

# TRÁFEGO DE PEDESTRES E DE VEÍCULOS: SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

**Aluno: Thomás Machado Martinoia**  
**Orientadora: Celia Anteneodo**

## Introdução

O trânsito de veículos, em autopistas ou urbano, coloca muitas questões de interesse prático tais como: Quais as condições em que os congestionamentos ocorrem e como podem ser evitados? O estudo da circulação de pedestres e da dinâmica de evacuação de ambientes fechados, tanto em situações normais quanto de pânico, também tem grande interesse prático.

A investigação dos comportamentos coletivos emergentes pode ser desenvolvida mediante os métodos utilizados para o estudo dos sistemas físicos. Com efeito, a dinâmica é governada por interações de curto e de longo alcance entre componentes individuais e entre estes e os obstáculos que limitam o movimento. Assim, uma vez identificadas essas interações, é possível descrever a evolução do sistema mediante equações análogas às da mecânica newtoniana.

Diversos modelos têm sido propostos na literatura. Desde modelos em que o fluxo de pessoas ou veículos é tratado como um fluido contínuo, até modelos em que é acompanhada a evolução dos componentes individuais tratados como partículas [1].

Os resultados das simulações têm potenciais aplicações práticas, por exemplo, no planejamento de disposição de saídas de emergência e na sinalização do tráfego.

## Objetivos

Pesquisar a dinâmica do trânsito de pedestres e/ou de veículos, procurando utilizar dados realistas e correlacionar os resultados das simulações com os de observações, quando possível.

## Metodologia

Dentro do presente projeto foi pesquisado, mediante a técnica de dinâmica molecular, principalmente o comportamento de pedestres em corredores (dinâmica em 2D).

Os pedestres (modelados por cilindros) são caracterizados por sua massa, raio, velocidade almejada e direção almejada. A dinâmica pode ser descrita por um sistema de equações do tipo [2,3]:

$$m_i \frac{d\mathbf{v}_i}{dt} = \sum_{j \neq i} \mathbf{f}_{ij} + \sum_w \mathbf{f}_{iw} + m_i \frac{v_0 \mathbf{e}_i - \mathbf{v}_i}{\mathbf{t}_i}, \quad (1)$$

onde o sub-índice  $i$  representa o pedestre  $i$ ,  $m_i$  a sua massa,  $\mathbf{v}_i$  a sua velocidade e  $t$  o tempo. Os dois primeiros termos no segundo membro representam, respectivamente, a força total de interação do pedestre  $i$  com os outros pedestres  $j$  e com as paredes  $w$ . Estas forças incluem uma contribuição repulsiva e uma outra de atrito tangencial. O último termo, onde  $v_0$  é o módulo da velocidade desejada,  $\mathbf{e}_i$  a sua orientação e  $\mathbf{t}_i$  um tempo característico, representa a contribuição devido ao fator psicológico que almeja uma dada direção ou objetivo (chegar à saída, extremidade do corredor, etc.).

As equações de movimento (1) foram integradas numericamente mediante um programa computacional [4].

Para o estudo de trânsito em corredores, consideramos condições de contorno periódicas (anel), com igual número de pedestres se deslocando em ambos os sentidos ao longo do corredor. Os parâmetros do campo de forças da equação (1) foram extraídos da literatura [2], obtidos na base de observações do mundo real (através de vídeos e fotografias).

Durante as simulações foram fixadas as dimensões do corredor e o número de pessoas: tipicamente 60 pessoas em corredores de 5m x 20m.

A dinâmica é alterada em situações de pânico. Basicamente, em tais condições: (i) as pessoas se movem, ou tentam se mover, mais rápido que o normal, (ii) a direção almejada é afetada, surgindo uma componente dominada pela direção seguida em média pela maioria (movimento coletivo). Como consequência, aumenta a frequência e intensidade das interações de contato e os indivíduos começam a se empurrar, ocorrendo altas pressões e a formação de arcos duradouros nas saídas e estreitamentos. Além do mais, pessoas caídas ou machucadas obstruem o movimento de escape da multidão.

Condições de pânico foram simuladas considerando-se que o vetor unitário que fornece a direção desejada é governado pelo parâmetro de pânico  $p_i$  segundo

$$\mathbf{e}_i \propto (1 - p_i)\mathbf{e}_{0i} + p_i \langle \mathbf{e}_0 \rangle. \quad (2)$$

De modo que se  $p_i = 0$  (ausência de pânico no indivíduo  $i$ ), a direção desejada original se conserva, mas, se  $p_i > 0$ , surge uma contribuição devido ao movimento coletivo, representado pela direção média com que os outros indivíduos se deslocam em cada instante.

## Conclusões

Para configurações inicialmente aleatórias das pessoas no corredor, com igual número se movimentando em sentidos almejados opostos, observamos o fenômeno de formação espontânea de faixas ou pistas. Observamos que este fenômeno depende do tamanho relativo do corredor e da densidade de pessoas. Um estado estacionário, caracterizado por faixas bem definidas, se estabelece mais rápido para uma densidade intermediária ótima. Com densidades baixas, as fileiras não ficam bem definidas. Entretanto para altas densidades, apesar de ser observada a tendência de formação de fileiras ou faixas, surgem também barreiras (engarrafamentos).

A situação de pânico altera o quadro anterior, de modo a apresentar efeitos de congelamento (engarrafamento) para densidades menores.

O código pode ser manipulado de modo a controlar formato e dimensões de ambientes, densidade de pedestres, velocidade desejada, massa, raio e grau de pânico de cada indivíduo. Assim podemos representar as heterogeneidades presentes em situações realistas.

Os resultados de este tipo de simulações têm potenciais aplicações práticas, por exemplo, no planejamento de disposição e sinalização de saídas de emergência para evacuação otimizada [5].

## Referências

- 1- CHOWDHURY, D. et al. Statistical physics of vehicular traffic and some related systems, **Physics Reports** 329, 199 (2000); HELBING, D., *Traffic and related self-driven many-particle systems*, **Rev. Mod. Phys.** 73, (2001).
- 2 - HELBING, D., MOLNAR, P., Social force model for pedestrian dynamics, **Phys. Rev. E** 51, 4282 (1995).
- 3 - HELBING, D., FARKAS, I., VICSEK, T., Simulating dynamical features of escape panic, **Nature** 407, 487 (2000).
- 4 - Código em Fortran desenvolvido por C. Anteneodo e E. Caffarena. Para a visualização da dinâmica foi utilizado o programa VMD desenvolvido pela Universidade de Illinois.
- 5 - SMITH, R.A., DICKIE, J.F. (eds), *Engineering for Crowd Safety* (Elsevier, Amsterdam, 1993).