

## ESTUDANDO O MODELO GENERALIZADO PEDRA-PAPEL-TESOURA COM A LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO GO

Beatriz de Castro Bittencourt (PIBIC/CNPq/FA/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 Geral / Física Estatística e Termodinâmica**

**Palavras-chave:** Processos estocásticos; biodiversidade; linguagens de programação

### RESUMO

A fim de melhor compreender o fenômeno da biodiversidade na natureza, foi estudado neste trabalho o modelo RPS de May-Leonard, utilizando as linguagens de programação C e Go, com o propósito de reproduzir os resultados do artigo *Junctions and spiral patterns in generalized rock-paper-scissors models* e comparar as duas linguagens. Neste modelo, espécies distintas formam um ciclo de interações não-hierárquicas tipo pedra-papel-tesoura. Após a definição aleatória do posicionamento de indivíduos na rede, estes podem mover-se, reproduzir-se ou preda-se, com as probabilidades de cada ação dependentes de certos parâmetros. Foram programadas redes para diferentes probabilidades de ação, e foram coletados dados acerca da distribuição das espécies com o passar das gerações. Os *snapshots* obtidos estão de acordo com os resultados do artigo citado e destacam os papéis das probabilidades de cada ação na progressão temporal das simulações, além de demonstrar os contrastes de eficiência entre C e Go para a tarefa.

### INTRODUÇÃO

Na ecologia, uma das maiores incógnitas é a biodiversidade, ou seja, a variedade e variabilidade de vida na natureza. Em particular, as interações não-hierárquicas entre diferentes espécies parecem essenciais ao desenvolvimento e mantimento da mesma. Assim, existe um modelo generalizado relacionado às regras do jogo RPS (*rock-paper-scissors*, ou pedra-papel-tesoura), em que a biodiversidade é mantida. Nesse modelo, três ou mais espécies fecham um ciclo de interações não-hierárquicas. Temos como possível método de estudo simulações estocásticas, baseadas em sorteios. Em nosso modelo de interesse, simulações são feitas em redes de tamanho determinado, com espaços para cada indivíduo. São feitos sorteios sucessivos de ativos, passivos e ações, e a rede é remodelada com base nessas interações.

No artigo *Junctions and spiral patterns in generalized rock-paper-scissors models* [1], foram feitas simulações de redes de  $N$  espécies utilizando o modelo RPS de May-Leonard, investigando o progresso temporal da rede. Observou-se que padrões de espirais com  $N$  braços podem se formar para ambos  $N$  par e ímpar, em particular quando se incorpora uma regra  $N$ -cíclica de predador-presa. Neste trabalho, foi tido como objetivo reproduzir tais resultados e observar novos a partir de parâmetros diferentes. Para isso, foram programadas simulações similares usando as linguagens de programação C e Go, a fim de comparar as estruturas e os tempos de execução de cada uma e determinar a mais eficiente para a tarefa.

## MATERIAIS E MÉTODOS

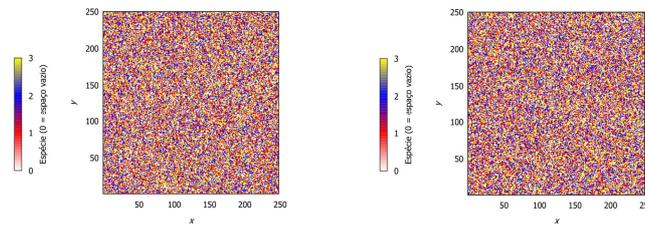
Para comparar as duas linguagens, foram escritos programas idênticos em propósitos e funcionalidades, diferindo apenas em sintaxe e estilo. Ao executá-los no terminal Cygwin, foram obtidos os tempos decorridos e calculadas médias de tempo de execução. Para a confecção de gráficos e imagens, foi empregado o programa Gnuplot, com dados produzidos pelas simulações.

As redes quadráticas foram programadas com dimensões de  $250 \times 250$  e condições de contorno periódicas. Foi escrita e executada uma condição inicial, consistindo na distribuição pseudoaleatória de 3 espécies e espaços vazios. Após a condição inicial, um indivíduo é selecionado aleatoriamente como ativo, junto com um de seus 4 vizinhos mais próximos como passivo, e sorteada uma de três ações possíveis: mobilidade, predação e reprodução. Enquanto a mobilidade é irrestrita e realizada sempre que sorteada, a predação ocorre baseada no ciclo pedra-papel-tesoura, inválida se o violar, e a reprodução só ocorre se o espaço passivo for vazio. Ações inválidas são descartadas, solicitando novo sorteio. Ao ocorrer  $250 \times 250$  ações válidas, conta-se uma geração, e um arquivo .dat é gerado contendo os espaços da rede. Foram decorridas 10.000 gerações para todas as simulações. Utilizando os dados de cada uma, foi possível esboçar gráficos da distribuição de espécies pelo tempo. Por fim, foram feitos *snapshots* das redes a cada 2 mil gerações, totalizando 5 imagens para cada.

As ações têm probabilidades distintas de ocorrer, de modo que não ocorra dominação de uma espécie ou extermínio. No modelo estudado, a probabilidade de mobilidade ( $pm$ ) é determinada arbitrariamente num intervalo de 0 a 1 (0% a 100%), enquanto as probabilidades de predação e reprodução dividem igualmente o restante. Dessa forma, foi analisado o impacto de  $pm$  na progressão temporal das simulações, realizando 6 simulações com  $pm$  distintas: 0,1, 0,25, 0,5, 0,75, 0,8 e 0,9.

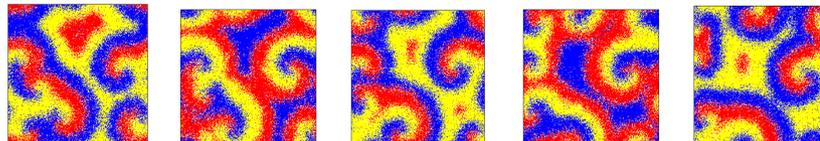
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Primeiramente, foi executada a condição inicial de todas as simulações em C e Go - veja Figura 1.

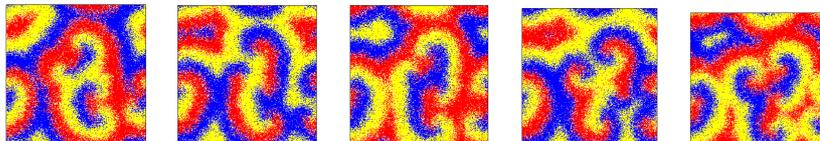


**Figura 1** – As redes das simulações na condição inicial, em C e Go, respectivamente.

Observa-se que não houve diferença, além da natureza aleatória da condição, entre as redes nas duas linguagens, algo esperado pelas funcionalidades idênticas dos programas. Em seguida, foi programado o restante das simulações com  $pm$  distintas. Para todas, os programas em C continuam 129 linhas de código, e os em Go, 112. Para  $pm = 0,8$ , estão expostas as redes obtidas nas Figuras 2 e 3.

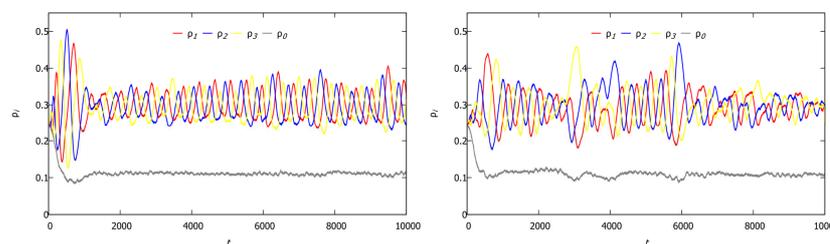


**Figura 2** – A rede da simulação em C em que  $pm = 0,8$ , de 2 mil a 10 mil gerações.



**Figura 3** – A rede da simulação em Go em que  $pm = 0,8$ , de 2 mil a 10 mil gerações.

Os padrões observados, espirais de 3 braços para redes de 3 espécies e interações tricíclicas, confirmam os resultados do artigo. Os gráficos das densidades das espécies em função do tempo, foram obtidos para o mesmo valor de  $pm$  estão dispostos na Figura 4.



**Figura 4** – Gráficos densidade das espécies em função do tempo para as simulações em que  $pm = 0,8$ , em C e Go, respectivamente.

Ao analisá-los, nota-se que a distribuição de espécies manteve-se constante com o passar das gerações, havendo crescimentos e recuos alternados. Além disso, não houve alteração significativa da população absoluta da rede, observado pela distribuição constante de espaços vazios. Por fim, foram medidos os tempos médios de execução dos códigos. Para  $pm = 0,8$ , C levou 36,485 segundos, e Go 2 minutos

e 6,879 segundos. Foi feito um gráfico expondo tempos médios em C e Go para todas as  $pm$  estudadas.

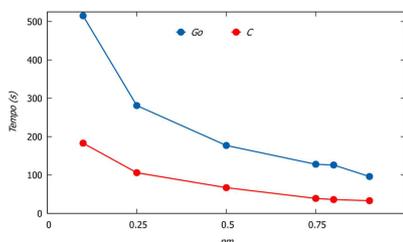


Figura 5 – Gráfico  $pm$  x tempo de execução para C (vermelho) e Go (azul).

Tais dados mostram que apesar de mais antiga e menos concisa que Go, C foi aproximadamente 3,48x mais veloz que Go para  $pm = 0,8$ , mostrando-se mais eficiente. Ademais, o gráfico evidencia que as simulações se tornam mais rápidas em ambas as linguagens conforme  $pm$  aumenta. Isto condiz com as condições das simulações, em que a mobilidade é irrestrita e sempre resulta em sorteios válidos.

## CONCLUSÕES

Foram reproduzidos os resultados encontrados no artigo *Junctions and spiral patterns in generalized rock-paper-scissors models*, e verificado o impacto das probabilidades de ação nas configurações da rede. Além disso, foram comparadas as linguagens C e Go ficando evidenciado que a linguagem C é mais eficiente para este tipo de tarefa. Como perspectiva reproduziremos os resultados do artigo [2] na linguagem Rust para ganhar mais confiança nos métodos numéricos, bem como na área de dinâmica de populações.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à Fundação Araucária e ao CNPq pelo apoio financeiro recebido e por permitir que eu explorasse esta área do conhecimento. Agradeço também ao professor Breno por me aceitar como orientanda. Por fim, agradeço aos meus pais por constante presença, apoio e incentivo aos estudos.

## REFERÊNCIAS

- [1] AVELINO, P. P. *et al.* *Junctions and spiral patterns in generalized rock-paper-scissors models*. *Phys. Rev. E*, **86**, 036112 (2012).
- [2] BROWN, B. L.; PLEIMLING, M. *Coarsening with non-trivial domain dynamics: Correlations and interface fluctuations*. *Physical Review E*, **96**, 012147 (2017).