

# Diferenças entre Organismos e Máquinas Segundo a Teoria de Robert Rosen

Francisco Erivaldo Fernandes Junior\*

\*Departamento de Sistemas e Controle de Energia, Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação, Universidade Estadual de Campinas, fcoerivaldojr@gmail.com

**Resumo**—O presente trabalho tem por objetivo mostrar as diferenças existentes entre organismos e máquinas baseado na teoria desenvolvida por Robert Rosen, um biólogo teórico americano, na tentativa de encontrar uma resposta para uma pergunta que até hoje intriga a ciência moderna: “o que é vida?” Para atingir este objetivo é feita uma revisão bibliográfica das obras *Anticipatory Systems* e *Life Itself* escritas pelo próprio Rosen e que são as principal fonte de pesquisa utilizada. São feitas algumas considerações epistemológicas acerca da ciência atual, um estudo sobre a relação de modelagem utilizada na ciência atual e por último é mostrado as diferenças entre organismos e máquinas utilizando-se dos conceitos de sistemas antecipativos e sistemas complexos desenvolvido por Rosen. Este trabalho leva em conta apenas as implicações filosóficas que a teoria de Rosen trouxe não entrando em detalhes na matemática desenvolvida por ele para explicar sua teoria.

**Index Terms**—Relação de modelagem, sistemas antecipativos, sistemas complexos, organismos, máquinas.

## I. INTRODUÇÃO

Robert Rosen começa suas duas principais obras, *Anticipatory Systems* e *Life Itself*, questionando o porquê da lenta evolução da biologia e sua impossibilidade de responder a pergunta: o que é vida? Para solucionar esse problema ele faz uma busca no passado da ciência moderna. Rosen expõe que as raízes dos problemas existentes na biologia atualmente estar relacionado com o fato da física ser considerada a ciência das “coisas” em geral, uma ideia que surgiu da teoria mecanicista de Newton de que todo o universo funciona como um mecanismo semelhante a um relógio.

Para Rosen, o fato da física ser uma ciência geral e a biologia uma ciência particular cria uma limitação no desenvolvimento da biologia. Um exemplo dessa limitação estar nos equipamentos que a biologia dispõe para pesquisar, sendo sempre necessário que alguém de uma outra área da ciência desenvolva um equipamento para depois os biólogos verem a possibilidade de utilização desse novo equipamento. Em outras palavras, a biologia está totalmente dependente dos avanços feitos pela física. Além disso, sendo a física, supostamente, a ciência geral, ela deveria ser capaz de explicar o fenômeno da vida. Entretanto, não existe explicação na física para o fenômeno da vida. Os físicos dizem que a vida é algo anormal no universo e por isso não é interesse deles estudarem algo anômalo.

Segundo a ideia predominante na ciência atual, um ser vivo, também chamado de organismo, é apenas um amontoado de matéria e segue exatamente as mesmas leis da matéria

não-viva. Mas Rosen questiona essa ideia, se um ser vivo fosse uma coisa tão simples, por que não conseguimos criar seres artificiais apenas juntando átomos ou, melhor, criando e juntando as diferentes organelas de uma célula? A resposta está no fato que um organismo é mais do que um amontoado de matéria, que um organismo é mais do que um sistema complicado. Diferentemente das máquinas em que pode-se unir diferentes partes com funções distintas que resultam em uma máquina mais complicada, em organismos essa ideia não funciona.

Uma máquina é um sistema reativo, regida pelas leis de causa e efeito. O estado presente de uma máquina depende apenas dos estados passados. Entretanto, um organismo é um sistema complexo. Esses tipos de sistemas possui um comportamento antecipativo, ou seja, o estado presente depende dos estados passados e dos estados futuros do sistema. Esse tipo de comportamento é totalmente diferente de uma máquina. Além disso, todo sistema complexo é um sistema antecipativo, mas nem todo sistema antecipativo é um sistema complexo.

As próximas seções deste trabalho mostram em maiores detalhes os conceitos por trás dos sistemas antecipativos, dos sistemas complexos e suas relações com organismos e máquinas.

## II. RELAÇÃO DE MODELAGEM

Um dos objetivos da ciência é tentar capturar a verdadeira essência do mundo evitando que a percepção individual das pessoas influencie nessa captura. Uma importante ferramenta utilizada para se atingir esse objetivo é a relação de modelagem. Uma representação da relação de modelagem é mostrada na Figura 1.



Figura 1. Relação de modelagem [3].

A relação de modelagem visa a obtenção de um modelo formal de um sistema natural para que seja possível estudar o comportamento desse sistema. Essa é a forma mais comum de se fazer ciência atualmente. É possível fazer uma codificação das medições e observações realizadas no sistema natural em um sistema formal. Os eventos naturais, que Rosen chama de causalidade, existente no sistema natural são inferidos no sistema formal. Com isso é possível fazer previsões no sistema formal que são decodificadas em um estado correspondente no sistema natural. Quando as funções de codificação e de decodificação comutam é dito que o sistema formal é um modelo exato do sistema natural, caso contrário é dito que o sistema formal é uma simulação do sistema natural. Portanto, tem-se [2][3][4]:

$$\text{Eventos Naturais ou Causalidade} = \text{Codificação} + \text{Inferências} + \text{Decodificação}$$

É fácil ver que esse método tem muitos pontos potenciais de falha. Segundo Rosen, a codificação e a decodificação são independentes do modelo natural ou formal e não podem ser obtidas a partir deles. Isso torna a relação de modelagem tanto arte quanto ciência. Portanto, surge o questionamento de como a relação de modelagem é amplamente aceita apesar desse problema.

Para Rosen, a ciência moderna está ligada ao que ele chama de “o paradigma newtoniano”. Não existe uma definição do que seja isso, mas ele surgiu após a introdução da ideia mecanicista de Newton. No paradigma newtoniano toda a natureza pode ser codificada em um sistema formal e então decodificada. Portanto, nessa visão, o sistema formal é o próprio mundo real. Entretanto, é fácil ver que um sistema formal não é o próprio mundo real.

Procura-se entender o mundo que contém os sistemas naturais, mas o mundo não pode ser totalmente capturado pelo paradigma newtoniano. O mundo não pode ser capturado por nenhum sistema formal, porque o mundo é complexo. Os modelos existentes do mundo são simples mecanismos para um mundo complexo.

### III. O PAPEL DA CAUSALIDADE ARISTOTÉLICA

Tradicionalmente, a ciência formula seus questionamentos em perguntas do tipo “como isso funciona?”. Esse tipo de pergunta é muito útil para estudar sistemas mecanicistas. Entretanto, para estudar sistemas complexos, como um organismo, esse tipo de pergunta não é muito útil. O tipo de pergunta “por que isso funciona?” é mais efetiva quando se estuda organismos. O questionamento do porquê das coisas funcionarem foi utilizado por Aristóteles no desenvolvimento da sua teoria da causalidade. Segundo Aristóteles existem quatro tipos de causas:

- Causa Material;
- Causa Eficiente;
- Causa Formal;
- Causa Final.

Mikulecky cita o exemplo de uma casa para entender-se a causalidade de Aristóteles. A pergunta “Por que uma casa?” tem como resposta o material de que a casa é feita, essa seria

a Causa Material. A Causa Eficiente seriam as pessoas que construíram a casa. A Causa Formal seria o projeto dessa casa. A Causa Final seria que alguém precisava de uma habitação. Entretanto, a Causa Final trás a torna o problema de qual seria propósito de algo que não foi criado pelo homem. A ideia de que existe um propósito no universo é conhecida como teleologia. O problema da teleologia não afeta a teoria de Rosen, porque, em sua teoria, a causa final dos seres vivos está ligada a ideia de antecipação.

Um sistema complexo tem a capacidade de incorporar um modelo do seu ambiente em seu comportamento permitindo que seja possível antecipar eventos futuros. Portanto, ao levar em consideração a existência de uma Causa Final em organismos a afirmativa de que o comportamento presente tem sua causa no futuro torna-se verdade. Além disso, a causalidade do mundo natural passa a trabalhar “para trás” ao invés de somente “para frente”.

### IV. MODELOS SINTÉTICOS E ANALÍTICOS

Existe dois tipos de modelos que podem ser usados para entender os fenômenos do mundo: sintéticos e analíticos. Os modelos sintéticos são tradicionalmente usados na ciência para modelagem e consiste de uma união de partes de um sistema. Esse tipo de modelagem está relacionada à ideia de soma direta e à noção de causa material. Os modelos sintéticos não são úteis para modelagem de organismos ou sistemas complexos. Para tentar resolver esse problema, Rosen utiliza os modelos analíticos como ferramenta de modelagem de organismos. Os modelos analíticos estão ligados à ideia de produto cartesiano ou produto direto e a noção de causa eficiente. Esse tipo de modelagem consiste na interseção de funcionalidades de um sistema.

Rosen enfatiza que a diferença entre modelos sintéticos e analíticos é a mesma diferença existente entre sintática e semântica. Além disso, segundo Rosen, algumas pessoas consideram que não existem diferenças entre esses dois modelos. Entretanto, Rosen argumenta que para entender o fenômeno dos sistemas complexos é necessário entender que esses modelos são diferentes.

Por fim, após uma rigorosa análise matemática desses dois tipos de modelos, Rosen chega a conclusão de que todo modelo sintético é um modelo analítico, mas nem todos os modelos analíticos são modelos sintéticos [1][2][4].

### V. USO DO MODELO RELACIONAL PARA DISTINGUIR UM ORGANISMO DE UMA MÁQUINA

O modelo relacional foi desenvolvido por Nicholas Rashevsky que fez uma radical mudança de abordagem em relação aos sistemas vivos. Seu principal objetivo era manter a organização do sistema vivo, enquanto, basicamente, jogava fora a física. Para atingir esse objetivo ele usou a topologia como sua principal ferramenta. A essência dessa ideia está no fato de que a organização não pode ser preservada durante a análise reducionista do positivismo. Os modelos analíticos que não podem ser reduzidos a modelos sintéticos que capturam a essência do modelo relacional.

Rosen desenvolveu os chamados sistemas *Metabolism-Repair*, também conhecidos como sistemas (M,R), para tentar responder a pergunta “o que é vida?”. A resposta dessa pergunta encontra-se na natureza de um organismo. A ideia de um sistema (M,R) é aplicar a teoria das categorias na dinâmica de sistemas bioquímicos e fisiológicos. Como o objetivo desse trabalho não é focar no modelo matemático desenvolvido por Rosen, não é apresentado a teoria das categorias no sentido matemático, apenas no sentido utilizado na teoria de Rosen. A ideia fundamental é que cada mapeamento representa relações de entradas e saídas em um diagrama de blocos abstrato. O primeiro passo é representar o metabolismo da forma mais abstrata possível através de um diagrama simples de entradas e saídas como sendo um mapeamento  $f$  que leva as entradas  $A$  nas saídas  $B : A \rightarrow B$ , mostrado na Figura 2. Essa forma de simbolismo diz mais sobre a organização do organismo do que sobre seu mecanismo. Tem-se que  $A$  é a causa material de  $B$  e  $f$  a causa eficiente de  $B$ . No sentido dessas causas,  $f$  é *unentailed*. Sabe-se que um organismo está constantemente se autorreparando, de modo, que no organismo,  $f$  está *entailed* por algo. Pode-se representar o reparo no sistema como um segundo mapeamento:  $\Phi : B \rightarrow f$ , mostrado na figura 3. Portanto,  $\Phi$  é a causa eficiente de  $f$  e  $B$  sua causa material. Isso implica que dentre os produtos do metabolismo estão os materiais necessários para a manutenção do sistema devido ao *turnover* dos seus componentes [2][4].

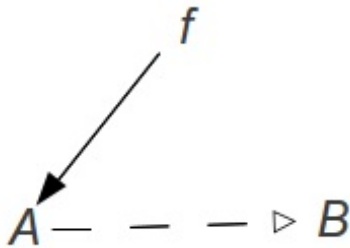


Figura 2. Diagrama relacional representando o metabolismo [2][4].

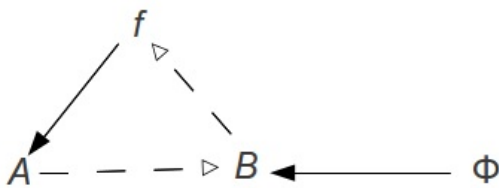


Figura 3. Diagrama relacional representando o metabolismo mais o reparo [2][4].

Nas Figuras 2 e 3, as flechas cheias representam a causação eficiente enquanto as flechas tracejadas representam a causação material. O diagrama representado pela Figura 3 pode ser abreviado como [2][4]

$$A \xrightarrow{f} B \xrightarrow{\Phi} H(A, B).$$

Ao introduzir o reparo,  $\Phi$ , tem-se, novamente, o problema de que  $\Phi$  não está *entailed*. Portanto, é fácil ver que essa situação pode resultar em um regressão infinita. Rosen tentou

trazer um fecho a essa situação a fim de distinguir organismos de máquinas. Essa é uma situação semelhante à situação que Newton enfrentou quando estava desenvolvendo sua teoria sobre o movimento das partículas que poderia levar a uma recursão infinita. Foi nesse momento que Newton formulou sua segunda lei do movimento. Ao assumir que havia uma dualidade entre partícula e meio ambiente, ele designou uma “força” para o ambiente, que era dependente da posição da partícula e igual a massa vezes a aceleração da partícula. Dessa forma, Newton conseguiu obter um fecho evitando uma recursão infinita. Rosen encontrou como fecho que distingui organismos de máquinas um loop causal fechado.

Rosen introduziu a ideia de autorreplicação dos componentes funcionais, não de suas partes, das células biológicas como a chave para a resolução do problema. É importante ressaltar a diferença dos componentes funcionais e das partes de um organismo. Em sistemas complexos a função é espalhada sobre as partes do sistema de modo que não mapeado 1:1 pelas suas partes. Os componentes funcionais são a personificação ontológica dos aspectos não-fragmentáveis do organização do sistema. Eles são definidos por seu contexto e não possuem significado necessário fora desse contexto. Portanto, eles capturam o que é perdido pelo reducionismo.

Suponha que o conjunto de mapeamentos  $H(A, B)$  tem a propriedade de que podemos usar as saídas para rotular os mapeamentos. Então para cada saída,  $b$  em  $B$ , tem-se  $b^* : H(A, B) \rightarrow B$ . Incorporando o conjunto  $B$  em um conjunto de mapeamentos, ou seja,  $H(H(A, B), B)$  de modo que  $b^*(f) = f(a)$  para cada mapeamento no conjunto  $H(A, B)$ . Em palavras, isso significa assumir uma certa estrutura no sistema. O próximo requisito estrutural é que alguns dos mapeamentos dentre a classe de  $b^*$  sejam invertíveis,  $b^*(f_1) = b^*(f_2)$ . Garantindo um mapeamento inverso para todo  $f$ . Assim todo mapeamento inverso será  $\beta = b^*$  com a propriedade que, conforme Figura 4. Esse mapeamento replica o mapeamento  $\Phi$  [2][4].

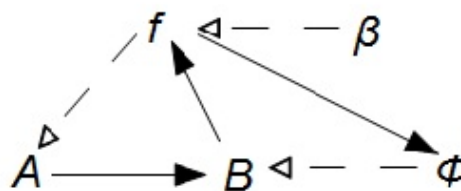


Figura 4. Diagrama relacional representando o metabolismo, o reparo e a replicação [2][4].

No diagrama mostrado na Figura 4,  $\beta$  está *unentailed*. Entretanto, foi estabelecido que  $\beta = b^*$ , sendo a inversa de  $b^* : f \rightarrow B$ . Logo o diagrama pode ser redesenhado como mostrado abaixo.

Na Figura 5, qualquer uma das funções está *entailment* por outra função. Sendo que um organismo não possui uma regressão infinita como visto em máquinas. Portanto, um organismo é diferente de uma máquina porque o organismo é fechado para causa eficiente. Por último, segundo Rosen, um sistema material é um organismo se, e somente se, ele é

organisms different from machines? Disponível em: <http://www.people.vcu.edu/~mikuleck/PPRISS3.html>. Acesso em 12 de maio de 2012.

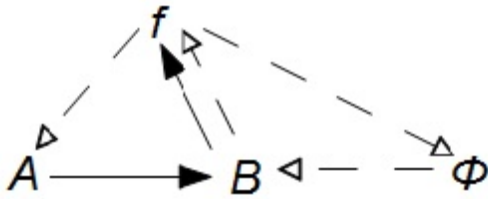


Figura 5. Diagrama relacional representando que todas as funções estão *entailment* por outra [2][4].

fechado para causa eficiente.

## VI. CONCLUSÃO

O que a teoria desenvolvida por Robert Rosen aponta é que o entendimento limitado sobre o fenômeno da vida pode ser justificado pela história da própria ciência. Além disso, a maneira passiva com que os biólogos estudam os seres vivos, porque quase todas as pesquisas na biologia envolvem apenas observações e muita pouca atitude ativa, contribui para manter o fenômeno da vida como um mistério.

Rosen também crítica bastante o paradigma positivista/reducionista da ciência atual, pois as ferramentas do reducionismo gera perda da informação presente na estrutura dos organismos. Ele propõe a volta da teoria da causalidade de Aristóteles para permitir que seja possível estudar os sistemas vivos.

Por fim, segundo a teoria de Rosen, um organismo não é uma máquina e não pode ser tratado como tal. Ao utilizar-se dos diagramas de blocos abstratos de Rosen, percebe-se que máquinas possuem uma recursão infinita na causalidade eficiente. Entretanto, os organismos são fechados para a causalidade eficiente.

O fecho para causa eficiente é devido ao fato de organismos serem sistemas antecipativos em que o modelo do seu ambiente está incorporado em seu comportamento, permitindo uma previsão dos seus estados futuros. E o que permite essa antecipação funcionar é o contexto com os quais os componentes de um organismo está inserido e, como dito anteriormente, a informação desse contexto é destruída quando se utiliza o reducionismo para análise de sistemas vivos.

## VII. REFERÊNCIAS

- [1] ROSEN, R. *Anticipatory Systems: Philosophical, Mathematical & Methodological Foundations*, New York: Pergamon Press, 1985.
- [2] ROSEN, R. *Life Itself: A Comprehensive Inquiry into the Nature, Origin, and Fabrication of Life*. New York: Columbia University Press, 1991.
- [3] GUDWIN, R. R. Notas de aulas da disciplina de Semiótica e Sistemas Inteligentes – Aula 06: Sistemas complexos e autopoiese. Campinas, 2012. Disponível em: <http://www.dca.fee.unicamp.br/%7Egudwin/ftp/ia005/Aula06.pdf>. Acesso em 01 de maio de 2012.
- [4] MIKULECKY, D. C. Robert rosen: the well posed question and its answer-why are