

História da Biologia no Séc. XX - Momentos epistemológicos relevantes

Clara Costa Oliveira; César Augusto Muller

Instituto de Educação da Univ. do Minho, claracol@ie.uminho.pt; SPCE; César Augusto Muller – GAIA – UNISC, cesar@unisc.br

Resumo:

Nesta comunicação apresentamos os três momentos epistemológicos mais pertinentes na história da Biologia no séc. XX.

Começamos por enunciar o papel da Embriologia no início daquele século, com teorias vinculadas ao paradigma mecanicista-newtoniano (darwinismo) e ao aristotélico-ptolemaico (criacionismos). Este momento manifesta a passagem de um paradigma a um outro dentro da Biologia, e daí a sua importância.

O segundo momento por nós escolhido situa-se inevitavelmente nos anos 60, com o surgimento do DNA. A capacidade, fornecida pela tecnologia, de visualizar o interior da célula criou a necessidade de recorrer à teoria da informação para descrição dos fenómenos observados. Tal marcará para sempre o desenvolvimento da biologia molecular, a sua instauração como teoria predominante, e quase exclusiva, da Biologia contemporânea, enquadrada no paradigma mecanicista newtoniano.

O terceiro e último momento por nós salientado vincula-se a uma eventual transição dentro da Biologia, com teorias a emergirem alicerçadas no holismo epistemológico do pretense paradigma da complexidade. Eventual transição e pretense paradigma pois na história da ciência precisamos que passem mais uns três decénios para sabermos se as teorias biológicas que nos anos 80 surgiram conotados com o movimento da auto-organização se podem considerar como tendo constituído como novo paradigma; para tal, terá que se tornar o predominante na cultura ocidental, como nos lembra Kuhn. Algumas das teorias biológicas vinculadas a esse eventual paradigma, que caracterizamos, surgiram antes dos anos 80 mas a sua dimensão extremamente minoritária em biologia quase as eclipsaram; sobreviveram curiosamente graças às ciências sociais e humanas, sendo que actualmente possuem um estatuto de legitimidade dentro de alguma linhagem científica em Biologia. Os seus autores principais são G.Bateson, H. Maturana, F. Varela, S. Kauffman e H. Atlan.

Palavras-chave: paradigma; história biologia; séc. XX; mecanicismo; complexidade

Introdução

O surgimento da *scientia*, enquanto momento epistemológico (de produção de conhecimento) surgiu na história da humanidade nos séc.s XV- XVI, vinculada a pessoas como Giordano Bruno e Galileu. Nas suas tentativas de criar um modo de conhecer, de produzir realidade (em condições ideais, como revela o ideário científico), eles preconizaram, entre outros, um tempo difícil de passagem do paradigma (Kuhn, 1962) aristotélico -ptolemaico, que vingava desde o séc. V a. C. para o paradigma mecanicista, cujo maior representante foi I. Newton. No séc. XIX, o método científico encontrava-se bem definido, assentando a cientificidade de uma hipótese explanatória na sua demonstração matemática, o que garantia a sua universalidade e a previsão de fenómenos afins, num conhecimento centrado na explicação (e não na compreensão) de fenómenos pela resposta ao modo como eles ocorriam e como se podiam prever (causa e efeito linear, ou eficiente, em termos aristotélicos).

O mecanicismo newtoniano espalhou-se por todos os ramos da Física, que foi a primeira ciência, *strictu sensu*, e daí alastrou para outras áreas do saber. Às ciências sociais e humanas só foi reconhecido o estatuto científico no final do séc. XIX,

princípios do séc. XX (e às ciências da educação mais tarde ainda). Outras áreas de produção de conhecimento e saber humanos continuam sem lhes ser reconhecido estatuto científico, sendo que algumas delas também nele não estejam interessadas, como a Filosofia, as Artes, a Literatura, a Espiritualidade, etc.

E a Biologia? No início do séc. XX é-lhe já reconhecida por muitos o estatuto de ciência, devido sobretudo à teoria da evolução das espécies de Darwin, mas em algumas zonas da nossa cultura, as teorias predominantes na área de estudo do ser vivo eram as de índole criacionista, e isso remetia para a linhagem explanatória de tipo teleológico, o que fazia que muitos a considerassem como não científica. Esta situação decorria do hibridismo da própria área disciplinar, dado que se havia dimensões dos seres vivos que podiam ser explicados pelo mecanicismo e demonstrado pela matemática, tal era mais difícil ao nível do comportamento dos animais e dos seres vivos humanos (lembramos que à altura a Psicologia, por exemplo, não existia como área científica autónoma).

O segundo momento epistemológico que aqui assinalamos refere-se à vinculação definitiva da Biologia ao mecanicismo newtoniano, logo à ciência, *strictu sensu*, que se verifica com a identificação do DNA, em finais dos anos 60 do século passado. A partir desse momento, a Biologia começou a centrar-se no mundo intracelular, investindo enormemente na biologia molecular. A partir deste momento, instaurou-se que o ser vivo decorria dos seres físicos, pelo que a vinculação à Física mecanicista passou a ser não só possível, como o único modelo a ser explorado com aval científico pela maioria da comunidade de pesquisa académica e laboratorial.

No entanto, outras teorias - ainda que minoritárias, começaram desde logo a surgir, ainda que sem disseminação dentro do mundo da Biologia, sendo que a algumas começa a ser vislumbrada pertinência no âmbito das ciências sociais e humanas, por possibilitarem uma melhor articulação entre o mundo intracelular, o mundo humano e até o mundo social. As principais teorias biológicas abrangidas por esta situação foram influenciadas pelo pensamento do biólogo G. Bateson (Oliveira, 2013), sendo as mais conhecidas a teoria da autopoiesis de Humberto Maturana e Francisco Varela e a teoria da complexidade de Henri Atlan. O pensamento de Stuart Kauffman situa, por seu lado, as teorias evolucionistas num enquadramento no qual elas constituem apenas algumas variáveis explanatórias num quadro conceptual em rede mais alargado.

MATERIAL E MÉTODOS

O material utilizado foi bibliografia de autores consagrados na Biologia referenciados ao longo do texto, bem como compêndios de ensino da Biologia. Como métodos, utilizamos a análise documental, análise de discurso (Braun; Clarke, 2006) e método estruturalista-hermenêutico (Palmer, 1989). «[...] your data set might be identified by a particular analytic interest in some topic in the data, and your data set then becomes all instances in the corpus where that topic is referred to» (Braun; Clarke, 2006, p. 84).

A análise do discurso, em Epistemologia filosófica, deriva da hermenêutica textual existentes, pelo menos, desde Lutero, que acentuava a validação do cristianismo apenas nos textos bíblicos, o que implicava a sua interpretação apurada. Nos séculos XIX e XX, porém, a hermenêutica passou a constituir uma linhagem filosófica de grande importância no mundo do saber, para além da sua dimensão heurística. O uso que dela fizemos liga-se directamente à sua vertente neopragmatista (Morin, 2005) e desconstrucionista, decorrente da viragem linguística (AAVV, 1967), iniciada por Wittgenstein (2005), onde a verdade do conhecimento se coincide com o sentido que um discurso produz dentro de uma comunidade, neste caso a científica.

Os biólogos por nós estudados assumem-se como pertencendo a esta linhagem epistemológica, conotada com o paradigma da complexidade (Le Moigne, 2013), o que facilitou a nossa pesquisa.

RESULTADOS E MÉTODOS

No início do séc. XX, como já afirmámos, a corrente biológica em destaque era a Embriologia. De acordo com o predominante na Biologia de então, embriologistas como Dalcq, Pasteels, Brachet e Weiss, recusavam as teorias de índole vitalista (quase todas criacionistas), vinculando-se ao mecanicismo biológico, que recusa explicações de fenómenos dos seres vivos por recurso a causas de índole transcendente ou transcendentais.

Influenciados por filósofos como Henri Bergson, os embriologistas encontravam-se num paradoxo, dado que o mecanicismo newtoniano não lhes possibilitava o uso da causalidade final (que responde à pergunta «para quê?») na Biologia. Ora, a teleologia, o fim último de um fenómeno, era-lhes necessário para compreender a (não) diferenciação embrionária com que se deparavam nas suas investigações. Assim, nos primeiros decénios daquele século, alguns embriologistas vão recorrer a outras áreas científicas, como a matemática e a física (com a termodinâmica de Boltzmann, por exemplo) na tentativa de construção de um quadro teórico conciliador com os seus propósitos.

Depois da segunda guerra, a escola de Bruxelas (onde se incluem Dalcq e Pasteels, entre outros) irão render-se, em parte, à causalidade eficiente (ou linear) do mecanicismo newtoniano procurando encontrar um organizador biológico básico para todos os seres vivos. Ainda que não tenham tido sucesso, a investigação por eles empreendida veio reconhecer algo que seria muito importante para a Biologia do futuro, nomeadamente a contemporânea, a identificação embrionária de uma espécie/indivíduo concretiza-se a partir de uma indiferenciação anterior, ou seja, a ordem diferenciada emerge de um estado de indiferenciação (Oliveira, 1999).

Pela mesma época, os embriologistas Paul Weiss e Koestler, entre outros, avançam com outra hipótese, a do «determinismo estratificado», onde defende que a organização embrionária não pode ter como causa uma substância de índole biológica comum, mas deveria antes ser explicada a partir de algumas formas primitivas de índole físico-química. Acreditavam que a investigação precisaria se centrar na «invaginação celular», no facto de as células se dividirem mais depressa na zona do *ovum*, ou seja, fenómenos de endo-complexificação, a partir dos quais se poderia compreender o desenvolvimento embrionário. O tipo de cavidades internas que se verificam nestes processos associam-se ou agrupam-se em estruturas diversas, de tipo auto-organizador.

A expansão destas concepções para outras áreas da Biologia ficou impossibilitada pela pesquisa efectuada por outros investigadores, representados por Francis Crick e James Watson, físicos e biólogos. Fortemente influenciados pela obra do físico Schrodinger condensada em *What is life?*, este grupo de pesquisadores avançou na pesquisa intra-celular à procura de uma lógica ordenatória que, segundo aquele livro diferenciava o vivo do não vivo: a produção de ordem a partir de ordem.

Em posse de microscópios eletrónicos (considerados idóneos ao nível molecular), começaram o longo processo (ainda inacabado) de vasculhar o mundo intra-celular; o que foram observando deixou-os sem fala, literalmente. No mundo científico no qual viviam estes físico-químicos e biólogos não existia um vocabulário, nem uma sintaxe, que possibilitasse a descrição daquilo que observavam. Foi então que decidiram utilizar a teoria da informação vigente à época e aplicá-la à Biologia intra-celular; é assim que passamos a possuir «códigos» genéticos, RNA «mensageiros»; «descodificações», etc.

Foi este grupo de pesquisadores que identificou, como sabemos o DNA (ou ADN, em português), o que lhes mereceu um merecido Nobel. A utilização da teoria da informação trazia uma mais-valia acrescida à Biologia: a possibilidade de fundir o mendelismo com o darwinismo, dando origem à genética molecular contemporânea. O

paradigma aqui utilizado é o do mecanicismo newtoniano, distanciando-se radicalmente da ligação que a embriologia tivera com a termodinâmica.

Na genética molecular, a «informação genética» é cuidadosamente produzida e seleccionada geracionalmente, sendo que as proteínas enzimáticas exprimem informação sobre as mutações favoráveis à espécie. Nesta sintaxe científica, o genótipo representa a possibilidade de ordenação ontogenética face às perturbações às quais vai sendo sujeito. Assim, pelo menos aquando o surgimento da biologia molecular, o genótipo determina sempre a resposta que cada individuo de uma espécie dá face às desordenações identitárias às quais vai sendo assujeitado. O 'programa genético' consiste num conjunto hierarquizado de variáveis, as quais são despoletados em função das condições do meio, (Stengers, 1985).

- «E nós, os que seguimos a segunda direção, éramos minoria. Na época, pensávamos que a analogia da programação não passava de metáfora, uma metáfora muito frouxa. De fato, quando observamos o DNA, não encontramos nenhum sinal de linguagem computacional. O código genético, tal como desvendado, é uma projeção das estruturas lineares do DNA nas estruturas lineares das proteínas. **No entanto, codificação não deve ser confundido com programação.** Portanto, pensávamos que não devíamos nos satisfazer com aquele tipo de descrição metafórica, e procurávamos outras alternativas. Verificou-se posteriormente que os mecanismos de auto-organização constituíam a alternativa procurada». (Atlan, 2003, p.125; negrito de nossa autoria).

Embora, em 1947, Conrad Waddington tivesse inventado o conceito «epigenético», somente em meados da década de 70 alguns biólogos retomam as concepções deste embriologista para explicação e compreensão de fenómenos biológicos de complexidade acrescida aos quais a biologia molecular parecia não dar resposta...a passagem do intra-celeular para o ser humano, por exemplo, nunca foi realmente alcançada. Foi sobretudo devido a Waddington que a biologia molecular se flexibilizou e hoje não possui um carácter tão determinístico como quando surgiu.

Em 1972, Humberto Maturana e Francisco Varela publicam a obra *De máquinas y seres vivos* em Santiago do Chile e na mesma altura Henri Atlan *Organisation biologique et Théorie de l'Information* mas foram praticamente obras desconhecidas excepto para uma minoria académica. Em 1980, a 1ª destas duas obras é publicada em inglês com o título *Autopoiesis and cognition*; os seus autores irão posteriormente (em *El árbol del conocimiento*) reconhecer a influência de Gregory Bateson na sua obra.

Lentamente estes biólogos começam a ser divulgados no mundo científico, em especial no âmbito das ciências sociais e da Filosofia. O epistemólogo Jean-Pierre Dupuy dá o pontapé para a constituição do movimento epistemológico da auto-organização, onde inclui estes biólogos.

Posteriormente, outros biólogos foram incluídos nesse grupo, como Stuart Kauffman. Lentamente as teorias desses autores, ainda que diferentes entre si, foram sendo conotadas com um novo paradigma, o da complexidade que, como qualquer paradigma, inclui teorias (com métodos de investigação associados). Assim, ao nível da Biologia, se esses autores se diferenciam entre si, eles estão sintonizados face às características do paradigma da complexidade, que passamos a descrever, de acordo com Morin (in AAVV, 1991).

1ª – São teorias que assumem o papel do **acaso**, da **desordem** na aprendizagem, no conhecimento, na produção de componentes e processos que asseguram a manutenção dos seres vivos enquanto seres vivos. Sem elementos perturbadores (e não 'nova informação', como na biologia molecular), os seres vivos não produzem aprendizagens, ainda que haja sempre um limite optimal (Oliveira, 2013). Esta questão é muito importante ao nível do ensino, nomeadamente da Biologia, dado que nos alerta que nem sempre o ensino mais estruturado produz maior aprendizagem; a

necessidade de introduzir elementos perturbadores na crença dos educandos é vital para que se produza aprendizagem, logo conhecimento. Ninguém aprende a andar de bicicleta lendo um livro de instruções, mas sim caindo muitas vezes. Defende-se então uma relação complementar onticamente (ainda que oposta, logicamente) entre a desordem e a ordem, como as células de Barnard exemplificam, bem como o princípio de complexidade pelo ruído. (Stengers, 1985)

- «Here is in fact a complex vision, which one has refused to consider during a very long time, for one cannot conceive that disorder can be compatible with order, and that organization can be related to disorder at all, being antagonist to it. At the same time than that of the universe, the implacable order of life is altered. Lamarck introduces the idea of evolution, Darwin introduces variation and competition as motors of evolution. Post-darwinism, if it has, in certain cases, attenuated the radical character of the conflict, has brought this other antinomy of order: chance, I would say even a vice of chance. Within the neodarwinian conception, to avoid calling “creation” or “invention” the new forms of living organization such as wings, eyes— one is very afraid of the word “invention” and of the word “creation”—one has put chance at the prow. One can understand the rest of the fear of creation because science rejects creationism, i.e. the idea that God is a creator of living forms. But the reject of creationism finished in masking the creativity that manifests itself in the history of life and in the history of humanity» (Morin, 2005, p. 4).

2ª - a complexidade do vivo vinca que a explicação de mais que uma parte já se torna difícil, dado que os seres vivos funcionam, produzem sentido nas suas ontogenias em contexto de **múltiplas causas** e por vezes por **circularidade retroactiva**, onde o efeito altera a causa do efeito, e assim sucessivamente. Também aqui os docentes da área devem estar atentos, dado que uma leccionação de informação espartilhada dos contextos nos quais ocorre pode produzir desaprendizagem, não aprendizagem ou aprendizagem simulada (que não produz conhecimento, dado mais não ser que a repetição de conteúdos programáticos que de imediato são eliminados pelos estudantes, após elaboração da avaliação). A dimensão retroactiva é extraordinariamente importante quando se verifica educação e não só ensino (Freire, 1997), quando o educando e o educador se transformam em contextos de sala de aula (e também na dimensão não formal da escola).

Este tipo de processo, típicos da epistemologia holística do paradigma da complexidade, assume então que o todo não corresponde à soma das partes, e que observacionalmente (investigadores ou professores, por exemplo) não nos é possível dar conta de todas as variáveis que ocorrem na produção do conhecimento, nem na aprendizagem, nem na educação.

3ª - **Transgressão da abstração universalizante** (garantida por áreas da matemática) da ciência de origem newtoniana. O singular e o local (como oposto ao universal) não deve ser eliminado no **saber**, mas antes **interligado** com o conhecimento universalizante. Isto é especialmente identificado quando lidamos, em Biologia, com os seres vivos mais complexos que conhecemos, os humanos, dado que cada pessoa é única e insubstituível, ainda que a sociedade economicista nos queira fazer crer que assim não é. Se todos podemos ser substituídos nas nossas funções profissionais, nas dimensões afectivas nenhum ser vivo é substituível, e muito menos quando nos referimos aos sentimentos, que autores como Damásio (2000) vinculam exclusivamente aos animais humanos. Assim, nomeadamente ao nível do ensino, não faz sentido pensar que todos os alunos aprendem, e/ou que aprendem da mesma maneira.

4ª - **Organização - unidade de uma multiplicidade** caracteriza, nas teorias biológicas conotadas com o paradigma da complexidade, os seres vivos, unidades

complexas, não se reduzem à soma das suas partes; de igual modo, a unidade dos seres vivos não é comprometida pela sua complexidade causal, nem esta pela dimensão unitária de cada ser vivo.

5ª – Neste tipo de teorias, **assume-se uma** descentração conceptual exclusiva do objecto; assumindo-se antes **a não separação entre sujeito e objecto** na construção de conhecimento científico na Biologia.

6ª – Assim sendo, **o observador-cientista (bem como o observador-educador) assume-se como sujeito que intervém na sua actividade**, quer nos pressupostos e crenças com os quais actua, em como na construção empírica do conhecimento e da aprendizagem.

7ª - **A contradição não é necessariamente sinal de erro**, contra a lógica abstrata matemática. Torna-se necessário dialogar com aquilo que é contraditório; não sintetizar dialeticamente aquilo que é contraditório, mas sim dialogar-se dentro daquilo que é contraditório. Não há também, porém, que discriminar o saber claro, distinto (totalmente dedutivo) daquele que emerge dos estudos empíricos e laboratoriais.

CONCLUSÕES

Concluindo: o paradigma da complexidade alterou na realidade o conhecimento produzido pela Biologia? Em termos laboratoriais, tal como é admitido pelos biólogos deste paradigma, continua-se a aplicar maioritariamente o paradigma mecanicista newtoniano, mesmo quando estamos face a fenómenos complexos, de tipo caótico ou de ordem dele emergente.

«Quando nós, como biólogos, estudamos células vivas, ou bactérias, ou um sapo, ou qualquer organismo, estamos numa posição de observação exterior. Observamos a estrutura do organismo e, na medida do possível, o desintegramos e olhamos para as diversas partes que o constituem. Observamos o funcionamento do organismo como um todo, ou como subsistemas, mas não presenciamos o todo e as partes conjuntamente, ao mesmo tempo, com as mesmas técnicas de observação e de medida. Quando se olha para uma célula no microscópio, vê-se alguma coisa. Vê-se o núcleo, e assim por diante, mas não se vê nenhuma das funções. Não se veem as moléculas. Para ver as moléculas, é preciso usar outra técnica, diferente do microscópio; uma técnica química. Para ver o que a célula está fazendo, é preciso usar técnicas fisiológicas. E assim por diante» (Atlan, 2003, p. 126).

No entanto, na dimensão conceptual, várias mudanças se verificaram, e se tal parece paradoxal com aquilo que acabámos de enunciar, verifiquemos o que diz a esse respeito o mesmo autor acima citado:

«Portanto, tenho duas experiências distintas. Não há nisso nenhum mistério: todos os que lidam com matemática e física têm experiências do mesmo tipo, exatamente. **Quando descrevo fenómenos físicos por meio de leis matemáticas em que o tempo é um parâmetro, estou eliminando o tempo. Sempre que me for possível descrever algo matematicamente, experienciarei o tempo como ilusão. Ao mesmo tempo, é claro, continuo ainda a viver no tempo**, então tenho outra experiência, que contribui para a primeira. Essa é a nossa condição humana» (Atlan, 2003, p. 126); **negrito de nossa autoria).**

As mudanças mais substantivas que estas teorias trouxeram para a Biologia são usualmente esquecidas ao nível do ensino desta ciência, inclusive ao nível do ensino superior em Portugal. Elas são, no entanto, reconhecidas pela comunidade científica da área em várias partes do mundo, e reportam-se

especialmente à conceptualização da organização do vivo e à (não) previsibilidade do seu funcionamento e comportamentos.

«Num sentido muito concreto, são limitados os poderes de previsão da ciência porque as características complexas da própria realidade empírica – e não propriamente as dificuldades resultantes das interações entre sujeito e objecto – é que criam a limitação cognitiva. No estado de equilíbrio entre ordem e o caos, os próprios protagonistas, diz Kauffman, não podem prever as consequências das suas acções: Diante do monte de areia ao qual vamos juntando alguns grãos, podemos estabelecer leis de distribuição das dimensões das possíveis avalanches, mas é-nos impossível perceber se o mesmo grão de areia será insignificante ou catastrófico. Teremos então que desistir da previsão ao longo prazo (Jorge, 1996, p. 245).

Que vantagens traz o paradigma da complexidade para o ensino da Biologia? De forma resumida, acentuamos o que se segue: pessoas acostumadas a pensar complexamente aceitam mais facilmente o caos, a incerteza e são capazes de produzir alterações planeadas nos sistemas, tentando que emergam mudanças, promovendo retroalimentações, criando e utilizando os recursos que precisam para viver bem, ainda que com menos que os outros, em termos de *status* e dinheiro. Quem vive complexamente dificilmente se esquece que o maior equilíbrio vem das emoções e do auto despojamento, consequência do conhecimento da sua imersão, e emersão, contínuas no padrão que liga todos os seres vivos (Oliveira, 2013).

«Em tempos de internet, a noção de um pensamento complexo parece alcançável em poucos cliques. **As gerações mais novas, criadas em contato com uma realidade amparada em comunidades virtuais, têm nesta tecnologia a percepção exata de uma ação simples pode se reverter em resultados inesperadamente gigantescos.** É o caso de vídeos gravados para o *Youtube*, ou dos jogos interativos que correm entre blogs, ambos iniciativas individuais, ou de pequenos grupos...» (Gules, s/d; negrito de nossa autoria).

BIBLIOGRAFIA

- AAVV (ed. R. Rorty) (1967). *The linguistic turn. - essays in philosophical method*. Chicago: Chicago university.
- AAVV. (1991). *Les théories de la complexité, autour de l'oeuvre d'Henri Atlan*. Paris. Deuil, 1991.
- Alhadeff-jones, M. (2013). *Complicity: An International Journal of Complexity and Education*. Vol. 10, nº 1/2, pp. i-vii.
- Atlan, H. (2003) Ruído e determinismo: diálogos espinosistas entre antropologia e biologia. *MANA*, 9(1), 123-137.
- Braun, V., Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77-101.
- Damásio, A.. (2000). *Sentimento de si: o corpo, a emoção e a neurobiologia da consciência*. Lisboa: Europa-América.
- Freire, P. (1997). *Pedagogia da Autonomia. Saberes necessários à prática educativa*. S. Paulo: Editorial Paz e Terra.
- Gules, T (2009). Epistemologia da complexidade - Edgar Morin (pseudo-resenha). <http://foxguy.blogspot.pt/2009/10/epistemologia-da-complexidade-edgar.html> .

- Jorge, M. M. (1996) O objecto apesar do sujeito. *I Seminário Internacional de Estudos da complexidade*. Curitiba-Paraná, 211-250.
- Kauffman, S. (1993). *Origins of Order: Self-Organization and Selection in Evolution*, Oxford: Oxford University Press
- Kuhn, Thomas. (1962). *The structure of scientific revolutions*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Le Moigne, JL. (2013) The Intelligence of Complexity. *Complicity: An International Journal of Complexity and Education*, 10(1/2), pp. 1-17.
- Maturana, H., Varela, F. (1972). *De Maquinas y Seres Vivos*. Santiago do Chile: Editorial Universitaria.
- Morin, E. (2005). Restricted complexity, general complexity. *Colloquium Intelligence de la complexité: épistémologie et pragmatique*, Cerisy-La-Salle, July 26th.
- Oliveira, C. C. (1999). *A Educação como Processo Auto-organizativo – Fundamentos Teóricos para uma Educação Permanente e Comunitária*. Lisboa: Ed. Instituto Piaget
- Oliveira, C. C. (2013). What Bateson had in mind about 'mind'? *Biosemiotics - Springer*, 2013.
<http://www.springerlink.com/openurl.asp?genre=article&id=doi:10.1007/s12304-013-9190-8> .
- Palmer, R. (1989). *Hermenêutica..* Lisboa: Edições 70.
- Stengers, I. (1985). Les Généalogies de l'Auto-organisation. *Cahiers du CREA*, 8,. 29-72.
- Wittgenstein, L. (2005). *Investigações Filosóficas*. Petrópolis: Vozes.