



PROJETO DE PESQUISA

ESTUDO DA DINÂMICA DE PARTÍCULAS POR SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL: UMA APLICAÇÃO AO MOVIMENTO DE PEDESTRES

EDITAL Nº 001/2018 – PRPI

PIBIC CNPq/IFCE

Abril/2018

1 Resumo

A modelagem computacional do movimento de pedestres é muito importante para o planejamento de espaços que recebem muitas pessoas, como praças, estações de transporte, entre outros. O estudo do comportamento coletivo de pessoas é imprescindível para se evitar acidentes em situações extremas. Neste trabalho, propomos utilizar um modelo computacional que considera cada pessoa como sendo uma partícula que interage com as outras partículas com uma força repulsiva e de curto alcance. Além dessa força, chamada de força social, a partícula também está sujeita a forças externas, como, por exemplo, a força que previne que ela colida com um obstáculo (parede) à sua frente. Na realidade, sabemos que uma parede não exerce uma força repulsiva sobre um pedestre, mas na medida em que o pedestre observa a parede se aproximando de si, ele tende a desviar dela, o que pode ser modelado como uma força repulsiva que a parede faz sobre o pedestre. O mesmo ocorre quando uma pessoa se aproxima de outra. Com este trabalho, esperamos estudar a dinâmica de partículas no contexto do movimento de pedestres. Mais especificamente, desejamos avaliar o efeito da densidade de pessoas sobre o tempo de evacuação no caso de uma fuga, por exemplo, assim como avaliar de que maneira a geometria do local pode interferir na facilidade de locomoção das pessoas. A partir deste trabalho, esperamos promover a participação dos estudantes de Física na pesquisa científica, bem como contribuir para o aumento de produção científica do IFCE, e estimular a pesquisa no interior do estado.

2 Palavras-chave

Dinâmica molecular; Força social; Pedestres.

3 Introdução e Justificativa

O aumento da população mundial vem sendo acompanhado pelo aumento do interesse de como espaços públicos e/ou privados (praças, estações de transporte, estádios de futebol, *shoppings centers*, casas de *shows*, entre outros) podem ser ocupados com segurança.

Para se projetar qualquer local que costuma receber muitas pessoas, por exemplo, é extremamente necessário alocar, de modo estratégico, as saídas de

emergências para caso sejam utilizadas em uma situação de pânico. Caso contrário, os indivíduos podem acabar morrendo em um incêndio, como ocorreu no Brasil em 2013, mais precisamente em uma boate na cidade de Santa Maria (RS), local onde 242 pessoas morreram e outras 680 ficaram feridas. Mais recentemente, em março de 2018, em Kemerovo, na Rússia, um *shopping* foi tomado por fogo e morreram pelo menos 64 pessoas. A saída de emergência não é o único fator responsável por salvar uma vida nessas circunstâncias, mas é, certamente, um item obrigatório.

A simulação computacional é uma ferramenta que possibilita o estudo de tais sistemas considerando cada indivíduo como sendo uma partícula que interage com os vizinhos de uma determinada maneira. Desse modo, torna-se viável estudar o efeito da geometria do sistema no comportamento coletivo dos indivíduos.

4 Objetivos

4.1 Objetivo Geral

Estudar a dinâmica de partículas no contexto do movimento de pedestres.

4.2 Objetivos Específicos

- Elaborar um *software* que simule a interação entre pessoas em situações de multidão (*shows*, *shoppings-centers*, estações de transporte público, situações de incêndio, fuga etc);
- Avaliar o efeito da densidade de pessoas sobre o tempo de evacuação;
- Avaliar como a geometria do local pode interferir na facilidade de locomoção das pessoas;
- Promover a participação de estudantes de graduação na pesquisa científica;
- Incrementar o aumento da produção científica da instituição;
- Estimular a interiorização do conhecimento, fortalecendo as pesquisas no interior do estado.

5 Revisão bibliográfica

A simulação computacional de partículas que constituem sistemas físicos e biomoleculares tem resultado em uma nova compreensão sobre fenômenos de escala molecular que ocorrem nesses sistemas. Entretanto, muitos processos que ocorrem em líquidos, materiais moles (*soft matter*), e sistemas biomoleculares ocorrem em escalas de tamanho e de tempo que estão muito além das capacidades atuais de simulações computacionais.

Para possibilitar a investigação de tais sistemas, uma dos métodos computacionais muito utilizados é a Dinâmica Molecular, que consiste basicamente em resolver a equação do movimento em cada instante de tempo para cada partícula constituinte do sistema, e estudar a dinâmica do sistema, bem como o estado estacionário. Embora as simulações possam atualmente ser realizadas para sistemas com um número de partículas muito grande, isto ainda pode ser muito pequeno quando comparado a escala real de sistemas biológicos [1]. Para essas situações, o problema pode ser simplificado de modo que as partículas podem ser substituídas por sítios de um meio contínuo que interagem entre si por meio de interações computacionalmente mais eficientes. Desse modo, torna-se possível o estudo de sistemas com escalas de comprimento e de tempo muito grandes.

Entre os variados sistemas de partículas que podemos estudar por meio de simulação computacional, destacamos os sistemas superamortecidos, que incluem a dinâmica de pedestres [2], de vórtices de supercondutores do tipo 2 [3-13], de plasmas complexos [14,15], de sistemas coloidais [15-18], entre outros [19, 20].

Outro tema muito interessante que pode ser estudado através de simulações computacionais é o estudo das populações. Também chamada de dinâmica populacional, este tema é uma das abordagens fundamentais da Ecologia, não somente pela importância de se compreender as variações de abundância dos organismos, mas também para o entendimento dos fenômenos ecológicos de escalas maiores, como comunidades e ecossistemas. Interações entre populações, diversidade de espécies, e funcionamento de ecossistemas são processos em escalas diferentes, mas cada vez mais interligados [21]. Pelo fato de o sistema poder ser modelado por uma equação

diferencial, ele tem atraído cientistas de outras áreas, como Matemática, Física e Computação. No Brasil, particularmente, a modelagem matemática tem muito a oferecer na compreensão dos fenômenos ecológicos, e na formulação de novas teorias, mas é ainda relativamente pouco utilizada pelos pesquisadores no país.

Neste trabalho, desejamos estudar a simulação de partículas a partir da Dinâmica Molecular aplicado ao contexto de movimento de pedestres. Helbing *et al.* [2, 22-24] têm estudado e elaborado diversos modelos de interação entre pedestres. Utilizando esse modelo, o movimento de um pedestre pode ser descrito como se ele estivesse sujeito a uma força, chamada de *força social*, que é uma força repulsiva de curto alcance, uma vez que pedestres geralmente tendem a manter uma distância entre seus vizinhos, especialmente em situações onde a densidade populacional é pequena. Na realidade, sabe-se que nenhum pedestre está sujeito a uma força explícita, porém essa força social é uma medida coletiva do meio em que cerca o indivíduo. Quando uma pessoa se aproxima de um obstáculo, por exemplo, ela tende a desviar para evitar a colisão. Nesse caso, não há uma força explícita do obstáculo sobre o indivíduo, no entanto pode-se modelar essa situação como se o obstáculo repelisse o pedestre.

Dzubiella *et al.* [19] estudaram o efeito coletivo quando, em um espaço público com muitas pessoas, há dois grupos de pessoas: um composto por pessoas que querem ir para a direita, e outro grupo formado por indivíduos que desejam ir para a esquerda. A Figura 1, adaptada da Referência [19], ilustra essa situação: em uma situação onde inicialmente todos estão misturados (círculos brancos e pretos), os indivíduos que desejam ir para a direita (círculos pretos, por exemplo) e os indivíduos que desejam ir para a esquerda (círculos brancos) se organizam com o passar do tempo, formando filas que acabam por minimizar a energia do sistema. Isto é um resultado muito interessante pois os indivíduos se organizam de maneira completamente egoísta, isto é, não existe um agente externo informando as pessoas para se organizarem. Este processo é chamado de auto-organização.

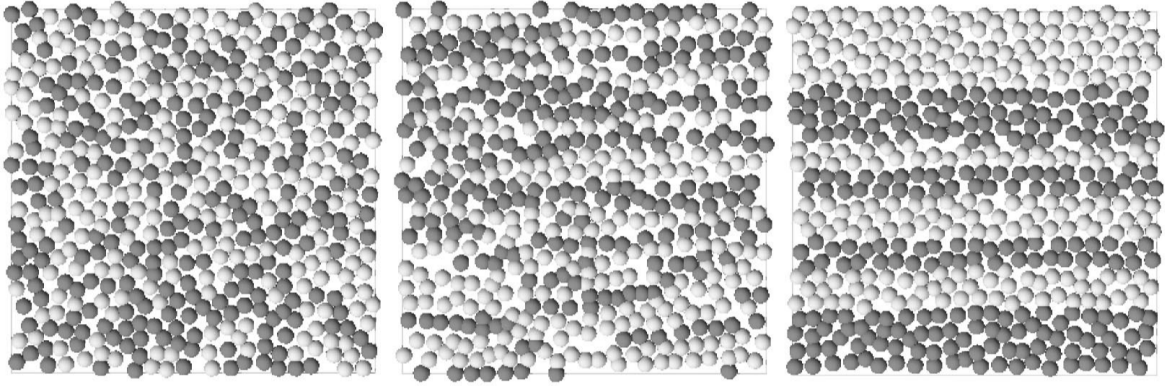


Figura 1: Auto-organização de pedestres. Os indivíduos representados por cores distintas desejam ir para direções opostas (direita ou esquerda) com igual desejo. Na medida em que o desejo (força) aumenta, filas são estabelecidas de modo a organizar o sistema. Figura adaptada de [19].

Esse fenômeno é comumente observado em lugares com grande concentrações de pessoas, como em um show, por exemplo, em que algumas pessoas desejam ir a um lugar (banheiros, lanchonetes) etc, enquanto outras pessoas desejam ir para outros. Modelos de pedestres como os citados aqui podem fornecer ferramentas muito úteis para planejar e construir áreas de circularão, como estações de metrô/trem, *shoppings* etc [25, 26].

Oliveira *et al.* [27] mostraram, computacional e analiticamente, que paredes com uma geometria específica, em forma de zigue-zague, podem induzir a organização do fluxo de pedestres no caso de um corredor por onde passam pessoas que desejam ir para uma direção e outros pedestres que desejam caminhar na direção oposta. Nesse caso, a equação do movimento que descreve a velocidade $\mathbf{v}$ que um pedestre i de massa m possui em um instante t é dada por

$$m \frac{d\mathbf{v}_i}{dt} = -m \frac{\mathbf{v}_i - v_d \mathbf{e}_i}{\tau} + \sum_{j \neq i} \mathbf{f}_{ij} + \mathbf{f}_{iW} + \boldsymbol{\xi}_i;$$

onde o primeiro termo do lado direito indica uma força viscosa que tende a impor ao pedestre uma velocidade desejada por ele, v_d , enquanto que o termo que contém o somatório são as forças exercidas pelas outras pessoas [22] no pedestre em questão, e f_{iW} é a força que a parede exerce no pedestre. O último termo do lado direito indica uma força de ruído aleatória, que aumenta quão maior for o desejo do pedestre de desviar da multidão. Em outro trabalho, Helbing e colaboradores [28] simularam uma situação

similar à da Fig. 1, onde há dois grupos de pedestres desejando ir para lugares opostos. Mais precisamente, eles estudaram o efeito de aumentar a força de ruído aleatória, e observaram que o sistema “congela” quando o ruído é muito grande, ou seja, o fluxo de pessoas vai a zero quando o ruído é grande o suficiente. Em sistemas físicos, geralmente o ruído está relacionado à temperatura do sistema. Por esta razão, esse fenômeno é conhecido como “*freezing by heating*” (ou congelamento por aquecimento). A Figura 2 ilustra esse fenômeno. Os pedestres, que estão representados por círculos, desejam ir para a direita ou esquerda dependendo da cor do círculo que o representa. Quando o ruído é suficientemente pequeno, o fluxo de pedestres ocorre sem problemas e observa-se a formação de filas. Ao aumentar o ruído, o sistema é congelado e, portanto, o fluxo é obstruído. Isto é especialmente importante em situações reais extremas que exigem uma fuga muito rápida.

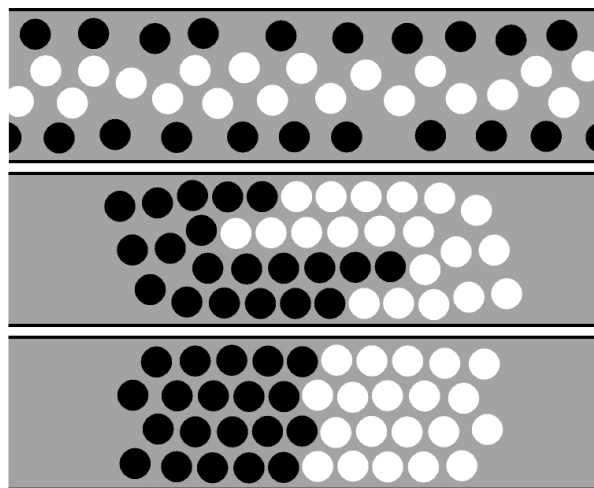


Figura 2: Fenômeno de *freezing by heating* em sistemas de pedestres. Na medida em que o ruído aleatório aumenta (de cima para baixo na Figura), o sistema “congela” e o fluxo de pessoas é obstruído. Adaptado da Referência [28].

6 Material e Métodos

O trabalho proposto será executado por meio de técnicas de simulação computacional, mais especificamente a utilização da técnica de simulação por meio de Dinâmica Molecular. Para possibilitar a execução do trabalho, utilizaremos a estrutura do laboratório de Física Computacional, que está sendo implementado no campus local.

7 Cronograma de Atividades dos Bolsistas

São solicitadas duas (02) bolsas de iniciação científica.

7.1 Cronograma de Atividades dos bolsistas: bolsista 1 (b1) e bolsista 2 (b2).

ATIVIDADES	1º Trimestre	2º Trimestre	3º Trimestre	4º Trimestre
Revisão bibliográfica	b1, b2	b1, b2	b1, b2	b1, b2
Elaboração de programas para resolver os problemas propostos	-	b1, b2	b1, b2	b1, b2
Obtenção e análise dos resultados	-	b1	b1	b1
Adequação dos resultados a algum meio de publicação	-	b2	b2	b2

8 Referências

- [1] M. G. Saunders, G. A. Voth, Annu. Rev. Biophys., 42, 73 (2013).
- [2] D. Helbing, P. Molnar, Phys. Rev. E 51, 4282 (1995).
- [3] H. J. Jensen, A. Brass, e A. J. Berlinsky, Phys. Rev. Lett. 60, 1676 (1988).
- [4] O. Pla and F. Nori, Phys. Rev. Lett. 67, 919 (1991);
- [5] R. A. Richardson, O. Pla, e F. Nori, Phys. Rev. Lett. 72, 1268 (1994).
- [6] W. Barford, W. H. Beere, and M. Steer, J. Phys.: Condens. Matter 5, L333 (1993).
- [7] C. Reichhardt, C. J. Olson, J. Groth, S. Field, e F. Nori, Phys. Rev. B 52, 10441 (1995).
- [8] C. Reichhardt, C. J. Olson, J. Groth, S. Field, e F. Nori, Phys. Rev. B 53, R8898 (1996).

- [9] C. Reichhardt, J. Groth, C. J. Olson, S. B. Field, e F. Nori, Phys. Rev. B 54, 16108 (1996).
- [10] C. Reichhardt, J. Groth, C. J. Olson, S. B. Field, e F. Nori, Phys. Rev. B 56, 14196 (1997).
- [11] O. Pla, N. Wilkin, and H. Jensen, Europhys. Lett. 33, 297 (1996);
- [12] C. J. Olson, C. Reichhardt, and F. Nori, Phys. Rev. B 56, 6175 (1997);
- [13] C. J. Olson, C. Reichhardt, and F. Nori, Phys. Rev. Lett. 80, 2197 (1998).
- [14] P. K. Shukla, Introduction to Dusty Plasma Physics (CRC Press, Abingdon, 2002).
- [15] H. Totsuji, Phys. Plasmas 8, 1856 (2001).
- [16] D. Lucena, D. V. Tkachenko, K. Nelissen, V. R. Misko, W. P. Ferreira, G. A. Farias, and F. M. Peeters, Phys. Rev. E 85, 031147 (2012).
- [17] J. E. Galvan-Moya, D. Lucena, W. P. Ferreira, and F. M. Peeters, Phys. Rev. E 89, 032309 (2014).
- [18] W. P. Ferreira, F. F. Munarin, G. A. Farias, and F. M. Peeters, J. Phys.: Condens. Matter 18, 9385 (2006).
- [19] J. Dzubiella, G. P. Hoffmann; H Löwen. Phys. Rev. E 65, 021402 (2002).
- [20] C. M. Vieira, H. A. Carmona, J. S. Andrade Jr, A. A. Moreira, Phys. Rev. E 93, 060103 (2016).
- [21] C. F. B. Palmeira, P. J. A. L. de Almeida, Introdução à Dinâmica de Populações.
- [22] D. Helbing, I. Farkas, T. Vicsek, Nature 407, 487 (2000).
- [23] D. Helbing, Rev. Mod. Phys. 73, 1067 (2001).
- [24] M. Treiber, A. Hennecke, D. Helbing, Phys. Rev. E 62, 1805 (2000).
- [25] G. P. Gipps, B. Marksjö, Math. Comput. Simul. 27, 95 (1985).
- [26] A. Borgers e H. Timmermans, Geogr. Anal. 18, 115 (1986).
- [27] C. L. N. Oliveira, A. P. Vieira, D. Helbing, J. S. Andrade, Jr., e H. J. Herrmann, Phys. Rev. X 6, 011003 (2016).