



Universidade Federal da Bahia
Universidade Estadual de Feira de Santana
Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências



Determinação Descendente: as relações todo-partes em sistemas naturais

Fabiano de Souza Vieira

Orientador: Charbel Niño El-Hani

Salvador - Bahia
2009



Universidade Federal da Bahia
Universidade Estadual de Feira de Santana
Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências



Determinação Descendente: as relações todo-partes em sistemas naturais

Fabiano de Souza Vieira

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências (UFBA/UEFS) como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre.

Orientador: Charbel Niño El-Hani

Salvador - Bahia
2009

Vieira, Fabiano de Souza.

Determinação Descendente: as relações todo-partes em sistemas naturais / Fabiano de Souza Vieira. – Salvador: UFBa, 2009. 100p.

Orientador: Charbel Niño El-Hani

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências, 2009

1. Filosofia da Ciência. 2. Epistemologia. 3. Filosofia da Biologia.
I. El-Hani, Charbel Niño. II Universidade Federal da Bahia. Instituto de Física. III. Título.

Universidade Federal da Bahia
Universidade Estadual de Feira de Santana
Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências

**Determinação Descendente:
as relações todo-partes em sistemas naturais**

Fabiano de Souza Vieira

Banca examinadora:

Prof. Dr. Charbel Niño El-Hani (orientador)
Universidade Federal da Bahia (UFBA)

Prof. Dr. Antônio Marcos Pereira
Universidade Federal da Bahia (UFBA)

Prof. Dr. Gabriel José Corrêa Mograbi
Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT)

Salvador - Bahia
2009

Agradecimentos

Ao final deste trabalho não é difícil perceber a lista de débitos acumulada. A começar, gostaria de registrar o quanto devo a meu orientador Prof. Dr. Charbel Niño El-Hani, cuja orientação superou todas as minhas expectativas. Agradeço enormemente a parceria e espero que o resultado salde ao menos uma parte desse débito.

Gostaria também de agradecer aos colegas do Grupo de Pesquisa em História, Filosofia e Ensino de Ciências Biológicas (GPHFECB) pela receptividade e por proporcionarem um ambiente de ricos debates, especialmente Cláudia Sepúlveda.

Agradeço também aos membros da banca, os Profs. Drs. Antônio Marcos Moreira e Gabriel Mograbi, que aceitaram sem restrições a participação nas bancas de qualificação e defesa, sendo que seus comentários na qualificação foram importantíssimos para o resultado final que aqui se segue.

Alguns amigos também tiveram um papel importante nesse resultado, agradeço fortemente a: Ângela Maria, Carolina Zaben, Cesar Camargos, Cristiano Stüpp, Daniel de Medeiros, Jailson Batista, Kay Saalfeld, Mítia Silveira, Roberto Andrade.

Pela leitura crítica e suporte irrestrito agradeço com carinho Débora Menezes de Alcântara.

Esse trabalho não chegaria ao fim sem o apoio incondicional familiar, por isso agradeço de coração a toda família. Tampouco teria sido possível sem a concessão da bolsa pela CAPES.

| | |
|--|------|
| APRESENTAÇÃO | i |
| RESUMO | vi |
| ABSTRACT | viii |
| CAPÍTULO 1 | 1 |
| EMERGÊNCIA E DETERMINAÇÃO DESCENDENTE NAS CIÊNCIAS NATURAIS ^a | 1 |
| Resumo: | 1 |
| Abstract: | 2 |
| 1. Introdução..... | 2 |
| 2. Modos de irreduzibilidade..... | 7 |
| 3. O problema da Causação Descendente (CD)..... | 13 |
| 4. Causação descendente em redes biológicas: o elemento que falta para a compreensão da relação genótipo-fenótipo..... | 15 |
| 5. Causação descendente sincrônica e diacrônica..... | 19 |
| 6. Algumas abordagens da CD sincrônica: Qual é o modo causal em questão?..... | 22 |
| 7. Abordagens Neo-Aristotélicas da CD | 24 |
| 8. Uma crítica das abordagens neo-aristotélicas da CD | 33 |
| 9. Da causação descendente à determinação descendente..... | 37 |
| 10. Observações Finais..... | 43 |
| Referências..... | 45 |
| CAPÍTULO 2 | 49 |
| DETERMINAÇÃO DESCENDENTE: UM PASSO FILOSÓFICO A CAMINHO DE UMA ABORDAGEM DINÂMICA DA EMERGÊNCIA | 49 |
| Referências..... | 52 |
| CAPÍTULO 3 | 53 |
| DETERMINAÇÃO DESCENDENTE, METAFÍSICA DE PROCESSOS E AS RELAÇÕES TODO-PARTE EM SISTEMAS BIOLÓGICOS | 53 |
| Resumo: | 53 |
| Abstract: | 53 |
| 1- Introdução..... | 54 |
| 2- Metafísica aristotélica e o problema da emergência (ou a impossibilidade do novo)..... | 56 |

| | |
|--|----|
| 3- O problema da causação descendente (CD) | 58 |
| 4- Metafísica de processos (ou a possibilidade do genuinamente novo)..... | 62 |
| 5- Da causação descendente à determinação descendente..... | 64 |
| 6- Determinação descendente em redes biológicas: o princípio que falta na biologia de sistemas. 70 | |
| 7- Referências | 75 |
| REFERÊNCIAS..... | 81 |
| ANEXOS | 87 |
| ANEXO 1: Comentário de Álvaro Moreno ao artigo Emergence and Downward Determination in the Natural Sciences | 88 |
| DOWNWARD CAUSATION REQUIRES NATURALIZED CONSTRAINTS: A COMMENT ON VIEIRA & EL-HANI..... | 89 |

APRESENTAÇÃO

Esta dissertação de mestrado é resultado de investigações empreendidas no Grupo de Pesquisa em História, Filosofia e Ensino de Ciências Biológicas (UFBA) e no Programa de Pós-Graduação em Ensino, História e Filosofia das Ciências (UFBA-UEFS), sob a orientação do Prof. Charbel El-Hani, desde março de 2006. Estas investigações, por sua vez, se apóiam fortemente em estudos anteriores, realizados pelo Prof. Charbel e pelo GPHFECB.

A partir de 1990, o emergentismo voltou a figurar as páginas de diversas publicações filosóficas e científicas¹, e a idéia de emergência passou a ser empregada com freqüência crescente em diversas áreas, como filosofia da mente, ciência cognitiva, teorias de auto-organização, teoria de sistemas, estudos de sistemas complexos, vida artificial, biologia evolutiva etc. O termo *emergência* parece ter um apelo muito especial para muitas pessoas, diferentemente do que tem acontecido com o *reducionismo*, que recentemente soa para muitos como algo restritivo e até mesmo vergonhoso (Kim, 2006a). Por conta disso, o que se observa com freqüência é um uso pouco razoável do termo *emergência*, especialmente por cientistas e divulgadores de ciência, que tendem a utilizá-lo de forma vaga e imprecisa.

No entanto, a despeito dessa imprecisão, a idéia de emergência tem uma origem filosófica, a qual remete ao *emergentismo britânico*², influenciado por John Stuart Mill, e desenvolvido no início do século XX, com as publicações de Samuel Alexander (*Space, Time and Deity*, 1920), C. Lloyd Morgan (*Emergent Evolution*, 1923) e C. D. Broad (*The Mind and its Place in Nature*, 1925). Nessa mesma época, também surgiram emergentistas fora dessa tradição. Segundo

¹ *e.g.*, Klee (1984); Blitz (1992); Beckermann et al. (1992); Stephan (1998, 1999, 2004, 2006); Kim (1997, 1999, 2006); O'Connor (1994); Baas & Emmeche (1997); Humphreys (1996; 1997a; 1997b); Emmeche et al. (1997); Emmeche (2000); Bedau (1997; 2003); Azzone (1998); Schröder (1998); El-Hani & Pereira (1999); Pihlström (1999; 2002); El-Hani & Emmeche (2000); Andersen et al. (2000); El-Hani & Videira (2001); El-Hani & Pihlström (2002); Symons (2002); Gillett (2002); Richardson & Stephan (2007). Emergência também tem sido tema de especiais de uma série de jornais, tal como *Philosophical Studies* (1999), *International Journal of Systems Science* (2000), *Grazer Philosophische Studien* (2002), *Principia* (2002) and *Synthese* (2006).

² Para saber mais sobre a história do emergentismo, ver *e.g.*, McLaughlin (1992) e Blitz (1992)

Stephan (1999), o filósofo americano Roy Wood Sellars (*Evolutionary Naturalism*, 1922) desenvolveu sua teoria da emergência independentemente dos emergentistas britânicos. Os pragmatistas William James, John Dewey e G. H. Mead também discutiram o conceito de emergência ou algo muito próximo disso (El-Hani & Pihlström, 2002). No entanto, como durante os meados do século XX a filosofia foi dominada por movimentos anti-metafísicos como o positivismo lógico e várias escolas de análise linguísticas, o emergentismo foi trivializado e deixado a margem da filosofia dominante. Foi deixado de lado, mas não esquecido, como disse Kim (2006b). O fato é que o ressurgimento da idéia de emergência nessas diversas áreas citadas acima tem sido fundamental na revitalização do emergentismo enquanto corrente filosófica.

O emergentismo atual precisa lidar com questões relativas à compreensão do fenômeno da emergência e das relações causais envolvidas no mesmo, à natureza da emergência, se ontológica ou apenas epistemológica (Juarrero, 1999; Bunge; 2003), e à viabilidade do emergentismo como alternativa ao reducionismo. Dentre essas questões, o maior desafio parece ser o problema da irreducibilidade e da causação descendente (El-Hani, 2002; Kim, 1998, 2006a; Pihlström, 2002; Stephan, 1999). O primeiro lida com a idéia de que propriedades emergentes serão irreducíveis se forem determinadas sincronicamente pelo comportamento específico que as partes (ou componentes) apresentam no interior do sistema, e se este comportamento não se seguir do comportamento que as partes exibem quando isoladas. O problema consiste, então, em explicar o que bloqueia a redução, se as propriedades emergentes são dependentes das, e determinadas pelas, propriedades e relações das partes dos sistemas nos quais elas emergem. O segundo, o problema da causação descendente, diz respeito ao modo como um fenômeno de nível superior (uma propriedade ou um processo emergente) pode causar ou determinar ou, ainda, estruturar um fenômeno de nível inferior. O desafio é: se o mundo é fundamentalmente físico, premissa básica para um emergentista que busca construir uma compreensão da emergência compatível com o fisicalismo que caracteriza a metafísica da ciência contemporânea, como uma propriedade emergente pode ter eficácia causal? Se uma propriedade emergente desempenhar algum papel causal sobre seus constituintes, parece que um princípio físico bem aceito é violado, a saber, que o que acontece ao nível de um sistema é totalmente determinado pelo que acontece ao nível de suas partes componentes (e.g. moléculas, partículas, átomos, ondas).

Observando os exemplos biológicos que os filósofos usam para defender suas teses emergentistas, nós, biólogos, muitas vezes ficamos preocupados, da mesma forma que eles, ao avaliarem nossas incursões filosóficas. No entanto, evitaremos cair na tentação de julgar tais exemplos e incursões; em vez disso, aproveitaremos nossas experiências como biólogos e nossos estudos e pesquisas em filosofia da ciência para tentarmos avançar nas questões acerca da emergência. Nossa proposta com este trabalho é contribuir para os avanços das discussões sobre emergência, particularmente as que concernem ao problema da irreducibilidade e da causalidade descendente. Nós acreditamos, e iremos propor, que a determinação descendente pode desempenhar um importante papel no entendimento das redes biológicas e das relações genótipo-fenótipo, sendo um instrumento coerente e heurísticamente poderoso para lidar com a influência descendente dos sistemas sobre seus componentes, contribuindo para o avanço de diversas áreas da biologia, particularmente a *biologia de sistemas*.

A dissertação se divide em três capítulos, descritos brevemente a seguir:

1 - Emergência e Determinação Descendente nas Ciências Naturais:

Neste capítulo, discutimos o problema da irreducibilidade em sistemas complexos, da emergência de propriedades e, particularmente, da causalidade descendente em tais sistemas. Nosso objetivo principal é: (i) distinguir entre dois modos de irreducibilidade das propriedades emergentes, mostrando que um destes modos envolve a causalidade descendente (CD); (ii) mostrar por que a CD é uma noção problemática, que precisa ser esclarecida por uma análise filosófica; (iii) discutir algumas abordagens desenvolvidas para lidar com o problema da CD, em especial as que apelam para uma compreensão aristotélica da causalidade; (iv) propor que a noção de ‘determinação descendente’ (DD) é mais adequada do que a CD para lidar com problema da relação todo-parte, e, o que é mais importante, (v) oferecer uma clara explicação da DD.

2 - Determinação Descendente: um passo filosófico a caminho de uma abordagem dinâmica da emergência:

No primeiro capítulo, apresentamos a noção (ou tese) de ‘determinação descendente’ (DD) como uma abordagem mais adequada para lidar com o problema das relações inter-níveis (em particular, todo-partes) em sistemas complexos do que a causalidade descendente (CD). O produto deste capítulo foi um artigo publicado na revista *Cybernetics And Human Knowing* (Vieira & El-Hani, 2008b), em uma edição especial sobre emergência. Nesta mesma edição, Álvaro Moreno (2008), da Universidade do País Basco, comentou nosso artigo sobre determinação descendente. Em resposta ao seu comentário crítico, publicamos no mesmo volume do periódico o artigo *Downward Determination: A Philosophical Step in the Way to a Dynamic Account of Emergence* (Vieira & El-Hani, 2008a). Este capítulo é a versão em língua portuguesa dessa resposta. No anexo I, de modo a permitir que os leitores acompanhem adequadamente a resposta que construímos, encontra-se o comentário de Moreno.

3 - Determinação descendente, metafísica de processos e as relações todo-parte em sistemas biológicos:

Neste capítulo, discutimos como a substituição do conceito de causalidade pelo de determinação pode desempenhar um importante papel no entendimento das relações todo-parte em sistemas complexos. Também argumentamos que o problema da causalidade descendente requer uma mudança metafísica mais profunda, a saber, de uma metafísica de partículas para uma metafísica de processos. Por último, defendemos que esta abordagem poderá oferecer alguma contribuição para a construção de um conjunto de ferramentas para facilitar o entendimento dos sistemas biológicos, especialmente na área que tem sido denominada ‘biologia de sistemas’.

A dissertação está organizada em forma de três artigos, tal como delineado acima, razão pela qual cada capítulo poderá ser lido de maneira independente. Pela mesma razão, cada capítulo inclui listas de referências ao final e está formatado de acordo com as normas dos periódicos a que foram ou serão submetidos. A escolha desse formato permite maior agilidade na publicação dos resultados do trabalho dissertativo, como o fato de que dois dos capítulos aqui incluídos já terem sido publicados mostra claramente. Além disso, como cada capítulo tem como objetivo atingir um público específico, ou seja, certa audiência, repetições de conteúdo são inevitáveis e

muitas vezes, por questão de clareza, extensas. O primeiro e o segundo capítulos foram construídos tendo em vista uma audiência de filósofos, enquanto o terceiro está dirigido a biólogos,..Isso resulta de uma idéia que orienta a pesquisa no grupo no qual esta dissertação foi desenvolvida, a de que trabalhos em filosofia da ciência ou da natureza devem buscar vias de comunicação com cientistas praticantes, de como que possam ter um impacto sobre o modo como se constrói o conhecimento científico. Isso demanda um trabalho de abordar problemas filosóficos numa linguagem e tratamento mais apropriados para uma audiência de cientistas, em comparação com a usual estratégia dos trabalhos filosóficos propriamente ditos. Ao final da dissertação apresentamos a lista das referências bibliográficas de todos os capítulos.

Apesar desta organização em artigos, é importante ressaltar que a dissertação também se presta a uma leitura como um texto único.

RESUMO

O problema da causalidade descendente é o problema de como um fenômeno de nível superior pode causar ou determinar ou ainda estruturar um fenômeno de nível inferior. Mais precisamente, o que está em jogo neste problema é o que Jaegwon Kim chamou de 'causalidade descendente reflexiva', que tem lugar quando alguma atividade ou evento envolvendo um todo tem uma influência causal sobre eventos que envolvem seus próprios micro-constituintes. A causalidade descendente é um conceito central no pensamento emergentista e altamente debatido na literatura sobre emergência e recentemente passou a ser incorporado em diversas áreas, como filosofia da mente, ciência cognitiva, teorias de auto-organização, teoria de sistemas, estudos de sistemas complexos, vida artificial, biologia evolutiva, etc. Esta incorporação foi diretamente responsável pela revitalização do emergentismo como uma tendência filosófica e, conseqüentemente, trouxe à ribalta o problema da causalidade descendente. A causalidade descendente pode desempenhar, em nossa visão, um importante papel na investigação atual de temas-chave da biologia e sua filosofia, tais como o entendimento das redes biológicas e das relações genótipo-fenótipo. Com o intuito de avançar na discussão sobre causalidade descendente, nós discutiremos as abordagens neo-aristotélicas, as quais apelam a outros modos causais diferentes da causalidade eficiente para dar conta deste fenômeno, particularmente a causalidade formal e funcional. Neste trabalho, consideraremos o papel heurístico que este conceito pode desempenhar ao lidar com as relações entre níveis superiores e inferiores da organização em sistemas vivos. Particularmente, discutiremos como abordagens neo-aristotélicas contribuíram com o avanço das discussões sobre causalidade descendente, recorrendo a outros modos causais, diferentes da causalidade eficiente – principalmente, causalidade formal e funcional – para explicar este fenômeno. Contudo, a idéia central deste trabalho é irmos para além das abordagens neo-aristotélicas. Nós formulamos, então, uma abordagem diferente, na qual apelamos para outros modos de determinação, além da determinação causal, para entender a relação entre sistemas, como um todo, e seus componentes. Ao evitarmos o sistema aristotélico, nós argumentaremos, em acordo com Mark Bickhard e Donald Campbell, que o problema da causalidade descendente também requer uma mudança metafísica mais profunda, a saber, de uma metafísica de partículas para uma metafísica de processos. Nós tentaremos dar os primeiros passos na construção de uma teoria da determinação descendente, focando em duas questões centrais: (i) Quais são as 'coisas' que se afirma que determinam e são determinadas num caso de determinação descendente? (ii) Qual o significado de 'determinar' na determinação descendente? Nossa intenção é desenvolver uma explicação coerente sobre como princípios organizacionais restringem e, assim, parcialmente determinam o comportamento dos constituintes de nível inferior de um sistema. Nessa explicação de determinação descendente, um padrão organizacional de nível superior, interpretado como um princípio geral, é o determinante, enquanto processos particulares de nível inferior são determinados. A influência determinativa neste caso é do princípio geral organizador

de nível superior sobre processos particulares de nível inferior e pode ser formulada nos seguintes termos: se a, b, c, \dots, n estão sob influência de W , então elas apresentarão uma *tendência*, uma *disposição* de instanciar um processo p ou um conjunto de processos $\{P\}$. Essas mudanças disposicionais na determinação descendente são tratadas por nós em termos da teoria das propensões de Popper, de tal maneira, que sua probabilidade não estaria somente em nossas abstrações lógicas, mas ao invés disso, presente no mundo. Dessa forma, evitamos a crítica de que as relações determinativas todo-parte possuem apenas valor epistemológico, mas não ontológico. Por último, nós argumentaremos que esta abordagem poderá oferecer alguma contribuição para a construção de um conjunto de ferramentas para facilitar o entendimento dos sistemas biológicos (e.g., sistema celular; redes metabólicas; sistema desenvolvimental; relações genótipo-fenótipo, sistema neuronal; sistema imunológico, ecossistemas, etc.), especialmente na área que tem sido denominada ‘biologia de sistemas’.

Palavras-chave: Emergência, Determinação descendente, Propensões, Causação descendente, Reduccionismo, Metafísica de processos, Redes Biológicas, Biologia de Sistemas.

ABSTRACT

The problem of DC is the problem of how a higher-level phenomenon can cause or determine or structure a lower-level phenomenon (El-Hani & Emmeche 2000). More precisely, what is at stake in this problem is what Kim (1999) calls ‘reflexive downward causation’, which takes place when some activity or event involving a whole has a causal influence on the events involving its own micro-constituents. Downward causation is a central concept in emergentist thinking and is highly debated in the literature on emergence. The concept of emergence has been increasingly used in such diverse fields as artificial life, cognitive sciences, evolutionary biology, theories of self-organization, philosophy of mind, dynamical systems theory, synergetics, etc. This was directly responsible for revitalizing emergentism as a philosophical trend and, consequently, brought to the fore the problem of downward causation. This latter concept can play, in our view, an important role in the investigation of currently key topics in biology and its philosophy, such as the understanding of biological networks and genotype-phenotype relationships. In this paper, we will consider the heuristic role that this concept can play in dealing with the relationship between higher and lower levels of organization in living systems. In particular, we will discuss how neo-Aristotelian approaches contributed to advance the discussion about downward causation by appealing to causal modes other than efficient causation – mainly, formal and functional causation – to account for this phenomenon. The central argument in this paper, however, is that we should go beyond neo-Aristotelian approaches. By avoiding the Aristotelian framework, we move away, in agreement with Mark Bickhard and Donald Campbell, from a particle-oriented - which can hamper, in our view, a proper understanding of part-whole relationships - to a process-oriented approach. . We formulate, thus, a different approach, in which we appeal to other modes of determination, besides causal determination, to understand the relationship between systems as a whole and their components. We attempt to give the first steps in building a theory of downward determination by focusing on two central questions: (i) What sorts of ‘things’ are said to be determining and determined in a case of downward determination? (ii) What is the meaning of ‘determining’ in downward determination? We intend to develop a coherent account about how principles of organization constrain and, thus, partially determine the behavior of a system’s lower-level constituents. In this account of downward determination, a higher-level organizational pattern, interpreted as a general principle, is the determiner, while lower-level particular processes are determined. The determining influence from a higher-level general organizational principle to particular lower-level processes, in turn, is framed as follows: If lower-level entities a, b, c, \dots, n are under the influence of a general organizational principle, W , then they will show a tendency, a disposition, to instantiate process p or a set of processes $\{P\}$. These dispositional changes in downward determination are treated by us in terms of Popper's propensities, in such a manner that their probability are not just in our minds, but are instantiated in the world. In this manner, we avoid the predictable criticism that whole-to-part determinative relationships have only epistemological, but not ontological value. Finally, we argue that this approach may offer some contribution to the construction of a set of tools to facilitate the understanding of biological systems (*e.g.*, cellular system, metabolic networks, developmental systems, genotype-phenotype

relationship, neuronal system, immune system, ecosystems, etc.), especially in the area that has been called 'systems biology'.

Keywords: Emergence, Downward determination, Propensities, Downward causation, Reductionism, Processes metaphysic, Biological networks, Systems biology.

CAPÍTULO 1

EMERGÊNCIA E DETERMINAÇÃO DESCENDENTE NAS CIÊNCIAS NATURAIS ^a

Resumo:

O problema da causação descendente é o problema de como um fenômeno de nível superior pode causar ou determinar ou ainda estruturar um fenômeno de nível inferior. Ele é um conceito central no pensamento emergentista e altamente debatido na literatura sobre emergência. A causação descendente pode desempenhar, em nossa visão, um importante papel no entendimento das redes biológicas e nas relações genótipo-fenótipo, sendo um instrumento coerente e heurísticamente poderoso para lidar com influência descendente dos sistemas sobre seus componentes. Com o intuito de avançar na discussão sobre causação descendente, nós discutiremos as abordagens neo-aristotélicas, as quais apelam a outros modos causais diferentes da causação eficiente são necessários para dar conta deste fenômeno, particularmente a causação formal e funcional. Nós argumentaremos, no entanto, que o entendimento adequado da causação descendente requer outros tipos de determinação, além da determinação causal. Assim, nós desenvolvemos uma tese sobre determinação descendente. Em particular, nós estamos preocupados com duas questões: (i) Quais são as coisas que se afirma que determinam e são determinadas num caso de determinação descendente? (ii) Qual o significado de *determinar* na determinação descendente? Nossa intenção é desenvolver uma explicação coerente sobre como princípios organizacionais restringem e, assim, parcialmente determinam o comportamento dos constituintes de nível inferior de um sistema. Nessa explicação de determinação descendente, um padrão organizacional de nível superior, interpretado como um princípio geral, é o determinante, enquanto processos particulares de nível inferior são determinados. A influência determinativa neste caso é do princípio geral organizador de nível superior sobre processos particulares de nível inferior e pode ser formulada nos seguintes termos: se a, b, c, \dots, n estão sob influência de W , então elas apresentarão uma *tendência*, uma *disposição* de instanciar um processo p ou um conjunto de processos $\{P\}$. E as mudanças disposicionais na determinação descendente podem ser tratadas em termos da teoria das propensões de Popper, de tal maneira que sua probabilidade não estaria somente em nossas abstrações lógicas, mas ao invés disso, presente no mundo.

Palavras-chave: Emergência, Determinação descendente, Propensões, Causação descendente, Reducionismo.

^a Este artigo foi publicado na revista *Cybernetics and Human Knowing* (Vieira & El-Hani, 2008).

Abstract:

The problem of downward causation – that is, the problem of how a higher-level phenomenon can cause or determine or structure a lower-level phenomenon – is central to emergentism and is also highly debated in the literature on emergence. Downward causation can play, in our view, an important role in the development of our understanding of biological networks and the genotype-phenotype relationship. In order to advance in the discussion of the problem of downward causation, we discuss neo-Aristotelian approaches, which claim that causal modes other than efficient causation are needed to account for this phenomenon, particularly, formal and functional causation. We advocate, rather, that a proper understanding of downward causation demands other kinds of determination, besides causal determination. We develop, thus, an account of downward determination. In particular, we consider two issues: (i) What sorts of “things” are said to be determining and determined in a case of downward determination? (ii) What is the meaning of *determining* in downward determination? By advancing an attempt to answer these questions, we intend to develop a coherent account about how principles of organization constrain and, thus, partially determine the behavior of a system’s lower-level constituents. In this account of downward determination, a higher-level organizational pattern, interpreted as a general principle, is the determiner, while lower-level particular processes are determined. The determining influence from a higher-level general organizational principle to particular lower-level processes, in turn, is framed as follows: If lower-level entities a, b, c, \dots, n are under the influence of a general organizational principle, W , then they will show a tendency, a disposition, to instantiate process p or a set of processes $\{P\}$. The changes in disposition in downward determination can be treated in terms of Popper’s propensities, in such a manner that their probability are not just in our minds, but are instantiated in the world.

Keywords: Emergence, Downward determination, Propensities, Downward causation, Reductionism.

1. Introdução

Na década de 1980, o emergentismo figurava como uma posição filosófica totalmente esquecida. No entanto, nos anos 1990, as discussões sobre emergência ressurgiram e sua riqueza como doutrina filosófica tem sido alvo de importantes debates nos últimos anos (El-Hani, 2002;

Kim, 1998, 2006; Pihlström, 2002; Stephan, 1999). Desde então, o tema da *emergência* voltou a figurar nas páginas de publicações filosóficas e científicas¹, e a idéia de emergência passou a ser empregada com frequência crescente em diversas áreas, como filosofia da mente, ciência cognitiva, teorias de auto-organização, teoria de sistemas, estudos de sistemas complexos, vida artificial, biologia evolutiva etc. O papel desempenhado pela idéia de emergência nessas diversas áreas tem sido fundamental na revitalização do emergentismo enquanto corrente filosófica, mesmo considerando que o uso do conceito de emergência ainda seja frequentemente vago e impreciso.

O termo ‘emergência’ caiu no gosto de muita gente não só de ciência e filosofia, de maneira que seu uso é empregado muitas vezes de maneira intuitiva, sob a forma de expressões do tipo ‘a emergência de x’ indicando meramente que ‘x apareceu’ ou que ‘x surgiu’. Entretanto, a despeito desse uso intuitivo, o termo é empregado de forma técnica como foi apresentado por C. D. Broad em sua obra seminal *The Mind and Its Place in Nature* (1925), considerada uma das bases para o debate atual sobre emergência:

“Colocando em termos abstratos, a teoria da emergência afirma que existem certos todos (*wholes*), compostos (digamos) de constituintes A, B, e C em mútuas relações R; sendo que o todo inteiramente composto por constituintes do mesmo tipo A, B, e C em relações da mesma natureza nas quais R possui certas propriedades características; sendo que A, B, e C podem ocorrer em outros tipos de sistemas complexos em que sua relação não é da mesma natureza de R, e que as propriedades características do todo R(A, B, C) não podem, nem mesmo em teoria, serem deduzidas a partir do conhecimento completo das

¹ *e.g.*, Klee (1984); Blitz (1992); Beckermann et al. (1992); Stephan (1998, 1999, 2004, 2006); Kim (1997, 1999, 2006); O’Connor (1994); Baas & Emmeche (1997); Humphreys (1996; 1997a; 1997b); Emmeche et al. (1997); Emmeche (2000); Bedau (1997; 2003); Azzone (1998); Schröder (1998); El-Hani & Pereira (1999); Pihlström (1999; 2002); El-Hani & Emmeche (2000); Andersen et al. (2000); El-Hani & Videira (2001); El-Hani & Pihlström (2002); Symons (2002); Gillett (2002); Richardson & Stephan (2007). Emergência também tem sido tema de especiais de uma série de jornais, tal como *Philosophical Studies* (1999), *International Journal of Systems Science* (2000), *Grazer Philosophische Studien* (2002), *Principia* (2002) and *Synthese* (2006).

propriedades de A, B, e C isoladamente ou em outros todos os quais não são da forma R(A, B, e C).” (Broad, 2000 [1925])

Broad, em outras palavras, afirma que certo tipo de propriedade *R* emerge das relações dos constituintes *A*, *B*, *C*, os quais são componentes de um todo, conseqüentemente, este tipo de propriedade é chamada de *propriedade emergente*. Tomaremos o termo ‘propriedade emergente’ conforme a definição apresentada por El-Hani & Queiroz (2005b) modificada de uma proposta originalmente formulada por Stephan (1998, p. 639): ‘propriedades emergentes’ podem ser entendidas como *uma certa classe* de propriedades de nível superior que se relacionam *de uma certa maneira* à micro-estrutura de *uma classe de sistemas*². Uma teoria da emergência deve, entre outras coisas, dar conta da definição das cláusulas acima (em itálico), esclarecendo que tipo de propriedade sistêmica (de certa classe de sistemas) deve ser considerada ‘emergente’, e ainda oferecer uma explicação das relações entre essas propriedades e a microestrutura dos sistemas os quais elas são instanciadas. Neste trabalho, opta-se por uma definição de emergência mais ampla e com cláusulas abertas, na medida em que o conceito de emergência, conforme apontado acima, é usado em diversos campos, de maneira que uma definição com mais conteúdo e precisão poderia restringir sua aplicação a algumas áreas em detrimento de outras.

Não obstante essa orientação para fornecer certa maleabilidade conceitual, é importante enunciar, em benefício de uma maior clareza e precisão, uma série critérios que devem ser satisfeitos para que uma propriedade ou um processo seja dito ‘emergente’. Para isso, introduziremos alguns critérios derivados de um dos trabalhos clássicos sobre a emergência, *Emergent Evolution* (1923), de Lloyd Morgan.

Morgan caracteriza ‘evolução emergente’ como segue:

“Evolução, no sentido lato da palavra, é o nome que damos para o plano global da seqüência de todos os eventos naturais. Mas a seqüência ordenada, historicamente vista,

² Uma propriedade sistêmica é um tipo de propriedade encontrada somente no nível do sistema como um todo, mas não no nível de suas partes.

parece apresentar, de tempos em tempos, algo genuinamente novo. Segundo o que eu chamo aqui evolução emergente é entendido como o surgimento do novo.” (Morgan, 1923, p.1).

Ele também afirma que “...o passo emergente [...] é melhor compreendido como uma mudança quantitativa de direção, ou ponto crítico de alteração, no curso dos eventos (Morgan, 1923, p. 5), conectando eventos emergentes com a “...expressão de uma nova espécie de parentesco entre eventos pré-existentes”(ibidem, p. 6). E, por fim, observa Morgan:

“Quando algum novo tipo de relação é superveniente (dita no nível da vida), a maneira como os eventos físicos que estão envolvidos em seu curso é diferente em virtude de sua presença – diferente do que teria sido se a vida tivesse ausente. [...].Gostaria de dizer que esta nova maneira pela qual eventos inferiores surgem – este toque de novidade no avanço evolutivo – *depende* do novo tipo de relação que é expressa, a qual o Sr. Alexander³ chama de qualidade emergente” (ibidem, p. 16, Ênfase no original).

As citações do trabalho clássico de Morgan contêm alguns critérios básicos para tratar propriedades e processos como ‘emergentes’. Primeiro, aparecem as idéias de ‘novidade’ e ‘imprevisibilidade’, as quais não discutiremos aqui, porque estão fora do escopo deste artigo⁴. Segundo, elas devem estar intimamente relacionadas com o aparecimento de um novo tipo de estado de relação (*relatedness*) (ou um novo tipo de princípio organizador) entre as entidades e processos preexistentes, implicando modificações na maneira como os eventos de nível inferior seguirão seu curso (e, conseqüentemente, algum tipo de influência do sistema como um todo sobre seus componentes, que dá vez ao conceito central que será discutido neste artigo, o de causação descendente). Terceiro, a emergência de propriedades ou processos em uma nova classe de sistemas (como definido pelo novo tipo de estado de relação mencionado acima) parece

³ Morgan faz aqui referência ao emergentista Samuel Alexander (1920) e sua publicação *Space, Time and Deity*.

⁴ Para discussões sobre essa noção, veja, por exemplo, Emmeche et al. (1997), Stephan (1998, 1999).

mudar o modo de evolução do sistema. Esta mudança, por sua vez, deve ser precisamente o resultado de modificações do comportamento das entidades preexistentes e processos sob a influência deste novo tipo de relação (o que novamente nos remete à questão da causalção descendente).

É importante levar em consideração que não existe uma teoria unificada da emergência. Stephan (1998; 1999; 2004; 2006), em uma análise sistemática das teorias de emergência, inicialmente considera três variedades de emergentismo – *fraco*, *sincrônico* e *diacrônico* –, depois expandindo sua discussão para seis tipos de posições emergentistas⁵.

O emergentismo fraco fornece a base para todas as teorias fisicalistas da emergência, abrangendo três princípios: (i) naturalismo, na forma de monismo físico; (ii) a alegação de que existem propriedades sistêmicas; e (iii) a tese da determinação sincrônica (Stephan, 1998, 1999, 2004, 2006). Esta última tese, que qualquer emergentista fisicalista deve assumir como corolário de seu comprometimento com o monismo físico, representará um importante papel em nosso argumento. Podemos explicá-la como segue:

[Determinação Sincrônica] As propriedades e disposições comportamentais de um sistema dependem nomologicamente de sua microestrutura, isto é, das propriedades de suas partes e sua organização, não podendo haver diferença nas propriedades sistêmicas sem que haja alguma diferença nas propriedades das partes do sistema e/ou em sua organização (Adaptado de Stephan, 1999, pp. 50-51; veja também Stephan, 1998, p. 641; 2004, p. 487).

A compatibilidade do emergentismo fraco com o fisicalismo reduutivo é completa. Assim, esta posição enfrenta um problema fundamental no que diz respeito às habituais motivações subjacentes à proposta de teorias de emergência. O emergentismo é tipicamente pensado como

⁵ A discussão de Stephan sobre conceitos e teorias de emergência que desempenham papéis diferentes em diferentes áreas, está em conformidade com uma atitude pluralista em direção a uma diversidade de noções de emergência pragmaticamente viáveis, como defendida por El-Hani & Pihlström (2002; 2004). Nós não abordaremos as seis posições descritas por Stephan em seu artigo. Para maiores detalhes, ver trabalho original.

um anti-reducionismo ou uma forma de fisicalismo não redutivo, e o emergentismo fraco é, como Stephan (1998, p. 642) escreve, “indiscutivelmente compatível com abordagens reducionistas contemporâneas”. É perfeitamente compreensível, então, que muitos filósofos e emergentistas estejam engajados na tentativa de construir uma explicação mais forte sobre emergência, a qual seja indiscutivelmente incompatível com o reducionismo. No entanto, é justamente nesse movimento que os filósofos emergentistas se deparam com os problemas mais difíceis.

Tanto o emergentismo sincrônico quanto o diacrônico correspondem a teorias fortes de emergência. Eles estão intimamente relacionados, sendo muitas vezes interligados em uma única teoria da emergência mas, por uma questão de clareza, é importante fazer a distinção entre eles. O emergentismo sincrônico está, antes de qualquer coisa, interessado nas relações mereológicas entre as propriedades sistêmicas e suas microestruturas. A *irreducibilidade* é a noção central no emergentismo sincrônico. Já o emergentismo diacrônico está principalmente interessado no modo como as propriedades emergentes são instanciadas na evolução, focando a noção de *imprevisibilidade*. Nenhuma teoria forte da emergência pode ser corretamente formulada sem encarar o problema da irreducibilidade e/ou imprevisibilidade.

Este artigo se concentra no problema da irreducibilidade e, particularmente, da causalção descendente. Nosso objetivo principal aqui é: (i) explicar a distinção entre os dois modos de irreducibilidade proposta por Stephan (1998, 1999, 2004) e elaborada por (Boogerd, Bruggeman, Richardson, Stephan, & Westerhoff, 2005), mostrando como um desses modos exige a causalção descendente (CD); (ii) discutir o problema da CD e algumas abordagens desenvolvidas para lidar com ele, em especial as que apelam para uma compreensão aristotélica da causalidade; (iii) propor que a noção de ‘determinação descendente’ (DD) é mais adequada do que a CD para lidar com problema da relação todo-parte, e, o que é mais importante, (iv) oferecer uma clara explicação da DD.

2. Modos de irreducibilidade

A tese de irreducibilidade das propriedades emergentes faz com que o emergentismo sincrônico seja incompatível com o fisicalismo redutivo. Mas o que precisamente significa dizer

que uma propriedade é ‘irredutível’? Muitas das discussões sobre emergência e reducionismo recorrem a uma simplificação bastante genérica do termo ‘reducionismo’, desprezando toda uma variedade de significados dados a este termo presentes na literatura filosófica e científica (El-Hani & Emmeche, 2000; El-Hani & Pihlström, 2004; El-Hani & Queiroz, 2005b). Em vista de tal diversidade de significados, existem diversos sentidos em que propriedades emergentes podem ser tratadas como ‘irredutíveis’.

Dois modos gerais de irredutibilidade podem ser distinguidos (Stephan, 1998, 2004). Essa distinção é absolutamente crucial, uma vez que a junção de diferentes teses de irredutibilidade contribui (e muito) para confusões nas discussões recentes sobre emergência.

O primeiro modo de irredutibilidade é baseado na noção de não-analisabilidade das propriedades sistêmicas:

(I₁) [Irredutibilidade como *não-analisabilidade*] Propriedades sistêmicas que não podem ser analisadas em termos do comportamento das partes do sistema são necessariamente irredutíveis (Adaptado de Stephan 1998, p. 643).

Esta noção de irredutibilidade, que desempenha um importante papel nos debates sobre os *qualia*, na filosofia da mente, está relacionada à primeira condição de redutibilidade: uma propriedade sistêmica *P* de um sistema *S* será redutível se seguir do comportamento das partes do sistema que o sistema exibe *P*. Assim, uma propriedade sistêmica *P* de um sistema *S* será irredutível se não seguir nem mesmo em princípio, do comportamento das partes do sistema que *S* exiba a propriedade *P* (El-Hani & Queiroz, 2005b).

É usualmente consensual, desde Broad (2000 [1925]), considerar que os *qualia*, as propriedades fenomenais subjetivas de nossas experiências, não podem ser caracterizados, nem mesmo em princípio, em termos do comportamento macroscópico ou microscópico das partes do sistema nervoso, assumindo-se a premissa de que os *qualia* são propriedades intrínsecas e não-relacionais da experiência. Ou dito de outra forma, eles são considerados irredutíveis porque violam a condição de analisabilidade. Levine (1983; 2001) expressou esta idéia em termos de uma “lacuna explicativa” (*explanatory gap*) entre os processos biológicos/físicos e os estados fenomenais da consciência (*qualia*), a qual jamais poderia ser preenchida por qualquer avanço do

conhecimento científico, em vista da não-analisabilidade dos *qualia*. Para muitos filósofos, nenhum avanço científico será capaz de preencher esta lacuna explicativa (Kim, 1993, 1996, 1998; Levine, 1983; Nagel, 1974).

Ao considerarmos um fenômeno emergente por sua não-analisabilidade, estamos dizendo que tal fenômeno deve ser aceito como inexplicável. Ou seja, não seremos capazes de prever ou explicar este fenômeno, mesmo conhecendo as suas condições basais. Na filosofia da mente, o conceito de irredutibilidade é frequentemente utilizado neste sentido, como podemos observar, por exemplo, nas discussões de Jaegwon Kim (1992; 1993; 1996; 1997; 1998) sobre a irredutibilidade de propriedades mentais, em que este conceito é tipicamente combinado com o de inexplicabilidade, de forma a constituir uma única tese. Além disso, os *qualia* são o principal exemplo de propriedade emergente para Kim, precisamente porque são, em sua opinião, intrínsecos, não-relacionais, e, conseqüentemente, inexplicáveis a partir da perspectiva da nossa compreensão do cérebro como sistema biológico/físico.

Entendemos que, restringindo o entendimento da irredutibilidade de propriedades emergentes apenas ao modo descrito acima, perderemos de vista a utilidade do conceito em outros domínios de investigação. De fato, alegações sobre emergência, se interpretadas somente de acordo com este modo de irredutibilidade, se tornam tão fortes que tendem a ser falseadas, ao menos no domínio das ciências naturais (as quais constituem nosso principal interesse neste artigo). A busca por explicações fundamentadas em causas naturais cumpre um papel central no sistema de valores científicos e, então, dizer que propriedades emergentes são irredutíveis por serem não-analisáveis acarreta admitir que estas não podem ser explicadas naturalisticamente. Se propriedades emergentes forem consideradas inexplicáveis, é provável que a grande maioria dos cientistas naturais as veja com desconfiança, como algo misterioso, e que muito pouco poderia contribuir para a compreensão dos sistemas naturais. Deste modo, o conceito de emergência dificilmente cumpriria o papel que muitos filósofos e cientistas⁶ esperam que este deva cumprir.

⁶ Certamente é possível argumentar que não deveríamos nos preocupar tanto com o que pensa um cientista natural sobre um conceito filosófico como emergência. No entanto, nós estamos particularmente interessados em argumentar sobre o importante papel que o conceito de emergência pode representar nas teorias e modelos desenvolvidos nas ciências naturais. Deste modo, é crucial para os fins de nosso argumento saber como os cientistas naturais lidam com a idéia de emergência.

Devemos considerar, então, um segundo modo de irreducibilidade, baseado na não-deducibilidade do comportamento das partes de um sistema:

(I₂) [*Irreducibilidade do comportamento das partes do sistema*] Uma propriedade sistêmica será irreducível se ela for determinada sincronicamente pelo comportamento específico que as partes apresentam no interior de um sistema de certo tipo, e este comportamento, por sua vez, não seguir do comportamento que as partes exibem quando isoladas, ou quando no interior de sistemas de tipos mais simples (cf. Stephan, 1998, p. 644).

Este modo de irreducibilidade está relacionado com a noção de causalidade descendente (CD), na medida em que é plausível supor que é na influência que o sistema no qual dada propriedade emergente *P* é observada exerce sobre o comportamento de suas partes que reside a razão pela qual não é possível deduzir este último do comportamento que aquelas mesmas partes exibem quando isoladas ou como partes de sistemas de tipos mais simples. Uma segunda condição de deducibilidade é violada neste caso, de tal modo que uma propriedade sistêmica *P* de um sistema *S* será irreducível se ela for realizada por partes do sistema *S* cujo comportamento não segue, nem mesmo em princípio, do comportamento que elas próprias exibem em sistemas mais simples do que *S*.

Recentemente, Boogerd e colaboradores (2005) apresentaram as noções de irreducibilidade como não-analisabilidade e como não-deducibilidade em termos de duas condições para a emergência, as quais chamaram de “vertical” e “horizontal”. O ponto de partida de Boogerd e colaboradores foram os trabalhos de Broad (1919). Eles buscaram fazer uma distinção entre duas condições independentes que o próprio Broad não diferenciava (Figura 1). Uma propriedade sistêmica *P* de um sistema $R(A, B, C)$ será emergente se uma dessas condições for preenchida.

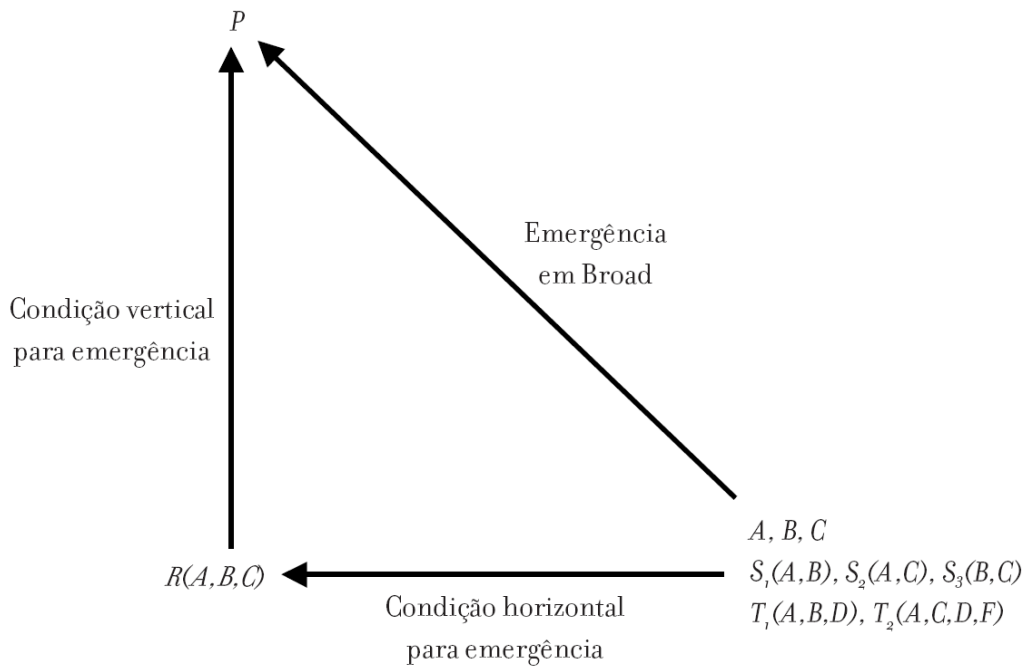


Figura 1. Condição vertical e horizontal para a emergência. A, B e C são partes que constituem o sistema $R(A,B,C)$, que exibe P , uma propriedade sistêmica. $S_1(A, B)$, $S_2(A, C)$ e $S_3(B, C)$ são sistemas mais simples incluindo estas mesmas partes. $T_1(A, B, D)$ é um sistema com o mesmo número de partes, e $T_2(A, C, D, F)$ é um sistema com mais partes do que $R(A, B, C)$. A seta diagonal representa a idéia de emergência de Broad. As setas horizontal e vertical exprimem as duas condições implícitas em Broad que foram explicitadas por Boogerd e colaboradores. (cf. Boogerd et al., 2005).

A condição vertical representa a situação na qual uma propriedade sistêmica P é emergente por não ser explicável, nem mesmo em princípio, por referência às propriedades de suas partes, às suas relações dentro do sistema $R(A, B, C)$, e às leis da natureza e aos princípios de composição relevantes.

Mesmo se conhecermos quais propriedades e relações A , B e C exibem dentro do sistema $R(A, B, C)$, as leis da natureza relevantes e todos os princípios de composição necessários, ainda assim, não seremos capazes de deduzir que o sistema $R(A, B, C)$ exibe a propriedade P . Dessa forma, a condição vertical para a emergência exprime de uma maneira diferente a idéia de não-analisabilidade. Este é um caso no qual a condição de analisabilidade é violada, uma vez que não segue, nem mesmo em princípio, do comportamento das partes A , B e C no sistema $R(A, B, C)$.

Já a condição horizontal representa a situação na qual a propriedade sistêmica P é emergente porque as propriedades e o comportamento das partes dentro do sistema $R(A, B, C)$ não podem ser deduzidas a partir de suas propriedades e comportamentos em isolamento ou em sistemas mais simples, nem mesmo em princípio.

A condição horizontal para a emergência exprime de uma maneira diferente a idéia de irredutibilidade baseada na não-dedutibilidade do comportamento das partes do sistema. Neste caso, se nós conhecermos a estrutura do sistema $R(A, B, C)$, seremos capazes de explicar e prever o comportamento das partes em seu interior e, portanto, a instanciação da propriedade P . É importante ressaltar que é apenas quando a condição vertical para a emergência é satisfeita que não é possível prever e explicar P com base em nosso conhecimento de $R(A, B, C)$.

Uma vez que essas duas condições são independentes, existem duas possibilidades possíveis de uma propriedade emergente surgir: (i) uma propriedade sistêmica P de um sistema S é emergente se não seguir, nem mesmo em princípio, das propriedades das partes dentro de S que S exibe a propriedade P ; e (ii) uma propriedade sistêmica P de um sistema S é emergente, se não seguir, nem mesmo em princípio, das propriedades e dos comportamentos das partes em sistemas diferentes de S como elas se comportarão em S , realizando P .

Boogerd et al. (2005) discutem os recursos disponíveis para deduzir o comportamento das partes em $R(A, B, C)$ a partir das suas propriedades e de seus comportamentos em outros sistemas, a fim de estabelecer qual seria a base adequada para essa inferência. Segundo eles, nós podemos deduzir ou explicar o comportamento (ou as propriedades) de um sistema $R(A, B, C)$ com base em sistemas mais simples, de igual complexidade ou com menor complexidade do que R .⁷ As bases possíveis de dedução das propriedades das partes em $R(A, B, C)$ incluem: (i) sistemas mais complexos, tal como $T_1(A, C, D, F)$; (ii) sistemas com o mesmo grau de complexidade, como $R_1(A, B, D)$; (iii) sistemas mais simples, como $S_1(A, B)$, $S_2(A, C)$ e $S_3(B, C)$; e (iv) as partes A , B e C isoladas. Eles argumentam que somente a situação (iii) apresenta

⁷ É importante salientar que Boogerd et al. (2005) estão, obviamente, cientes de que a complexidade não depende apenas do número de componentes de um sistema, mas também de sua estrutura e da natureza das interações entre suas partes. Eles indicam diferenças na complexidade através do número de partes somente para o bem do argumento.

interesse para uma compreensão da emergência, uma vez que (iv) trivializaria a emergência (dado que toda e qualquer propriedade sistêmica pareceria emergente), e (i) e (ii) trivializariam a não-emergência (uma vez que toda e qualquer propriedade sistêmica pareceria não-emergente). Eles concluem que a chave para o entendimento da condição horizontal para emergência deve ser (iii), em que se tenta explicar (ou deduzir) o comportamento de $R(A, B, C)$ ou de suas partes com base em sistemas que são menos complexos do que $R(A, B, C)$.

Em seu artigo, Boogerd e colaboradores não abordam a causalção descendente. Apesar disso, é possível sustentar de modo convincente que a principal, se não a única, razão pela qual não se pode deduzir o comportamento das partes, num determinado tipo de sistema, a partir de suas propriedades e de seus comportamentos em sistemas mais simples reside na influência descendente do sistema sobre as suas partes, isto é, na CD. Assim, a condição horizontal para a emergência (ou a noção de irreduzibilidade por não-dedutibilidade) necessariamente envolveria um dos principais problemas que cercam o debate sobre emergência, o da causalção descendente.

3. O problema da Causalção Descendente (CD)

O problema da CD diz respeito à questão de como explicar como um fenômeno de nível superior pode causar ou determinar, ou ainda, estruturar fenômenos de nível inferior (El-Hani & Emmeche, 2000).⁸ Mais precisamente, o que está em jogo neste problema é o que Kim (1999) chamou de ‘causalção descendente reflexiva’, que tem lugar quando alguma atividade ou evento envolvendo um todo tem uma influência causal sobre eventos que envolvem seus próprios micro-constituintes.

Kim tratou em várias publicações da importância da causalção descendente para o emergentismo (ver, p. ex., Kim, 1993). Mais recentemente, ele escreveu em artigo publicado na revista *Synthese* que “o emergentismo não pode viver sem a causalção descendente, mas

⁸ A expressão ‘causalção descendente’ cunhada por Campbell (1974) para explicar a idéia de que o maior nível organizacional é caracterizado por princípios, similares às leis, que têm um efeito descendente sobre a dinâmica, a distribuição e a magnitude dos eventos de nível inferior e processos.

tampouco pode viver com ela. A causação descendente é a razão de ser da emergência, mas pode muito bem vir a ser o que, no fim das contas, a enfraqueça” (Kim, 2006, p. 548). Mas por que o problema da CD é tão central ao emergentismo? E por que, paradoxalmente, a CD poderia, como sugere Kim, colocar em xeque o emergentismo? Se nós assumirmos, como Kim (1992; 1993; 1996), que, para alguma coisa ser real, esta deverá ter poderes causais (*causal powers*), o que tornaria possível atribuir realidade às propriedades emergentes, evitando a conclusão de que elas seriam meramente propriedades epifenomenais – nós teremos que mostrar que estas propriedades instanciam novos poderes causais. Como Kim afirma:

“a proposição de que emergentes têm poderes causais é inteiramente natural e plausível, se você acredita que há tais propriedades. Por que a qual propósito serviria insistir na existência de propriedades emergentes se elas fossem meramente epifenômenos sem qualquer relevância causal ou explicativa?” (Kim, 1999, p. 19).

Os poderes causais das propriedades emergentes devem, entre outras coisas, ser irredutíveis aos poderes causais de suas próprias condições basais. É consenso esperar que propriedades emergentes representem novidades adicionais à ontologia do mundo. Mas parece que isso só é possível se elas trouxerem junto consigo poderes causais genuinamente novos, que ultrapassem os poderes causais das condições basais de nível inferior das quais elas emergem. Particularmente, propriedades emergentes somente podem apresentar poderes causais influenciando eventos e fenômenos de nível inferior – ou seja, através da ‘causação descendente reflexiva’ (Kim, 1993, 1996, 1998).

Uma segunda preocupação sobre a CD que exige solução é: a CD pode prover um meio de reconciliar as noções de irredutibilidade e determinação sincrônica?

Como argumentado anteriormente, a CD está estreitamente ligada à noção de irredutibilidade como não-dedutibilidade do comportamento das partes do sistema. Além disso, ela oferece uma possível explicação de como uma propriedade emergente pode ser irredutível e, mesmo assim, ainda depender e ser determinada pela microestrutura da qual emerge, como estabelecido pela noção de determinação sincrônica.

Depois de tudo, percebe-se que é necessário encarar seriamente as enormes dificuldades acerca da noção de CD, que servem como base para que alguns pensadores rotulem a noção como incoerente e paradoxal. Mais uma vez, podemos mencionar Kim, que repetidamente tem argumentado que a combinação da determinação ascendente (como na determinação sincrônica) com a causação descendente reflexiva pode ameaçar fortemente a coerência do emergentismo (Kim, 1992, 1999).

4. Causação descendente em redes biológicas: o elemento que falta para a compreensão da relação genótipo-fenótipo

Uma de nossas motivações para lidar com o problema da CD são os avanços recentes na biologia molecular, genômica e proteômica, os quais têm levado pesquisadores a adotarem uma perspectiva ‘sistêmica’, que deu lugar, por sua vez, à perspectiva atual da ‘*biologia de sistemas*’. A *biologia de sistemas* é freqüentemente apresentada como uma abordagem não-reducionista (Barabasi & Oltvai, 2004; Chong & Ray, 2002; Kitano, 2002; McCarthy, 2004; Nature, 2005; Stephanopoulos, Alper, & Moxley, 2004). Muitos pesquisadores da genômica parecem ansiosos em declarar que superaram certas ‘falácias’ como o determinismo e reducionismo (Venter & al., 2001), apesar de uma espécie de ‘determinismo envergonhado’ continuar a existir em seus escritos (Leite, 2006). Até o momento, não está claro qual é o real significado de ‘*biologia de sistemas*’ nestas áreas do conhecimento (Keller, 2005) e pode-se, ainda, questionar se verdadeiramente existe tal apelo não-reducionista nesta perspectiva, como muitos defendem (Bruni, 2003). Este seria um questionamento nos mesmos termos em que a ‘ecologia de sistemas’ foi anteriormente acusada de não passar de uma abordagem reducionista em grande escala (e.g. Bergandi, 1995; Levins & Lewontin, 1980). Quando alguém lê, por exemplo, que “um objetivo chave da pesquisa biomédica pós-genômica é catalogar sistematicamente todas as moléculas e suas interações dentro de uma célula viva” (Barabasi & Oltvai, 2004, p. 101), uma das suspeitas que vem à mente é que este apelo, ao invés de ser não-reducionista, mais se parece com um reducionismo de grande escala. E ao lermos, na seqüência do mesmo argumento, que “avanços rápidos na biologia de redes indicam que as redes celulares são governadas por leis universais” (*ibid., id.*), uma sensação de confusão é inevitável: se redes celulares são realmente

governadas por tais leis, por que seria necessário catalogar todas as moléculas e suas interações? Talvez fosse o caso de buscar outras abordagens sistêmicas que possam, de forma mais eficiente (e barata), explicar como as redes celulares funcionam.

Contudo, parece claro que a atual avalanche de apelos a uma abordagem de '*biologia de sistemas*' envolve ao menos uma tensão entre abordagens anteriores da biologia molecular que se mostravam mais reducionistas e a tendência atual de elevar o nível da análise de sistemas celulares de volta ao nível em que, de fato, os fenômenos celulares emergem. Mesmo assim, não está claro se este movimento na biologia molecular e genômica pode ser realmente encarado como um deslocamento de um 'reducionismo' para uma 'biologia holística', ou, como escevem (Chong & Ray, 2002), '*whole-istic*'. De qualquer sorte, não se pode negar que um movimento num sentido 'menos reducionista' está ocorrendo nesses domínios.

Nós acreditamos que filósofos emergentistas possam contribuir bastante nesse movimento, particularmente no que diz respeito a uma abordagem mais ampla dos sistemas vivos, a qual não despreze o papel dos métodos analíticos, mas argumente, antes, em prol de uma estratégia pluralística combinando métodos analíticos e sintéticos (Bruggeman, Westerhoff, & Boogerd, 2002). Esta estratégia investigativa poderá ter um impacto significativo no entendimento das relações entre genótipo e fenótipo e, conseqüentemente, poderá também contribuir para o desenvolvimento de novas abordagens para o tratamento de doenças, especialmente as de natureza complexa. Strohman (2002) argumenta a favor de uma mudança da visão genética determinística, na qual características complexas são explicadas como sendo causadas unicamente por genes, para uma visão mais sistêmica, na qual tais características são explicadas como "entidades complexas dependentes do contexto às quais nossos genes fazem uma contribuição necessária, mas apenas parcial" (p. 701). Nesta última visão, o fenótipo é entendido como sendo controlado por "redes auto-organizadoras legiformes (*lawful self-organizing networks*) que apresentam uma dinâmica global no sistema (*system-wide dynamics*)" (Strohman, 2002). Isso nos leva a enfatizar, mais uma vez, que, se tais redes obedecem a certas regularidades legiformes, uma abordagem reducionista de grande escala não seria a única ou nem mesmo a melhor alternativa para seu estudo. Strohman enfatiza o papel da análise do controle metabólico no estudo de fenótipos complexos, particularmente das doenças, e, por conseguinte, no desenvolvimento de novos tratamentos. Ele ainda critica o foco principal, e muitas vezes

exclusivo, sobre a investigação baseada em genes e proteínas na pesquisa de novos tratamentos e argumenta em prol de uma abordagem da natureza das relações genótipo-fenótipo na qual os genes e os sistemas dinâmicos estejam em pé de igualdade (Strohman, 2002).

Strohman também afirma que “biólogos moleculares descobriram a profunda complexidade da relação genótipo-fenótipo, mas são incapazes de explicá-la: Algo está faltando” (2002, p. 701). Ele segue alegando que o elemento que falta para ocupar a lacuna entre genótipo e fenótipo pode ser encontrado na noção de ‘condições de contorno’ de Polany, sintomaticamente um conceito central no tratamento da CD. Em biologia de sistemas, condições de contorno são conceituadas como níveis de restrições ou restrições de controle, novamente, um conceito muito discutido na literatura sobre CD. Estas restrições de controle são encontradas em níveis de regulação, muito deles acima do nível do genoma. A regulação pode ser tratada como uma influência de cima para baixo (*top-down*) de um sistema sobre seus componentes, a qual pode, por sua vez, ser concebida em termos das condições de contorno para o funcionamento das entidades e dos processos de nível inferior (Salthe, 1985). O papel da regulação em sistemas vivos pode ser ilustrado pela dependência de contexto da função gênica. As diferenças de organização corporal e de complexidade dos animais, por exemplo, estão sobretudo relacionadas com alterações na regulação temporal e espacial dos padrões de expressão gênica (Carroll, Grenier, & Weatherbee, 2005), e não tanto com a evolução dos próprios genes, como mostram as comparações de seqüências de diversos genomas animais.

Peltonen e McKusick (Peltonen & McKusick, 2001) alegam que uma mudança do foco sobre a ação gênica para uma ênfase na regulação gênica é uma das características necessárias para uma eventual mudança de paradigma na biologia molecular e genética atuais. Keller (Keller, 2000), por sua vez, aponta que as sementes dessa mudança surgiram há muito tempo, quando o modelo de regulação gênica proposto por Jacob e Monod focou na idéia de ativação gênica, ao invés da ação gênica. Seja como for, a regulação é um processo que acarreta uma influência de processos de níveis superior sobre processos moleculares, tal como transcrição, emenda ou *splicing* de RNA, tradução etc., i.e., ela envolve um tipo de processo que ainda não está claramente concebido no pensamento biológico, qual seja, a determinação descendente. O tempo e lugar em que dado conjunto de genes é ativado ou não depende fundamentalmente da

regulação descendente, e esta regulação é algo a que os genes estão submetidos, e não algo que os genes fazem, comandam, controlam ou programam.

Gostaríamos de salientar aqui o papel de uma adequada abordagem teórico-filosófica da natureza das redes biológicas. Na medida em que estas redes estão sujeitas a regularidades legiformes, tais regularidades naturalmente se tornam um alvo chave da investigação. Estas regularidades estão relacionadas com processos auto-organizadores nestas redes e com a influência da dinâmica global do sistema sobre seus componentes, sendo que esta última, precisamente, é a questão central nos debates acerca da CD. Na progressão do genótipo ao fenótipo, muitos níveis de controle são adicionados, e uma série de importantes transições podem ser identificadas: do genoma ao transcriptoma; do transcriptoma ao proteoma; do proteoma às redes ou aos sistemas dinâmicos; dos sistemas dinâmicos ao fenótipo (Strohman, 2002). É aqui que entra em cena o elemento ausente percebido por Strohman: “cada nível de controle é definido por um sistema dinâmico de proteínas auto-organizadoras (*self-organizing proteins*), cujo produto é governado por leis que ainda são pouco compreendidas” (Strohman, 2002, p. 701). Nós acreditamos que o entendimento das redes biológicas não pode resultar simplesmente de exaustivas coletas de dados em grande escala, como tem sido típica (e indutivamente) tentado, mas exige também uma clara formulação dos padrões que regem a dinâmica global sistêmica destas redes.⁹ Para este propósito, entretanto, nós precisamos de um conjunto de ferramentas conceituais coerente e heurísticamente poderoso. O nosso objetivo aqui é justamente oferecer alguma contribuição à construção de tal conjunto de ferramentas, baseada na tradição dos

⁹ Strohman cita uma analogia proposta por Polanyi (1968) entre a estratégia de um jogador de xadrez e os movimentos no jogo, e a estratégia de sistemas impondo condições de contorno sobre os seus componentes e as atividades dos mesmos. Polanyi argumentou que o interesse da investigação biológica reside particularmente nas estratégias dos sistemas vivos, e não tanto nas várias jogadas dos componentes (embora - é preciso acrescentar - este conhecimento também é necessário). A biologia é a ciência da vida organizada (El-Hani & Emmeche, 2000) e não somente um conjunto de física e química aplicada. Para compreender os sistemas biológicos, devemos considerar como eles orquestram seus componentes físicos e químicos instanciando um conjunto restrito de propriedades e processos emergentes. Sendo assim, concordamos com o apelo de Strohman (2002) a um maior enfoque sobre as estratégias observadas nas redes dinâmicas biológicas que geram – através do desenvolvimento – o fenótipo a partir do genótipo, i.e., sobre como as condições de contorno em vários níveis de organização são impostas sobre os componentes destas redes.

debates sobre a influência descendente dos sistemas sobre seus componentes, tal como manifesta na literatura emergentista.

5. Causação descendente sincrônica e diacrônica

Uma das distinções fundamentais que devem ser feitas em relação à CD é aquela entre suas formas sincrônica e diacrônica. Na CD sincrônica reflexiva, um todo e suas partes estão envolvidos em uma relação causal instantânea:

[Causação descendente sincrônica reflexiva] Num tempo t dado, um todo, W , apresenta a propriedade emergente M , com M emergindo da seguinte configuração de condições: W tem uma decomposição completa nas partes $a_1 \dots a_n$; cada parte tem a Propriedade P_i ; e a relação R é válida para a seqüência $a_1 \dots a_n$. Para algum a_j , o fato de que W apresenta M em t é causa de a_j exibir P_j em t (Kim, 1999, p. 29).

Este tipo de causação descendente se assemelha a um fenômeno bizarro de ‘bootstrapping’ metafísico (Symons, 2002). Por exemplo, como poderia um organismo que tivesse dada propriedade M num tempo t realmente causar uma propriedade P_j em um de seus constituintes no mesmo tempo t ? Ao atuar sobre uma parte da própria micro-estrutura através da qual é determinada sincronicamente, uma propriedade emergente estaria alterando sua própria condição basal. Mas isso não implicaria, portanto, que a identidade da própria propriedade emergente estaria ela mesma mudando, de maneira que se tornaria, no fim das contas, impossível compreender o que poderia estar acontecendo em tal caso? Toda a idéia da causação descendente sincrônica parece, à primeira vista, reduzir-se ao absurdo.

Esta circularidade provém do fato de que a causação, tal como tradicionalmente entendida, se realiza ao longo do tempo e envolve mudanças de propriedades que fazem a ‘auto-causação’ ser paradoxal – por exemplo, devido à sua transitividade. Levando em consideração que esta imagem é ancorada na interpretação habitual de ‘causas’ em termos de ‘causação eficiente’, um possível caminho para evitar o problema do ‘bootstrapping’ talvez seja interpretar

a causação a partir de uma variedade maior de modos causais. Nós consideraremos esta possibilidade posteriormente. Por ora, vamos discutir uma outra maneira de solucionar o problema do ‘bootstrapping’.

Um pensador emergentista pode contrapor os problemas relacionados ao caso da CD sincrônica discutindo um segundo caso, no qual a relação todo-partes se realiza ao longo do tempo:

[Causação descendente diacrônica reflexiva] Como acima W apresenta a propriedade emergente M em t , e a_j exibe P_j em t . Nós consideramos agora o efeito causal do fato de que W apresenta M em t sobre a_j num *tempo posterior* $t + \Delta t$. Suponha, então, que fato de que W apresenta M em t é causa de a_j exibir P_j em $t + \Delta t$ (Kim, 1999, p. 29).

No caso da CD diacrônica, o problema da circularidade discutido anteriormente é posto de lado, mas às custas do aspecto reflexivo da relação causal em questão. A razão disto é apresentada por Kim em seu argumento da exclusão causal. Kim (1999, p. 24) deriva um princípio geral, ‘o princípio da causação descendente’, a partir de seu argumento sobre a causação inter- e intra-nível no contexto de um modelo em camadas (ou hierárquico) do mundo: Para causar a instanciação de qualquer propriedade, é preciso causar as condições basais das quais ela deriva. Quando nós consideramos que qualquer propriedade de nível superior tem, de acordo com o conceito de superveniência, uma base de superveniência (ou realizadora) que é suficiente para causar sua instanciação, o problema da exclusão causal entra em cena. Considerando que, para qualquer evento único, não pode haver mais do que uma única causa suficiente, se tanto uma propriedade de nível superior Q quanto sua base física de superveniência P forem causas suficientes de outra propriedade física P^* e, portanto, de sua propriedade superveniente Q^* , uma delas deverá ser excluída deste cenário causal. É razoável afirmar, então, que o papel de Q na causação de P^* (uma instância da CD) deve ser preenchido por P , de modo que, no final, temos o seguinte cenário: P causa P^* , e Q é superveniente a P , e Q^* é superveniente a P^* . Neste cenário, os processos causais no nível micro são entendidos como fundamentais e todos os eventos de causação-macro (inclusive a CD) são considerados supervenientes, ou dependentes, da micro-causação.

Em suma, casos de CD reflexiva diacrônica parecem ser facilmente reduzidas a relações causais supervenientes, nos quais seu aspecto de reflexividade é perdido. Esta cenário representa um grave problema para a interpretação emergentista da causação descendente como um poder causal que pode mudar o comportamento de entidades e processos de nível inferior, uma vez que poderes causais instanciados em um nível superior são entendidos, tanto na causação de mesmo nível quanto na CD, como totalmente derivados de poderes causais no nível micro.

Dado o problema da exclusão causal, se um pensador emergentista quiser insistir na idéia de uma causação descendente irreduzível, uma violação do fechamento causal do físico acabará aparecendo. Isso se torna claro quando nos deparamos com afirmações como a de que a CD irreduzível seria uma causação de processos físicos por ‘propriedades não-físicas’ (ver Kim, 1996, pp. 232-233; Kim, 1998, p. 44).

Se nossa intenção for propor, de forma coerente e plausível, uma teoria fisicalista forte da emergência, é preciso (i) dar sentido à CD sem se comprometer com a violação do fechamento causal do domínio físico, e ao mesmo tempo evitar o problema da exclusão causal; ou (ii) contornar a incoerência na CD sincrônica reflexiva. Kim (1993, p. 356; 1998, p. 46) alega que a única solução plausível para o problema da CD seria alguma forma de reducionismo, que nos permitisse descartar, ou ao menos moderar, a proposição de que propriedades mentais (das quais trata o argumento de Kim) são distintas de suas propriedades físicas subjacentes. Portanto, o resultado é, como mostrado pelo próprio argumento de Kim, a impossibilidade de postular qualquer poder causal novo e irreduzível em um nível superior. A CD é interpretada no argumento de Kim como uma espécie de causação eficiente (El-Hani & Emmeche, 2000; El-Hani & Pereira, 1999; El-Hani & Pereira, 2000), e, além disso, as causas na CD são entendidas por ele, seguindo a Sperry, como eventos concretos particulares (Hulswit, 2006). Estas duas características da explicação de Kim sobre a CD podem ser postas em questão. É possível explorar, por exemplo, a possibilidade de interpretar a CD como um tipo de causação diferente do modo causal eficiente. Esta é a mudança realizada pelas visões neo-Aristotélicas da CD. Mas vamos, primeiramente, nos ater sobre um argumento recente que busca uma formulação coerente da CD sincrônica.

6. Algumas abordagens da CD sincrônica: Qual é o modo causal em questão?

O modelo de CD diacrônica não dá conta de todas as descrições dos tipos de fenômenos que suscitam a idéia de ‘causas descendentes’ (Hulswit, 2006). Esta é uma das razões que levam muitos autores freqüentemente a insistirem que a CD deve ser entendida em termos sincrônicos. Por isso, nós iremos focar principalmente no segundo ponto chave de nossa descrição do dilema da CD, buscando uma abordagem que possa contornar a incoerência da CD sincrônica reflexiva. Symons (2002) desenvolveu um argumento para um suposto caso de uma relação sincrônica não-contraditória entre o comportamento causal das partes e as propriedades emergentes dos sistemas (totalidades) que incluem estas partes. Ele assume, primeiramente, uma interpretação da causalidade em termos de probabilidades e enfatiza que probabilidade e estrutura são noções relacionadas. A intenção de Symons é, basicamente, apresentar uma interpretação de causas como probabilidades objetivas que permita compreender como as estruturas do todo podem desempenhar um papel na constituição dos poderes causais dos constituintes. Dito de outra maneira: uma interpretação probabilística da causalidade possibilita imaginar a estrutura como tendo um efeito sobre as partes do sistema que é distinta dos poderes causais destas últimas. Isto é, o princípio da herança causal (*causal inheritance principle*) de Kim, segundo o qual os poderes causais de determinada propriedade são meramente um produto dos poderes causais de suas condições basais (Kim, 1998, 1999), não valeria no caso das probabilidades.

A fim de tornar mais clara a influência de uma propriedade emergente, Symons (2002) convida-nos a considerar o exemplo de um reitor na Escola de Direito de Harvard dizendo aos estudantes para olhar para a sua esquerda, depois para sua direita e, finalmente, exclamando: “até o final do ano, um de vocês não estará aqui”. Certamente, esta seria apenas uma maneira de dizer que aquela escola de direito apresenta uma taxa de desistência igual a um terço. Mas Symons nos pede para pensar na observação do reitor como uma maneira gráfica de apontar que uma em cada três pessoas (33%), em média, abandonaria a Escola de Direito de Harvard até o final do primeiro ano. Ele argumenta que a declaração do reitor teria o efeito não pretendido de que os estudantes sentados nas extremidades das fileiras teriam maior possibilidade de largar a escola de direito do que seus vizinhos. Em seguida, ele também nos pede para supor que o arranjo dos assentos naquela ocasião seria importante para os resultados da afirmação do reitor. Dessa forma, uma mudança nesse arranjo mudaria a probabilidade de determinado aluno deixar a escola.

Considerando, para efeito do argumento, que a declaração do reitor desempenha o papel de uma lei natural, nós poderíamos perguntar: qual a relação entre as chances de um estudante se formar e a sua posição no arranjo dos assentos? Symons argumenta que, se os estudantes estiverem sentados numa fileira, aqueles posicionados no final da fileira terão menor probabilidade de se formar, mas os estudantes terão em média 66% de chance de se formarem. Mas, supondo que os estudantes estivessem posicionados em círculo, diz ele, as chances de um estudante se formar cairia para 50%, simplesmente por conta da relação estrutural ou espacial entre eles.

Symons utiliza este exemplo para mostrar que arranjos estruturais, como propriedades emergentes, podem ter um efeito significativo sobre os poderes causais de sistemas e seus componentes, afetando-os causalmente de forma sincrônica descendente. Contudo, ele admite que este exemplo é bastante artificial, uma vez que se baseia numa lei natural hipotética que já inclui algumas considerações sobre estruturas (Symons, 2002). Ele caracteriza os efeitos dos arranjos estruturais sobre o poder causal do sistema e de seus componentes como ‘restrições’ (*‘constraints’*), interpretando-as como princípios gerais, e não como eventos particulares, como nos argumentos de Kim. Por fim, ele alega que, no contexto de uma interpretação probabilística da causalidade, o comportamento dos componentes pode ser entendido como alterado ou ‘escravizado’ (*enslaved*) por sua participação em determinada estrutura. Essas restrições sobre o comportamento dos componentes equivalem, de acordo com Symons, a um efeito causal resultante de uma propriedade emergente, o arranjo estrutural dos componentes do sistema.

Segundo Symons, este não é um caso de CD diacrônica, mas, sim, de uma influência sincrônica instantânea da estrutura como propriedade emergente sobre seus constituintes. Ele alega que, numa interpretação probabilística da causalidade, pode-se vislumbrar um sentido em que um todo pode atuar sobre suas partes sem se tornar algo distinto de si próprio, desfazendo o problema do bootstrapping. Dessa forma, é possível superar a incoerência na CD reflexiva sincrônica apresentada por Kim. A idéia básica no argumento é que, no exemplo esboçado anteriormente, as propriedades das partes que são afetadas no tempo t não são constitutivas do todo no mesmo tempo t . A alteração nas propriedades dos constituintes que ocorre no evento causal descendente é interpretada como uma mudança na probabilidade que os estudantes se formem ou não na Escola de Direito de Harvard. Como resume Symons (2002, p. 200):

“... a propriedade estrutural produz uma mudança no poder causal das partes, mas é um tipo engraçado de mudança, a saber, uma mudança em seu potencial de comportamento no momento que segue imediatamente à sua entrada no todo.”

Não é claro se e como a alteração ou ‘escravização’ dos componentes devido à influência do arranjo estrutural pode ser concebida como o efeito de uma causa eficiente. Alternativamente, nós poderíamos entender tal influência em termos de outros modos causais. Logo, devemos perguntar qual modo causal seria adequado para entender o tipo de efeito estrutural em jogo no argumento de Symons.

Este mesmo ponto é válido para outros argumentos sobre CD. Stephan (1998), por exemplo, escreve que a CD “corresponderia a uma violação de algumas suposições largamente sustentadas, tal como, por exemplo, o princípio do fechamento causal do domínio físico. Dentro do domínio físico, nós teríamos apenas de aceitar tipos adicionais de influência causal além dos tipos basais já conhecidos de interações mútuas”. Do mesmo modo, em sua discussão sobre a explicação ‘interacionista-emergentista’ de Sperry sobre a consciência humana, O’Connor (1994, p. 102) afirma que Sperry pode estar assumindo, em sua explicação da macro-determinação descendente, “que o emergente determina *estruturalmente* [...] a estrutura relacional dos sistemas” (Ênfase no original), sendo ‘determinação estrutural’ entendida como “uma espécie de causação distinta da causação eficiente ordinária ao longo do tempo” (O’Connor, 1994, 103, nota 18). Mas o que é que significa exatamente o apelo de Stephan e O’Connor a outros ‘tipos de causalidade’? Em nossa visão, este é precisamente o tipo de esclarecimento que as abordagens neo-aristotélicas da CD têm a intenção de oferecer.

7. Abordagens Neo-Aristotélicas da CD

Symons parece estar no caminho certo em sua argumentação acerca da CD. No entanto, várias questões devem ser esclarecidas a respeito de sua abordagem e, de fato, muitos autores antes dele tentaram elucidar algumas dessas questões. Iremos discutir algumas delas quando apresentarmos a recente crítica de Hulswit às tentativas de resolver o problema da CD. Nesta

seção, contudo, discutiremos o seguinte problema: o que significa, precisamente, alegar que determinada estrutura de um sistema, como uma propriedade emergente, altera os poderes causais dos componentes, escravizando-os?

Um bom ponto de partida para responder a esta questão é a análise sistemática de diferentes noções de causação descendente apresentada por Emmeche, Kørppe e Stjernfelt (2000), na qual eles propõem uma compreensão aristotélica da causalidade como uma forma de entender a natureza da influência do todo sobre suas partes.¹⁰ Eles identificaram três versões de CD: forte, média e fraca, cada uma fazendo uso de uma determinada forma de interpretar o(s) modo(s) causal (is) envolvido(s) neste tipo de causação. Na CD forte, a influência causal do todo sobre suas partes é interpretada como um caso comum de causação eficiente. No entanto, para alegar que um nível superior exerce uma influência causal eficiente sobre o nível inferior, temos, primeiramente, de fazer uma nítida distinção entre estes dois níveis, tratando-as, em última análise, como se fossem constituídos por diferentes tipos de substâncias (El-Hani & Videira, 2001; Emmeche, Kørppe, & Stjernfelt, 2000; Hulswit, 2006). Em outras palavras, a CD forte exige a aceitação do dualismo e, portanto, é visivelmente incompatível com uma compreensão científica da emergência. Além disso, esta noção enfrenta ainda o problema do 'bootstrapping', discutido anteriormente. Por isso, Emmeche e seus colaboradores (2000) salientam que só existem duas versões cientificamente viáveis para explicar a CD, ambas de acordo com uma interpretação sincrônica formal da CD: a CD média e a fraca.

Podemos resumir os pontos-chaves no argumento de Emmeche e colaboradores sobre a CD média da seguinte maneira: (i) uma entidade de nível superior vem a ser através da realização de um entre diversos estados possíveis de nível inferior. (ii) Neste processo, os estados anteriores de nível superior, funcionam como "fatores de seleção" para os estados de nível inferior. (iii) A idéia de um fator de seleção pode ser tornada mais precisa através da utilização do conceito de 'condições de contorno', introduzido por Polanyi (Polanyi, 1968) no

¹⁰ Outros autores também tomam as noções causais aristotélicas como uma inspiração para pensar em processos de causalidade biológica e outros sistemas complexos, como, por exemplo, Salthe (Salthe, 1985, 1993), Riedl (Riedl, 1997), Van de Vijver et al. (1998), Ulanowicz (1999; 2004), El-Hani & Pereira (1999, 2000), El-Hani & Emmeche (2000), El-Hani & Videira (2001).

contexto da biologia, especificamente no sentido de que entidades de nível superior são condições de contorno para as atividades dos níveis inferiores, restringindo qual fenômeno de nível superior resultará de determinado estado de nível inferior.(iv) Estas restrições podem ser entendidas como um “princípio organizador” de nível superior – como regularidades similares a leis ou legiformes – que exercem um efeito descendente sobre a distribuição de eventos e substâncias de nível inferior. (v) A CD média é comprometida com a tese do “irreducionismo constitutivo”, ou seja, de que, mesmo que sistemas de nível superior sejam constituídos ontologicamente por entidades de nível inferior, o nível superior não pode ser reduzido à forma ou organização de seus constituintes. (vi) Em vez disso, o nível superior deve ser entendido como “constituindo sua própria substância”, e não meramente como consistindo de seus constituintes de nível inferior, ou, dito de outra forma, uma entidade de nível superior deve ser considerada como um “fenômeno substancial real” em si mesmo. (vii) Esta interpretação da CD pode assumir ou uma tese que Emmeche e colaboradores chamam de ‘realismo formal de níveis’, que sustenta que a estrutura, organização ou forma de uma entidade é uma característica objetivamente existente da mesma, a qual é irredutível a formas ou substâncias de nível inferior; ou uma tese que denominam ‘realismo substancial de níveis’, na qual se afirma que a entidade de nível superior é definida por uma ‘diferença substancial’ em relação às entidades de nível inferior. A diferença em relação à CD forte reside no compromisso necessário, no caso desta, com a tese de um “realismo substancial de níveis”.

Em relação à CD fraca, o tratamento dado por Emmeche e colaboradores pode ser resumido com os seguintes argumentos: (i) na versão fraca, a CD é interpretada em termos de um “realismo formal de níveis” (como explicado acima) e um “reducionismo constitutivo”, ou seja, a idéia de que uma entidade de nível superior consiste ontologicamente de entidades de nível inferior organizadas de uma certa maneira. (ii) A forma ou organização do nível superior é irredutível ao nível inferior, mas o nível superior não é um “fenômeno substancial real”, i.e., ele não acrescenta qualquer substância às entidades de nível inferior. (iii) Diferentemente da versão média, a CD fraca não admite a interpretação de condições de contorno como restrições. (iv) Empregando a terminologia dos *espaços de fase*, Emmeche e colaboradores explicam a CD fraca

como a concepção de entidades de nível superior como atratores¹¹ para a dinâmica dos níveis inferiores. Assim, pensa-se o nível superior como sendo caracterizado por causas formais da auto-organização dos constituintes em um nível inferior. (v) A estabilidade relativa de um atrator é tomada como idêntica ao “controle” descendente de entidades de nível inferior. Isto é, o atrator funciona como um “todo” em nível superior, afetando os processos que o constituem. (vii) O atrator também funciona como um “todo” em outro sentido da palavra, dado que ele é de um tipo geral (*general type*), do qual cada ponto que se encontra em sua bacia de atração no espaço de fase é um caso particular (*token*).

A contribuição de Emmeche e colaboradores ao debate sobre CD possui vários méritos, sobretudo por sua ênfase sobre uma diversidade de tipos de CD, que é freqüentemente negligenciada. Além disso, eles tentaram fazer alguns avanços na organização dessa variedade de tipos. Como acrescenta Hulswit (2006), Emmeche e colaboradores fizeram “... uma intrépida tentativa de criar alguma ordem no caos conceitual que caracteriza a discussão sobre causação descendente”. Todavia, a tipologia proposta por eles enfrenta uma série de problemas, o que não é de modo algum surpreendente. Afinal de contas, muitas tentativas para explicar a CD disponíveis na literatura enfrentam importantes dificuldades. No caso dos argumentos de Emmeche e colaboradores, devem ser esclarecidas, especialmente, as distinções entre CD fraca, média e forte. Por exemplo, seria preciso descrever em detalhes em que sentido a CD forte e média diferem no que diz respeito à idéia de que uma entidade de nível superior é um fenômeno “substancial”, ou então, qual seria o meio de diferenciar os compromissos das versões médias comprometidas com a tese de um “realismo substancial de níveis” em relação à CD forte. Não é nosso propósito, contudo, perseguir estas linhas de argumentação no presente artigo.

Para fins de nosso argumento, nós simplesmente trabalharemos, a seguir, com uma noção que, por um lado, se aproxima da CD média, através da interpretação das condições de contorno como restrições, mas que, ao mesmo tempo, se afasta dela, por rejeitar decididamente o “irreducionismo constitutivo”. Dessa forma, ela também se aproxima da CD fraca. No entanto, não tentaremos, aqui, classificar nossa proposta em termos da tipologia de Emmeche e

¹¹Emmeche e colaboradores se referem a atratores da matemáticos, da matemática do caos.

colaboradores. Vamos, antes, nos concentrar em explicar o modo como concebemos a relação entre CD e restrições.

Para continuar em nossa tentativa de responder à nossa questão inicial – o que significa, precisamente, alegar que determinada estrutura de um sistema, como uma propriedade emergente, altera os poderes causais dos componentes, ‘escravizando-os’? – nós apelaremos agora à moldura teórica da teoria de sistemas adaptativos complexos de Alicia Juarrero (2000). Esta autora também emprega uma compreensão aristotélica da causalidade para explicar as relações todo-parte em sistemas complexos. Ela salienta que a ciência moderna entende que, para explicar algo, é necessário identificar o papel que cada causa desempenha na produção do fenômeno a ser explicado. Embora, em si, essa idéia tenha raízes aristotélicas, também está implícito na abordagem causal de Aristóteles outro apelo, relativo à idéia de que nada, rigorosamente falando, pode se mover, causar, ou agir por si próprio no mesmo sentido, ou dito de outra maneira:

“Teorias modernas da ação causal têm consistentemente respeitado os princípios de Aristóteles de que nada se move ou muda por si só; intenções, vontade, e outras supostas causas de ação são tidas como comportamentos diferentes de sua causa.” (Juarrero, 2000, p. 25).

A fim de apoiar a tese de que sistemas hierárquicos são auto-referenciados (*self-referential*) e exibem efeitos *inter-níveis* (*inter-level effects*), ela afirma que a noção de causalidade deve ser recontextualizada em termos diferentes, afastando-se da *causa eficiente*. Assim, ela propõe a moldura conceitual da teoria dos sistemas adaptativos complexos como:

“[...] uma “metafórica teoria-constitutiva” que permita uma recontextualização da causa, e conseqüentemente uma reconsideração da ação. Uma lógica diferente de explicação – mais adequada ao conjunto histórico, contextualmente embutida em processos, incluindo a ação – surge a partir desta revisão radical”. (*Ibid.*, p. 25. Ênfase no original).

A moldura teórica defendida por Juarrero pode ser resumida da seguinte forma: (i) sistemas adaptativos complexos são tipicamente caracterizados por processos de retroalimentação positiva, nos quais o produto do processo é necessário para o processo em si. Este é um tipo de causalidade circular, ou *auto-causação*, a qual contraria a proposta aristotélica. (ii) Interações entre certos processos dinâmicos podem criar uma *organização ao nível do sistema*, com novas propriedades que não podem ser reduzidas à simples soma de seus componentes de nível inferior. (iii) A dinâmica global do sistema emergente não somente determina quais partes são permitidas dentro do sistema, mas também regula e *restringe* o comportamento dos componentes de nível inferior. Diferentemente do que a compreensão científica usual alega, Juarrero afirma que o todo não é um epifenômeno inerte, mas sim um complexo dinâmico, o qual desempenha – de maneira distribuída – um poder ativo sobre suas partes, de maneira que o sistema global é mantido e aprimorado. Assim, para entender a dinâmica de tal sistema, ela alega que devemos reviver os conceitos aristotélicos de causa formal e final, de maneira similar à proposta de Emmeche e seus colaboradores. Outra semelhança entre essas propostas reside no apelo à noção de restrições, a fim de explicar estes outros tipos de causalidade:

“Uma vez que o poder ativo do todo exercido sobre seus componentes, não é, claramente, a montanha-russa de colisões de um universo mecânico, o mecanismo causal que trabalha entre os níveis da organização hierárquica pode ser mais bem interpretado em termos de restrições operacionais. (*Ibid.*, p. 30).

Juarrero também introduz uma distinção entre dois tipos de restrições exercidas pelo todo sobre suas partes: “restrições livres de contexto, que afastam os componentes de um sistema da equiprobabilidade, e restrições sensíveis ao contexto, que sincronizam e correlacionam partes anteriormente independentes em uma totalidade sistêmica” (*Ibid.*, p. 26).

Nós acreditamos que podemos explorar de maneira efetiva a relação entre CD e restrições com base na moldura da teoria dos sistemas adaptativos complexos de Juarrero. Podemos começar considerando que, quando entidades de nível inferior estão compondo um sistema de nível superior, o conjunto das possíveis relações entre elas é restringido, uma vez que o sistema

faz com que seus componentes tenham uma distribuição muito mais ordenada no espaço-tempo do que eles teriam em sua ausência. Isto é válido tanto no caso de entidades quanto no de processos, uma vez que processos também fazem com que os elementos envolvidos neles assumam determinada distribuição espaço-temporal. Assim, nós podemos dar um primeiro passo para explicar a razão pela qual a mesma entidade de nível inferior pode apresentar diferentes comportamentos, dependendo do sistema de nível superior de que ela faz parte. Esta é a base para um conceito de irredutibilidade baseado na não-dedutibilidade do comportamento dos componentes.

Como mostramos anteriormente, enquanto discutíamos os argumentos de Symons, podemos argumentar, de forma plausível, que entidades de nível inferior são ‘escravizadas’ por um determinado padrão de restrições estabelecidas pela estrutura de nível superior da qual fazem parte, de modo que as suas relações umas com as outras são modificadas, e, conseqüentemente, também o são os seus poderes causais. Estamos lidando, então, com restrições de nível superior sobre as relações dos componentes, uma vez que estes fazem parte do arranjo espaço-temporal ou padrão de estruturas e processos do sistema. É possível, então, entender a *modificação* sofrida pelas partes do sistema como uma *restrição resultante de ser parte de um padrão (espaço-temporal)*. Este tipo de modificação não é o mesmo que um efeito num evento causal eficiente. Deve ser, em vez disso, pensado como uma conseqüência de múltiplas séries aninhadas de restrições sobre as possibilidades de interações dos componentes (Emmeche et al., 2000).

Dessa forma, é possível interpretar a CD como uma causa formal, basicamente pela reformulação do conceito das ‘restrições’ (ou ‘condições restritivas’) de nível superior em termos do conjunto de conceitos causais de Aristóteles (El-Hani & Emmeche, 2000; El-Hani & Pereira, 2000; Emmeche et al., 2000).¹² Um determinado conjunto de condições restritivas atuando sobre

¹² Repare que uma explicação pode ser construída aderindo ao vocabulário das restrições sem introduzir uma potencial fonte de discórdia tal como o modo causal formal aristotélico. Voltaremos a esta possibilidade mais tarde. Por enquanto, consideramos que é perfeitamente natural que, como o problema que estamos lidando preocupa-se com a causação, parece que convém explorar, ao menos para alguns autores, as conseqüências da reformulação do tratamento das condições restritivas em termos da influência formal causal do todo sobre suas partes. No entanto, não devemos perder de vista que a grande dificuldade enfrentada pelo conceito da CD, que são na verdade a principal motivação para pensadores emergentistas buscarem novas formas de compreensão da causalidade, pode ser vista como uma evidência de que a causalidade é uma questão ruim

as partes de determinado todo pode ser interpretado, através de uma abordagem neo-aristotélica da causalidade, como uma instância da causalidade formal. Além disso, podemos interpretar as funções específicas que muitos componentes vêm a desempenhar, uma vez que suas relações são restringidas dentro de determinada estrutura de nível superior (contribuindo para a estabilidade da dinâmica do próprio sistema), em termos uma ‘causalidade funcional’.

A noção de ‘condições de contorno’, introduzida por Polanyi (1968), pode ser proveitosa, como vimos acima, para caracterizar essas restrições de nível superior (Van Gulick, 1993). Polanyi argumentou que um sistema vivo, como uma entidade construída naturalmente, funciona sob o controle de dois princípios: O princípio superior é o princípio de construção ou organização do sistema, e este controla o princípio inferior, que consiste nos processos físico-químicos dos quais o sistema depende. Na medida em que os processos físico-químicos no nível inferior são controlados, os componentes vêm a realizar funções que contribuem para a manutenção da estabilidade dinâmica do sistema como um todo.

Para explicar mais detalhadamente as idéias de restrição e de condições de contorno, é possível argumentar que, como as partes de um sistema são ‘escravizadas’ por um determinado padrão de restrição que é característica de um dado tipo de sistema (assumindo, para fins do argumento, que um esquema claro para classificar sistemas esteja disponível), elas perdem parcialmente sua ‘liberdade’ de comportamento, enquanto o sistema, inversamente, adquire mais liberdade em seu comportamento, precisamente porque coordena os comportamentos de seus componentes.

Considere, primeiramente, um conjunto W de todos os possíveis comportamentos que os componentes de um sistema podem apresentar. As condições de contorno estabelecidas pela organização do sistema selecionam, entre todas as possibilidades de comportamento que os constituintes podem apresentar, um conjunto mais limitado ($W - x$) de comportamentos que eles irão efetivamente exibir, como partes daquele tipo de sistema. Por sua vez, através das restrições dos comportamentos de suas partes, o sistema apresenta capacidades aumentadas, no sentido de

quando a emergência aparece pelo menos em alguns domínios (Ver Pihlström, 2002) e, em geral, sistemas complexos (ver Van de Vijver, Van Speybroeck, & Vandevyvere, 2003).

que ele se torna capaz de exibir comportamentos que não observaríamos, caso não houvesse restrições do sistema como um todo sobre os processos que têm lugar em seu interior. As restrições aumentam a probabilidade de que as partes de um sistema estejam envolvidas em relações que, por sua vez, estejam inseridas num certo conjunto de processos específicos, que é menor do que o conjunto de processos dos quais elas seriam parte na ausência do sistema. E, por sua vez, a instanciação destes processos de maneira coordenada permite que o sistema exiba novos comportamentos de nível superior, aumentando sua ‘liberdade’ de comportamento.

A interpretação da CD como causa formal, em termos de condições restritivas de nível superior, que influenciam o comportamento dos componentes de um sistema, tem implicações adicionais para os debates atuais sobre emergência. Uma influência causal descendente é usualmente atribuída às propriedades emergentes de maneira bastante geral, isto é, supõe-se que toda e qualquer propriedade emergente exerce alguma influência sobre a microestrutura do sistema. Pensadores emergentistas costumam alegar que as propriedades emergentes, de maneira geral, trazem ao mundo novos poderes causais, e que essas propriedades têm poder de influenciar e controlar a direção dos processos de nível inferior dos quais elas emergem (cf. Kim 1998, p. 100; 1999, p. 22). Mas, de acordo com a interpretação que nós apresentamos anteriormente, supõe-se que um tipo específico de propriedade emergente exerce uma influência formal sobre as partes de um sistema, a saber, a propriedade de uma classe de sistemas $\{Z\}$ de ter um determinado tipo de estrutura S . Este é um importante resultado de nosso tratamento da CD: a macro-determinação descendente deve ser pensada como decorrente da estrutura dos sistemas, como uma propriedade emergente particularmente importante. Vale a pena destacar o papel fundamental das estruturas na causação descendente por várias razões, sendo, entre elas, a mais importante a de que a influência descendente das estruturas dos sistemas sobre seus componentes desempenha um papel crucial na explicação de outras propriedades emergentes.

Esta explicação da CD pode, de forma consistente, apresentar razões para a compreensão de como as partes e o todo podem estar envolvidos em relações mutuamente determinativas. A determinação sincrônica, como uma relação determinativa de baixo para cima, é combinada nessa explicação com uma relação determinativa descendente. Nestes termos, a co-determinação das partes e do todo seria baseada na conjunção de duas relações determinativas assimétricas distintas, determinação sincrônica e CD. A suposta incoerência de combinar relações

determinativas ascendentes e descendentes, acertadamente apontada por Kim numa estrutura causal que admita apenas relações causais eficientes, seria evitada, no presente caso, utilizando uma variedade mais rica de conceitos causais.

8. Uma crítica das abordagens neo-aristotélicas da CD

Apesar disso, nós podemos colocar em questão, como fez Menno Hulswit em artigo recente, se as explicações neo-aristotélicas da causação descendente satisfazem os requisitos básicos de uma teoria da causação. Hulswit (2006) centra sua crítica em duas questões: (i) Quais são as coisas que se afirma que causam e são causadas no caso da CD? (ii) Qual o significado da noção de ‘causa’ na CD?

Ele conclui que o conceito de CD é ‘vago’ em relação à natureza das causas e dos efeitos, e ‘confuso’ no que diz respeito ao significado de causação. No que se refere ao primeiro problema, devemos levar em conta uma distinção encontrada na literatura acerca da CD entre dois tipos de ‘causas descendentes’: princípios gerais e eventos ou substâncias particulares. Em sua formulação original, Donald T. Campbell (1974) interpretou ‘causas descendentes’ como princípios gerais, no sentido de que, digamos, o comportamento de uma molécula dentro da célula não é somente determinado pelas leis físico-químicas, mas é também restringido por ‘leis’ (num sentido muito amplo de ‘disposição geral’) de nível superior. Assim, de acordo com a explicação de Campbell, os *relata* causais na CD são *processos concretos* (efeitos) no nível inferior e *leis ou princípios gerais similares a leis* (causas) no nível superior;

Foi neste sentido que explicamos anteriormente a relação entre princípios organizacionais de nível superior e os processos de nível inferior que são restringidos pelos primeiros. Esta explicação é consistente com a interpretação de Polanyi (1968) acerca das condições de contornos como princípios gerais de nível superior que controlam processos de nível inferior. Hulswit (2006, p. 268) resume: Campbell, Polanyi e, também, Van Gulick (1993) entendem a CD como “... uma ativação seletiva de processos causais de nível inferior por condições de contorno de nível superior, que são basicamente princípios gerais.” Além disso, ele considera que esta posição significa que “‘causas descendentes’ não são *causas num sentido estrito*, mas princípios gerais” (idem, p.269, ênfase no original). Esta interpretação tem implicações

importantes para uma tese que elaboraremos mais adiante, a saber, de que a influência de um sistema sobre seus componentes é mais bem compreendida em termos de outros tipos de determinação, e não somente em termos de uma determinação causal.

Isto é particularmente importante para evitar – como fazemos explicitamente neste artigo – uma interpretação de ‘causas descendentes’ com eventos particulares, como encontramos, por exemplo, nas abordagens de Roger Sperry (Sperry, 1969, 1980, 1983, 1991) e Kim.¹³ Apesar do problema do *bootstrapping* não desaparecer ao interpretarmos ‘causas descendentes’ como princípios gerais, nós podemos dizer que, certamente, ele se torna pior quando os *relata* causais na CD são interpretados como particulares em diferentes níveis de organização.

Hulswit (2006) também argumenta que o significado atribuído ao termo "causação", em debates sobre a CD, normalmente se refere a idéias mais próximas de "explicação" e "determinação" do que de "causação" - desde que entendamos causação no sentido intuitivo de ‘produzir algo’, isto é, no sentido atual de causação eficiente. Não é surpresa que ele considere infeliz a escolha da expressão ‘causação descendente’.

Embora verbos usualmente relacionados à atividade causadora de um nível superior na CD, tais como ‘restringir’, ‘organizar’, ‘estruturar’, ‘determinar’ etc., possam ser entendidos como sendo relacionados a ‘causar’ (no sentido de ‘produzir algo’), eles certamente não são equivalentes a ‘causar’ (Hulswit, 2006).

Isto pode ser visto como um resultado de um empobrecimento do significado do termo 'causar' na ciência moderna, devido ao fato de que a física clássica avaliou criticamente, e, em última análise, negou certo número de teses relacionadas à filosofia aristotélica, muitas delas concernentes ao princípio da causalidade (El-Hani & Videira, 2001). Em última instância, só dois dos quatro modos causais aristotélicos, a causa eficiente e a final, vieram a ser incluídas no significado atribuído ao termo ‘causa’ na maior parte das línguas modernas. Sintomaticamente, a palavra grega traduzida como ‘causa’ (*archai*) nas obras de Aristóteles não significa ‘causa’ no sentido moderno (Lear, 1988; Ross, [1923]1995). Para Aristóteles, uma ‘causa’ não era somente

¹³ Apesar de algumas ambigüidades encontradas em jornais defendendo apelos neo-aristotélicos à CD, uma idéia básica na interpretação da CD como um tipo de causa formal é interpretá-la em termos de princípios gerais.

um evento antecedente suficiente para produzir um efeito ou o objetivo de determinada ação, mas a base ou fundamento de algo. Em outras palavras, referir-se às *archai* de Aristóteles como ‘causas’ pode levar a grandes equívocos; elas devem ser antes tratadas como ‘princípios’. É nesse sentido que Aristóteles pôde conceber matéria e forma como tendo também a natureza de modos ‘causais’ – em termos de seus modos causais material e formal. Logo, não é de surpreender que, se nos ativermos a nossas idéias intuitivas atuais sobre causação, os modos causais aristotélicos se mostram mais parecidos com modos de explicação do que com modos de causação. Aristóteles parecia estar pensando, sobretudo, acerca das bases ou dos fundamentos de nossa compreensão, enquanto refletia sobre os modos causais.

Outra crítica relevante ao apelo neo-aristotélico pode ser encontrada no trabalho de Mario Bunge (1979a). De acordo com sua visão, a causação não é a única fonte de mudança e novidade na natureza. Ele trata a determinação como uma categoria mais ampla do que causação, e afirma que a regularidade do mundo deriva dos processos de determinação que operam nele. A causação é, de acordo com ele, apenas um tipo de determinação, e a ciência contemporânea deve entender, pois, que a determinação não se limita a simples relações de causa-e-efeito. Para ilustrar quão inadequado é o apelo à causação como único princípio de determinação, Bunge considera a equação bem conhecida de Einstein, $E = mc^2$. Esta equação mostra, por exemplo, que uma perda de energia radiante por um átomo conduz a uma perda associada de massa. Neste caso, argumenta Bunge, existe determinação, mas não causação, pois não se tem um evento produzindo outro, ou até mesmo uma relação entre dois eventos. Em vez disso, o que se vê neste caso é uma relação entre duas propriedades de um sistema, massa e energia. Em razão da sua idéia de que a determinação não se limita à causação, Bunge distingue entre algumas categorias de determinação: autodeterminação quantitativa, determinação causal, interação (tratada como causação recíproca ou determinação funcional interativa), determinação mecânica, determinação estatística, determinação estrutural (ou holística), determinação teleológica e determinação dialética. Embora nenhuma categoria bem definida de determinação possa ser reduzida a outra, Bunge pensa nessas categorias como constituindo hierarquias de tipo de determinação, de tal maneira que nenhum tipo de determinação pode ser encontrado isoladamente, em alguma forma pura, exceto em casos ideais. Não há dúvidas de que existem problemas com este esquema, uma vez que muitos dos tipos de determinação que ele descreve são tão profundamente entrelaçados

que se torna difícil separá-los em categorias distintas. Consideremos, por exemplo, a determinação mecânica, descrita como uma “combinação peculiar de autodeterminação puramente quantitativa [...] e ação recíproca, que pode frequentemente ser polarizada em causa e efeito” (Bunge, 1979a, p. 20).

Seria possível utilizar a discussão acima sobre o empobrecimento da ‘causa’ na ciência moderna como base para se contrapor aos argumentos de Hulswit e Bunge. No entanto, nós realmente pensamos que limitações importantes em abordagens recentes da CD podem ser compreendidas a partir destas perspectivas. De fato, a CD, como explicada pelas abordagens neo-aristotélicas, está mais próxima da ‘determinação’ do que da ‘causação’. Mas como devemos compreender as relações entre as ‘atividades’ de nível superior geralmente relacionadas à CD e o significado de ‘causa’? Parece-nos que a relação importante entre as idéias usualmente conectadas à CD nas explicações neo-aristotélicas e as idéias básicas relativas à causação diz respeito ao fato de que, em ambos os casos, estamos lidando com algum tipo de determinação.

Como Hulswit (2006) salientou, a principal diferença entre ‘determinar’ e ‘causar’ é que a primeira envolve, primariamente, *necessidade* (no sentido de que ‘não poderia ser de outra forma’, ou, colocando em termos mais consistentes com eventos probabilísticos, ‘não tenderia a ser de outra forma’), enquanto que a última envolve primariamente a idéia de ‘produzir algo’. Assim, podemos considerar três questões: primeiro, que a maior parte dos debates acerca da CD são realmente sobre determinação ou explicação, e não sobre causação; segundo, que causas eficientes são tipicamente consideradas individuais (usualmente, eventos, fatos ou substâncias), e que ‘causas descendentes’ são melhor interpretadas (em nossa visão) como princípios organizacionais gerais, similares a leis (*law-like*); e, terceiro, que um movimento similar ao que proporemos aqui foi feito no caso de outra relação determinativa, mas mereológica, a saber, a realização física (e, conseqüentemente, a superveniência), que não pode ser adequadamente tratada como ‘causal’ (ver Kim 1993, 1996).

Podemos perceber, então, como pode ser adequado defender a proposição de que é melhor se referir a determinação descendente (formal), ao invés de causação descendente: “... a chamada ‘causação formal descendente’ não é nem uma espécie de *causação* descendente, nem de *explicação* descendentes, mas [...] é acima de tudo uma espécie de *determinação descendente*” (Hulswit, 2006). Em vez de propor que o entendimento da influência de todos

sobre suas partes exige outras categorias causais, além da causação eficiente, nós podemos alegar, antes, que esse entendimento requer outros tipos de determinação, além da causação. Causas não são, de fato, os únicos tipos de fatores determinantes no mundo e é amplamente aceita em debates filosóficos atuais, como naqueles sobre superveniência, a introdução de relações determinativas não-causais.

9. Da causação descendente à determinação descendente

A causa formal aristotélica tem como objetivo explicar a estabilidade do mundo em termos das estruturas das coisas. Conseqüentemente, há um forte comprometimento deste conceito com uma ontologia de substância. É provável, contudo, que uma moldura teórica a ser empregada para compreender sistemas e fenômenos complexos, envolvendo idéias como auto-organização, emergência, redes complexas, fractais etc., possa ser construída de modo mais proveitoso caso a estabilidade do mundo seja explicada em termos de relações dinâmicas entre eventos (Hulswit, 2006). Esse tipo de explicação deve estar inserida numa filosofia de processos, i.e., numa tendência filosófica que trate processos como categorias ontológicas mais fundamentais do que entidades. Um processo, segundo Nicholas Rescher, pode ser definido como “... um grupo coordenado de mudanças na aparência da realidade, uma família organizada de ocorrências que sistematicamente ligadas umas às outras, seja causal ou funcionalmente” (Rescher, 1996, p.38). Dar primazia ontológica a famílias de ocorrências coordenadas, organizadas claramente contradiz a prioridade historicamente atribuída a entidades na maior parte do pensamento ocidental, muito influenciado pela filosofia aristotélica. Tal desacordo pode ser visto como parte da crítica do ‘paradigma da substância’ ou ‘mito da substância’ (Seibt, 1996), desenvolvida por pensadores tais como Alfred N. Whitehead, Charles S. Peirce, Charles Hartshorne, Paul Weiss, Samuel Alexander, Conway Lloyd Morgan, e Andrew Paul Ushenko (ver (Rescher, 1996; Rescher, 2002).

Apelar a uma filosofia de processos não significa, necessariamente, o abandono da idéia de entidade. Somente significa que, em um mundo dinâmico, devemos ter sempre em mente que processos devem ser considerados mais fundamentais do que entidades, uma vez que “... coisas substanciais emergem no e do curso de mudanças do mundo” (Rescher, 1996, p.28). Dito de

outra forma, entidades são somente feixes relativamente estáveis de processos, as quais emergem de processos e subseqüentemente desvanecem em processos.

Em artigo recente, El-Hani e Queiroz (2005a) apelaram à filosofia peirceana para avançar em sua abordagem sobre determinação descendente, seguindo a argumentação de Hulswit (2001), de que um tratamento peirceano processual e semiótico da causação pode cumprir um importante papel na construção de uma abordagem filosófica de processos que vise explicar a estabilidade do mundo em termos de relações dinâmicas entre eventos. Outra idéia útil na teoria de Peirce é a de que *formas* são encaradas como tendo caráter relacional, e não como algo incorporado (*embodied*) em uma substância. Neste trabalho, tentaremos avançar para além desta primeira tentativa de resolver o problema da determinação descendente baseada na filosofia de Peirce. Mas, antes de discutirmos como contribuições de outras posições filosóficas podem nos ajudar neste esforço, vamos indicar aqui as idéias básicas da abordagem de El-Hani e Queiroz.

Quando consideramos um sistema *A* e um conjunto de elementos-*B* que constituem *A*, afirmaremos que o comportamento dos elementos-*B* é *parcialmente determinado* por *A*. Esta é uma afirmação mais forte do que a de que o comportamento dos elementos-*B* não pode ser adequadamente *explicado* sem uma referência a *A*. Afinal, esta última é uma afirmação epistemológica e a anterior tem caráter ontológico. Ao mesmo tempo, trata-se de uma proposição mais fraca do que a de que o comportamento dos elementos-*B* é *parcialmente produzido* por *A*. Afinal, esta última afirmação está relacionada com a idéia de ‘causa eficiente’.

É evidente que estas idéias sobre determinação têm conseqüências para nossos esforços explicativos, mas é antes necessário formular em termos coerentes a própria idéia de determinação e, então, derivar dela conseqüências epistêmicas, como aquelas concernentes ao nosso esforço de explicar as relações parte-todo em sistemas complexos.

Se nossa intenção é desenvolver uma teoria da determinação descendente, nós devemos responder às seguintes questões: (i) Quais são as coisas que se afirma que determinam e são determinadas num caso de determinação descendente? (ii) Qual o significado de ‘determinar’ na determinação descendente? Nossa intenção é desenvolver uma explicação coerente sobre como princípios organizacionais restringem e, assim, *parcialmente determinam* o comportamento dos constituintes de nível inferior de um sistema. Nessa explicação de determinação descendente, um

padrão organizacional de nível superior, interpretado como um princípio geral, é o determinante, enquanto processos particulares de nível inferior são determinados.

Para atribuir um significado claro à noção de ‘determinação’, primeiramente, nós devemos fazer uma distinção entre determinação causal e outros tipos de determinação, particularmente, aqueles envolvidos na determinação descendente. O próprio Peirce pode ter sido o primeiro a sugerir que a causação descendente poderia ser considerada como uma espécie de *causação formal* (ver Hulswit, 2006). No contexto de sua filosofia, é possível encontrar a distinção entre tipos de determinação, mais precisamente, a idéia de que a determinação carrega um sentido lógico e um causal (Ransdell, 1983, p. 23). Em termos dinâmicos, Peirce associa determinação à idéia de produção de um efeito. Neste sentido, estamos lidando com determinação causal, intuitivamente no sentido de ‘produzir algo’, elaborado em termos de causação eficiente na teoria moderna da causalidade. Entretanto, se considerarmos a determinação no sentido lógico, ela terá a natureza de uma implicação material: se p , então q . El-Hani e Queiroz (2005) argumentam que, neste sentido, a ‘determinação’ deve ser entendida como um ‘princípio restritivo’, e não como um processo determinístico causal, e utilizaram este sentido da determinação para conceituar a determinação descendente (El-Hani & Queiroz, 2005a).

Mas parece haver, em princípio, um problema com este apelo a Peirce, uma vez que a idéia de determinação lógica parece nos conduzir de um discurso ontológico para um lógico e/ou epistemológico. Assim, as relações determinativas pareceriam ter valor apenas epistemológico e não ontológico (e, portanto, numa certa leitura do termo, ‘real’), como afirma Bunge (1979b, pp. 13-14): “[...] os níveis superiores não podem comandar ou mesmo obedecer os inferiores. Toda fala de ação entre-níveis é elíptica ou metafórica, não literal”. Talvez este não seja realmente um problema fatal, uma vez que, à luz do pragmatismo peirceano, a estrutura lógica das idéias, regras (*rules*) e gerais (*generals*) é a mesma (Hulswit, 2001). Além disso, para Peirce, gerais não eram abstrações da mente pensante, mas características reais do mundo. Peirce não era um nominalista, mas um realista. Nós podemos dizer, portanto, que Peirce provavelmente concordaria com uma hipótese similar ao ‘realismo formal de níveis’ de Emmeche e colaboradores (Emmeche et al., 2000) – a qual afirma que a estrutura, organização ou forma de uma entidade é uma característica objetivamente existente, a qual é irreduzível às formas ou

substâncias de nível inferior. Ademais, como afirma Juarrero, em oposição explícita à afirmação de Bunge:

Sistemas adaptativos complexos provaram que Bunge estava errado; suas relações entre níveis, embora complicadas, são reais, não apenas epistemológicas. O surgimento de níveis de organização relativamente autônomos acarreta o aparecimento de qualidades relativamente autônomas; alterações quantitativas produzem mudanças qualitativas. (Juarrero, 2000, p. 32).

Como veremos a seguir, é possível que a abordagem de Juarrero, combinada com a idéia de determinação lógica de Peirce, possa nos oferecer uma visão mais clara sobre como se poderia dizer que a determinação descendente tem lugar no mundo, e não apenas em nossas abstrações lógicas.

A determinação descendente não possui uma natureza causal, não diz respeito a eventos produtivos, os quais provocam um efeito. Como ponto de partida para abordar este ponto, nós tomaremos a idéia de que as relações entre os componentes no nível inferior de certo sistema, o qual instancia um caso particular (*token*) de certo tipo de estrutura, são restringidas pela influência regulatória, organizacional, dessa estrutura. A partir desta idéia, podemos argumentar que existe uma relação determinativa lógica entre o princípio organizacional de nível superior e processos particulares de nível inferior. Entretanto, a fim de dar lugar a relações estatísticas entre princípios organizacionais e processos particulares, trataremos esta influência determinativa como uma relação de propensão: se algumas entidades de nível inferior a, b, c, \dots, n se encontram sob influência de um princípio organizador geral W , aquelas entidades apresentarão *uma tendência a se comportarem* de certas maneiras específicas, e, desde modo, de instanciar um conjunto de processos específicos. A influência determinativa neste caso é do princípio geral organizador de nível superior sobre processos particulares de nível inferior e pode ser formulada nos seguintes termos: se a, b, c, \dots, n estão sob influência de W , então elas apresentarão uma *tendência*, uma *disposição* de instanciar um processo p ou um conjunto de processos $\{P\}$. Em outros termos, nós estamos tratando a determinação descendente como uma tendência que

poderia se fazer presente – “*would be tendency*” –, uma relação que conduz a uma maior probabilidade de que certo processo ou certo conjunto de processos aconteça.

Em nosso entendimento, a determinação descendente deve ser abordada em termos probabilísticos. Ou dito de outra forma, nós consideramos que o princípio organizador geral, W , torna mais provável a ocorrência de certo processo, p , ou conjunto de processos, $\{P\}$, do que se seus componentes não estivessem sob influência de W . Um princípio organizacional geral, W , pode ser entendido como um determinante lógico de dado processo p , ou conjunto de processos, $\{P\}$, se, dada a instanciação de W , a probabilidade de que p ou $\{P\}$ ocorra for maior do que a probabilidade de sua ocorrência caso W não tivesse sido instanciado.

Ao falarmos de propensões em termos probabilísticos, podemos apelar à teoria da probabilidade como propensões proposta por Popper em 1957 e desenvolvida ao longo de sua vida, em uma série de artigos e livros (Popper, 1959, 1983, 1990). A teoria das propensões popperiana coloca a probabilidade no mundo¹⁴, ao invés de deixá-la em nossas mentes ou abstrações lógicas:

“...probabilidades devem ser ‘realidades físicas’- elas devem ser propensões físicas, propriedades relacionais abstratas da situação física, como forças newtonianas, e ‘reais’, não somente no sentido de que elas podem influenciar resultados experimentais, mas também no sentido de que elas podem, sob certas circunstâncias (coerência), interferir, i.e. interagir, uma nas outras” (Popper, 1959, p.28).

A probabilidade, nesses termos, passa a ser encarada como uma propensão, ou disposição, ou tendência física de que um determinado tipo de situação física produza certo tipo

¹⁴ Popper precisava de uma teoria objetiva da probabilidade para dar conta da probabilidade aplicada a eventos únicos. Em seu livro *A Lógica da Pesquisa Científica* (Popper, [1959] 2004), ele defendeu uma versão da teoria freqüentista para tratar deste problema, mas depois percebeu que esta teoria era inadequada e que uma nova teoria objetiva da probabilidade precisava ser introduzida. A teoria freqüentista não poderia dizer nada sobre eventos únicos, apenas a teoria da probabilidade subjetivista estava disponível para dar conta desses eventos. Entretanto, um objetivista como Popper não poderia se contentar com uma teoria subjetivista da probabilidade (Freire Jr, 2004; Gillies, 2000).

de resultado ou um limite de frequência relativa de tal resultado. Como todas as propriedades disposicionais, as propensões exibem certa similaridade com as potencialidades aristotélicas. Entretanto, enquanto no sistema aristotélico a disposição é pensada como uma propriedade inerente das coisas, na teoria das propensões, nada é inerente ao objeto, e propensões são, antes, propriedades relacionais (Popper 1990). Assim, as propensões não devem ser vistas como propriedades inerentes a um objeto, mas sim como inerentes a uma situação, da qual obviamente o objeto:

“em física, propensões são propriedades de toda a situação física e, por vezes, mesmo da forma particular pela qual a situação se transforma. O mesmo se aplica às propensões na química, bioquímica e biologia” (Popper 1990, p. 29).

Assim como um composto químico recém-sintetizado gera novas possibilidades de formar novos compostos, novas propensões criam sempre novas possibilidades e essas novas possibilidades tendem a concretizar-se de maneira a criarem, novamente, novas possibilidades (Popper, 1990). Ulanowicz (1999) argumenta que umas das conclusões que podemos tirar a partir dessa idéia é que, uma vez que propensões ocorrem justapostas, interferindo umas nas outras, de maneira que novas possibilidades tendem a surgir, nós devemos adicionar “... restrições para ‘organizar’ a configuração mais indeterminada.” (p. 133)..

É heurísticamente frutífero, em nossa visão, formular a idéia de determinação descendente a partir de uma abordagem de propensões. Tal formulação é reforçada através de sua conexão com a tese de restrições todo-partes (*top-down*) de Juarrero (discutida anteriormente), a qual diz que a influência do todo sobre suas partes consiste em modificar a probabilidade prévia de comportamento dos componentes:

“A organização do nível superior é a mudança na probabilidade dos eventos de nível inferior. As causas descendente causam mediante a mudança da probabilidade prévia do comportamento do componente” (Juarrero, 1999, p. 146).

A diferença entre determinação causal e descendente é marcante: enquanto a determinação causal é um evento *produtivo*, o qual produz efeitos, a determinação estrutural é um evento *subtrativo*, que, como explicado anteriormente, restringe as possibilidades de comportamento dos componentes de um sistema.

As restrições todo-partes (*top-down*) impostas pelo princípio organizador *W* sobre os componentes são limitadoras no sentido de que restringem as possibilidades de comportamento dos componentes, e, dessa forma, eliminam possíveis efeitos, ao invés de produzir novos. Assim, tornam possível que um sistema como um todo exiba um conjunto aumentado de capacidades, devido à coordenação do comportamento de suas partes. Mas restrições são também criativas, num sentido funcional, uma vez que permitem que os componentes participem eficientemente como membros de um conjunto de processos, através da canalização (*channeling*) ou do direcionamento de seu comportamento para uma coleção particular de atividades. Como componentes de um sistema maior, as partes vêm a desempenhar novos papéis funcionais (Juarrero, 2000). Certamente, se nós enquadrarmos esta abordagem, como fizemos anteriormente, em termos de determinação descendente, esta se aproximará relativamente de uma perspectiva neo-aristotélica da causação descendente, com a ressalva de que iremos nos referir à determinação descendente e incorporar este conceito dentro de uma abordagem orientada a processos – a qual está em desacordo com uma perspectiva aristotélica, que apresenta uma clara tendência em favor de entidades e substâncias.

10. Observações Finais

Está claro para nós – e acreditamos que certamente também está para nossos leitores – que a idéia de determinação descendente exige estudos mais detalhados para que seja formulada de maneira mais clara e promissora. Nosso projeto de pesquisa atual caminha nessa direção, sendo que o próximo passo será desenvolver a explicação de determinação descendente através de um exemplo biológico, a iniciação de sinalização de processos em uma classe particular de micro-domínios em membrana de células, conhecidos como jangadas lipídica (*lipid rafts*).

Contudo, devemos esclarecer que os argumentos apresentados anteriormente não representam simplesmente uma forma alternativa de expressar as mesmas idéias básicas contidas em várias outras abordagens da CD. Em primeiro lugar, é preciso notar que, mesmo sendo a primeira parte deste artigo conceitual, isso não significa que seja menos importante. A partir de uma perspectiva pragmatista – a qual assumimos, neste artigo, como uma posição metafilosófica –, questões conceituais são fundamentais, uma vez que os problemas filosóficos e certos pontos de vista são constituídos pelo modo como falamos sobre eles em diferentes tradições filosóficas.

Em segundo lugar, não tratamos aqui apenas de questões conceituais. De fato, toda a parte conceitual compôs o nosso esforço para tornar mais clara a tese sobre determinação descendente. Em terceiro lugar, sob um ponto de vista estratégico, nós acreditamos que falar de determinação descendente no lugar de causação descendente pode ajudar a aceitarmos a idéia de que o todo, de fato, pode influenciar o comportamento de suas partes. Por último, ao evitarmos o sistema aristotélico, nos afastamos de uma visão orientada pela substância – que, em nossa opinião, pode dificultar o entendimento das relações todo-parte – para uma abordagem orientada por processo.

Referências

- Alexander, S. (1920). *Space, Time, and Deity*. Gloucester: Peter Smith.
- Andersen, P. B., Emmeche, C., Finnemann, N. O., & Christiansen, P. V. (2000). *Downward causation: minds, bodies and matter*. Aarhus: Aarhus Univ. Press.
- Azzone, G. F. (1998). The cement of medical thought. *Evolutionary emergence and downward causation*. *Hist Philos Life Sci*, 20(2), 163-187.
- Baas, N. A., & Emmeche, C. (1997). On Emergence and Explanation. *Intellectica*, 25, 67-83.
- Barabasi, A. L., & Oltvai, Z. N. (2004). Network biology: understanding the cell's functional organization. *Nature Reviews Genetics*, 5(2), 101-113.
- Beckermann, A., Flohr, H., & Kim, J. (1992). *Emergence Or Reduction?: Essays on the Prospects of Nonreductive Physicalism*. Berlin: Walter de Gruyter.
- Bedau, M. A. (1997). Weak Emergence. *Noûs*, 31(11), 375-399.
- Bedau, M. A. (2003). Artificial life: organization, adaptation and complexity from the bottom up. *TRENDS in Cognitive Sciences*, 7(11), 505-512.
- Bergandi, D. (1995). "Reductionist holism": an oxymoron or a philosophical chimera of EP Odum's systems ecology. *Ludus Vitalis*(5), 145-180.
- Blitz, D. (1992). *Emergent Evolution: Qualitative Novelty and the Levels of Reality*. Dordrecht: Kluwer Academic Pub.
- Boogerd, F. C., Bruggeman, F. J., Richardson, R. C., Stephan, A., & Westerhoff, H. V. (2005). Emergence and Its Place in Nature: A Case Study of Biochemical Networks. *Synthese*, 145(1), 131-164.
- Broad, C. D. (1919). Mechanical explanation and its alternatives. *Proceedings of the Aristotelian Society*, 19, 86-124.
- Broad, C. D. (2000 [1925]). *The Mind and Its Place in Nature*: Routledge.
- Bruggeman, F. J., Westerhoff, H. V., & Boogerd, F. C. (2002). BioComplexity: a pluralist research strategy is necessary for a mechanistic explanation of the "live" state. *PHILOSOPHICAL PSYCHOLOGY*, 15(4), 411-440.
- Bruni, L. E. (2003). *A sign-theoretic approach to biotechnology*. University of Copenhagen Copenhagen.
- Bunge, M. (1979a). *Causality and Modern Science* (Third ed.). New York: Dover Publications.
- Bunge, M. (1979b). *Ontology II: A World of Systems*. Dordrecht: D. Reidel.
- Campbell, D. T. (1974). Downward causation in hierarchically organized biological systems. In F. Ayala & T. Dobzhansky (Eds.), *Studies in the philosophy of biology and related problems* (pp. 179-186). Berkeley: University of California Press.
- Carroll, S. B., Grenier, J. K., & Weatherbee, S. D. (2005). *From DNA to Diversity: Molecular Genetics and the Evolution of Animal Design*. Oxford: Blackwell Publishers.
- Chong, L., & Ray, L. B. (2002). Whole-istic Biology. *Science*, 295(5560), 1661-1661.
- El-Hani, C. N. (2002). On the reality of emergents. *Principia, Special Issue on Emergence and Downward Causation*, 6(1), 51-87.
- El-Hani, C. N., & Emmeche, C. (2000). On some theoretical grounds for an organism-centered biology: Property emergence, supervenience, and downward causation. *Theory in Biosciences*, 119(3), 234-275.

- El-Hani, C. N., & Pereira, A. M. (1999). Understanding biological causation. In V. G. Hardcastle (Ed.), *Where Biology Meets Psychology: Philosophical Essays* (pp. 333-356). Cambridge: MIT Press.
- El-Hani, C. N., & Pereira, A. M. (2000). Higher-Level descriptions: Why should we preserve them? In P. B. A. C. E. N. O. F. P. V. Christiansen (Ed.), *Downward Causation: Minds, Bodies and Matter* (pp. 118-142). Aarhus: Aarhus University Press.
- El-Hani, C. N., & Pihlström, S. (2002). Emergence Theories and Pragmatic Realism. *Essays in Philosophy*, 3(2).
- El-Hani, C. N., & Pihlström, S. (2004). Realismo, Pragmatismo e Emergência. In W. J. Silva Filho & P. Smith (Eds.), *Significado, Verdade, Interpretação: Davidson e a Filosofia*. São Paulo: Loyola.
- El-Hani, C. N., & Queiroz, J. (2005a). Downward Determination. *Abstracta*, 1(2), 162-192.
- El-Hani, C. N., & Queiroz, J. (2005b). Modos de irredutibilidade das propriedades emergentes. *Scientiae Studia*, 3(1), 9-41.
- El-Hani, C. N., & Videira, A. A. P. (2001). Causação Descendente, Emergência de Propriedades e Modos Causais Aristotélicos. *Theoria*, 16(2), 301-329.
- Emmeche, C., Køppe, S., & Stjernfelt, F. (1997). Explaining Emergence: Towards an Ontology of Levels. *Journal for General Philosophy of Science*, 28(1), 83-117.
- Emmeche, C., Køppe, S., & Stjernfelt, F. (2000). Levels, Emergence and Three Versions of Downward Causation. In P. B. Andersen & C. Emmeche & N. O. Finnemann (Eds.), *Causation: Minds, Bodies and Matter* (pp. 13-34). Aarhus: Aarhus University Press.
- Freire Jr, O. (2004). Popper, Probabilidade e Mecânica Quântica. *Episteme*, 18, 103-127.
- Gillett, C. (2002). Strong emergence as a defense of non-reductive physicalism: A physicalist metaphysics for 'downward' determination'. *Principia*, 6(1), 89-120.
- Gillies, D. (2000). *Philosophical Theories of Probability*. London and New York: Routledge.
- Hulswit, M. (2001). Semeiotic and the cement of the universe: A peircean process approach to causation. *Transactions of the Charles S. Peirce Society: A Quarterly Journal in American Philosophy*, 37(3), 339-363.
- Hulswit, M. (2006). How Causal is Downward Causation? *Journal for General Philosophy of Science*, 36(2), 261-287.
- Humphreys, P. (1996). Aspects of Emergence. *Philosophical Topics*, 24(1), 53-70.
- Humphreys, P. (1997a). Emergence, Not Supervenience. *Philosophy of Science*, 64(proceedings), S337-S345.
- Humphreys, P. (1997b). How Properties Emerge. *Philosophy of Science*, 64(1), 1.
- Juarrero, A. (1999). *Dynamics in Action: Intentional Behavior as a Complex System*. Cambridge: MIT Press.
- Juarrero, A. (2000). Dynamics in Action: Intentional Behavior as a Complex System. *Emergence*, 2(2), 24-57.
- Keller, E. F. (2000). *The Century of the Gene*. Cambridge: Harvard University Press.
- Keller, E. F. (2005). The century beyond the gene. *Journal of Biosciences*, 30(1), 3-10.
- Kim, J. (1992). 'Downward Causation' in Emergentism and Nonreductive Materialism. In A. B. H. F. J. Kim (Ed.), *Emergence or Reduction? Essays on the Prospects of Nonreductive Physicalism* (pp. 119-138). Berlin: Walter de Gruyter.
- Kim, J. (1993). *Supervenience and Mind: Selected Philosophical Essays*: Cambridge University Press.

- Kim, J. (1996). *Philosophy of Mind*. Boulder-CO: Westview Press.
- Kim, J. (1997). Supervenience, emergence, and realization in the philosophy of mind. In M. C. P. K. Machamer (Ed.), *Mindscape: Philosophy, Science, and the Mind* (pp. 271-293). Pittsburgh: University of Pittsburgh Press.
- Kim, J. (1998). *Mind in a Physical World: An Essay on the Mind-Body Problem and Mental Causation*. Cambridge: MA & London: The MIT Press.
- Kim, J. (1999). Making Sense of Emergence. *Philosophical Studies*, 95(1), 3-36.
- Kim, J. (2006). Emergence: Core ideas and issues. *Synthese*, 151(3), 547-559.
- Kitano, H. (2002). Systems Biology: A Brief Overview. *Science*, 295(5560), 1662-1664.
- Klee, R. L. (1984). Micro-Determinism and Concepts of Emergence. *Philosophy of Science*, 51(1), 44.
- Lear, J. (1988). *Aristotle: The Desire to Understand*. New York: Cambridge University Press.
- Leite, M. (2006). Retórica determinista no genoma humano. *Scientiae Studia*, 4(3), 421-452.
- Levine, J. (1983). Materialism and Qualia: The Explanatory Gap. *Pacific Philosophical Quarterly*, 64(4), 354-361.
- Levine, J. (2001). *Purple Haze: The Puzzle of Consciousness*: Oxford University Press, USA.
- Levins, R., & Lewontin, R. (1980). Dialectics and reductionism in ecology. *Synthese*, 43(1), 47-78.
- McCarthy, J. (2004). Tackling the challenges of interdisciplinary bioscience. *Nat Rev Mol Cell Biol*, 5, 933-937.
- Morgan, C. L. L. (1923). *Emergent Evolution*. London: Williams and Norgate.
- Nagel, T. (1974). What is it like to be a bat. *Philosophical Review*, 83(4), 435-450.
- Nature. (2005). In Pursuit of Systems. *Nature*, 435(7038), 1.
- O'Connor, T. (1994). Emergent Properties. *American Philosophical Quarterly*, 31(2), 91-104.
- Peltonen, L., & McKusick, V. A. (2001). Genomics and medicine. Dissecting human disease in the postgenomic era. *Science*, 291(5507), 1224-1229.
- Pihlstrom, S. (1999). What Shall We Do with Emergence? A Survey of a Fundamental Issue in the Metaphysics and Epistemology of Science. *South African journal of philosophy*, 18(2), 192-210.
- Pihlström, S. (2002). The Re-Emergence of the Emergence Debate. *Principia*, Special Issue on Emergence and Downward Causation, 6(1), 133-181.
- Polanyi, M. (1968). Life's Irreducible Structure. *Science*, 160, 1308-1312.
- Popper, K. R. (1959). The Propensity Interpretation of Probability. *Brit. J. Phil. Sci*, 10(37), 25-42.
- Popper, K. R. (1983). *Postscript: Vol. 1. Realism and the aim of science*: Totowa, NJ: Rowman & Littlefield.
- Popper, K. R. (1990). *A World of Propensities*. Bristol: Thoemmes Antiquarian Books.
- Ransdell, J. (1983). Peircean Semiotic. Unpublished manuscript.
- Rescher, N. (1996). *Process Metaphysics: An Introduction to Process Philosophy*. New York: SUNY Press.
- Rescher, N. (2002). Process Philosophy. In E. N. Zalta (Ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring 2008 Edition).
- Richardson, R. C., & Stephan, A. (2007). Emergence. *Biological Theory*, 2(1), 91-96.
- Riedl, R. (1997). From Four Forces Back to Four Causes. *Evolution and Cognition*, 3, 148-158.
- Ross, D. ([1923]1995). *Aristotle*. London: Routledge.

- Salthe, S. N. (1985). *Evolving Hierarchical Systems: Their Structure and Representation*. New York: Columbia University Press.
- Salthe, S. N. (1993). *Development and Evolution: Complexity and Change in Biology*. Cambridge: MIT Press.
- Schroder, J. (1998). Emergence: Non-Deducibility or Downwards Causation? *The Philosophical Quarterly*, 48(193), 433-452.
- Seibt, J. (1996). The Myth of Substance and the Fallacy of Misplaced Concreteness. *Acta Analytica*, 15, 61-76.
- Sperry, R. W. (1969). A modified concept of consciousness. *Psychological Review*, 76(6), 532-536.
- Sperry, R. W. (1980). Mind-brain interaction: Mentalism, yes; dualism, no. *Neuroscience*, 5(2), 195-206.
- Sperry, R. W. (1983). *Science and moral priority*: Columbia University Press.
- Sperry, R. W. (1991). In defense of mentalism and emergent interaction. *The Journal of mind and behavior*, 12(2), 221-245.
- Stephan, A. (1998). Varieties of Emergence in Artificial and Natural Systems. *Zeitschrift für Naturforschung*, 53c, 639-656.
- Stephan, A. (1999). Varieties of emergentism. *Evolution and Cognition*, 5(1), 49-59.
- Stephan, A. (2004). Phenomenal Emergence. *Networks*, 3(4), 91-102.
- Stephan, A. (2006). The dual role of 'emergence' in the philosophy of mind and in cognitive science. *Synthese*, 151(3), 485-498.
- Stephanopoulos, G., Alper, H., & Moxley, J. (2004). Exploiting biological complexity for strain improvement through systems biology. *Nature Biotechnology*, 22(10), 1261-1267.
- Strohman, R. (2002). Maneuvering in the Complex Path from Genotype to Phenotype. *Science*, 296(5568), 701-703.
- Symons, J. (2002). Emergence and Reflexive Downward Causation. *Principia*, 6(1), 183-202.
- Ulanowicz, R. E. (1999). Life after Newton: an ecological metaphysic. *BioSystems*, 50, 127-142.
- Ulanowicz, R. E. (2004). On the nature of ecodynamics. *Ecological Complexity*, 1(4), 341-354.
- Van de Vijver, G., Van Speybroeck, L., & Vandevyvere, W. (2003). Reflecting on complexity of biological systems: Kant and beyond? *Acta Biotheoretica*, 51, 101-140.
- Van de Vijver, G. S., S. N.; Delpo, M. (Ed.). (1998). *Evolutionary Systems*. Dordrecht: Kluwer.
- Van Gulick, R. (1993). Who is in charge here? And who's doing all the work? In J.Heil & A. Mele (Eds.), *Mental Causation* (pp. 233-256). Oxford: Oxford University Press.
- Venter, G., & al., e. (2001). The sequence of the human genome *Science*, 291(5507), 1304 - 1351.
- Vieira, F. S., & El-Hani, C. N. (2008). Emergence and Downward Determination in the Natural Sciences. *Cybernetics And Human Knowing*, 15(3-4), 101-134.

CAPÍTULO 2

DETERMINAÇÃO DESCENDENTE: UM PASSO FILOSÓFICO A CAMINHO DE UMA ABORDAGEM DINÂMICA DA EMERGÊNCIA ¹

Inicialmente, gostaríamos de agradecer aos comentários de Álvaro Moreno, os quais servirão sem dúvida como inspiração para a continuação de nosso projeto de pesquisa acerca da noção de determinação descendente. Contudo, nós gostaríamos de tecer algumas observações sobre seus comentários.

Na primeira parte de seu comentário, Moreno afirma que não está seguro se nossa proposta de substituição do conceito de causalção por determinação desempenharia um papel importante no entendimento das relações todo-partes. Ele também põe em questão nossa crítica aos problemas em torno da noção de causalção descendente (CD), afirmando que, em determinado momento, conduzimos o leitor a rejeitar a noção, enquanto, algumas páginas depois, parece que rejeitamos nossa própria crítica. Nós aproveitaremos a oportunidade dessa resposta para esclarecer nossa posição.

Moreno está certo ao afirmar que na introdução de nosso artigo nos empenhamos em apontar os problemas que concernem a causalção descendente. Nós estamos particularmente preocupados com o problema da causalção descendente sincrônica e diacrônica, como descreveu Kim (1999; 2006). No entanto, não é correta a apreciação da estrutura de nosso argumento de que rejeitamos e voltamos a aceitar, na seqüência de nosso argumento, a causalção descendente. Nós concordamos que a noção desempenha um papel central em ambos, no emergentismo, e particularmente falando, em nossa tentativa atual para entender sistemas complexos, tais como organismos vivos. Apesar disso, nós acreditamos que é importante discutir sobre as condições

¹ Artigo publicado na revista *Cybernetics and Human Knowing* (Vieira & El-Hani, 2008)

lógico-filosóficas, como discutimos em nosso artigo, e as condições dinâmicas para a emergência, a qual foi tema principal de alguns autores nessa edição especial, tais como Moreno e Collier.

Durante as discussões filosóficas relativas aos problemas da emergência, nós devemos ter cuidado suficiente para apresentar os casos críticos da causação descendente e emergência de forma apropriada, e desenvolvermos as respostas para estes casos. A natureza intrincada de nosso artigo parece ser resultado do fato de que nós demos atenção especial a essas duas características. Próximo ao final de nosso artigo, contudo, nós focamos na tentativa de superar os desafios das críticas e, conseqüentemente, discutir melhor o conceito de CD o que achamos ser produtivo apesar dos problemas ocasionais. Este é o caso da análise sistemática de diferentes noções de causação descendente apresentada por Emmeche et al. (2000), e em torno da teoria de sistemas adaptativos complexos de Juarrero (1999).

Mesmo concordando que estas tentativas de lidar com o problema foram importantes para o entendimento da causação descendente, tornando possível superar alguns problemas relativos à CD sincrônica (a qual, acreditamos, é a mais frutífera noção a buscar), apostamos que existem outros passos a serem tomados em direção a uma abordagem dinâmica da emergência, e esses passos devem ser dados levando em conta os problemas filosóficos, os quais não podem ser ignorados.

Um desses problemas envolve o apelo a abordagens neo-aristotélicas da causalidade, que, não importa o quanto atraente sejam, continuam tendo problemas para lidar com a CD. Neste cenário, a crítica de Hulswit (2006) é particularmente relevante, uma vez que ele aponta (e nós basicamente concordamos), que o conceito de CD é ‘vago’ em relação à natureza das causas e dos efeitos, e ‘confuso’ no que diz respeito ao significado de causação. Foi baseado nessa crítica, a qual consideramos pertinente, que apelamos para a idéia de que a causação não é a única fonte de mudança e novidade na natureza, e, assim, foi que consideramos outros tipos de determinação (não-causal) para facilitar o entendimento das relações entre os todos e suas partes.

Nós temos, então, quatro passos básicos em nosso argumento: primeiro, nós mostramos como a noção de CD é envolta por problemas filosóficos que não podem ser simplesmente ignorados e foram claramente expostos, entre outros, por Kim, não importa o quanto nós discordamos dele; em segundo, nós discutimos abordagens neo-aristotélicas para a CD como um

possível caminho para driblar esses problemas; terceiro, nós criticamos como a própria noção de causalidade e a *relata* causal estão envolvidas nessa perspectiva neo-aristotélica; e, finalmente, nós concluímos explicando nossa própria abordagem de determinação descendente, tentando ser claro sobre duas questões principais: quais são as coisas que se afirma que determinam e são determinadas num caso de determinação descendente? Qual o significado de determinar na determinação descendente? Respondendo de forma clara a estas duas questões, esperamos ter preparado o caminho para o nosso próximo trabalho, que irá incidir sobre os aspectos dinâmicos da emergência e causação descendente.

Gostaríamos de concluir esta resposta deixando clara uma questão central, mesmo ao custo de sermos repetitivos. Nós não tivemos nenhuma intenção de por em questão o papel que a noção de causação descendente desempenha na filosofia emergentista e nas ciências naturais. Mas é importante ressaltar que, mesmo que seja verdade que a rejeição da CD resultaria em problemas para nossa compreensão atual de sistemas complexos, isto não significa que devemos tomar esse conceito como verdade inquestionável, sem nos esforçarmos para lidar com os problemas filosóficos que aparecem. Nós demos muita atenção à estratégia filosófica de cuidadosamente seguirmos argumentando contra a CD, na tentativa de tornar claras algumas questões relacionadas a esta noção. Moreno, de fato, sugere que, em certos momentos, nós podemos ter colocado em questão alguns desses argumentos, tal como o argumento de Kim contra a CD. Nós não acreditamos, contudo, que podemos contornar os problemas em torno da idéia de CD apelando a conceitos tais como causação meta-eficiente como propõe Moreno.

Apesar das possibilidades em torno do conceito, os problemas existem e devem ser trabalhados. Verdade, nós não podemos argumentar a favor da determinação descendente apenas logicamente. Este é o motivo pelo qual apelamos à teoria da probabilidade como propensões popperianas. Nossa intenção foi colocar a ‘probabilidade no mundo’ ao explicarmos a determinação descendente como uma mudança na disposição que um sistema apresenta para instanciar um conjunto de processos devido à influência descendente do princípio geral organizador de nível superior. Uma característica importante nessa explicação é que um padrão organizacional de nível superior, interpretado como um princípio geral é o *determinante*, enquanto processos particulares de nível inferior são *determinados*. Essa é, em nossa opinião, o elemento central na tentativa de ir além da causação eficiente e evitar o problema do

bootstrapping que põe em risco a CD sincrônica. Está claro também, que não estamos lidando meramente com abstrações, mas, ao invés disso, com processos materiais.

Em resumo, nós insistimos que existem vantagens em falar sobre determinação descendente, ao invés de causalção, quando discutimos os vários problemas filosóficos relacionados à influência sincrônica do todo sobre suas partes. Este é um movimento freqüentemente feito na tentativa de entender outra relação mereológica, a realização física.

Realização física tem sido entendida como uma sincrônica relação determinativa não-causal, mesmo com todas as críticas, à causalção descendente e emergência, incluindo as do próprio Kim. Um movimento a favor da determinação traz não somente benefícios estratégicos, mas também clareza conceitual. Por exemplo, a formulação da determinação descendente em termos das propensões popperianas pode tornar mais clara a compreensão do que acontece quando um subsistema de nível superior restringe a dinâmica dos subsistemas de nível inferior.

Em nosso projeto de pesquisa sobre emergência e causalção descendente, estamos caminhando agora para a discussão sobre as contribuições dessas noções para o entendimento de sistemas biológicos complexos, e ambos a proposta de Moreno de construção de um caos naturalizado de restrições naturalizadas e a defesa de Collier de uma mudança de foco do lógico para condições dinâmicas na emergência serão fundamentais para nossos trabalhos futuros.

Referências

- Emmeche, C., Køppe, S., & Stjernfelt, F. (2000). Levels, Emergence and Three Versions of Downward Causation. In P. B. Andersen & C. Emmeche & N. O. Finnemann (Eds.), *Causation: Minds, Bodies and Matter* (pp. 13–34). Aarhus: Aarhus University Press.
- Hulswit, M. (2006). How Causal is Downward Causation? *Journal for General Philosophy of Science*, 36(2), 261-287.
- Juarrero, A. (1999). *Dynamics in Action: Intentional Behavior as a Complex System*. Cambridge: MIT Press.
- Kim, J. (1999). Making Sense of Emergence. *Philosophical Studies*, 95(1), 3-36.
- Kim, J. (2006). Emergence: Core ideas and issues. *Synthese*, 151(3), 547-559.
- Vieira, F. S., & El-Hani, C. N. (2008). Downward Determination: A Philosophical Step in the Way to a Dynamic Account of Emergence. *Cybernetics And Human Knowing*, 15(3-4), 146-147.

CAPÍTULO 3

DETERMINAÇÃO DESCENDENTE, METAFÍSICA DE PROCESSOS E AS RELAÇÕES TODO-PARTE EM SISTEMAS BIOLÓGICOS

Resumo:

O problema da causalção descendente é o problema de como um fenômeno de nível superior pode causar ou determinar ou ainda estruturar um fenômeno de nível inferior. Este conceito é central na literatura sobre emergência, e tem sido altamente debatido dentro de uma corrente filosófica importante, o pensamento emergentista. Contudo, a partir de 1990, o conceito passou a incorporar discussões em diversas áreas diferentes da filosofia, tais como, ciência cognitiva, teorias de auto-organização, teoria de sistemas, estudos de sistemas complexos, vida artificial, biologia evolutiva, etc. Nossa intenção neste artigo é propor que a substituição do conceito de causalção pelo de determinação pode facilitar a compreensão das relações todo-parte em sistemas complexos. Em nossa abordagem, consideraremos o papel heurístico que a determinação descendente pode desempenhar ao lidar com as relações entre níveis superiores e inferiores da organização em sistemas vivos, particularmente, oferecendo alguma contribuição para a construção de um conjunto de ferramentas para facilitar o entendimento dos sistemas biológicos (*e.g.*, sistema celular; redes metabólicas; sistema desenvolvimental; relações genótipo-fenótipo, sistema neuronal; sistema imunológico, ecossistemas, etc.), especialmente na área que tem sido denominada ‘biologia de sistemas’.

Palavras-chave: Emergência, Determinação descendente, Propensões, Restrições, Causalção descendente, Reduccionismo, Metafísica de processos, Redes Biológicas, Biologia de Sistemas.

Abstract:

The problem of downward causation is the problem of how a higher-level phenomenon can cause or determine or structure a lower-level phenomenon. This concept is central to the literature on emergence, and, has been highly debated in philosophical communities, namely, in emergentist program. However, since 1990, the concept began to incorporate discussions on various different areas of philosophy, such as cognitive science, theories of self-organization, systems theory, studies of complex systems, artificial life, evolutionary biology, etc. Our intention here is to propose that replacing the concept of causation by that of determination might play an important role in the understanding of whole-to-parts relationships in complex

systems. In our approach, we consider the role that the heuristic downward determination can play in dealing with the relationship between higher and lower levels of organization in living systems, particularly by providing some contribution to building a set of tools to facilitate the understanding of biological systems (*e.g.*, cellular system, metabolic networks, developmental systems, genotype-phenotype relationship, neuronal system, immune system, ecosystems, etc.), especially in the area that has been called 'systems biology'

Palavras-chave: Emergência, Determinação descendente, Propensões, Restrições, Causação descendente, Reduccionismo, Metafísica de processos, Redes Biológicas, Biologia de Sistemas.

1- Introdução

O problema da causação descendente¹ diz respeito ao modo como um fenômeno de nível superior – i.e., observado num sistema como um todo – pode causar ou determinar ou, ainda, estruturar um fenômeno de nível inferior – i.e, observado ao nível das partes do sistema. Este problema tem sido debatido há pelo menos trinta anos dentro de uma corrente filosófica influente no século XX, o pensamento emergentista. Na literatura a respeito das propriedades emergentes², encontramos muitos trabalhos sobre as relações todo-parte ou descendentes³. Vários autores têm proposto que sistemas complexos apresentam instâncias de causação descendente, afirmando que propriedades emergentes desses sistemas podem ser responsáveis por mudanças nas propriedades

¹ A expressão 'causação descendente' cunhada por Campbell (Campbell, 1974) para explicar a idéia de que o maior nível organizacional é caracterizado por princípios, similares às leis, que têm um efeito descendente sobre a dinâmica, a distribuição e a magnitude dos eventos de nível inferior e processos.

² *Propriedades emergentes* podem ser entendidas como *uma certa classe* de propriedades de nível superior que se relacionam de *uma certa maneira* à micro-estrutura de *uma classe de sistemas* (para maiores detalhes ver *e.g.*, El-Hani & Queiroz, 2005a; Stephan, 1998)

³ *e.g.*, Klee (1984); Blitz (1992); Beckermann et al. (1992) ; Stephan (1998; 1999; 2004; 2006; Vieira & El-Hani, in press); Kim (1997, 1999, 2006); O'Connor (1994); Baas & Emmeche (1997); Humphreys (1996; 1997a; 1997b); Emmeche et al. (1997); Emmeche (2000); Bedau (1997; 2003); Azzone (1998); Schröder (1998); El-Hani & Pereira (1999); Pihlström (1999; 2002); El-Hani & Emmeche (2000); Andersen et al. (2000); El-Hani & Videira (2001); El-Hani & Pihlström (2002); Symons (2002); Gillett (2002); Richardson & Stephan (2007). As propriedades emergentes e a causação descendente também têm sido tema de uma série de números especiais de periódicos, tais como *Philosophical Studies* (1999), *International Journal of Systems Science* (2000), *Grazer Philosophische Studien* (2002), *Principia* (2002), *Synthese* (2006), e *Cybernetics & Human Knowing* (2008).

de seus subsistemas ou componentes de nível inferior (Andersen et al., 2000; Campbell, 1974; El-Hani & Emmeche, 2000; Emmeche, Kørppe, & Stjernfelt, 2000; Stephan, 2002).

Contudo, alguns autores, especialmente Jaegwon Kim (1992; 1993; 1996; 1998; 1999; 2006), têm posto em dúvida se a causação descendente realmente possui uma natureza ontológica. Sendo o mundo fundamentalmente físico, como uma propriedade emergente pode ter eficácia causal? Se uma propriedade emergente desempenhar algum papel causal sobre seus constituintes, parece que um princípio físico bem aceito é violado, a saber, que o que acontece em nível de sistema é totalmente determinado pelo que acontece ao nível de suas partes componentes (e.g. moléculas, partículas, átomos).

Muitos filósofos e cientistas (incluindo os autores deste artigo) acreditam que a causação descendente pode cumprir uma função essencial no entendimento das redes biológicas e das relações genótipo-fenótipo, sendo um instrumento coerente e heurísticamente poderoso para lidar com as relações todo-parte⁴. Com o intuito de avançar trazer um pouco mais de clareza a discussão sobre causação descendente, muitos autores (Emmeche et al., 2000; Juarrero, 1999; Salthe, 1985; Ulanowicz, 1999; Van de Vijver, 1998) sugeriram que outros tipos de causalidade ou modos causais, diferentes do modo típico de compreender relações entre causas e efeitos na ciência moderna, a causação eficiente, são necessários para dar conta deste fenômeno. Em particular, foi proposto que a influência de sistemas como um todo sobre seus componentes pode ser tratada como um tipo de causação formal e funcional. Nós argumentamos recentemente, no entanto, que o entendimento adequado da causação descendente requer outros tipos de determinação, além da determinação causal, e não a postulação de outros tipos de causalidade (Vieira & El-Hani, 2008).

Nossa intenção neste artigo é propor que a substituição do conceito de causação pelo de determinação pode desempenhar um importante papel no entendimento das relações todo-parte em sistemas complexos. Mas, mais que isso, em acordo com Bickhard e Campbell (2004; in press; Bickhard & Campbell, 1996, 2000), nós argumentaremos que o problema da causação descendente também requer uma mudança metafísica mais profunda, a saber, de uma metafísica

⁴ e.g., Polanyi (1968); Campbell (1974); Salthe (1993); Ulanowicz (1999); El-Hani & Emmeche (2000); Thompson & Varela (2001); Strohman (2002); Bedau (2003); Boogerd et al. (2005); Korn (2005); Coffman (2006); Karsenti (2008); Rafelski & Marshall (2008); Soto et al. (2008); Vieira & El-Hani (2008);

de partículas para uma metafísica de processos. Por último, nós acreditamos que esta abordagem poderá oferecer alguma contribuição para a construção de um conjunto de ferramentas para facilitar o entendimento dos sistemas biológicos (e.g., sistema celular; redes metabólicas; sistema desenvolvimental; relações genótipo-fenótipo, sistema neuronal; sistema imunológico, ecossistemas, etc.), especialmente na área que tem sido denominada ‘biologia de sistemas’⁵.

2- Metafísica aristotélica e o problema da emergência (ou a impossibilidade do novo)

Heráclito de Éfeso (cerca de 540-570 A.C.), em seu livro “Sobre a Natureza”, descreve o mundo como um conjunto de forças opostas organizadas em rivalidade mútua, entrelaçadas em constante conflito. O fogo, segundo ele, é a mais mutável e efêmera dessas forças, sendo a base de tudo. Para ele, as coisas do mundo não seriam substâncias materiais de algum tipo, mas sim processos naturais, particularmente o fogo, e todas as coisas seriam produtos de seu próprio funcionamento (*puros tropai*) (Rescher, 1996). Para Heráclito, tudo está em fluxo, nada permanece parado. Nesse sentido, a estabilidade seria apenas uma ilusão, somente a mudança seria real (Juarrero & Rubino, 2008). Platão, por exemplo, comentou que Heráclito compara as coisas com a corrente de um rio – afirmando que não se pode banhar duas vezes na corrente de um mesmo rio (Rescher, 2000). Pois da segunda vez, ambos terão mudado, não será o mesmo homem e nem estará se banhando no mesmo o rio.

Por sua vez, Parmênides (cerca de 530-560 A.C.), defende a permanência e a ordem, argumenta que o universo era estático e imutável, não havendo lugar para mudança, desenvolvimento e evolução. Em comunhão com as idéias de Parmênides, o atomismo de Leucipo (cerca de 500-430 A.C.), Demócrito (cerca de 460-370 A.C.), e Epicuro (cerca de 341-270 A.C.) descreveu a natureza como composta por átomos inertes e imutáveis (Rescher, 2000). Mas foi Platão que, de forma persuasiva, levou adiante as idéias de Parmênides. Para ele, nosso mundo incerto e imperfeito seria apenas uma ilusão de mundo de formas perfeitas.

⁵ Para uma discussão sobre a área *biologia de sistemas* ver e.g., Cornish-Bowden & Cardenas (2005); Keller (2005); Kirschner (2005); O’Malley & Dupré (2005); Bruggeman & Westerhoff (2006); Conti et al. (2007); Trewawas (2006); Cain et al. (2008).

Um século após a morte de Heráclito, Aristóteles (384-322 a.C.), um pensador de visão mais ampla e sofisticada, observa que se dá o mesmo nome de *movimento* a processos muito distintos, desde o simples deslocamento de um corpo, ao mero aumento quantitativo de alguma coisa, até a modificação qualitativa de um ser vivo ou um novo nascimento. Para explicar cada movimento, defende ele, é preciso verificar primeiramente sua natureza.

Segundo Aristóteles, todas as coisas são dotadas de determinadas potencialidades. O movimento das coisas são potencialidades que estão se atualizando, *i.e.*, são possibilidades que estão se transformando em realidade. Através de seu conceito de *ato* e *potência*, ele evitou que o movimento fosse tratado apenas como uma ilusão desprezível, ou um simples aspecto superficial da realidade. Assim, atribuiu valor à mudança, de maneira que fosse reconhecida a transformação de uma matéria em outra, porém a ordem e imutabilidade continuaram sendo as fontes da realidade e verdade (Juarrero & Rubino, 2008).

A visão de Heráclito, na qual processos são fundamentais⁶, foi eficientemente solapada pelas idéias de Platão, Aristóteles e muitos outros que vieram depois, de sorte que a metafísica de partículas tem prevalecido no pensamento ocidental desde os tempos dos pré-socráticos.

Apesar de a metafísica aristotélica reconhecer a mudança, o padrão é a estabilidade, sendo toda mudança entendida como uma espécie de potencialidade preexistente na matéria. Nesses termos, nenhuma espécie de mudança qualitativa seria possível. Para Aristóteles, uma mudança genuína seria apenas o que a ciência moderna chama hoje de desenvolvimento, o desdobramento de alguma disposição pré-estabelecida (Juarrero & Rubino, 2008).

A noção de que uma característica ou fenômeno verdadeiramente novo possa emergir, deixada de lado por Aristóteles e por grande parte da ciência moderna, tem importantes conseqüências para o entendimento de sistemas dinâmicos complexos, particularmente no que tange às relações entre níveis e propriedade emergentes. A impossibilidade do surgimento de propriedades emergentes, associada à redução das explicações ao nível das partículas que

⁶ Apesar do domínio da metafísica de partículas no pensamento ocidental, a metafísica (ou filosofia) de processos é de fato uma bem definida e influente tendência de pensamento que pode ser mapeada na história da filosofia desde os tempos dos pré-socráticos. Seus principais expoentes foram Heraclitus, Leibniz, Bergson, Peirce e William James. Mais recentemente, podem ser incluídos Alfred North Whitehead e seus seguidores (Charles Hartshorne, Paul Weiss), e também outros filósofos do século XX, tais como os fundadores do Emergentismo Britânico Samuel Alexander e C. Lloyd Morgan, e Andrew Paul Ushenko (Ver Rescher, 1996; 2000; 2006).

compõem os sistemas, nega o status ontológico dos fenômenos de nível superior, de forma que as relações causais entre níveis de organização são apenas em um sentido: de baixo pra cima (*bottom-up*) (Juarrero & Rubino, 2008), jamais de cima para baixo (*top-down*).

3- O problema da causação descendente (CD)

O que está em jogo no problema da causação descendente⁷ é, mais precisamente, o que Kim (1999) chamou de ‘causação descendente reflexiva’, que tem lugar quando alguma atividade ou evento que envolve um todo tem uma influência causal sobre eventos que envolvem os componentes do próprio todo.

Kim tratou em várias publicações da importância da causação descendente para o pensamento emergentista (ver, p. ex., Kim, 1993). Mais recentemente, ele escreveu que “o emergentismo não pode viver sem a causação descendente, mas tampouco pode viver com ela. A causação descendente é a razão de ser da emergência, mas pode muito bem vir a ser o que, no fim das contas, a enfraquece” (Kim, 2006, p. 548). Mas por que o problema da CD é tão central ao emergentismo? E por que, paradoxalmente, a CD poderia, como sugere Kim, colocar em xeque o emergentismo? Se nós assumirmos, como Kim (1992; 1993; 1996), que, para alguma coisa ser real, esta deverá ter poderes causais (*causal powers*), o que tornaria possível atribuir realidade às propriedades emergentes, em vez de elas serem meramente epifenomenais – nós teremos que mostrar que estas propriedades trazem consigo novos poderes causais.

Os poderes causais das propriedades emergentes devem, entre outras coisas, ser irreduzíveis aos poderes causais de suas próprias condições basais. É consenso esperar que propriedades emergentes representem novidades adicionais à ontologia do mundo. Mas parece que isso só é possível se elas trouxerem consigo poderes causais genuinamente novos, que ultrapassem os poderes causais das condições basais de nível inferior das quais elas emergem. Particularmente, propriedades emergentes somente podem apresentar poderes causais mediante o

⁷ A expressão ‘causação descendente’ foi cunhada por Campbell (1974) para explicar a idéia de que o maior nível organizacional é caracterizado por princípios, similares a leis, que têm um efeito descendente sobre a dinâmica, a distribuição e a magnitude dos eventos e processos de nível inferior.

exercício de uma influência sobre eventos e fenômenos de nível inferior – ou seja, através da “causação descendente reflexiva”.

Uma preocupação a respeito da CD que exige solução é: a CD pode prover um meio de reconciliar as noções de irreduzibilidade e determinação sincrônica⁸? Vieira e El-Hani (2008) distinguem dois modos de irreduzibilidade das propriedades sistêmicas emergentes⁹. O primeiro, *como não-analisabilidade*: propriedades sistêmicas que não podem ser analisadas em termos do comportamento das partes do sistema são necessariamente irreduzíveis. O segundo, *como não-dedutibilidade do comportamento das partes de um sistema*: uma propriedade sistêmica será irreduzível se ela for determinada sincronicamente pelo comportamento específico que as partes apresentam no interior de um sistema de certo tipo, e este comportamento, por sua vez, não seguir do comportamento que as partes exibem quando isoladas, ou quando no interior de sistemas de tipos mais simples

Uma das distinções fundamentais que devem ser feitas em relação à CD é aquela entre suas formas sincrônica e diacrônica. Na CD sincrônica reflexiva, um todo e suas partes estão envolvidos em uma relação causal instantânea:

[Causação descendente sincrônica reflexiva] Num tempo t dado, um todo, W , apresenta a propriedade emergente M , com M emergindo da seguinte configuração de condições: W tem uma decomposição completa nas partes $a_1 \dots a_n$; cada parte tem a Propriedade P_i ; e a relação R é válida para a seqüência $a_1 \dots a_n$. Para algum a_j , o fato de que W apresenta M em t é causa de a_j exibir P_j em t (Kim, 1999, p. 29).

Este tipo de causação descendente se assemelha a um fenômeno bizarro de ‘bootstrapping’ metafísico (Symons, 2002). Por exemplo, como poderia um organismo que

⁸ Na *Determinação Sincrônica* as propriedades e disposições comportamentais de um sistema dependem de sua microestrutura, isto é, das propriedades de suas partes e sua organização, não podendo haver diferença nas propriedades sistêmicas sem que haja alguma diferença nas propriedades das partes do sistema e/ou em sua organização. Para uma discussão mais aprofundada ver (Stephan, 1998, 2004, 2006), ver também (El-Hani & Queiroz, 2005a, 2005b; Vieira & El-Hani, 2008).

⁹ Para uma discussão mais aprofundada ver Stephan (1998) e também El-Hani e Queiroz (2005b).

tivesse dada propriedade M num tempo t realmente causar uma propriedade P_j em um de seus constituintes no mesmo tempo t ? Ao atuar sobre uma parte da própria micro-estrutura através da qual é determinada sincronicamente, uma propriedade emergente estaria alterando sua própria condição basal. Mas isso não implicaria, portanto, que a identidade da própria propriedade emergente estaria, ela mesma, mudando, de maneira que se tornaria, no fim das contas, impossível compreender o que poderia estar acontecendo em tal caso? Toda a idéia da causação descendente sincrônica parece, à primeira vista, reduzir-se ao absurdo.

Esta circularidade provém do fato de que a causação, tal como tradicionalmente entendida, se realiza ao longo do tempo e envolve mudanças de propriedades que fazem a ‘auto-causação’ ser paradoxal – por exemplo, devido à sua transitividade. Levando em consideração que esta imagem é ancorada na interpretação habitual de ‘causas’ em termos de ‘causação eficiente’, um possível caminho para evitar o problema do ‘bootstrapping’ talvez seja interpretar a causação a partir de uma variedade maior de modos causais. Nós consideraremos esta possibilidade posteriormente. Por ora, vamos discutir uma outra maneira de solucionar o problema do ‘bootstrapping’.

Um pensador emergentista pode contrapor os problemas relacionados ao caso da CD sincrônica discutindo um segundo caso, no qual a relação todo-partes se realiza ao longo do tempo:

[Causação descendente diacrônica reflexiva] Como acima W apresenta a propriedade emergente M em t , e a_j exibe P_j em t . Nós consideramos agora o efeito causal do fato de que W apresenta M em t sobre a_j num *tempo posterior* $t + \Delta t$. Suponha, então, que fato de que W apresenta M em t é causa de a_j exibir P_j em $t + \Delta t$ (Kim, 1999, p. 29).

No caso da CD diacrônica, o problema da circularidade discutido anteriormente é posto de lado, mas às custas do aspecto reflexivo da relação causal em questão. A razão disto é apresentada por Kim em seu argumento da exclusão causal. Kim (1999, p. 24) deriva um princípio geral, ‘o princípio da causação descendente’, a partir de seu argumento sobre a causação inter- e intra-nível no contexto de um modelo em camadas (ou hierárquico) do mundo: Para causar a instanciação de qualquer propriedade, é preciso causar as condições basais das

quais ela deriva. Quando nós consideramos que qualquer propriedade de nível superior tem, de acordo com o conceito de superveniência, uma base de superveniência (ou realizadora) que é suficiente para causar sua instanciamento, o problema da exclusão causal entra em cena. Considerando que, para qualquer evento único, não pode haver mais do que uma única causa suficiente, se tanto uma propriedade de nível superior Q quanto sua base física de superveniência P forem causas suficientes de outra propriedade física P^* e, portanto, de sua propriedade superveniente Q^* , uma delas deverá ser excluída deste cenário causal. É razoável afirmar, então, que o papel de Q na causação de P^* (uma instância da CD) deve ser preenchido por P , de modo que, no final, temos o seguinte cenário: P causa P^* , e Q é superveniente a P , e Q^* é superveniente a P^* . Neste cenário, os processos causais no nível micro são entendidos como fundamentais e todos os eventos de causação-macro (inclusive a CD) são considerados supervenientes, ou dependentes, da micro-causação.

Em suma, casos de CD reflexiva diacrônica parecem ser facilmente reduzidas a relações causais supervenientes, nos quais seu aspecto de reflexividade é perdido. Este cenário representa um grave problema para a interpretação emergentista da causação descendente como um poder causal que pode mudar o comportamento de entidades e processos de nível inferior, uma vez que poderes causais instanciados em um nível superior são entendidos, tanto na causação de mesmo nível quanto na CD, como totalmente derivados de poderes causais no nível micro.

Dado o problema da exclusão causal, se um pensador emergentista quiser insistir na idéia de uma causação descendente irreduzível, uma violação do fechamento causal do físico acabará aparecendo. Isso se torna claro quando nos deparamos com afirmações como a de que a CD irreduzível seria uma causação de processos físicos por 'propriedades não-físicas' (ver Kim, 1996, pp. 232-233; Kim, 1998, p. 44).

A CD está estreitamente ligada à noção de irreduzibilidade como não-dedutibilidade do comportamento das partes do sistema. Além disso, ela oferece uma possível explicação de como uma propriedade emergente pode ser irreduzível e, mesmo assim, ainda depender e ser determinada pela microestrutura da qual emerge, como estabelecido pela noção de determinação sincrônica.

Em vista do que foi discutido acima, percebe-se que é necessário encarar seriamente as enormes dificuldades que cercam a noção de CD, servindo como base para que alguns

pensadores tratem esta noção como incoerente e paradoxal. Mais uma vez, podemos mencionar Kim, que repetidamente tem argumentado que a combinação da determinação ascendente (como na determinação sincrônica) com a causação descendente reflexiva pode ameaçar fortemente a coerência do emergentismo (Kim, 1992, 1999).

4- Metafísica de processos (ou a possibilidade do genuinamente novo)

Assumindo a metafísica aristotélica, novas partículas não podem emergir. Somente combinações ou novas formas de organização são possíveis. Dessa forma, se tudo é partícula (ou substância), então todo o poder causal termina por ser reduzido à partícula fundamental ou ao nível das substâncias. Logo, não haveria possibilidade de nenhum novo poder causal emergente.

Conforme discutimos anteriormente, Kim desenvolveu uma argumentação sofisticada nesse sentido, colocando em xeque a emergência. Segundo Bickhard (2004; 2008), o argumento de Kim representa um dilema, no sentido de que implica que ou o naturalismo é falso, ou a emergência genuína não existe:

- “• Se fenômenos de nível superior não são supervenientes ao nível inferior, então, temos uma espécie de dualismo e o naturalismo é falso.
- Se fenômenos de nível superior são supervenientes, então toda a causalidade reside na base de superveniência de nível mais inferior das partículas fundamentais, qualquer que seja ele. Em particular, não pode haver quaisquer poderes causas de nível superior que sejam emergentes. Toda a causalidade é localizada nas partículas fundamentais.” (Bickhard 2004, p.123).

Para Bickhard, o ponto central no argumento de Kim é que as partículas participam na organização, mas elas por si só não têm organização. Assim, o poder causal assumido por sua moldura teórica é algo sem organização. Ou dito de outra forma, a organização não poderia ter o status legítimo de poder causal. Para aceitarmos a possibilidade de que novos poderes causais

podem emergir em uma nova organização, argumenta ele, “precisamos quebrar o monopólio do poder causal que é assegurado por coisas que não têm organização” (Bickhard, 2004, p.123).

No entanto, a moldura teórica de partículas assumida por Kim pode ser considerada falsa por vários motivos. Primeiro, uma pura metafísica de partículas teria sérios problemas de coerência, já que “partículas de dimensão zero têm probabilidade zero de se encontrarem umas com as outras” (Bickhard, 2004, p.123). Segundo, ao que parece, a visão geralmente aceita hoje em dia é a de que o mundo não é constituído somente de partículas, mas também de campos em termos dos quais as partículas interagem. Assim, esses campos devem possuir poderes causais, e eles só podem mostrar esses poderes como consequência, em parte, da sua organização. Isto restaura a legitimidade da organização como um *locus* de causalidade. Por último, completa ele, a física contemporânea mostrou que não existem partículas elementares; ao invés disso, existem somente processos de diferentes escalas e complexidade. O mundo é constituído de campos quânticos, que são processos, possuindo, como qualquer campo (e quaisquer processos em geral), causalidade em virtude da sua organização (Bickhard, 2004, 2008; Bickhard & Campbell, 1996, 2000). Se tudo é processo, afirma ele, então todo poder causal está residente na organização desses processos. Logo, tudo que tenha poder causal está organizado, e possui determinado poder causal, fruto, entre outras coisas, de sua organização. Para ele, a organização não pode ser destituída como *locus* potencial de poder causal, a não ser que a causalidade fosse removida do mundo. Assim, conclui ele, a organização é um *locus* legítimo de poder causal:

“Organização diferente, incluindo aquela em níveis superiores de organização, pode ter poderes causas emergentes, novos, diferentes. A possibilidade da emergência é ubíqua nas novas organizações de processos.” (Bickhard, 2004, p. 124).

Por último, diz ele, uma vez que esteja claro que a emergência ocorreu, o argumento de Kim uma *reductio ad absurdum* da metafísica de partículas e substâncias. E depois arremata: “E ele arremata: “por outro lado, modelos aceitáveis de emergência devem ser construídos dentro de uma metafísica de processos”. (Bickhard, 2004, p. 124).

A partir desta perspectiva, inserida numa metafísica de processos, a mudança se torna o padrão e é a estabilidade que precisa ser explicada. Vieira e El-Hani (2008) sustentam que uma

moldura teórica para a compreensão de sistemas e fenômenos complexos, envolvendo idéias como auto-organização, emergência, redes complexas, fractais, biologia de sistemas etc., possa ser construída de modo mais proveitoso caso a estabilidade do mundo seja explicada em termos de relações dinâmicas entre eventos. E defendemos, assim como Bickhard, que esse tipo de explicação deve estar inserida numa metafísica de processos, i.e., numa tendência filosófica que trate processos como categorias ontológicas mais fundamentais do que entidades.

Um processo, segundo Nicholas Rescher, pode ser definido como “... um grupo coordenado de mudanças na aparência da realidade, uma família organizada de ocorrências que estão sistematicamente ligadas umas às outras, seja causal ou funcionalmente” (Rescher, 1996, p.38). Dar primazia ontológica a famílias de ocorrências coordenadas, organizadas, claramente contradiz a prioridade historicamente atribuída a entidades na maior parte do pensamento ocidental, muito influenciado pela filosofia aristotélica. Tal desacordo pode ser visto como parte da crítica do ‘paradigma da substância’ ou ‘mito da substância’ (Seibt, 1996), desenvolvida por pensadores tais como Alfred N. Whitehead, Charles S. Peirce, Charles Hartshorne, Paul Weiss, Samuel Alexander, Conway Lloyd Morgan, e Andrew Paul Ushenko (ver Rescher, 1996; Rescher, 2002).

Apelar a uma metafísica de processos não significa, necessariamente, o abandono da idéia de entidade. Somente significa que, em um mundo dinâmico, devemos ter sempre em mente que processos devem ser considerados mais fundamentais do que entidades, uma vez que “... coisas substanciais emergem no e do curso de mudanças do mundo” (Rescher, 1996, p.28). Dito de outra forma, entidades são somente feixes relativamente estáveis de processos, as quais emergem de processos e subsequente desvanecem em processos.

5- Da causação descendente à determinação descendente

Além do apelo a uma metafísica de processos para responder à suposta incoerência de combinar relações determinativas ascendentes e descendentes, conforme aponta Kim (Kim, 1993, 1996, 1999, 2006), consideramos que a influência de um sistema sobre seus componentes pode ser mais bem compreendida em termos de outros tipos de determinação, e não somente em termos de uma determinação causal (El-Hani & Queiroz, 2005a; Vieira & El-Hani, in press).

Hulswit (2006) argumenta que o significado atribuído ao termo "causação" em debates sobre a CD normalmente se refere a idéias mais próximas de "explicação" e "determinação" do que de "causação" - desde que entendamos causação no sentido intuitivo de 'produzir algo', isto é, no sentido de causação eficiente, tal como estabelecido na ciência moderna. Embora verbos geralmente usados para se referir à atividade causadora de um nível superior na CD, tais como 'restringir', 'organizar', 'estruturar', 'determinar' etc., possam ser entendidos como sendo relacionados a 'causar' (no sentido de 'produzir algo'), eles certamente não são equivalentes a 'causar' (Hulswit, 2006).

Isto pode ser visto como um resultado de um empobrecimento do significado da compreensão termo 'causa' na ciência moderna, decorrente do fato de que a física clássica avaliou criticamente, e, em última análise, negou certo número de teses relacionadas à filosofia aristotélica, muitas delas concernentes ao princípio da causalidade (El-Hani & Videira, 2001). Em última instância, só dois dos quatro modos causais aristotélicos, a causa eficiente e a final, vieram a ser incluídas no significado atribuído ao termo 'causa' na maior parte das línguas modernas. Sintomaticamente, a palavra grega traduzida como 'causa' (*archai*) nas obras de Aristóteles não significa 'causa' no sentido moderno (Lear, 1988; Ross, [1923]1995). Para Aristóteles, uma 'causa' não era somente um evento antecedente suficiente para produzir um efeito (como na noção atual de causa eficiente) ou o objetivo de determinada ação (como na causa final), mas a base ou o fundamento de algo. Em outras palavras, referir-se às *archai* de Aristóteles como 'causas' pode levar a equívocos importantes; tratam-se, antes, de 'princípios'. É nesse sentido que Aristóteles pôde conceber matéria e forma como tendo também a natureza de modos 'causais', i.e., seus modos causais material e formal. Logo, não é de surpreender que, se nos ativermos a nossas idéias intuitivas atuais sobre causação, os modos causais aristotélicos se mostram mais parecidos com modos de explicação do que com modos de causação. Aristóteles parecia estar pensando, sobretudo, acerca das bases ou dos fundamentos de nossa compreensão, enquanto refletia sobre os modos causais.

Outra crítica relevante ao valor atribuído à causação na ciência moderna pode ser encontrada no trabalho de Mario Bunge (1979). De acordo com sua visão, a causação não é a única fonte de mudança e novidade na natureza. Ele trata a determinação como uma categoria mais ampla do que causação, e afirma que a regularidade do mundo deriva dos processos de

determinação que operam nele. A causação é, de acordo com ele, apenas um tipo de determinação, e a ciência contemporânea deve entender, pois, que a determinação não se limita a simples relações de causa-e-efeito. Para ilustrar quão inadequado é o apelo à causação como único princípio de determinação, Bunge considera a equação bem conhecida de Einstein, $E = mc^2$. Esta equação mostra, por exemplo, que uma perda de energia radiante por um átomo conduz a uma perda associada de massa. Neste caso, argumenta Bunge, existe determinação, mas não causação, pois não se tem um evento produzindo outro, ou até mesmo uma relação entre dois eventos. Em vez disso, o que se vê neste caso é uma relação entre duas propriedades de um sistema, massa e energia. Em razão da sua idéia de que a determinação não se limita à causação, Bunge distingue algumas categorias de determinação: autodeterminação quantitativa, determinação causal, interação (tratada como causação recíproca ou determinação funcional interativa), determinação mecânica, determinação estatística, determinação estrutural (ou holística), determinação teleológica e determinação dialética. Embora nenhuma categoria bem definida de determinação possa ser reduzida a outra, Bunge pensa nessas categorias como constituindo hierarquias de tipos de determinação, de tal maneira que nenhum tipo de determinação pode ser encontrado isoladamente, em alguma forma pura, exceto em casos ideais. Não há dúvidas de que existem problemas com este esquema, uma vez que muitos dos tipos de determinação que ele descreve são tão profundamente entrelaçados que se torna difícil separá-los em categorias distintas. Consideremos, por exemplo, a determinação mecânica, descrita como uma “combinação peculiar de autodeterminação puramente quantitativa [...] e ação recíproca, que pode freqüentemente ser polarizada em causa e efeito” (Bunge, 1979, p. 20). É evidente que os tipos de determinação distinguidos por Bunge se entrelaçam nesta explicação de uma maneira que torna difícil dizer, afinal, o que os diferencia.

Como Hulswit (2006) salientou, a principal diferença entre ‘determinação’ e ‘causação’ é que a primeira envolve, principalmente, *necessidade* (no sentido de que ‘não poderia ser de outra forma’, ou, colocando em termos mais consistentes com eventos probabilísticos, ‘não tenderia a ser de outra forma’), enquanto que a última envolve primariamente a idéia de ‘produzir algo’. Assim, podemos considerar três aspectos: primeiro, que a maior parte dos debates acerca da CD é realmente sobre determinação ou explicação, e não sobre causação; segundo, que causas eficientes são tipicamente eventos, fatos ou substâncias individuais, e ‘causas descendentes’, por

sua vez, são melhor interpretadas (em nossa visão) como princípios organizacionais gerais, similares a leis (*law-like*); e, terceiro, que um movimento similar ao que estamos propondo aqui foi feito no caso de outra relação determinativa, mas mereológica, a saber, a realização física (e, conseqüentemente, a superveniência), que não pode ser adequadamente tratada como ‘causal’ (ver Kim 1993, 1996).

Podemos perceber, então, como pode ser adequado defender que é melhor se referir a uma “determinação descendente” (formal), ao invés de uma “causação descendente”: “... a chamada ‘causação formal descendente’ não é nem uma espécie de *causação* descendente, nem de *explicação* descendente, mas [...] é, acima de tudo, uma espécie de *determinação descendente*” (Hulswit, 2006). Em vez de propor que o entendimento da influência de sistemas como um todo sobre suas partes exige outras categorias causais¹⁰, além da causação eficiente, nós podemos alegar, antes, que esse entendimento requer outros tipos de determinação, além da causação. Causas não são, de fato, os únicos tipos de fatores determinantes no mundo. Por isso, a introdução de relações determinativas não-causais é amplamente aceita em debates filosóficos atuais, como naqueles sobre superveniência.

Argumentamos, pois, que a determinação descendente (DD) não possui uma natureza causal, não diz respeito a eventos produtivos, os quais provocam um efeito. Como ponto de partida para compreender este argumento, podemos tomar a idéia de que as relações entre os componentes no nível inferior de certo sistema, o qual apresenta certo tipo de estrutura, são restringidas pela influência regulatória, organizacional, dessa estrutura. A partir desta idéia, podemos argumentar que existe uma relação determinativa entre um princípio organizacional existente no nível superior do sistema e processos particulares de nível inferior, ou seja, ao nível de seus componentes. Entretanto, a fim de dar lugar a relações estatísticas entre princípios organizacionais e processos particulares, trataremos esta influência determinativa como uma relação de propensão: se algumas entidades de nível inferior *a, b, c..., n* se encontram sob influência de um princípio organizador geral *W*, aquelas entidades apresentarão *uma tendência a*

¹⁰ Alguns autores tomam os modos causais aristotélicos como inspiração para pensar em processos de causalidade biológica e em outros sistemas complexos, como, por exemplo, Salthe (1985; 1993), Riedl (1997), Ulanowicz (Ulanowicz, 1999; 2004), Emmeche et al. (2000), El-Hani & Emmeche (2000), Van de Vijver et al. (1998).

se comportarem de certas maneiras específicas, e, desse modo, de realizar um conjunto de processos específicos. A influência determinativa, neste caso, é do princípio geral de organização, no nível superior do sistema, sobre processos particulares de nível inferior e também pode ser formulada nos seguintes termos: se a, b, c, \dots, n estão sob influência de W , então elas apresentarão uma *tendência*, uma *disposição* de instanciar um processo p ou um conjunto de processos $\{P\}$.

Ao tratarmos a DD como uma relação de propensão, podemos apelar à teoria da probabilidade como propensões proposta por Popper em 1957 e desenvolvida ao longo de sua vida, em uma série de artigos e livros (Popper, 1959, 1983, 1990). A teoria popperiana das propensões coloca a probabilidade no mundo¹¹, ao invés de limitá-la às nossas mentes ou abstrações lógicas:

“...probabilidades devem ser ‘realidades físicas’- elas devem ser propensões físicas, propriedades relacionais abstratas da situação física, como forças newtonianas, e ‘reais’, não somente no sentido de que elas podem influenciar resultados experimentais, mas também no sentido de que elas podem, sob certas circunstâncias (coerência), interferir, i.e. interagir, uma nas outras” (Popper, 1959, p.28).

A probabilidade, nesses termos, passa a ser encarada como uma propensão, ou disposição, ou tendência de que um determinado tipo de situação física produza certo tipo de resultado ou um limite de frequência relativa de tal resultado. Como todas as propriedades disposicionais, as propensões exibem certa similaridade com as potencialidades aristotélicas. Entretanto, enquanto no sistema aristotélico a disposição é pensada como uma propriedade inerente das coisas, na teoria das propensões, nada é inerente ao objeto, e propensões são, antes,

¹¹ Popper precisava de uma teoria objetiva da probabilidade para dar conta da probabilidade aplicada a eventos únicos. Em seu livro *A Lógica da Pesquisa Científica* (Popper, [1959] 2004), ele defendeu uma versão da teoria frequentista para tratar deste problema, mas depois percebeu que esta teoria era inadequada e que uma nova teoria objetiva da probabilidade precisava ser introduzida. A teoria frequentista não poderia dizer nada sobre eventos únicos. Apenas a teoria subjetivista da probabilidade estava disponível para dar conta desses eventos. Entretanto, um objetivista como Popper não poderia se contentar com uma teoria subjetivista da probabilidade (Freire Jr, 2004; Gillies, 2000). Daí seu movimento rumo à proposição de uma teoria das propensões.

propriedades relacionais (Popper 1990). Assim, as propensões não devem ser vistas como propriedades inerentes a um objeto, mas sim como inerentes a uma situação, da qual o objeto faz parte:

“em física, propensões são propriedades de toda a situação física e, por vezes, mesmo da forma particular pela qual a situação se transforma. O mesmo se aplica às propensões na química, bioquímica e biologia” (Popper 1990, p. 29).

Assim como um composto químico recém-sintetizado gera novas possibilidades de formar novos compostos, novas propensões criam sempre novas possibilidades e essas novas possibilidades tendem a se concretizar de uma maneira que cria, mais uma vez, novas possibilidades (Popper, 1990). Ulanowicz (1999) argumenta que uma das conclusões que podemos tirar dessa idéia é que, uma vez que propensões ocorrem justapostas, interferindo umas nas outras, de maneira que novas possibilidades tendem a surgir, nós devemos adicionar “... restrições para ‘organizar’ a configuração mais indeterminada.” (p. 133).

Para Popper, a causação descendente pode existir somente se os componentes de nível inferior não estiverem completamente determinados. No entanto, indeterminismo por si só não seria suficiente para possibilitar a causação descendente. Os componentes de nível inferior devem estar abertos (propensos) à ação do nível superior (Corcó, 2006).

É heurísticamente poderoso, em nossa visão, formular a idéia de determinação descendente a partir de uma abordagem de propensões. Tal formulação é reforçada através de sua conexão com a tese de restrições de-cima-para-baixo (*top-down*) de Juarrero, a qual diz que a influência do todo sobre suas partes consiste em modificar a probabilidade prévia de comportamento dos componentes:

“A organização do nível superior é a mudança na probabilidade dos eventos de nível inferior. As causas descendentes causam mediante a mudança da probabilidade prévia do comportamento dos componentes” (Juarrero, 1999, p. 146).

A diferença entre as determinações causal e descendente – como entendida aqui – é marcante: enquanto a primeira é um evento *produtivo*, o qual produz efeitos, a segunda é um evento *subtrativo*, o qual restringe as possibilidades de comportamento dos componentes de um sistema.

As restrições de-cima-para-baixo (*top-down*) impostas pelo princípio organizador *W* sobre os componentes são limitadoras no sentido de que restringem as possibilidades de comportamento dos componentes, e, dessa forma, eliminam possíveis efeitos, ao invés de produzir novos. Assim, tornam possível que um sistema como um todo exiba um conjunto aumentado de capacidades, devido à coordenação do comportamento de suas partes. Mas restrições são também criativas, num sentido funcional, uma vez que permitem que os componentes participem eficientemente como membros de um conjunto de processos, através da canalização (*channeling*) ou do direcionamento de seu comportamento para uma coleção particular de atividades. Como componentes de um sistema maior, as partes vêm a desempenhar novos papéis funcionais (Juarrero, 2000).

6- Determinação descendente em redes biológicas: o princípio que falta na biologia de sistemas

Os avanços recentes na biologia molecular, genômica e proteômica (entre outras –ômicas) têm contribuído para a redescoberta e adoção de uma nova perspectiva sistêmica aplicada às investigações biológicas, no que tem sido chamado de ‘*biologia de sistemas*’.¹² A *biologia de sistemas* é frequentemente apresentada como uma abordagem não-reducionista, a qual busca o entendimento das relações dinâmicas dos componentes dos sistemas biológicos, particularmente os de nível celular (Barabasi & Oltvai, 2004; Chong & Ray, 2002; Kitano, 2002; McCarthy, 2004; Nature, 2005; Stephanopoulos, Alper, & Moxley, 2004). Muitos pesquisadores da genômica parecem ansiosos em declarar que superaram certas ‘falácias’, como o determinismo e

¹² Embora essa proposta de biologia de sistemas tenha sido desenvolvida em resposta aos avanços pós-genômica, tal apelo sistêmico remete aos antigos teóricos de sistemas, tais como Norbert Wiener (1965), W. Ross Ashby (1956), Ludwig von Bertalanffy (1950; 1969), Nicolas Rashevsky (1954), Robert Rosen (Rosen, 1970) e Humberto Maturana e Francisco Varela (1980).

reducionismo (Venter & al., 2001), apesar de uma espécie de ‘determinismo envergonhado’ continuar a existir em seus escritos (Leite, 2006).

Embora pareça intuitivamente interessante olhar para os problemas biológicos a partir de uma perspectiva mais ampla, o atual entusiasmo com a biologia de sistemas desperta uma série de questões. Até o momento, não está claro qual é o real significado de ‘*biologia de sistemas*’ (Cain et al., 2008; Keller, 2005) e pode-se, ainda, questionar se verdadeiramente existe, como muitos defendem, tal apelo não-reducionista nesta perspectiva (Bruni, 2003; Cornish-Bowden & Cardenas, 2005; Trewavas, 2006). E, ante a pressa em apontar a abordagem reducionista como ultrapassada e superada, é necessário avaliar se realmente podemos abdicar completamente dessa estratégia visivelmente bem sucedida na ciência, e, compreendidos seus limites, quais são as alternativas ao reducionismo que devemos trazer à baila.

Este seria um questionamento nos mesmos termos em que a ‘ecologia de sistemas’ foi anteriormente acusada de não passar de uma abordagem reducionista em grande escala (e.g. Bergandi, 1995; Levins & Lewontin, 1980). Quando alguém lê, por exemplo, que “um objetivo chave da pesquisa biomédica pós-genômica é catalogar sistematicamente todas as moléculas e suas interações dentro de uma célula viva” (Barabasi & Oltvai, 2004, p. 101), uma das suspeitas que vêm à mente é que este apelo, ao invés de ser não-reducionista, mais se parece com um reducionismo em grande escala, no sentido de que, não obstante a grande quantidade de dados coletados, mantém-se uma orientação epistemológica e metodológica que dá prioridade à compreensão das propriedades e relações das partes dos sistemas, em detrimento de seu comportamento global. E ao lermos, na seqüência do mesmo argumento, que “avanços rápidos na biologia de redes indicam que as redes celulares são governadas por leis universais” (*ibid., id.*), uma sensação de confusão é inevitável: se redes celulares são realmente governadas por tais leis, por que seria necessário catalogar todas as moléculas e suas interações? Talvez fosse o caso de buscar outras abordagens sistêmicas que possam, de forma mais eficiente (e barata), explicar como as redes celulares funcionam, mediante a elucidação destas leis gerais.

Contudo, parece claro que a atual avalanche de apelos a uma abordagem de ‘*biologia de sistemas*’ envolve ao menos uma tensão entre abordagens anteriores da biologia molecular, que se mostravam mais reducionistas, e a tendência atual de elevar o nível da análise de sistemas celulares de volta ao nível em que, de fato, os fenômenos celulares emergem. Mesmo assim, não

está claro se este movimento na biologia molecular e genômica pode ser realmente encarado como um deslocamento de um ‘reducionismo’ para uma ‘biologia holística’, ou, como escrevem (Chong & Ray, 2002), ‘*whole-istic*’. De qualquer sorte, não se pode negar que um movimento num sentido ‘menos reducionista’ está ocorrendo nesses domínios, ainda que não seja muito clara, no presente, sua orientação epistemológica e metodológica e seu alcance.

Em artigo recente, O’Malley e Dupré (2005) argumentam que existem dois tipos de biólogos de sistemas envolvidos nesse novo programa de pesquisa (biologia de sistemas), *pragmática de sistemas* e *teoria de sistemas*. Para os primeiros, genes e genomas continuam tendo certa prioridade causal e informacional sobre outros níveis moleculares, enquanto, para os segundos, os genomas são meramente constituem alguns dos componentes dos quais propriedades de nível superior dependem. Segundo eles, o objetivo da investigação *teoria de sistemas* são processos e propriedades de nível superior, ao invés de fenômenos moleculares de nível inferior.

Eles argumentam que ambos os tipos de biólogos de sistemas têm mostrado que, quando certos componentes se juntam e formam um sistema, eles se envolvem em novos comportamentos e produzem novos fenômenos através das restrições impostas pelo próprio sistema aos seus componentes. No entanto, afirmam eles, nenhum dos dois tem sido capaz de responder à pergunta, que para eles é crucial à ‘*biologia de sistemas*’: “como as unidades biológicas individuais e seus comportamentos são alterados, controlados ou restringidos ao tornarem-se componentes do sistema?” (p. 1273).

Consideramos que a tese de determinação descendente ancorada numa metafísica de processos pode contribuir significativamente para a construção de uma resposta à questão levantada por O’Malley e Dupré, que desempenha papel central numa biologia de sistemas que segue a orientação *teoria de sistemas*. Afinal, nesta orientação, um processo de determinação descendente está sendo claramente postulado quando se considera a emergência de novos comportamentos e fenômenos mediante as restrições impostas pelo sistema aos seus componentes. Ou dito de outra maneira, na DD, as restrições de-cima-para-baixo (*top-down*) restringem as possibilidades de comportamento dos componentes, mas ao mesmo tempo, num sentido funcional, permitem que os componentes exibam novos papéis participando eficientemente como membros de um conjunto de processos.

Strohman (2002) argumenta a favor de uma mudança da visão determinística genética, na qual características complexas são explicadas como se fossem causadas unicamente por genes, para uma visão mais sistêmica, em que tais características são explicadas como “entidades complexas dependentes do contexto às quais nossos genes fazem uma contribuição necessária, mas apenas parcial” (p. 701). Nesta última visão, o fenótipo é entendido como sendo controlado por “redes auto-organizadoras legiformes (lawful self-organizing networks) que apresentam uma dinâmica global, ao nível do sistema (system-wide dynamics)” (Strohman, 2002, p. 701). Isso nos leva a enfatizar, mais uma vez, que, se tais redes obedecem a certas regularidades legiformes, uma abordagem reducionista de grande escala não seria a única ou nem mesmo a melhor alternativa para seu estudo. Strohman enfatiza o papel da análise do controle metabólico no estudo de fenótipos complexos, particularmente de doenças, e, por conseguinte, no desenvolvimento de novos tratamentos. Ele ainda critica o foco principal, e muitas vezes exclusivo, sobre a investigação baseada em genes e proteínas na pesquisa de novos tratamentos e argumenta em prol de uma abordagem da natureza das relações genótipo-fenótipo na qual os genes e os sistemas dinâmicos estejam em pé de igualdade (Strohman, 2002).

Strohman também afirma que “biólogos moleculares descobriram a profunda complexidade da relação genótipo-fenótipo, mas são incapazes de explicá-la: algo está faltando” (2002, p. 701). Ele segue alegando que o elemento que falta para ocupar a lacuna entre genótipo e fenótipo pode ser encontrada na noção de ‘condições de contorno’ de Polanyi (1968), sintomaticamente um conceito central no tratamento da DD. Em biologia de sistemas, condições de contorno são conceituadas como níveis de restrições ou restrições de controle – novamente, um conceito abordado no conceito de DD. Estas restrições de controle são encontradas em níveis de regulação, muito deles acima do nível do genoma. A regulação pode ser tratada como uma influência de-cima-para-baixo (*top-down*) de um sistema sobre seus componentes. Esta regulação pode, por sua vez, ser concebida em termos das condições de contorno para o funcionamento das entidades e dos processos de nível inferior (Salthe, 1985). O papel da regulação em sistemas vivos pode ser ilustrado pela dependência de contexto da função gênica. As diferenças de organização corporal e de complexidade dos animais, por exemplo, estão relacionadas sobretudo a alterações na regulação temporal e espacial dos padrões de expressão

gênica (Carroll, Grenier, & Weatherbee, 2005), e não tanto à evolução dos próprios genes, como mostram as comparações de seqüências de diversos genomas animais.

Peltonen e McKusick (2001) alegam que uma mudança do foco da ação gênica para uma ênfase sobre a regulação gênica é uma das características necessárias para uma eventual mudança de paradigma na biologia molecular e genética atuais. Já Keller (2000) aponta que as sementes dessa mudança surgiram há muito tempo, quando o modelo de regulação gênica proposto por Jacob e Monod focou na idéia de ativação gênica, ao invés da ação gênica. Seja como for, a regulação é um fenômeno que envolve uma influência de processos de níveis superior sobre processos moleculares, tais como transcrição, emenda ou *splicing* de RNA, tradução etc., i.e., ela envolve algo que ainda não está claramente concebido no pensamento biológico atual, qual seja, a determinação descendente. O tempo e lugar em que dado conjunto de genes é ativado ou não depende fundamentalmente da regulação descendente, e esta regulação é algo a que os genes estão submetidos, e não algo que os genes fazem, comandam, controlam ou programam.

Gostaríamos de salientar aqui o papel de uma adequada abordagem teórico-filosófica da natureza das redes biológicas. Na medida em que estas redes estão sujeitas a regularidades legiformes, tais regularidades naturalmente se tornam um alvo chave da investigação. Estas regularidades estão relacionadas com processos auto-organizadores nestas redes e com a influência da dinâmica global do sistema sobre seus componentes, sendo que esta última, precisamente, é a questão central na DD. Na progressão do genótipo ao fenótipo, muitos níveis de controle são adicionados, e uma série de importantes transições pode ser identificada: do genoma ao transcriptoma; do transcriptoma ao proteoma; do proteoma às redes ou aos sistemas dinâmicos; dos sistemas dinâmicos ao fenótipo (Strohman, 2002). É aqui que entra em cena o elemento ausente percebido por Strohman: “cada nível de controle é definido por um sistema dinâmico de proteínas auto-organizadoras (*self-organizing proteins*), cujo produto é governado por leis que ainda são pouco compreendidas” (Strohman, 2002, p. 701). Nós acreditamos que o entendimento das redes biológicas não pode resultar simplesmente de exaustivas coletas de dados em grande escala, como tem sido típica e indutivamente tentado, mas exige também uma clara formulação dos padrões que regem a dinâmica global sistêmica destas redes.

Karl Popper via os organismos como sistemas hierárquicos de controle flexível, sendo que o nível superior possui certo grau de controle sobre os componentes de nível inferior. Dessa maneira, é possível afirmar que sistemas biológicos controlam sistemas físico-químicos, e nisto consiste a determinação descendente. No entanto, este controle é flexível, uma vez que há retroalimentação entre o sistema controlado e o que controla. Dessa forma, a causação (ou determinação, como preferimos chamar) ascendente também tem seu lugar. Assim, os sistemas físico-químicos também afetam, é claro, os biológicos. Para Popper, uma vez que a causação descendente (ou determinação descendente) existe, nós não podemos esperar encontrar uma teoria da vida aceitável tratando apenas do nível físico-químico (Popper & Eccles, 1984). Assim, não devemos esperar reduzir a vida a uma teoria físico-química, ou seja, a biologia pode ser parcial, mas não totalmente redutível.

Nós acreditamos que o caminho para uma abordagem genuinamente sistêmica na biologia de sistemas passa, entre outras coisas, pelo entendimento de células, organismos e comunidades como processos dinâmicos hierárquicos. Tal abordagem, em nossa visão, deve primar pela busca de padrões e princípios organizacionais, como os apresentados na noção de determinação descendente em termos das propensões popperianas.

7- Referências

- Andersen, P. B., Emmeche, C., Finnemann, N. O., & Christiansen, P. V. (2000). *Downward causation: minds, bodies and matter*. Aarhus: Aarhus Univ. Press.
- Ashby, W. R. (1956). *An introduction to cybernetics*. London: Chapman & Hall.
- Azzone, G. F. (1998). The cement of medical thought. Evolutionary emergence and downward causation. *Hist Philos Life Sci*, 20(2), 163-187.
- Baas, N. A., & Emmeche, C. (1997). On Emergence and Explanation. *Intellectica*, 25, 67-83.
- Barabasi, A. L., & Oltvai, Z. N. (2004). Network biology: understanding the cell's functional organization. *Nature Reviews Genetics*, 5(2), 101-113.
- Beckermann, A., Flohr, H., & Kim, J. (1992). *Emergence Or Reduction?: Essays on the Prospects of Nonreductive Physicalism*. Berlin: Walter de Gruyter.
- Bedau, M. A. (1997). Weak Emergence. *Noûs*, 31(11), 375-399.
- Bedau, M. A. (2003). Artificial life: organization, adaptation and complexity from the bottom up. *TRENDS in Cognitive Sciences*, 7(11), 505-512.

- Bergandi, D. (1995). "Reductionist holism": an oxymoron or a philosophical chimera of EP Odum's systems ecology. *Ludus Vitalis*(5), 145-180.
- Bickhard, M. H. (2004). Process and Emergence: Normative Function and Representation. *Axiomathes*, 14(1), 121-155.
- Bickhard, M. H. (2008). Emergence: Process Organization, not Particle Configuration. *Cybernetics And Human Knowing*, 15(3-4), 57-63.
- Bickhard, M. H. (in press). Emergence: Process Organization, not Particle Configuration. *Cybernetics And Human Knowing*, 15(3-4), 57-63.
- Bickhard, M. H., & Campbell, D. T. (1996). Emergence. In P. B. Andersen & C. Emmeche & N. O. Finnemann (Eds.), *Causation: Minds, Bodies and Matter* (pp. 323-328). Aarhus: Aarhus University Pres.
- Bickhard, M. H., & Campbell, D. T. (2000). Emergence. In P. B. Andersen & C. Emmeche & N. O. Finnemann (Eds.), *Causation: Minds, Bodies and Matter* (pp. 323-328). Aarhus: Aarhus University Pres.
- Blitz, D. (1992). *Emergent Evolution: Qualitative Novelty and the Levels of Reality*. Dordrecht: Kluwer Academic Pub.
- Boogerd, F. C., Bruggeman, F. J., Richardson, R. C., Stephan, A., & Westerhoff, H. V. (2005). Emergence and Its Place in Nature: A Case Study of Biochemical Networks. *Synthese*, 145(1), 131-164.
- Bruggeman, F. J., & Westerhoff, H. V. (2006). The nature of systems biology. *TRENDS in Microbiology*, 15(1), 45-50.
- Bruni, L. E. (2003). *A sign-theoretic approach to biotechnology*. University of Copenhagen Copenhagen.
- Bunge, M. (1979). *Causality and Modern Science* (Third ed.). New York: Dover Publications.
- Cain, C. J., Conte, D. A., García-Ojeda, M. E., Daglio, L. E., Johnson, L., Lau, E. H., Manilay, J. O., Phillips, J. B., Rogers, N. S., Stolberg, S. E., Swift, H. F., & Dawson, M. N. (2008). What Systems Biology Is (Not, Yet). *Science*, 320, 1013-1014.
- Campbell, D. T. (1974). Downward causation in hierarchically organized biological systems. In F. Ayala & T. Dobzhansky (Eds.), *Studies in the philosophy of biology and related problems* (pp. 179-186). Berkeley: University of California Press.
- Carroll, S. B., Grenier, J. K., & Weatherbee, S. D. (2005). *From DNA to Diversity: Molecular Genetics and the Evolution of Animal Design*. Oxford: Blackwell Publishers.
- Chong, L., & Ray, L. B. (2002). Whole-istic Biology. *Science*, 295(5560), 1661-1661.
- Coffman, J. A. (2006). Developmental ascendancy: From bottom-up to top-down control. *Biological Theory*, 1(2), 165-178.
- Conti, F., Valerio, M. C., Zbilut, J. P., & Giuliani, A. (2007). Will systems biology offer new holistic paradigms to life sciences? *Syst Synth Biol*, 1, 161-165.
- Corcó, J. (2006). Biology: The emergent character of life. In I. J. K. M. D. Miller (Ed.), *Karl Popper: A Centenary Assessment Volume III: Science*. (Vol. 3, pp. 123-130). Aldershot: Ashgate
- Cornish-Bowden, A., & Cardenas, M. L. (2005). Systems biology may work when we learn to understand the parts in terms of the whole. *Biochemical Society Transactions*, 33(3), 516-519.

- El-Hani, C. N., & Emmeche, C. (2000). On some theoretical grounds for an organism-centered biology: Property emergence, supervenience, and downward causation. *Theory in Biosciences*, 119(3), 234-275.
- El-Hani, C. N., & Pereira, A. M. (1999). Understanding biological causation. In V. G. Hardcastle (Ed.), *Where Biology Meets Psychology: Philosophical Essays* (pp. 333-356). Cambridge: MIT Press.
- El-Hani, C. N., & Pihlström, S. (2002). Emergence Theories and Pragmatic Realism. *Essays in Philosophy*, 3(2).
- El-Hani, C. N., & Queiroz, J. (2005a). Downward Determination. *Abstracta*, 1(2), 162-192.
- El-Hani, C. N., & Queiroz, J. (2005b). Modos de irredutibilidade das propriedades emergentes. *Scientiae Studia*, 3(1), 9-41.
- El-Hani, C. N., & Videira, A. A. P. (2001). Causação Descendente, Emergência de Propriedades e Modos Causais Aristotélicos. *Theoria*, 16(2), 301-329.
- Emmeche, C., Køppe, S., & Stjernfelt, F. (1997). Explaining Emergence: Towards an Ontology of Levels. *Journal for General Philosophy of Science*, 28(1), 83-117.
- Emmeche, C., Køppe, S., & Stjernfelt, F. (2000). Levels, Emergence and Three Versions of Downward Causation. In P. B. Andersen & C. Emmeche & N. O. Finnemann (Eds.), *Causation: Minds, Bodies and Matter* (pp. 13-34). Aarhus: Aarhus University Press.
- Freire Jr, O. (2004). Popper, Probabilidade e Mecânica Quântica. *Episteme*, 18, 103-127.
- Gillett, C. (2002). Strong emergence as a defense of non-reductive physicalism: A physicalist metaphysics for 'downward' determination'. *Principia*, 6(1), 89-120.
- Gillies, D. (2000). *Philosophical Theories of Probability*. London and New York: Routledge.
- Hulswit, M. (2006). How Causal is Downward Causation? *Journal for General Philosophy of Science*, 36(2), 261-287.
- Humphreys, P. (1996). Aspects of Emergence. *Philosophical Topics*, 24(1), 53-70.
- Humphreys, P. (1997a). Emergence, Not Supervenience. *Philosophy of Science*, 64(proceedings), S337-S345.
- Humphreys, P. (1997b). How Properties Emerge. *Philosophy of Science*, 64(1), 1.
- Juarrero, A. (1999). *Dynamics in Action: Intentional Behavior as a Complex System*. Cambridge: MIT Press.
- Juarrero, A. (2000). Dynamics in Action: Intentional Behavior as a Complex System. *Emergence*, 2(2), 24-57.
- Juarrero, A., & Rubino, C. A. (2008). Introduction. In A. Juarrero & C. A. Rubino (Eds.), *Emergence, Complexity, and Self-Organization: Precursors and Prototypes* (Vol. 4). Goodyear: ISCE Publishing.
- Karsenti, E. (2008). Self-organization in cell biology: a brief history. *Nat Rev Mol Cell Biol*, 9(3), 255-262.
- Keller, E. F. (2000). *The Century of the Gene*. Cambridge: Harvard University Press.
- Keller, E. F. (2005). The century beyond the gene. *Journal of Biosciences*, 30(1), 3-10.
- Kim, J. (1992). 'Downward Causation' in Emergentism and Nonreductive Materialism. In A. B. H. F. J. Kim (Ed.), *Emergence or Reduction? Essays on the Prospects of Nonreductive Physicalism* (pp. 119-138). Berlin: Walter de Gruyter.
- Kim, J. (1993). *Supervenience and Mind: Selected Philosophical Essays*: Cambridge University Press.
- Kim, J. (1996). *Philosophy of Mind*. Boulder-CO: Westview Press.

- Kim, J. (1998). *Mind in a Physical World: An Essay on the Mind-Body Problem and Mental Causation*. Cambridge: MA & London: The MIT Press.
- Kim, J. (1999). Making Sense of Emergence. *Philosophical Studies*, 95(1), 3-36.
- Kim, J. (2006). Emergence: Core ideas and issues. *Synthese*, 151(3), 547-559.
- Kirschner, M. W. (2005). The Meaning of Systems Biology. *Cell*, 121, 503-504.
- Kitano, H. (2002). Systems Biology: A Brief Overview. *Science*, 295(5560), 1662-1664.
- Klee, R. L. (1984). Micro-Determinism and Concepts of Emergence. *Philosophy of Science*, 51(1), 44.
- Korn, R. W. (2005). The Emergence Principle in Biological Hierarchies. *Biology and Philosophy*, 20(1), 137-151.
- Lear, J. (1988). *Aristotle: The Desire to Understand*. New York: Cambridge University Press.
- Leite, M. (2006). Retórica determinista no genoma humano. *Scientiae Studia*, 4(3), 421-452.
- Levins, R., & Lewontin, R. (1980). Dialectics and reductionism in ecology. *Synthese*, 43(1), 47-78.
- Maturana, H. R., & Varela, F. J. (1980). *Autopoiesis and Cognition: The Realization of the Living* (Vol. 42). Boston: D. Riedel Publishing Co.
- McCarthy, J. (2004). Tackling the challenges of interdisciplinary bioscience. *Nat Rev Mol Cell Biol*, 5, 933-937.
- Nature. (2005). In Pursuit of Systems. *Nature*, 435(7038), 1.
- Noble, D. (2006). Systems biology and the heart. *BioSystems*, 83(2-3), 75-80.
- O'Malley, M. A., & Dupré, J. (2005). Fundamental issues in systems biology. *BIOESSAYS*, 27(12), 1270-1276.
- O'Connor, T. (1994). Emergent Properties. *American Philosophical Quarterly*, 31(2), 91-104.
- Peltonen, L., & McKusick, V. A. (2001). Genomics and medicine. Dissecting human disease in the postgenomic era. *Science*, 291(5507), 1224-1229.
- Pihlstrom, S. (1999). What Shall We Do with Emergence? A Survey of a Fundamental Issue in the Metaphysics and Epistemology of Science. *South African journal of philosophy*, 18(2), 192-210.
- Pihlström, S. (2002). The Re-Emergence of the Emergence Debate. *Principia*, Special Issue on Emergence and Downward Causation, 6(1), 133-181.
- Polanyi, M. (1968). Life's Irreducible Structure. *Science*, 160, 1308-1312.
- Popper, K. R. (1959). The Propensity Interpretation of Probability. *Brit. J. Phil. Sci*, 10(37), 25-42.
- Popper, K. R. (1983). *Postscript: Vol. 1. Realism and the aim of science*: Totowa, NJ: Rowman & Littlefield.
- Popper, K. R. (1990). *A World of Propensities*. Bristol: Thoemmes Antiquarian Books.
- Popper, K. R., & Eccles, J. C. (1984). *The Self and Its Brain: An Argument for Interactionism*. London: Routledge.
- Rafelski, S. M., & Marshall, W. F. (2008). Building the cell: design principles of cellular architecture. *nature reviews | molecular cell biology*, 9, 593-602.
- Rashevsky, N. (1954). Topology and life: in search of general mathematical principles in biology and sociology. *Bull Math Biophys*, 16, 317-348.
- Rescher, N. (1996). *Process Metaphysics: An Introduction to Process Philosophy*. New York: SUNY Press.

- Rescher, N. (2000). *Process Philosophy: A Survey of Basic Issues*. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press.
- Rescher, N. (2002). *Process Philosophy*. In E. N. Zalta (Ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring 2008 Edition).
- Rescher, N. (2006). *Process Philosophical Deliberations* Frankfurt: Ontos Verlag.
- Richardson, R. C., & Stephan, A. (2007). Emergence. *Biological Theory*, 2(1), 91-96.
- Riedl, R. (1997). From Four Forces Back to Four Causes. *Evolution and Cognition*, 3, 148-158.
- Rosen, R. (1970). *Dynamical systems theory in biology*. New York: Wiley Interscience.
- Ross, D. ([1923]1995). *Aristotle*. London: Routledge.
- Salthe, S. N. (1985). *Evolving Hierarchical Systems: Their Structure and Representation*. New York: Columbia University Press.
- Salthe, S. N. (1993). *Development and Evolution: Complexity and Change in Biology*. Cambridge: MIT Press.
- Schroder, J. (1998). Emergence: Non-Deducibility or Downwards Causation? *The Philosophical Quarterly*, 48(193), 433-452.
- Seibt, J. (1996). The Myth of Substance and the Fallacy of Misplaced Concreteness. *Acta Analytica*, 15, 61-76.
- Soto, A. M., Sonnenschein, C., & Miquel, P. A. (2008). On physicalism and Downward Causation in Developmental and Cancer Biology. *Acta Biotheoretica*. 56(4), 257-274.
- Stephan, A. (1998). Varieties of Emergence in Artificial and Natural Systems. *Zeitschrift für Naturforschung*, 53c, 639-656.
- Stephan, A. (1999). Varieties of emergentism. *Evolution and Cognition*, 5(1), 49-59.
- Stephan, A. (2002). Emergentism, Irreducibility, and Downward Causation. *Grazer Philosophische Studien*, 65, 77-93.
- Stephan, A. (2004). Phenomenal Emergence. *Networks*, 3(4), 91-102.
- Stephan, A. (2006). The dual role of 'emergence' in the philosophy of mind and in cognitive science. *Synthese*, 151(3), 485-498.
- Stephanopoulos, G., Alper, H., & Moxley, J. (2004). Exploiting biological complexity for strain improvement through systems biology. *Nature Biotechnology*, 22(10), 1261-1267.
- Strohman, R. (2002). Maneuvering in the Complex Path from Genotype to Phenotype. *Science*, 296(5568), 701-703.
- Symons, J. (2002). Emergence and Reflexive Downward Causation. *Principia*, 6(1), 183-202.
- Thompson, E., & Varela, F. J. (2001). Radical embodiment: neural dynamics and consciousness. *TRENDS in Cognitive Sciences*, 5(10), 418-425.
- Trewavas, A. (2006). A Brief History of Systems Biology. *The Plant Cell Online*, 18(10), 2420-2430.
- Ulanowicz, R. E. (1999). Life after Newton: an ecological metaphysic. *BioSystems*, 50, 127-142.
- Ulanowicz, R. E. (2004). On the nature of ecodynamics. *Ecological Complexity*, 1(4), 341-354.
- Van de Vijver, G. S., S. N.; Delpo, M. (Ed.). (1998). *Evolutionary Systems*. Dordrecht: Kluwer.
- Venter, G., & al., e. (2001). The sequence of the human genome *Science*, 291(5507), 1304 - 1351.
- Vieira, F. S., & El-Hani, C. N. (2008). Emergence and Downward Determination in the Natural Sciences. *Cybernetics And Human Knowing*, 15(3-4), 101-134.
- Von Bertalanffy, L. (1950). An outline of general system theory. *British Journal for the Philosophy of Science*, 1, 134-165.

- Von Bertalanffy, L. (1969). *General System Theory: Foundations, Development, Applications*. New York: George Braziller.
- Wiener, N. (1965). *Cybernetics: or control and communication in the animal and the machine* (Second ed.). Cambridge: MIT Press.

REFERÊNCIAS

- Alexander, S. (1920). *Space, Time, and Deity*. Gloucester: Peter Smith.
- Andersen, P. B., Emmeche, C., Finnemann, N. O., & Christiansen, P. V. (2000). *Downward causation: minds, bodies and matter*. Aarhus: Aarhus Univ. Press.
- Ashby, W. R. (1956). *An introduction to cybernetics*. London: Chapman & Hall.
- Azzone, G. F. (1998). The cement of medical thought. *Evolutionary emergence and downward causation*. *Hist Philos Life Sci*, 20(2), 163-187.
- Baas, N. A., & Emmeche, C. (1997). On Emergence and Explanation. *Intellectica*, 25, 67-83.
- Barabasi, A. L., & Oltvai, Z. N. (2004). Network biology: understanding the cell's functional organization. *Nature Reviews Genetics*, 5(2), 101-113.
- Beckermann, A., Flohr, H., & Kim, J. (1992). *Emergence Or Reduction?: Essays on the Prospects of Nonreductive Physicalism*. Berlin: Walter de Gruyter.
- Bedau, M. A. (1997). Weak Emergence. *Noûs*, 31(11), 375-399.
- Bedau, M. A. (2003). Artificial life: organization, adaptation and complexity from the bottom up. *TRENDS in Cognitive Sciences*, 7(11), 505-512.
- Bergandi, D. (1995). "Reductionist holism": an oxymoron or a philosophical chimera of EP Odum's systems ecology. *Ludus Vitalis*(5), 145-180.
- Bickhard, M. H. (2004). Process and Emergence: Normative Function and Representation. *Axiomathes*, 14(1), 121-155.
- Bickhard, M. H. (2008). Emergence: Process Organization, not Particle Configuration. *Cybernetics And Human Knowing*, 15(3-4), 57-63.
- Bickhard, M. H. (in press). Emergence: Process Organization, not Particle Configuration. *Cybernetics And Human Knowing*, 15(3-4), 57-63.
- Bickhard, M. H., & Campbell, D. T. (1996). Emergence. In P. B. Andersen & C. Emmeche & N. O. Finnemann (Eds.), *Causation: Minds, Bodies and Matter* (pp. 323-328). Aarhus: Aarhus University Pres.
- Bickhard, M. H., & Campbell, D. T. (2000). Emergence. In P. B. Andersen & C. Emmeche & N. O. Finnemann (Eds.), *Causation: Minds, Bodies and Matter* (pp. 323-328). Aarhus: Aarhus University Pres.
- Blitz, D. (1992). *Emergent Evolution: Qualitative Novelty and the Levels of Reality*. Dordrecht: Kluwer Academic Pub.
- Boogerd, F. C., Bruggeman, F. J., Richardson, R. C., Stephan, A., & Westerhoff, H. V. (2005). Emergence and Its Place in Nature: A Case Study of Biochemical Networks. *Synthese*, 145(1), 131-164.
- Broad, C. D. (1919). Mechanical explanation and its alternatives. *Proceedings of the Aristotelian Society*, 19, 86-124.
- Broad, C. D. (2000 [1925]). *The Mind and Its Place in Nature*: Routledge.
- Bruggeman, F. J., Westerhoff, H. V., & Boogerd, F. C. (2002). BioComplexity: a pluralist research strategy is necessary for a mechanistic explanation of the "live" state. *PHILOSOPHICAL PSYCHOLOGY*, 15(4), 411-440.

- Bruni, L. E. (2003). *A sign-theoretic approach to biotechnology*. University of Copenhagen Copenhagen.
- Bunge, M. (1979a). *Causality and Modern Science* (Third ed.). New York: Dover Publications.
- Bunge, M. (1979b). *Ontology II: A World of Systems*. Dordrecht: D. Reidel.
- Cain, C. J., Conte, D. A., García-Ojeda, M. E., Daglio, L. E., Johnson, L., Lau, E. H., Manilay, J. O., Phillips, J. B., Rogers, N. S., Stolberg, S. E., Swift, H. F., & Dawson, M. N. (2008). What Systems Biology Is (Not, Yet). *Science*, 320, 1013-1014.
- Campbell, D. T. (1974). Downward causation in hierarchically organized biological systems. In F. Ayala & T. Dobzhansky (Eds.), *Studies in the philosophy of biology and related problems* (pp. 179-186). Berkeley: University of California Press.
- Carroll, S. B., Grenier, J. K., & Weatherbee, S. D. (2005). *From DNA to Diversity: Molecular Genetics and the Evolution of Animal Design*. Oxford: Blackwell Publishers.
- Chong, L., & Ray, L. B. (2002). Whole-istic Biology. *Science*, 295(5560), 1661-1661.
- Coffman, J. A. (2006). Developmental ascendancy: From bottom-up to top-down control. *Biological Theory*, 1(2), 165-178.
- Conti, F., Valerio, M. C., Zbilut, J. P., & Giuliani, A. (2007). Will systems biology offer new holistic paradigms to life sciences? *Syst Synth Biol*, 1, 161-165.
- Corcó, J. (2006). Biology: The emergent character of life. In I. J. K. M. D. Miller (Ed.), *Karl Popper: A Centenary Assessment Volume III: Science*. (Vol. 3, pp. 123-130). Aldershot: Ashgate
- Cornish-Bowden, A., & Cardenas, M. L. (2005). Systems biology may work when we learn to understand the parts in terms of the whole. *Biochemical Society Transactions*, 33(3), 516-519.
- El-Hani, C. N. (2002). On the reality of emergents. *Principia*, Special Issue on Emergence and Downward Causation, 6(1), 51-87.
- El-Hani, C. N., & Emmeche, C. (2000). On some theoretical grounds for an organism-centered biology: Property emergence, supervenience, and downward causation. *Theory in Biosciences*, 119(3), 234-275.
- El-Hani, C. N., & Pereira, A. M. (1999). Understanding biological causation. In V. G. Hardcastle (Ed.), *Where Biology Meets Psychology: Philosophical Essays* (pp. 333-356). Cambridge: MIT Press.
- El-Hani, C. N., & Pereira, A. M. (2000). Higher-Level descriptions: Why should we preserve them? In P. B. A. C. E. N. O. F. P. V. Christiansen (Ed.), *Downward Causation: Minds, Bodies and Matter* (pp. 118-142). Aarhus: Aarhus University Press.
- El-Hani, C. N., & Pihlström, S. (2002). Emergence Theories and Pragmatic Realism. *Essays in Philosophy*, 3(2).
- El-Hani, C. N., & Pihlström, S. (2004). Realismo, Pragmatismo e Emergência. In W. J. Silva Filho & P. Smith (Eds.), *Significado, Verdade, Interpretação: Davidson e a Filosofia*. São Paulo: Loyola.
- El-Hani, C. N., & Queiroz, J. (2005a). Downward Determination. *Abstracta*, 1(2), 162-192.
- El-Hani, C. N., & Queiroz, J. (2005b). Modos de irredutibilidade das propriedades emergentes. *Scientiae Studia*, 3(1), 9-41.
- El-Hani, C. N., & Videira, A. A. P. (2001). Causação Descendente, Emergência de Propriedades e Modos Causais Aristotélicos. *Theoria*, 16(2), 301-329.

- Emmeche, C., Køppe, S., & Stjernfelt, F. (1997). Explaining Emergence: Towards an Ontology of Levels. *Journal for General Philosophy of Science*, 28(1), 83-117.
- Emmeche, C., Køppe, S., & Stjernfelt, F. (2000). Levels, Emergence and Three Versions of Downward Causation. In P. B. Andersen & C. Emmeche & N. O. Finnemann (Eds.), *Causation: Minds, Bodies and Matter* (pp. 13–34). Aarhus: Aarhus University Press.
- Freire Jr, O. (2004). Popper, Probabilidade e Mecânica Quântica. *Episteme*, 18, 103-127.
- Gillett, C. (2002). Strong emergence as a defense of non-reductive physicalism: A physicalist metaphysics for ‘downward’ determination’. *Principia*, 6(1), 89-120.
- Gillies, D. (2000). *Philosophical Theories of Probability*. London and New York: Routledge.
- Hulswit, M. (2001). Semeiotic and the cement of the universe: A peircean process approach to causation. *Transactions of the Charles S. Peirce Society: A Quarterly Journal in American Philosophy*, 37(3), 339-363.
- Hulswit, M. (2006). How Causal is Downward Causation? *Journal for General Philosophy of Science*, 36(2), 261-287.
- Humphreys, P. (1996). Aspects of Emergence. *Philosophical Topics*, 24(1), 53-70.
- Humphreys, P. (1997a). Emergence, Not Supervenience. *Philosophy of Science*, 64(proceedings), S337-S345.
- Humphreys, P. (1997b). How Properties Emerge. *Philosophy of Science*, 64(1), 1.
- Juarrero, A. (1999). *Dynamics in Action: Intentional Behavior as a Complex System*. Cambridge: MIT Press.
- Juarrero, A. (2000). Dynamics in Action: Intentional Behavior as a Complex System. *Emergence*, 2(2), 24-57.
- Juarrero, A., & Rubino, C. A. (2008). Introduction. In A. Juarrero & C. A. Rubino (Eds.), *Emergence, Complexity, and Self-Organization: Precursors and Prototypes* (Vol. 4). Goodyear: ISCE Publishing.
- Karsenti, E. (2008). Self-organization in cell biology: a brief history. *Nat Rev Mol Cell Biol*, 9(3), 255-262.
- Keller, E. F. (2000). *The Century of the Gene*. Cambridge: Harvard University Press.
- Keller, E. F. (2005). The century beyond the gene. *Journal of Biosciences*, 30(1), 3-10.
- Kim, J. (1992). ‘Downward Causation’ in Emergentism and Nonreductive Materialism. In A. B. H. F. J. Kim (Ed.), *Emergence or Reduction? Essays on the Prospects of Nonreductive Physicalism* (pp. 119-138). Berlin: Walter de Gruyter.
- Kim, J. (1993). *Supervenience and Mind: Selected Philosophical Essays*: Cambridge University Press.
- Kim, J. (1996). *Philosophy of Mind*. Boulder-CO: Westview Press.
- Kim, J. (1997). Supervenience, emergence, and realization in the philosophy of mind. In M. C. P. K. Machamer (Ed.), *Mindscape: Philosophy, Science, and the Mind* (pp. 271-293). Pittsburgh: University of Pittsburgh Press.
- Kim, J. (1998). *Mind in a Physical World: An Essay on the Mind-Body Problem and Mental Causation*. Cambridge: MA & London: The MIT Press.
- Kim, J. (1999). Making Sense of Emergence. *Philosophical Studies*, 95(1), 3-36.
- Kim, J. (2006a). Emergence: Core ideas and issues. *Synthese*, 151(3), 547-559.
- Kim, J. (2006b). On Being Realistic about Emergence In P. Clayton & P. Davies (Eds.), *The Re-emergence of Emergence* Oxford: Oxford University Press.
- Kitano, H. (2002). Systems Biology: A Brief Overview. *Science*, 295(5560), 1662-1664.

- Klee, R. L. (1984). Micro-Determinism and Concepts of Emergence. *Philosophy of Science*, 51(1), 44.
- Korn, R. W. (2005). The Emergence Principle in Biological Hierarchies. *Biology and Philosophy*, 20(1), 137-151.
- Lear, J. (1988). *Aristotle: The Desire to Understand*. New York: Cambridge University Press.
- Leite, M. (2006). Retórica determinista no genoma humano. *Scientiae Studia*, 4(3), 421-452.
- Levine, J. (1983). Materialism and Qualia: The Explanatory Gap. *Pacific Philosophical Quarterly*, 64(4), 354-361.
- Levine, J. (2001). *Purple Haze: The Puzzle of Consciousness*: Oxford University Press, USA.
- Levins, R., & Lewontin, R. (1980). Dialectics and reductionism in ecology. *Synthese*, 43(1), 47-78.
- Maturana, H. R., & Varela, F. J. (1980). *Autopoiesis and Cognition: The Realization of the Living* (Vol. 42). Boston: D. Riedel Publishing Co.
- McCarthy, J. (2004). Tackling the challenges of interdisciplinary bioscience. *Nat Rev Mol Cell Biol*, 5, 933-937.
- Moreno, A. (2008). Downward Causation Requires Naturalized Constraints: A Comment on Vieira & El-Hani. *Cybernetics And Human Knowing*, 15(3-4), 135-144.
- Morgan, C. L. L. (1923). *Emergent Evolution*. London: Williams and Norgate.
- Nagel, T. (1974). What is it like to be a bat. *Philosophical Review*, 83(4), 435-450.
- Nature. (2005). In Pursuit of Systems. *Nature*, 435(7038), 1.
- Noble, D. (2006). Systems biology and the heart. *BioSystems*, 83(2-3), 75-80.
- O'Connor, T. (1994). Emergent Properties. *American Philosophical Quarterly*, 31(2), 91-104.
- O'Malley, M. A., & Dupré, J. (2005). Fundamental issues in systems biology. *BIOESSAYS*, 27(12), 1270-1276.
- Peltonen, L., & McKusick, V. A. (2001). Genomics and medicine. Dissecting human disease in the postgenomic era. *Science*, 291(5507), 1224-1229.
- Pihlstrom, S. (1999). What Shall We Do with Emergence? A Survey of a Fundamental Issue in the Metaphysics and Epistemology of Science. *South African journal of philosophy*, 18(2), 192-210.
- Pihlström, S. (2002). The Re-Emergence of the Emergence Debate. *Principia*, Special Issue on Emergence and Downward Causation, 6(1), 133-181.
- Polanyi, M. (1968). Life's Irreducible Structure. *Science*, 160, 1308-1312.
- Popper, K. R. (1959). The Propensity Interpretation of Probability. *Brit. J. Phil. Sci*, 10(37), 25-42.
- Popper, K. R. (1983). *Postscript: Vol. 1. Realism and the aim of science*: Totowa, NJ: Rowman & Littlefield.
- Popper, K. R. (1990). *A World of Propensities*. Bristol: Thoemmes Antiquarian Books.
- Popper, K. R., & Eccles, J. C. (1984). *The Self and Its Brain: An Argument for Interactionism*. London: Routledge.
- Rafelski, S. M., & Marshall, W. F. (2008). Building the cell: design principles of cellular architecture. *nature reviews | molecular cell biology*, 9, 593-602.
- Ransdell, J. (1983). Peircean Semiotic. Unpublished manuscript.
- Rashevsky, N. (1954). Topology and life: in search of general mathematical principles in biology and sociology. *Bull Math Biophys*, 16, 317-348.

- Rescher, N. (1996). *Process Metaphysics: An Introduction to Process Philosophy*. New York: SUNY Press.
- Rescher, N. (2000). *Process Philosophy: A Survey of Basic Issues*. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press.
- Rescher, N. (2002). Process Philosophy. In E. N. Zalta (Ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring 2008 Edition).
- Richardson, R. C., & Stephan, A. (2007). Emergence. *Biological Theory*, 2(1), 91-96.
- Riedl, R. (1997). From Four Forces Back to Four Causes. *Evolution and Cognition*, 3, 148-158.
- Rosen, R. (1970). *Dynamical systems theory in biology*. New York: Wiley Interscience.
- Ross, D. ([1923]1995). *Aristotle*. London: Routledge.
- Salthe, S. N. (1985). *Evolving Hierarchical Systems: Their Structure and Representation*. New York: Columbia University Press.
- Salthe, S. N. (1993). *Development and Evolution: Complexity and Change in Biology*. Cambridge: MIT Press.
- Schroder, J. (1998). Emergence: Non-Deducibility or Downwards Causation? *The Philosophical Quarterly*, 48(193), 433-452.
- Seibt, J. (1996). The Myth of Substance and the Fallacy of Misplaced Concreteness. *Acta Analytica*, 15, 61-76.
- Sperry, R. W. (1969). A modified concept of consciousness. *Psychological Review*, 76(6), 532-536.
- Sperry, R. W. (1980). Mind-brain interaction: Mentalism, yes; dualism, no. *Neuroscience*, 5(2), 195-206.
- Sperry, R. W. (1983). *Science and moral priority*: Columbia University Press.
- Sperry, R. W. (1991). In defense of mentalism and emergent interaction. *The Journal of mind and behavior*, 12(2), 221-245.
- Soto, A. M., Sonnenschein, C., & Miquel, P. A. (2008). On physicalism and Downward Causation in Developmental and Cancer Biology. *Acta Biotheoretica*, 56(4), 257-274.
- Stephan, A. (1998). Varieties of Emergence in Artificial and Natural Systems. *Zeitschrift für Naturforschung*, 53c, 639-656.
- Stephan, A. (1999). Varieties of emergentism. *Evolution and Cognition*, 5(1), 49-59.
- Stephan, A. (2004). Phenomenal Emergence. *Networks*, 3(4), 91-102.
- Stephan, A. (2006). The dual role of 'emergence' in the philosophy of mind and in cognitive science. *Synthese*, 151(3), 485-498.
- Stephanopoulos, G., Alper, H., & Moxley, J. (2004). Exploiting biological complexity for strain improvement through systems biology. *Nature Biotechnology*, 22(10), 1261-1267.
- Strohman, R. (2002). Maneuvering in the Complex Path from Genotype to Phenotype. *Science*, 296(5568), 701-703.
- Symons, J. (2002). Emergence and Reflexive Downward Causation. *Principia*, 6(1), 183-202.
- Thompson, E., & Varela, F. J. (2001). Radical embodiment: neural dynamics and consciousness. *Trends in Cognitive Sciences*, 5(10), 418-425.
- Trewavas, A. (2006). A Brief History of Systems Biology. *The Plant Cell Online*, 18(10), 2420-2430.
- Ulanowicz, R. E. (1999). Life after Newton: an ecological metaphysic. *BioSystems*, 50, 127-142.
- Ulanowicz, R. E. (2004). On the nature of ecodynamics. *Ecological Complexity*, 1(4), 341-354.

- Van de Vijver, G., Van Speybroeck, L., & Vandevyvere, W. (2003). Reflecting on complexity of biological systems: Kant and beyond? *Acta Biotheoretica*, 51, 101-140.
- Van de Vijver, G. S., S. N.; Delpo, M. (Ed.). (1998). *Evolutionary Systems*. Dordrecht: Kluwer.
- Van Gulick, R. (1993). Who is in charge here? And who's doing all the work? In J.Heil & A. Mele (Eds.), *Mental Causation* (pp. 233-256). Oxford: Oxford University Press.
- Venter, G., & al., (2001). The sequence of the human genome *Science*, 291(5507), 1304 - 1351.
- Vieira, F. S., & El-Hani, C. N. (2008a). Downward Determination: A Philosophical Step in the Way to a Dynamic Account of Emergence. *Cybernetics and Human Knowing*, 15(3-4), 146-147.
- Vieira, F. S., & El-Hani, C. N. (2008b). Emergence and Downward Determination in the Natural Sciences. *Cybernetics and Human Knowing*, 15(3-4), 101-134.
- Von Bertalanffy, L. (1950). An outline of general system theory. *British Journal for the Philosophy of Science*, 1, 134-165.
- Von Bertalanffy, L. (1969). *General System Theory: Foundations, Development, Applications*. New York: George Braziller.
- Wiener, N. (1965). *Cybernetics: or control and communication in the animal and the machine* (Second ed.). Cambridge: MIT Press.

ANEXOS

ANEXO 1: Comentário de Álvaro Moreno ao artigo *Emergence and Downward Determination in the Natural Sciences*^a

^a Artigo de Álvaro Moreno comentando o artigo de *Vieira, F. S., & El-Hani, C. N. (2008). Emergence and Downward Determination in the Natural Sciences. Cybernetics And Human Knowing, 15(3-4), 101-134.*

DOWNWARD CAUSATION REQUIRES NATURALIZED CONSTRAINTS: A COMMENT ON VIEIRA & EL-HANI

*Alvaro Moreno*¹

I have no essential objections against the central assumption of this paper, namely, that DC plays an important role in our current understanding of biological phenomena. To tell the truth, I am not even quit sure that my disagreement concerning authors' proposal of substituting the concept of causation (in DC) by that of "determination" would play a very important role in the issue at stake. However, I have had certain doubts concerning authors' position through the reading of the paper, often seeming to endorse key arguments against DC, while, several pages later, seeming to reject them. And the section of conclusions is not very helpful for clarifying their position. At the end, even though they reject anti-DC positions, I have the impression that authors seem to be more worry about the criticism against the concept of DC than about the consequences of dispensing it. As they say, "we have to face the legion of difficulties besetting the notion of DC" (end of sec 3). One can ask, however, if the rejection of DC would not imply even worse problems for our current understanding of complex systems (Just think on the role played by concepts like selective constraint or regulatory control in Biology, and try to re-state current biological knowledge without these kind of concepts).

As I understand authors' position, developed in the second part of the paper, his central line of argument is articulated around the concept of constraint, interpreted as embodied boundary conditions harnessing lower level dynamics (or "laws"). In particular, they develop this idea in section 7, where they seem to agree with Juarrero's explanation of complex systems (and in our case, biological systems) in these terms. As they say, "the boundary conditions established by the system's organization select, among all the possible behaviors the constituents might show, a more limited set ($W - x$) of behaviors they will effectively show, as parts of that kind of system. In turn, by

¹ Departamento de Logica y Filosofia de la Ciencia, Universidad del Pais Vasco UPV/EHU, Apartado 1249, 20080 Donostia, San Sebastian, Spain. Email: alvaro.moreno@ehu.es

constraining the behaviors of its parts, the system shows enhanced capacities, in the sense that it becomes capable of displaying behaviors we would not observe if the system did not constrain, and, thus, coordinate, orchestrate the processes which take place within it. Constraints increase the likelihood that the parts of a system be engaged in relations which, in turn, are embedded in a certain set of particular processes, which is smaller than the set of processes they could be part of in the absence of the system. And, in turn, the instantiation of these processes in a coordinated manner allows the system to show novel higher-level behaviors, increasing its ‘freedom’ to behave.” (p. 31, sec 7).” I essentially coincide with this perspective. However, the validity of any justification of DC on the concept of constraint lies, in my opinion, in the possibility of naturalizing the concept of constraint. As I have explained elsewhere (Moreno & Umerez, 2000), in physics constraints are embedded boundary conditions, which *human observers* selectively impose in order to simplify the description of the action of laws. In this sense, constraints are not reducible to laws. But, if constraints are taken only in an epistemological sense, they cannot help to understand the very causal structure of complex systems. Either to conclude that they have not an ontological status (which would undermine seriously the thesis of DC) or the contrary, the assessment about the ontological status of constraints seems a crucial issue. Therefore, as long as the origin of constraints remains unanswered, we face serious problems. How to defend at the same time the non-reduction of constraints to laws and avoiding dualism? How to pretend that constraints have an ontological status derived from, but not reducible to, laws? If we do not arrive to explain the origin of constraints (i.e., the origin of natural systems endowed with constraints), we will face either an infinite regress or a radical dualism.

Now, since constraints are associated with complex systems, it seems sensible to address the question by looking for the appearance of (a minimal form of) constraints. How is it possible to explain the origin of constraints in an abiotic universe? We can assume that the initial conditions of the universe and the laws have led to a progressively diversified world, in which a great variety of (more or less) stable aggregates of matter are generated. Now, once these stable aggregates appear, things become a little bit different. Let us see in more detail how things change by an example (which I take from H. Pattee (1973):

“Suppose you begin with a glass of water with common salt in solution. The sodium and chloride ions are free to move about in three dimensions. We say “free” only in the sense that they each follow the laws of motion of non-interacting particles with only occasional collisions with other molecules or ions. More precisely, we say that most of the time each particle has three translational degrees of freedom. Now suppose that after some time a collection of ions has formed a substantial crystal. This structure can now act as a constraint for some of the ions that land on one of its surfaces. These ions now have fewer degrees of freedom (...The structure) is a collective constraint on individual elements that make up the collection. (...) A more realistic variation of this example is the screw-dislocation crystal growth (...). Instead of each ion binding only at the points of a perfect lattice, there are imperfections in crystal growth which produce a new kind of constraint (...that) has two properties: 1) It speeds up the binding of ions by an enormous factor, and 2) it preserves its screw structure as the crystal grows.” (pp 82-83).

One could say, from this example, that in certain circumstances, many “microscopic” parts, freezing up their degrees of freedom, constitute stable aggregates. Once a certain threshold of size is attained, these aggregates become “macroscopic” entities that harness the dynamics of many other microscopic elements in their proximity. Thus we may call them “constraints”, as Pattee does. But, since there is not any observer for whom this description is more practical than the detailed, microscopic one (i.e., the “basal description”, as Kim calls it), the question at stake is whether the consideration of the crystal structure as a constraint makes some difference in how things evolve. Anti-emergentists may convincingly argue that in this example (and in many other similar ones) the difference exists only in the eye of the beholder.

However, there is a problem with this view, since the more complex a system, the less probable become a) its appearance and b) its persistence. Let me explain why: simple building blocks generate spontaneously composite stable structures (atoms, molecules, macromolecules...) due to different levels of forces² (Simon, 1969). As a result of this low-level interactions, increasingly complex stable structures appear (in many cases stable structures showing new interactive properties, which are not present in their separate parts, i.e, superconductivity, chemical affinity). So far, so good.

² The strongest force (around 140 mev) holds together the nuclei of the atoms, and the weakest (around 0.5 mev) the tertiary structure of large macromolecules). As defined by M. Gell-Mann, the (structural) complexity of a given entity is (the (outcome of) the sequence of accidental events (from the Big Bang to the constitution of such entity) frozen in the different levels of stability that such entity embodies.

However, as far as the complexity of the structures increases, its maintenance becomes a problem because thermal noise increases fragility. In addition, in abiotic conditions the formation of increasingly complex structures becomes also increasingly unlikely because they require the coincidence or coordination of many highly specific processes (as we will see later, this is the case of enzymes). Even worse is the case of thermodynamically dissipative aggregates, given that no force ensures their cohesion. And yet, we obviously live in a world plenty of highly complex systems (ourselves are an eloquent example!). Therefore, something else than initial conditions and basic laws is required to explain a world of complex systems. Actually, the problem is even worse, since most of the complex systems we live with are thermodynamically dissipative systems, namely, composite aggregates whose parts are tied together without intrinsic forces ensuring their cohesion. As I will explain, this is where an ontological concept of constraint is going to enter.

How a dissipative aggregate can first appear, and, then, persist? Suppose that chance produces from time to time unlikely aggregates made of non-cohesive parts. These aggregates should be ephemeral, since no force keeps together their parts (moreover, they are submitted to permanent fluctuations). But now, suppose that, given certain BC in FFE conditions, certain ephemeral collective aggregates affect the neighboring microscopic trajectories in such a way that a causal loop is formed, and therefore the (macroscopic) aggregate is forced to persist. Actually, we can find in the physical world different examples of this type of process, like hurricanes. They are called “dissipative structures” (Nicolis & Prigogine 1977). Interestingly, in these dissipative systems the maintenance of the global structure depends not only on a specific set of boundary conditions, but also, *on the effect they produce on the microscopic dynamics*. Once appeared, the pattern constrains the dynamics of the system components so that the produced pattern in turn produces itself. For instance, in the case of Bénard convection cells, beyond a certain temperature gradient, the fluctuations are reinforced rather than suppressed; then, a new macroscopic order emerges, caused by a macroscopic fluctuation and stabilized by an exchange of energy with the environment. Realize that since the heat will be dissipated more rapidly through the formation of a coherent pattern of hexagonally arrayed convection cells than through turbulent boiling (these structures increase the rate of heat transfer and gradient

destruction in the system), this pattern is what allows the system to dissipate the available thermal energy most rapidly. That is why –though in a minimal sense-- the emergent pattern (the creation of hexagonal cells) contributes to its own maintenance. In other words, they are, at least in certain degree, self-maintaining structures. In other words, we are now talking about a certain type of constraint whose condition of possibility (i.e., maintenance) is the creation of a causal loop. As Van Gulick (1993, pp. 251-252) has pointed out, these patterns exist because they are self-sustaining³.

More recently, S. Kauffman (2000, 2008) has proposed a similar way to naturalize the concept of constraint. According to this author, constraints appear (and are propagated) whenever some material configuration in a part of the universe generates a loop he calls “a constraint-work cycle”. The fundamental idea is that a constraint is any material aggregate that, by its structure, harnesses the flow of matter and energy in such a way that some useful result is created⁴. For example, in a steam machine, disordered molecules of hot water (steam) are harnessed by a set of metallic devices (constraints) in such a way that ordered energy is obtained. When used for several purposes, this ordered energy is called “work”. Now, how can we, in a prebiotic context, talk about “useful” energy (work)? Useful for what? Kauffman proposes a very elegant solution to this question: work and constraints co-define each other: ordered release of energy becomes “useful” when it is used for the construction of the constraints harnessing the flows of energy that produce them. In other words, a naturalized concept of constraint

³ Of course, in these minimal examples we cannot say that self-maintenance is due to a selective action on the lower-level entities.

⁴ Kauffman and co-workers (2008) have recently explained the origin of constraints in the following terms: “We consider a single, but complex case in cosmic evolution. It is well known that molecular grains are found in interstellar space. These grains aggregate up to the scale of planetessimals. Now it is also well known that the grains have surfaces with complex molecular features on which complex chemistry appears to be occurring. The grains themselves act as constraints, or boundary conditions, that confine reacting substrates, hence may catalyze reactions (...). In some cases, the product molecules presumably are bound to the growing grain, thereby modifying the boundary conditions afforded by the grain, which in turn modifies the chemical reactions that can occur. Furthermore, the product molecules can be novel substrates (...) which again allow novel chemical reactions to occur. In short, the grains appear to behave as constraints that can (...) create new constraints enabling such processes and linked processes, and can create novel sources of free energy in the form of novel substrates able to enter into new chemical reactions (...). Then the growing grains appear to be cases in which matter, energy, and continuously evolving boundary conditions and novel sources of free energy emerge, and condition the future evolution of the grains.” (2008. p. 43).

has to consider them as material structures embedded in a closed organization that (at least partially) they contribute to maintain.

Actually, any attempt of a scientific account for understanding biogenesis should explain not only how constraints arise, but also how they propagate, become progressively more complex and form entangled webs. How, in certain conditions, chemical processes will generate self-maintaining systems, i.e., more or less stable configurations of matter (and flows of energy), and how the possibility of reaching further steps will be based (at least in part) on the causal role played by these former configurations (a mechanism allowing a cumulative increase of complexity is fundamental)? In part, Simon's (1969) theory of hierarchical systems is helpful, but since it is assumed that biogenesis implies increasingly complex far-from equilibrium systems, something has to explain the persistent continuity of local situations of lower entropy. Of course, locally low entropy situations are possible without violation of the second law by increasing entropy in the environment, but this is not an explanation of why and how this happens *persistently*. For the scientific community an explanation of this fact requires a plausible mechanism, which in this case means three things:

- 1) that the starting point should be a configuration of matter and energy, taken as (a set of) boundary conditions, whose appearance and (relative) stability should be explainable in terms of the known laws of physics and chemistry, which in turn were harnessed by the former history of the universe, i.e., laws harnessed by embodied sets of successive accidental events (from the Big Bang to the constitution of this local domain of the universe) frozen in the different levels of stability

- 2) that each new step will consist not only in the generation of new structural, thermodynamically conservative structures, but also of "macroscopic" dissipative configurations of matter and energy such that 1) the underlying dynamics of microscopic components becomes affected and 2) the new microscopic dynamics of the system components contributes in turn to the maintenance of this constraint. In other words, dynamically speaking the appearance of constraints in this context leads the system to a fixed point, which therefore stabilizes both the constraint(s) and what Kim calls its(their) "basal conditions". (Notice that the apparent synchronicity between

constraints and their basal conditions is only a consequence of the stabilization. What really matters is this later).

3) that from here it becomes more likely the appearance of new, more complex, conservative and dissipative constraints, which in turn would be stabilized if they satisfy recursive interaction with their basal conditions. Therefore, the process can be described as a temporal causal sequence of constraints, harnessing low level conditions, generating stability (by finding recurrent causal loops), thus allowing the exploration of a new level of complexity (a new, more complex constraint), and so on. This process has been called “the exploration of the adjacent possible” by S. Kauffman (2000).

This exploration of the adjacent possible will depend on the appearance of increasingly complex constraints. An example of this is the origin of a new and interesting form of constraint: enzymes. In current living cells chemical reactions are channeled by enzymes. The action of enzymes is similar in principle to other types of chemical catalysis: by providing an alternative reaction route and by stabilizing intermediates, enzymes reduce the energy required to reach the highest energy transition state of the reaction. The reduction of activation energy (ΔG) increases the number of reactant molecules with enough energy to reach the activation energy and form the product. Thus, enzymes modify the probability of reaching the reaction’s transition state by lowering associated activation energy, then reaction speed can be increased in several orders of magnitude without temperature being altered.

The typical way in which enzymes constrain chemical processes is by momentarily adhering to the relevant substrate, providing it with a local surface to interact, creating conditions where its transformation into product is facilitated. Effective catalysis takes place when the *active site* (i.e. the tridimensional surface that the enzyme provides the substrate, thus destabilizing it and activating the reaction) *fits* in a more adjusted way into the substrate. The active site is continually reshaped by interactions with the substrate as the substrate interacts with the enzyme⁵. The

⁵ The initial interactions between enzyme and substrate are relatively weak, but these weak interactions rapidly induce conformational changes in the enzyme that strengthen binding. These conformational changes also bring catalytic residues in the *active site* close to the chemical bonds in the substrate that will be altered in the reaction. After binding takes place, one or more mechanisms of catalysis lower the energy of the reaction's transition state by providing an alternative chemical pathway for the reaction.

advantages of the induced fit mechanism arise due to the stabilizing effect of strong enzyme binding. (Obviously, this requires that the size of the enzyme reach a point capable of providing a rich enough variety of 3D specific forms). As a consequence of the fit mechanism, the enzyme lowers the activation energy, either by distorting the substrate, by creating an environment with the opposite charge distribution to that of the transition state or by other means. Since in the absence of the enzyme other possible reactions might lead to different products (because in those conditions this different product is formed faster) *enzymes selectively alter the microscopic interactions of the substrates*. This causal action takes place by changing the rates of reactions, and there is no way to describe this form of action but as an irreversible and statistical process.

Thus, the first lesson is that, instead of the former types of constraints, which were either solid rigid structures or highly unstable dynamic patterns (fluids), enzymes constitute a flexible and specific, relatively stable form of constraint. Here the constraint harnesses both the rate and the specificity of the low level processes. Accordingly, by producing the suitable enzyme practically any desirable (provided it is not forbidden by physico-chemical laws) reaction is feasible. Second, enzymes can couple two or more reactions, so that a thermodynamically favorable reaction can be used to "drive" a thermodynamically unfavorable one; thus, by linking together many different reactions, a whole constructive system can be feasible, including the synthesis of other enzymes.

Why all that matters? As such, enzymes are highly complex molecular structures, which tend to become degraded into simpler ones very soon⁶. Actually, enzymes persist because they are embedded in chemical networks, which renew them. To be more precise, enzymes make possible highly specific and unlikely recursive webs of chemical reactions: they produce and maintain a globally FFE self-sustaining network, *which in turn produces these very enzymes*. It is now widely accepted that metabolic networks appeared when primitive self-maintaining systems driven by rather unspecific catalysts were taken over by modular⁷, much more specific catalysts (probably, ribozymes).

⁶ Though enzymes are conservative structures, they are highly fragile.

⁷ A modular catalyst is a kind of (relatively complex) oligomer, which adopts a 3D structure as a consequence of the sequential order, namely, the specific order (and number) of the building blocks ("modules") of this oligomer. Whereas the 1D structure –the sequence– is maintained by means of strong

As is well known, the last step in the origin of life was the take over of primitive metabolisms by a genetic machinery, namely, a set of chemically almost *inert* components –DNA-- whose role was (and still is) just to provide a template specifying the sequential order of the building blocks (aminoacids) that make up the enzymes. Thus, genetic components are a kind of “second-order” constraints, since they, almost literally, in-form the processes leading to the synthesis of enzymes, processes, which already are constrained by enzymes themselves. In other words, only enzymes (or active components) can be *sensu stricto* control constraints, because DNAs do not control other events by themselves, but only through the construction of proper control constraints, i.e., enzymes. As a result, it seems that nucleic acids only should be considered to be control constraints in an indirect way (Etxeberia & Moreno, 2001).

If so, how to understand this new “formal determination” (as the authors call it) operating upon another level⁸ of formal determination? If interpreted in this strongly disembodied way, things appear rather strange. Why not simply saying that the action of constraints is a kind of “meta” efficient causation? As we have seen in the detailed description of the enzymatic action, harnessing the lower-level dynamics is in itself a complex dynamical process involve matter, energy and time. This fact is often ignored because, from the perspective of the controlled domain, the amounts of matter, time and energy implicated in the high-level processes are almost negligible. However, the “informational” action of the controlling domain upon the controlled one is always a physical event: we have to remind that in physics any form of control implies entropy generation and therefore, at least, a minimal amount of $-kT-$ energy dissipation. Why then not seeing this “harnessing” as if it were an efficient causation operating on the parameters (the boundary conditions) of another system, such that the operations in the former system are causal but dynamically decoupled (in the sense of belonging to two different dynamical domains)? For example, processes occurring in the nervous domain

bonds, the 3D structure (i.e., the “mapping” from the linear sequence of building blocks to the 3D structure) is mainly dependent on the weak bonds. Since the capacity for acting as a highly specific and efficient catalyst depends on the 3D structure, in particular, on the binding site, there is possible, in principle, that any desirable 3D structure be produced by a given specific sequence of the building blocks. Accordingly, if Natural Selection allows a wide enough exploration of the sequential domain, sooner or later evolution will find sets of modular catalysts fitting together in globally viable networks.

⁸ And in complex multicellular LS there are many meta-levels of this kind.

of an animal may cause metabolic changes, however the connection between both domains is dynamically arbitrary: the amount of energy of a given neural pattern has no intrinsic relation with the amount of energy in the metabolic domain that it has triggered.

If so, author's claim that the action of constraints should be characterized rather as a form of determination than as a form of causation seems less justified. For determination, as opposed to causation, means purely formal entailment, while here we are dealing with connections involving matter, energy and time. My own argument in support of considering higher-level constraints as materially operating causes is that when we analyze in detail the operations, what we call constraints appear as rate-dependent, material processes. However, this fact is hidden because in biological systems the causal structure is dynamically decoupled. By this I mean the resulting organization of an integrated system in which the constitutive processes generate and sustain a *relatively independent* dynamic subsystem, which in turn acts selectively regulating those constitutive processes. This definition implies that in complex systems (for example, biological systems) there are two organizational levels (although in highly complex biological systems there are many more): the "constitutive" subsystem, which is the basic or lower level, and the "regulatory" subsystem (namely, a set of emergent constraints), which is the higher one. Significantly, the higher-level regulatory subsystem cannot exist without the regulated constitutive system, and this later in turn would be disintegrated without regulation: both levels causally depend on each other. Thus, the system is dynamically decoupled but hierarchically coupled. In other words, there are within the system two causal domains⁹, operating at different time scales. Since these subsystems work at different rates and with different operational rules, the system has an increased potential to explore new or alternative forms of global self-maintenance (that are not accessible to 'flat' systems without any hierarchy or modularity in their organization). In this way, the higher-level subsystem creates a set of functional constraints on the lower-level dynamics. At the same time, the controlled

⁹ But in many cases there are further levels of regulatory constraints. For example, in the brain the behavior of neurons are in turn constrained by higher levels of organization. From this perspective, it is irrelevant whether the underlying dynamics is in turn constrained or not. What matters is the partial decoupling of the different causal domains, which are globally coordinated.

level plays a fundamental role in the constitution and maintenance of the controller level (and therefore, of the whole system). For example, the genetic (sub)system in the cell acts harnessing the dynamics of the metabolic reactions (actually, in an indirect way, by specifying the primary structure of the enzymes), but in turn, metabolic processes contribute to the maintenance, reparation, replication and translation of genetic components.

One can say that in this picture the higher-level subsystem constrain or “harness” the dynamics of the lower-level subsystem; according to this perspective, constraints may be described as a different type of causes (say, “formal” causes) than those operating at the lower level (say “efficient” causes). But these two types of causation appear different only because they operate at different time and space scales. In conclusion, I think that a careful analysis of the underlying mechanisms of what are considered constraints in biological systems permits an interpretation of the causal structure of these systems both in terms of plurality and, at the same time, in terms of a common material process (I do not enter in the discussion of whether this corresponds to the aristotelian concept of “efficient causation”).

The idea I have argued for is that increasingly complex forms of material organization produce (and are maintained by) forms of dynamically decoupled causation –we call them constraints-- that materially and temporally over-determine former organizational levels. Detractors of DC can say that what we call a constraint is not different than its “basal conditions”, and therefore this term does not add anything, for there is the basal conditions of the structure what harness the microscopic elements. The problem with this argument, however, lies precisely in what is meant by “basal conditions”, namely, the properties and *relations* characterizing the parts (Kim 2006, p 549).

Now, in many cases the causal powers of a complex system are not determined solely by the physical properties of its constituents and the laws of physics, but also by the *organization* of those constituents within the composite. We cannot say at the same time that a given configuration of matter (in FFE conditions) is extremely unlikely, and that it is likely (i.e., stabilized). For, in this later case, we should add the action of

organization, as something that occurs because an emergent, unlikely macroscopic pattern *triggers a recursive process*, namely, contributes to its own stabilization.

The problem is whether the relations characterizing the parts can be (or not) instantaneously stated. Biogenesis shows that certain relations are progressively unfolded. But even at the ontogenetic scale, the relations characterizing parts in biological systems show different time scales. Biological systems are entities whose existence is rather a “becoming”, a process in which certain relations are brought into existence at much larger temporal scale than others; if so, the set of relations cannot be stated *ab initio*. And therefore, as new larger scale relations come on, former, short-time relations get modified. A whole hierarchy of constraints, most of them in need of renewal (also at different time-scale) maintain living beings alive. That is way living systems are precarious entities, which depend on their own action (as well as on other’s living systems) just to stay alive.

References

- Ettxeberria, A. & Moreno, A. (2001) From Complexity to Simplicity: Nature and symbols. *BioSystems* 60(1-3).149-157
- Kauffman, S. (2000): *Investigations*. Oxford University Press.
- Kauffman, S., Logan, R., Este, R., Goebel, R., Hobill, D. & Shmulevich, I. (2008): Propagating Organization: An Enquiry. *Biology and Philosophy*, 23(1). 27-45.
- Kim, J. (2006) Emergence: Core ideas and issues. *Synthese* 151. Pp. 547-559.
- Moreno, A. & Umerez, J. (2000) Downward Causation at the Core of Living Organization. In: Andersen, P. B.; Emmeche, C.; Finnemann, N. O.; Christiansen, P. V. (Eds.) *Downward Causation: Minds, Bodies and Matter*, pp. 13-34. Aarhus: Aarhus University Press.
- Nicolis, G. & Prigogine, Y. (1977) *Self-organization in Non-equilibrium Systems*. Wiley, New Cork.
- Pattee, H.H. (1973) The Physical Basis and Origin of Hierarchical Control. En H.H. Pattee (ed.) *Hierarchy Theory*. 73-108
- Simon, H.A. (1969) *The Sciences of the Artificial*. Cambridge, MA: MIT Press
- Van Gulick, R. (1993). Who is in charge here? And who’s doing all the work? In Heil, J. & Mele, A. (Eds.). *Mental Causation*, pp. 233-256. Oxford: Oxford University Press.