

# Questões em Metabiologia

Felipe Sobreira Abrahão

Doutorando, HCTE – UFRJ

E-mail: felipesabrahamo@gmail.com

## 1. INTRODUÇÃO

Um campo, por essência, transdisciplinar é criado quando a teoria algorítmica da informação se propõe a resolver uma questão da biologia. Possivelmente, a questão mais importante: a evolução dos seres vivos. A partir daí, velhos problemas, tanto biológicos quanto matemáticos, são retomados, assim como, emergem novas questões a serem respondidas ou não. É sobre esta última frase e sobre os trabalhos de Gregory J. Chaitin que a presente discussão se desdobra.

Provavelmente, será necessário ao leitor algum conhecimento sobre metabiologia ou ter lido o artigo de referência.

## 2. DESENVOLVIMENTO

### 2.1 SOBRE ALGUMAS PRESUPOSIÇÕES:

A metabiologia se baseia em considerar o DNA como idioma de programação. Ele representaria o que é o ser vivo no sentido de dizer tudo o que ele deve fazer, se comportar e se estruturar à medida que envelhece e que interage com o meio. Este último, por sua vez, pode ser visto como a *Universal Machine* em que o programa/DNA é rodado [1]. Por isso, faz sentido usarmos um programa computacional ou uma string de bits no lugar de estudarmos diretamente todas as células ou o DNA de um ser vivo. Essas ideias estão em consonância com as de John Von Neumann e John Maynard Smith, como diz o próprio criador da metabiologia, Gregory J. Chaitin.

Podemos reduzir tudo o que é um organismo ao seu DNA? Essa é uma questão atual da biologia. Vide, por exemplo, a Epigenética. Mas isso afetaria a teoria e os resultados metabiológicos? Para responder precisamos saber o quanto podemos abstrair o que determina o ser vivo em relação a sua estrutura e ao meio, deixando de olhar somente para o DNA.

Mantendo a natureza ou o meio como uma *Universal Machine*, como já dito, pense em todas as relações que um ser vivo pode ter com o ambiente, incluindo suas reações químicas e estruturas químico-fisiológicas internas. Se essas relações forem recursivas ou dadas por um sistema finito de regras, isto é, decidíveis por um computador, podemos provar que há um programa que as determina, que diz o que deve acontecer dado isso ou aquilo. Dessa forma, obtemos, também, uma string de bits representando um ser vivo, porém, não necessariamente somente seu DNA. Isso de uma maneira mais abstrata ainda, pois fica difícil identificar alguma estrutura orgânica que desempenhe o papel de software. Note que uma cadeia de genes se assemelha mais a um idioma de programação de 4 bases.

É claro que ainda existe a possibilidade dessas relações que determinam o ser vivo não serem bem comportadas o suficiente para serem recursivas, o que traria a baixo a teoria metabiológica - inicialmente como está - porque não poderíamos usar programas computacionais para representá-las. Contudo, fazendo as devidas transformações subsequentes, os teoremas da metabiologia se tornam invariantes se considerarmos o meio como uma *Universal Oracle Machine* [2] e os seres vivos como programas nesse tipo de linguagem de máquina - e, por isso, esses programas seriam capazes de representar relações muito mais complexas que as recursivas/computáveis.

## 2.2 ADAPTABILIDADE:

Como fazemos para saber se um organismo/programa é mais apto ou não? Na aparente ausência de algo representar o meio-ambiente, a metabiologia toma como parâmetro de aptidão (*fitness*) o maior número que o organismo consegue calcular - ou algo praticamente da mesma ordem [3]. Por isso, cada organismo parece estar solitário em sua saga para evoluir.

Porém, como o próprio autor de referência nos propõe para entender a metabiologia, vamos dar um passo a mais na abstração e aumentar a ordem das representações matemáticas para as relações biológicas. Pense no meio-ambiente como um provedor de desafios para o ser

vivo em questão. Ele apresenta certos inputs para o organismo e espera que o ser retorne uma quantidade determinada de outputs de funções computáveis. Do contrário, ele o extingue. Portanto, o ser vivo precisa ser capaz de computar certa quantidade de funções para se manter vivo. Além disso, a natureza parece sempre propor novas adversidades, o que podemos representar por ela ir cobrando novas funções computáveis do organismo, de acordo com uma ordenação – podemos construir um conjunto ordenado das funções computáveis. Finalmente, o número  $n$  que o organismo calcula, isto é, sua aptidão, pode representar que ele é capaz de computar até a  $n$ -ésima função computável desse conjunto ordenado de funções computáveis. Ou seja, quanto mais sua aptidão cresce, mais desafios, que o meio-ambiente pode lhe propor, ele é capaz de resolver.

Essa é apenas umas das possibilidades de entendermos a aptidão metabiológica como um parâmetro de adaptabilidade do ser vivo com o meio. Mesmo aí, ainda podemos torná-la mais interessante e perguntar se é possível a construção da ordenação desse conjunto se dar à medida que os seres vivos vão interagindo com o meio, não sendo uma ordenação predeterminada pela natureza sozinha.

### 2.3 O MODELO DE BUSCA EXAUSTIVA É UM FRACASSO?

No artigo de referência vários resultados já nos são apresentados. Um tipo de evolução, aquela dada por uma busca exaustiva (*Exhaustive Search*) no espaço de todas as mutações, é indicada como um modelo não apropriado, justamente, pela velocidade da evolução não corresponder (a princípio) com a biológica – além das mutações naturais não parecerem ignorar o organismo anterior e partir do zero toda vez que ocorrem. Atingimos o nível desejado de aptidão (*fitness*) de um organismo num tempo médio de  $2^N$  enquanto que na biologia isso ocorreria num tempo em torno de  $N^2$ .

Quando calculamos o tempo médio, seria um tempo  $x$  de obtermos um evento com probabilidade  $1/x$ . Por exemplo, espera-se que quando jogarmos um dado de seis lados seis vezes obtenhamos um dois pelo menos uma vez. O que, para um número bem grande tentativas, tende a ser uma boa suposição. Todavia, por ser uma probabilidade, nada impede –

apesar de ser menos provável - que nas 20 primeiras jogadas das 996 obtenhamos 20 vezes seguidas o número dois num dado de seis lados. E, mesmo assim, nossa amostra ainda pode ficar estatisticamente válida se tivermos, no total, algo em torno de 166 vezes o número dois. Da mesma forma, nada impede de estarmos num estágio privilegiado da evolução em que uma sequência de mutações menos provável nos levou a um (quase estrito) crescimento mais rápido de aptidão, enquanto que, num tempo futuro, a distribuição de mutações volte a ser ergódica.

## 2.4 PRECISAMOS DE ORÁCULOS?

Sabe-se que a maioria dos programas que não param um computador não consegue determinar que eles não param – os que param ele é capaz de decidir. Um deles é o conhecido problema da parada (*Halting Problem*), introduzido por Turing em 1936. Portanto, para resolver esses casos é preciso que algo de fora, um *oráculo*, informe a um computador quando esses programas não se detêm. Saber os bits do número incomputável Omega é uma forma, pois, com eles, pode-se determinar se um programa se detém ou não [4].

No sistema evolutivo proposto pela metabiologia, é necessário um oráculo sempre que precisamos saber se um programa (mutação ou organismo) não pára ou quando necessitamos comparar algum número binário fracionário com Omega. Seu uso varia sutilmente nos três modelos evolutivos propostos: busca exaustiva, modelo inteligente e evolução cumulativa. Vamos nos focar, então, nesse último, possivelmente o mais promissor.

Nesse caso, se supusermos uma natureza ou meio-ambiente totalmente computável, o sistema evolutivo irá entrar em loop. Porque irão aparecer, provavelmente, mutações que não param, as quais a natureza ficará para sempre tentando verificar que elas não param. Ou ainda, teremos aproximações ao número Omega que ela nunca saberá se são inferiores ou superiores para determinar se um organismo é mais apto ou não.

Existem maneiras relativamente simples de resolvermos esse problema, como, por exemplo, limitar o tempo computacional que um programa pode ter para decidir se um programa pára ou não. Porém, dessa forma, excluiríamos uma infinidade de mutações bem sucedidas e o resultado final, o tempo médio de evolução, possivelmente seria afetado – estudar como isso afeta o tempo médio de evolução também pode ser interessante.

Uma forma de tentarmos tornar os resultados dos teoremas totalmente invariantes, no caso acima, seria supor que natureza só apresenta mutações que param ou que um computador pode decidir que não param, sendo que uma mutação  $P$  de tamanho  $|P|$  deve ocorrer, na média, nas  $2^{|P|}$  primeiras tentativas. Então, dado um organismo inicial e considerando a natureza computável, isso seria equivalente a dizer que existe um programa que enumera o conjunto dos programas que param e que um computador pode decidir que não param – o que, até aqui, é possível - tal que, se  $P$  é um elemento desse conjunto, então  $P$  está, na média, entre os  $2^{|P|}$  primeiros elementos.

No entanto, existir um programa que enumera tal conjunto respeitando essa ordenação é equivalente a um computador resolver, pelo menos, certo número de problemas incomputáveis. O que, por redução ao absurdo, nega a existência de tal programa.

Esse resultado não encerra o assunto. Como já dito, existem outras formas de lidar com a ausência de oráculos para um sistema metabiológico e caberia verificar como elas afetariam o tempo médio de evolução no final.

Temos, ainda, outra possibilidade instigante. A cada sequência finita de mutações e organismos num dado caminho evolutivo temos um programa que a decide. Isto é, pode estar programado na natureza para a evolução ocorrer do jeito que ocorreu até agora ou até um futuro limitado. O problema é estar programado para a evolução se dar *sempre* (num futuro não limitado) da forma dita adequada.

## 2.5 NÚMEROS ORACULARES E A APTIDÃO:

No modelo inteligente ou evolução cumulativa os seres vivos vão se aproximando de conhecer os bits de Omega conforme evoluem. Isso é necessário para eles poderem atingir o valor da função de aptidão – no caso, a *Busy-Beaver* [5] – que for preciso, a qual é incomputável. Se propusermos alguma outra função de aptidão, por exemplo, nomear cada vez maiores ordinais construtivos ( $BB_{ora}(N)$ ), como é proposto por Gregory Chaitin no final de seu artigo, devemos usar um número oracular capaz de computar [6] essa função [7] tal

que possamos aceitar somente – pois as aproximações superiores são extintas - as aproximações inferiores que nos dão a evolução dos organismos.

Nós podemos construir um número oracular  $M$  para todo o modelo *standard* da teoria dos conjuntos (Zermelo-Fraenkel-Choice), o que nos permite, sabendo esse número  $M$ , computar a função  $BB_{ora}(N)$  - e se qualquer sentença é verdadeira -, isto é, saber sempre se um programa nomeia um ordinal e se esse ordinal é maior, menor ou igual a qualquer outro. No entanto, pode-se mostrar que esse número é mais randômico que Omega e que, por isso, não há programa que convirja para ele em tempo computacional infinito. Então, vamos precisar de mutações e organismos um pouco diferentes daqueles apresentados no modelo inteligente e na evolução cumulativa ou, talvez, precisaremos que eles sejam programas de *Oracle Machines* de ordem superior.

De qualquer forma, há uma dependência entre o número oracular e a aptidão, na qual, para tornar os resultados – isto é, o tempo médio de evolução - dos teoremas invariantes, precisamos fazer modificações no sistema evolutivo metabiológico.

### 3. CONCLUSÃO

Chegamos, no decorrer desse texto, a possibilidades e algumas perguntas.

O sistema da metabiologia é composto por organismos e mutações que são programas, por exemplo, strings binárias. Diante disso, já podemos notar a imensa quantidade de problemas que podemos representar da biologia e que podemos construir dentro dele, vislumbrando uma complexidade que, por si só, nos lembra a da biologia.

Apesar de ser nosso intento abstrair ou procurar um caminho mais fácil para que possamos tirar conclusões matemáticas ou demonstrar teoremas, uma teoria matemática para biologia deve possibilitar modelarmos dentro dela toda a riqueza das relações biológicas. E, nessas duas coisas, a metabiologia parece ter sucesso.

Agradecimentos ao Prof. Dr. Gregory John Chaitin.

## NOTAS

- [1] Embora seja necessária uma *Oracle Machine* para fazer a evolução.
- [2] De alguma ordem determinada.
- [3] No caso do modelo inteligente ou da evolução cumulativa.
- [4] O inverso também é verdadeiro: sabendo quais programas não param, um computador pode enumerar os bits de Omega.
- [5] Na verdade, nesses dois modelos é usada uma função praticamente equivalente a *Busy-Beaver*.
- [6] Quando agregado a um computador.
- [7] No caso da evolução cumulativa é preciso também que esse número seja capaz de decidir o problema da parada.

## REFERÊNCIA

CHAITIN, G. J. To a mathematical theory of evolution and biological creativity.  
**Randomness, Structure and Causality: Measures of Complexity from Theory to Applications**, Santa Fe, January 2011.