

ESTUDO DOS PADRÕES DE CLUSTER COM MOBILIDADE DIRECIONADA.

Luan de Lamare Paula (PIC/UEM), Breno Ferraz de Oliveira (Orientador). E-mail: bfoliveira@uem.br

Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Exatas, Maringá, PR.

Área e subárea do conhecimento: Física, Física Geral.

Palavras-chave: Sistemas Complexos; Movimentação; Formação de padrões.

RESUMO

Este trabalho visou estudar e replicar alguns resultados obtidos no artigo intitulado *Model for clustering of living species*. O objetivo do estudo era de aplicar uma movimentação direcionada nos padrões de *clusters* formados. Para o projeto foram realizadas algumas simulações de interação entre os indivíduos. O modelo aplicado é composto por um conjunto de indivíduos podendo ser macho ou fêmea, que obedecem a regras simples de morte ou reprodução, com uma movimentação aleatória. Nesse modelo a evolução inicia-se de um estado uniforme para um *cluster* único, caracterizado por uma evolução temporal como uma estrutura dinâmica estável. Ao se comportar com uma movimentação direcionada, o *cluster* não cai em extinção dos indivíduos.

INTRODUÇÃO

Cluster pode ser tomado como um aglomerado, encontrado por exemplo nas ciências ambientais, como aglomerados de seres vivos, sendo formigas, abelhas, pássaros, peixes, entre outro [1]. Ou no Universo macro ou micro, como aglomerados que conhecemos como galáxias, sendo as galáxias aglomerados de gás, poeira, estrelas e seus sistemas planetários [2] e a nível nuclear, por exemplo, prótons, nêutrons e elétrons se agregam para formar átomos e moléculas [3]. Neste trabalho, foi feito a reprodução dos resultados do artigo [4], a partir do uso da linguagem C para execução do código de interação e geração dos indivíduos. Nossos esforços foram na direção de encontrar a presença de *clusters* em um sistema simples, composto por um conjunto de indivíduos, fêmeas e machos de uma única espécie, com uma movimentação de maneira aleatória, podendo morrer ou se reproduzir a uma determinada taxa. As simulações, de Monte Carlo, foram

realizadas em uma caixa quadrada de tamanho 1. Foi utilizado a inclusão de uma mobilidade direcionada, a fim de verificar quais modificações ocorrem nos *clusters*.

MATERIAIS E MÉTODOS

O projeto foi desenvolvido no Departamento de Física da Universidade Estadual de Maringá. Para seu desenvolvimento, foi utilizado computador, *software* gnuplot e linguagem C.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram realizadas mais de 10 simulações numéricas, sem alteração das especificações encontradas no antigo de base, de maneira que a probabilidade de reprodução se manteve igual a 0,7 e de morte 0,3, como raio de interação de 0,01 e simulações contando com tempo de 1000 gerações. Na Fig. 1, três imagens distintas ilustram a evolução temporal do sistema com $N = 1000$ indivíduos. A primeira imagem à esquerda representa um estado inicial do sistema, quando todos os indivíduos foram gerados de maneira aleatória dispostos dentro do quadrado de lado 1. A partir da segunda imagem, é possível verificar que após algumas gerações o sistema começa a formar pequenos *clusters*, que não param de evoluir, até terminar em um único *cluster* maior, contendo todos os N indivíduos presentes no estado inicial, representado na terceira imagem. Isso pode ser interpretado a partir da probabilidade de ocorrência da reprodução em um *cluster* maior devido ao aumento de indivíduos muito próximos, quando comparado a *clusters* menores.

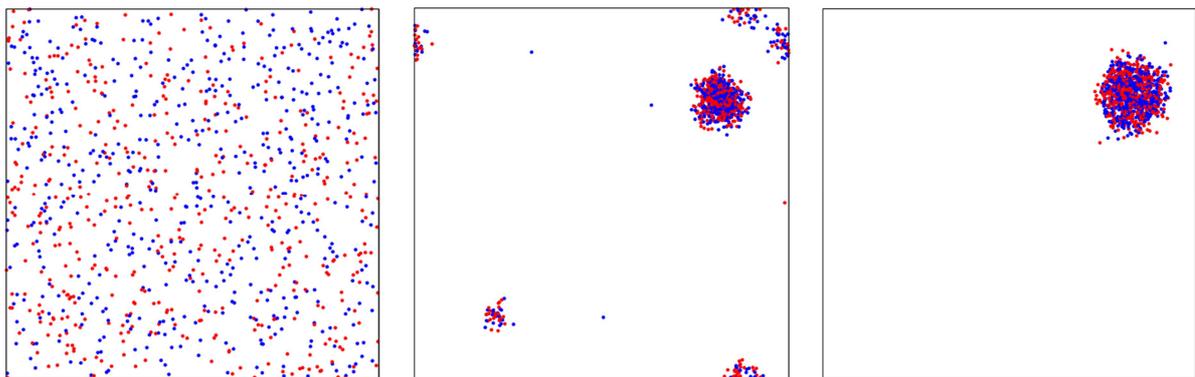


Figura 1 - Imagens da distribuição espacial das mulheres (vermelho) e machos (azul) nos tempos de geração $t = 0$ (à esquerda), $t = 20$ (centro) e $t = 125$ (à direita). Apenas um *cluster* sobrevive quando o tempo ultrapassa 100 gerações.

Para simulações representadas na Fig. 1, foram utilizados um fator $theta$ variando de 0 a 2π , que define a direção em que ocorrerá o movimento do indivíduo escolhido. Ao fazer a modificação desse valor, não se altera a formação dos *clusters*, porém é possível observar uma movimentação direcionada. Novas simulações feitas utilizando $theta = 0$ e $theta = \frac{\pi}{2}$ e mostraram que essa alteração não causou a extinção dos indivíduos, apenas uma direção preferencial de movimento do *cluster* final. Na Fig. 2 três imagens ilustram o comportamento após os *clusters* se formarem. Ocorre uma movimentação na diagonal, bem como para $theta$ nulo, a movimentação ocorre na horizontal.

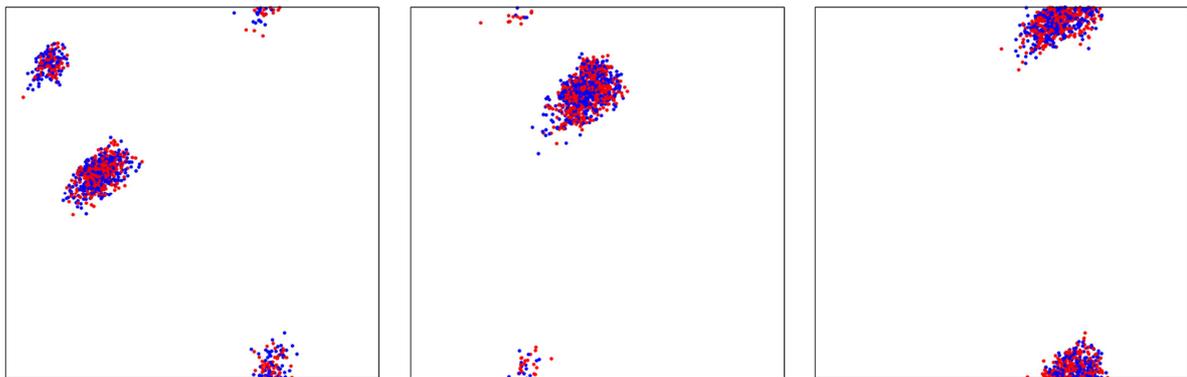


Figura 2 - Imagens da distribuição espacial com fator $theta = \frac{\pi}{2}$ nos tempos de geração $t = 30$ (à esquerda), $t = 50$ (centro) e $t = 70$ (à direita).

CONCLUSÕES

Os resultados alcançados, por meio das simulações, estão de acordo com o reportado na literatura. Além disso, observamos uma rápida evolução na formação de um *cluster* dinamicamente estável e uma abundância de indivíduos femininos e masculinos de maneira equilibrada, flutuando em torno da mesma média com o passar do tempo. Com a retirada da aleatoriedade da movimentação e aplicação de uma direção definida, a formação de um *cluster* único não foi comprometida e a direção da movimentação mostrou uma variação.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao Prof. Breno Ferraz de Oliveira pelo apoio durante todo o projeto. Agradecimentos a Universidade Estadual de Maringá- UEM.

REFERÊNCIAS

- [1] PARRISH, Julia.; HAMNER, William. **Animal Groups in Three Dimensions: How Species Aggregate**. Cambridge University Press, 1997.
- [2] CARROLL, Bradley.; OSTLIE, Dale. **An Introduction to Modern Astrophysics**. Cambridge University Press, 2017.
- [3] FREER, Martin. *The clustered nucleus—cluster structures in stable and unstable nuclei*. **Reports on Progress in Physics**, v. 70, n. 12, p. 2149, 2007. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0034-4885/70/12/R03>.
- [4] BAZEIA, D.; DE MORAES, M. V.; DE OLIVEIRA, B. F. *Model for clustering of living species*. **Europhysics Letters**, v. 129, n. 2, p. 28002, 2020. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1209/0295-5075/129/28002/meta>.