



# Computação natural *in natura*: Apreciação-apropriação da virtualidade do vivente em algoritmos bioinspirados

**Palavras-Chave:** biotecnologia, computação bioinspirada, antropologia da ciência

**Autores:**

**GIORDANNO OLIVEIRA PADOVAN – IFCH, UNICAMP**

**Prof. Dr. PEDRO PEIXOTO FERREIRA (orientador) – IFCH, UNICAMP**

---

## RESUMO

A pesquisa propõe uma análise da criação de algoritmos bioinspirados, processo que parte de descrições de seres vivos e fenômenos biológicos para realizar sua modelagem matemático-computacional, ao longo de uma série de inscrições produzidas tanto por cientistas naturais quanto pelos desenvolvedores dos algoritmos em questão. As práticas de modelagem biomimética se baseariam em uma construção particular e socio-historicamente situada da Natureza e destes seres e fenômenos, descrita em termos de eficiência e otimização, e pretendariam operar a apropriação de sua virtualidade enquanto informação a ser aplicada na resolução de problemas tecnocientíficos.

## INTRODUÇÃO

O design biologicamente inspirado, ou biomimética, busca gerar novas tecnologias e estruturas que repliquem, de alguma forma, arranjos e funcionamentos biológicos, transferindo funções do mundo natural para produtos e processos de design industrial, robótica, arquitetura e engenharia de materiais. Um exemplo amplamente conhecido de aplicação biomimética é o sistema de fechamento com fixação por gancho e argola, patenteado pela Velcro e inspirado na planta bardana (Velcro, 2024).

Já a computação bioinspirada, área pertencente ao campo mais amplo da biomimética, “tenta replicar o modo como organismos biológicos ou entidades sub-organísmicas (como neurônios e bactérias) operam para atingir altos níveis de eficiência” (Kar, 2016, p. 7) na resolução de problemas computacionais complexos. Tal motivação, visando efetuar a instrumentalização técnica de uma realidade biológica “aperfeiçoada” pelo processo evolutivo, aparece explicitamente em vários artigos do campo, podendo ser vista com clareza nas questões levantadas por Passino (2002, p. 66):

Podemos encontrar aplicações em engenharia que exijam funcionalidades semelhantes ao que a evolução aperfeiçoou para um organismo e então explorar o bio-design enquanto solução para problemas tecnológicos práticos? Ou, dito de outra forma, podemos encontrar sistemas biológicos que consigam solucionar problemas tecnológicos que estão além de nossas capacidades atuais de engenharia?

Este trabalho se debruçou sobre o objetivo duplo de a) caracterizar a forma pela qual os desenvolvedores constroem uma noção específica de Natureza que justifique o uso da bioinspiração em um contexto computacional, e b) investigar a sequência de inscrições e traduções que ligam seres vivos e algoritmos, apresentada aqui como um processo de apropriação e instrumentalização da informação de entes biológicos.

## METODOLOGIA

Como base para a análise, selecionamos um corpus inicial de 12 artigos, sendo três deles artigos de apresentação do campo de computação bioinspirada e nove artigos propondo algoritmos bioinspirados. Foi priorizada a variedade de seres vivos escolhidos pelos autores como inspiração para o desenvolvimento dos algoritmos, bem como a presença significativa na literatura de síntese.

Após a leitura do corpus, os trechos relevantes para o recorte da pesquisa foram compilados, organizados e comentados em uma planilha, facilitando a identificação do uso recorrente de certos termos e da expressão de posições compartilhadas pelos autores do campo, elementos essenciais para a parte da pesquisa que trata da construção de uma concepção particular de Natureza.

Complementarmente, para aprofundar as investigações sobre o processo de modelagem, escolhemos nos debruçar especificamente sobre o algoritmo de otimização por colônia de formigas (*ant colony optimization*, ACO), de especial interesse por ser um dos algoritmos bioinspirados mais conhecidos e estudados, com uma produção abundante relacionada a seu desenvolvimento e possíveis implementações. Utilizamos principalmente o livro *Swarm Intelligence: From Artificial to Natural Systems* (Bonabeau; Dorigo; Theraulaz, 1999) para compreender e descrever a criação de modelos no contexto do algoritmo de ACO de uma forma generalizável para os demais algoritmos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A pesquisa resultou em um trabalho (Gonçalves; Padovan, 2024) apresentado no GT de Antropologia da Técnica da 34ª Reunião Brasileira de Antropologia (RBA) e no qual as questões aqui presentes foram inicialmente elaboradas e discutidas coletivamente.

### Construção de Natureza

Em textos de computação bioinspirada (e de biomimética, no geral), a figura da Natureza é apresentada como uma força ou entidade criativa (“criadora”, “inventora”, “designer”, “engenheira”) que, por meio de processos evolutivos de seleção natural, otimiza corpos e comportamentos de organismos. Atuando por iterações repetidas ao longo de bilhões de anos, esta Natureza seguiria os princípios de design, lógicas decisivas e objetivos dos próprios desenvolvedores.

Algoritmos bioinspirados são descritos como “baseados na analogia de evolução natural e atividades biológicas” (Reddy; Kumar, 2012, p. 370), o que nos convidou a pensar com a antropóloga Mary Douglas (1986) quando ela propõe que analogias são importantes fontes de legitimidade ao serem estabelecidas como conectadas diretamente à Natureza. Desta forma, a instituição que se vale delas é naturalizada, apresentando-se como parte integrante do mundo natural, replicando estruturas não-humanas. Adotamos a posição de que analogias naturais legitimam a bioinspiração, aproximando desenvolvedores e Natureza por um pretense compartilhamento de métodos e propósitos.

Stefan Helmreich (1998), em seu trabalho etnográfico com algoritmos genéticos, aponta como esta conceitualização otimizadora de Natureza se origina de uma visão marcadamente neodarwinista e neoliberal da evolução: mecanismos evolutivos partiriam das dinâmicas competitivas e de dominação próprias à vida para avaliar a adaptação de indivíduos e selecionar populações cada vez melhores através de uma sequência de gerações vistas como iterações progressivas (Reddy; Kumar, 2012).

Para o autor, as concepções do natural de cada momento histórico são cristalizadas em artefatos que podem ser incorporados em outras tecnologias, sendo que a imagem de “Natureza” é sempre carregada de significados culturalmente específicos e em constante transformação, agora simultaneamente influenciando e influenciados pelas atuais tecnologias da informação. Hoje, com o crescente emaranhamento do tecnológico e do orgânico, algoritmos bioinspirados podem ser vistos como instanciações de um entendimento situado de biologia e de uma forma particular de conceber e implementar o “natural” como passível de ser integrado a novas tecnologias computacionais.

## **Apreciação**

É perceptível o maravilhamento dos autores ao descreverem a capacidade de produção de soluções robustas por parte da “Natureza”, uma admiração pela eficiência dos “bio-designs” desenvolvidos e implementados por ela. Helmreich (1998) traça uma linha entre a interpretação de evolução enquanto aprimoramento otimizador adotada pelos cientistas e possíveis reminiscências de uma visão judaico-cristã de natureza como criação de uma divindade sábia e benevolente, resultando em uma espécie de criacionismo secularizado.

Ao longo dos artigos, podemos entrever breves referências a algo que escapa do conhecimento científico e da possibilidade de modelagem no comportamento de diferentes seres vivos: métodos de comunicação entre bactérias que ainda não são compreendidos (Passino, 2002), motivações internas desconhecidas que movem abelhas (Karaboga, 2005), a forma “mágica” pela qual morcegos conseguem diferenciar presas e barreiras presentes no ambiente (Yang; Gandomi, 2012).

Bonabeau, Dorigo e Theraulaz (2000) relatam como a motivação que deu início à pesquisa com o algoritmo de otimização por colônia de formigas (ACO) foi a fascinação dos cientistas por estes insetos, mas também podemos argumentar que a adoção da bioinspiração como base para o desenvolvimento de algoritmos está ligada a uma postura fomentada no campo de constante busca por oportunidades de aplicações úteis de organismos, suas atividades e relações, traduzindo as “estratégias naturais ótimas” em soluções na tecnologia computacional (Hanif et al., 2018). A atenção voltada ao mundo natural se daria através de lentes instrumentalizadoras que se ateriam apenas ao que pode ser calculado e utilizado.

## **Modelagem**

No caso do algoritmo de ACO, o objetivo era produzir um modelo baseado no comportamento de forrageio de certas espécies de formigas tal qual descrito por biólogos. As formigas seriam capazes de encontrar caminhos eficientes (ou mesmo o caminho mais curto possível) entre uma fonte de alimento e seu ninho— habilidade que pareceu imediatamente aplicável na resolução de problemas de logística e roteamento, proposta desde o início (Dorigo; Birattari; Stützle, 2006).

Modelos do comportamento produzidos por biólogos (como Deneubourg et al., 1990) a partir de experimentos com formigas em laboratório foram a principal fonte de inspiração citada pelos autores. No algoritmo, “formigas artificiais” utilizam um “feromônio virtual” para construir soluções computacionais pretensamente através do mesmo “mecanismo” comunicacional de “formigas reais”.

Mapeando o processo criativo do algoritmo ACO, identificamos uma sequência de inscrições (como fotografias, diagramas, gráficos, equações, simulações computacionais, pseudocódigos) e modelagens produzidas sucessivamente por biólogos descrevendo padrões em ninhos de formigas e pelos desenvolvedores construindo ferramentas computacionais. O esforço de modelagem atuaria enquanto interface de tradução entre os empreendimentos de descrição e compreensão da natureza e de criação de esquemas computacionais para otimização.

Aqui, aplicamos o conceito de inscrições como apresentado por Latour (2004, 2011) para explicar como inscrições heterogêneas produzidas nestes contextos distintos são tornadas comensuráveis por meio de abstrações e matematizações em um centro de cálculo. A produção de conhecimento científico teria uma natureza cíclica e cumulativa, com um fluxo de inscrições circulando através de uma rede de transformações formada por e entre laboratórios, instrumentos e expedições ligando periferias a um centro capaz de representá-las e capitalizar sobre elas.

Uma distinção relevante entre os modelos biológicos e algorítmicos é a necessidade dos biólogos de se aterem aos valores e padrões consistentes com suas observações em experimentos empíricos, enquanto desenvolvedores podem construir um modelo “biologicamente motivado” do fenômeno em questão e então explorar opções para além das restrições do que seria biologicamente plausível, experimentando livremente com parâmetros, variáveis e seus efeitos (Bonabeau; Dorigo; Theraulaz, 1999).

Mesmo com este distanciamento entre modelo descritivo e fenômeno biológico, assim como o aparente abandono do suporte metafórico da bioinspiração original em prol de maior flexibilidade, os desenvolvedores defendem a existência de uma continuidade que liga diretamente os modelos utilizados nos algoritmos aos seres vivos “reais”.

## **Apropriação**

Como argumentado por Yuk Hui (2020), a realidade perde seu caráter incalculável quando passamos a viver em um mundo digitalizado que pode ser considerado enquanto sistema técnico e reduzido a modelos computacionais. No trecho que instigou esta pesquisa, Hui levanta a ressalva de que o desejo de reaproveitamento de “soluções” não-humanas em um âmbito tecnológico necessariamente implica uma subordinação desses entes à lógica tecnocientífica moderna que prioriza cálculo e computação:

(...) não sabemos se há meios de sair de uma epistemologia humanista pela imitação dos insetos (e diferentes formas de vida animal e vegetal) em modelos para a inteligência artificial. Plantas e bolores limosos podem nos permitir descobertas sobre os princípios orgânicos e, dessa forma, nos dar inspiração para o aprimoramento de algoritmos (como no caso da 'computação natural', um ramo da ciência da computação). *Ao utilizá-las, no entanto, subordinamos essas formas de vida à calculabilidade.* (Hui, 2020, p. 179, grifo nosso)

Laymert Garcia dos Santos (2003) cunhou o termo “virada cibernética” para indicar o movimento de aliança entre capital, ciência e tecnologia que toma o mundo como matéria-prima para o trabalho tecnocientífico, um banco de dados e informações a serem garimpadas e traduzidas em novas configurações apresentadas como inovações: a intensificação e aceleração do ímpeto de instrumentalização. O mundo passa a ser entendido na chave de codificação e digitalização, encarado a partir do novo ponto de referência do “estado de natureza cibernético”, para o qual “natureza” torna-se “natureza-como-informação” disponível para processamento.

A informação torna-se a dimensão comum e transversal aos diferentes domínios da realidade (físico, biológico, social), abrindo o mundo para o controle tecnocientífico ao permitir a tradução e poder universais em um processo de “instrumentalização sem precedentes” (Haraway, 2009, p. 65). Como aponta a autora, todos os objetos, espaços e corpos podem ser postos em relação de interface com todos os outros através da construção de padrões e códigos nessa linguagem comum.

Com esta investida sobre o mundo natural, a ambição da aliança capital-tecnociência é “assenhorar-se da dimensão virtual da realidade” (Garcia dos Santos, 2003, p. 18). Argumentamos aqui que o procedimento de modelagem computacional bioinspirada de processos biológicos opera a apropriação da dimensão virtual destes diferentes fenômenos, subordinando a informação heterogênea e complexa de viventes à lógica de códigos e estruturas abstratas do computador digital enquanto máquina universal.

## **CONCLUSÕES**

A pesquisa pretendeu demonstrar como o desenvolvimento de algoritmos bioinspirados busca traduzir a complexidade de fenômenos biológicos em modelos simplificados, através de uma sequência de inscrições e reduções a esquemas abstratos matemático-computacionais que sejam reproduzíveis, comparáveis e eficientes. Estes algoritmos são legitimados pelas analogias que fundamentam a bioinspiração e que naturalizam os pressupostos neodarwinistas e neoliberais de eficiência na utilização de recursos ao constituir a “Natureza” enquanto entidade inventora engajada na otimização das formas de vida.

Assim, pudemos acompanhar como o processo da modelagem bioinspirada resulta em uma construção dupla em dois sentidos. No primeiro, as “formigas virtuais” são produzidas e então apresentadas pelos desenvolvedores como artefatos artificiais, enquanto as “formigas reais”, elaboradas através de esforços de descrição, são apresentadas por biólogos como fatos da natureza

meramente retratados objetivamente. No segundo, a “Natureza” é simultaneamente constituída como força detentora de capacidade aprimorada admirável, e reduzida, na medida em que apenas o que é calculável nos fenômenos biológicos é integrado sob a forma de inscrições na criação dos modelos.

A dimensão virtual dos fenômenos biológicos enquanto sua informação é tornada computável e comensurável na produção de modelos em biologia e computação. Estes modelos, gerados em áreas diferentes para atender propósitos distintos, são tornados transponíveis e comparáveis pelos esforços tecnocientíficos de apropriação e instrumentalização da potencialidade da vida e do mundo natural para fins tecnológicos no contexto mais amplo de acumulação capitalista.

---

## BIBLIOGRAFIA

- BONABEAU, Eric; DORIGO, Marco; THERAULAZ, Guy. **Swarm Intelligence: From Natural to Artificial Systems**. New York: Oxford University Press, 1999.
- BONABEAU, Eric; DORIGO, Marco; THERAULAZ, Guy. Inspiration for optimization from social insect behaviour. **Nature**, v. 406, p. 39-42, jul. 2000.
- DENEUBOURG, J.-L.; ARON, S.; GOSS, S.; & PASTEELS, J. M. The self-organizing exploratory pattern of the Argentine ant. **Journal of Insect Behavior**, v. 3, n. 2, p. 159–168, 1990.
- DORIGO, Marco; BIRATTARI, Mauro; STÜTZLE, Thomas. Ant Colony Optimization: Artificial Ants as a Computational Intelligence Technique. **IEEE Computational Intelligence Magazine**, v. 1, n. 4, p. 28-39, nov. 2006.
- GARCIA DOS SANTOS, Laymert. A informação após a virada cibernética. In: Laymert Garcia dos Santos; Maria R. Kehl; Bernardo Kucinski; Walter Pinheiro. **Revolução tecnológica, internet e socialismo**. São Paulo: Editora Fundação Perseu Abramo, 2003. pp. 9-33.
- GONÇALVES, Rafael; PADOVAN, Giordano. **Captura da virtualidade em algoritmos bioinspirados: apropriação da informação em práticas de modelagem computacional biomimética**. Trabalho apresentado no Grupo de Trabalho de Antropologia da Técnica da 34ª Reunião Brasileira de Antropologia (RBA) em 25 de julho de 2024, em Belo Horizonte.
- HANIF, Muhammad et al. Comparison of bioinspired computation and optimization techniques. **Current Science**, v. 115, n. 3, p. 450-453, ago. 2018.
- HARAWAY, Donna. Manifesto ciborgue: Ciência, tecnologia e feminismo-socialista no final do século XX. In: TADEU, Tomaz (org.). **Antropologia do ciborgue: as vertigens do pós-humano**. 2. ed. Belo Horizonte: Autêntica Editora, 2009 [1991]. p. 33-118.
- HELMREICH, Stefan. Recombination, Rationality, Reductionism and Romantic Reactions: Culture, Computers, and the Genetic Algorithm. **Social Studies of Science**, v. 28, n. 1, p. 39-71, fev. 1998.
- HUI, Yuk. **Tecnodiversidade**. (Trad. Humberto do Amaral) São Paulo: Ubu Editora, 2020.
- KAR, Arpan. Bio Inspired Computing – A review of algorithms and scope of applications. **Expert Systems with Applications**, v. 59, n. C, out. 2016.
- KARABOGA, Dervis. An idea based on honey bee swarm for numerical optimization. **Department of Computer Engineering, Engineering Faculty, Erciyes University - Technical Report TR06**, out. 2005.
- LATOUR, Bruno. **Ciência em ação: como seguir cientistas e engenheiros sociedade afora**. (Trad. Ivone C. Benedetti) São Paulo: Editora Unesp, 2000. [1987]
- \_\_\_\_\_. Redes que a razão desconhece: laboratórios, bibliotecas, coleções. In: \_\_\_\_\_. **Tramas da rede: novas dimensões filosóficas, estéticas e políticas da comunicação**. (Trad. Marcela Mortara) Porto Alegre: Sulina, [s. l.], p. 39–63, 2004.
- PASSINO, Kevin M. Biomimicry of bacterial foraging for distributed optimization and control. **IEEE Control Systems Magazine**, v. 22, n. 3, p. 52–67, jun. 2002.
- REDDY, M.; KUMAR, D. Computational algorithms inspired by biological processes and evolution. **Current Science**, v. 103, n. 4, p. 370-380, ago. 2012.
- VELCRO. **Nossa História**. Disponível em: <https://www.velcro.com.br/original-thinking/nossa-historia/>. Acesso em: 9 jul. 2024.
- YANG, Xin-She; GANDOMI, Amir. Bat Algorithm: A Novel Approach for Global Engineering Optimization. **Engineering Computations**, v. 29, n. 5, p. 464–483, nov. 2012.