indivíduo tem ou não comportamento anormal durante sua trajetória.

### **Agradecimentos**

Esta pesquisa foi parcialmente financiada pela FAPESC, CNPQ e Universidade Federal de Santa Catarina.

### **Referências**

- Alvares, L. O., Bogorny, V., Kuijpers B., de Macêdo, J. A. F., Moelans, B., Vaisman, A. A. (2007). A model for enriching trajectories with semantic geographical information *15th International Symposium on Advances in Geographic Information Systems (ACM-GIS)*, p.162-169.
- Alvares, L. O., Loy, A. M., Renso, C., Bogorny, V., (2011). An algorithm to identify avoidance behavior in moving object trajectories, *Journal of the Brazilian Computer Society*, p. 193-203.
- Baglioni, M., de Macêdo, J. A. F., Renso, C., Trasarti, R., Wachowicz, M. (2009) Towards Semantic Interpretation of Movement Behavior. In Sester, M., Bernard, L., and Paelke, V., editors, *AGILE Conf.*, Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, pages 271-288. Springer.
- Palma, A. T., Bogorny, V., Kuijpers, B., Alvares, L. O. (2008). A Clustering-based approach for discovering interesting places in trajectories *23rd Annual Symposium on Applied Computing*, (ACM-SAC), p.863-868.
- Rocha, J. A. M. R., Times, V. C., Oliveira, G., Alvares, L. O., Bogorny, V., (2010). DB-SMoT: A Direction-based spatio-temporal clustering method, *Fifth IEEE International Conference on Intelligent Systems (IEEE IS)*, p.114-119.
- Siqueira, F. L., Bogorny, V. (2011). Discovering Chasing Behavior Patterns in Moving Object Trajectories”, *T. GIS*, 15(5): 667-688.