



Encáostica, a Engenharia do Caos

Construindo Sistemas Acadêmicos Dinâmicos

Nilo Sylvio Costa Serpa

GAUGE-F Scientific Researches, Brasil; Faculdades ICESP.

Marcelo Alcântara

Instituto Expert Brasil.

Emilly Moura da Cruz

UNIP- Universidade Paulista.

Received: 02 Oct 2017 _____ / Accepted: 20 Oct 2017 _____ / Published: 27 Nov 2017 _____.

Abstract: The aim of this theoretical study is to present and discuss a chaotic simulation model addressed to understand how an academic environment can evolve from chaos to stabilized states, providing a consistent basis to support new methodological initiatives that promote changes in the current paradigm of education. Simulations are given as representations of academic systems consisting of researchers and professors interacting within a change-resistant environment. Well-defined attractors are found in all simulations.

Key words: computational simulation, modeling, attractor, chaos.

Letras romanas

u , v , w : dissimilaridades dinâmicas da competição entre as forças atuantes no sistema

Letras gregas

α_1 , α_2 : constantes de acoplamento entre as variáveis dinâmicas do sistema

1. Introdução

Desde a década de 1980, os estudos sobre os chamados sistemas caóticos têm se intensificado. Nesta trilha de investigação surgiram trabalhos seminais sobre o assunto, os quais se tornaram verdadeiros clássicos nas literaturas científicas — básicas e avançadas — como os de Gleick [4], Kauffman [6] e Prigogine [12] [13]. Mais recentemente, pesquisadores de vários campos se ocuparam da ciência do caos em contextos que vão desde a educação, passando pela gestão de recursos humanos, economia e econofísica, biologia e, finalmente, chegando à física [2] [5] [11] [13] [14] [15] [17]. A célebre simulação do sistema dinâmico de

Corresponding author: Nilo Sylvio Costa Serpa, Ph.D., professor, áreas de pesquisa: gravitação quântica, computação quântica, cosmologia e engenharia de sistemas termodinâmicos. E-mail: nilo.serpa@icesp.edu.br.

Lorenz [9], descrevendo o movimento de um fluido em uma camada horizontal que está sendo aquecida de baixo, foi, sem dúvida, um dos grandes ícones da motivação que tem originado tantos estudos sobre o assunto (Figura 2). Semelhante interesse é justificado pelo simples fato de que é da própria natureza das coisas oscilar entre períodos de grande turbulência e de estabilidade relativa. É, portanto, necessário conhecer as leis do caos, a fim de lidar de forma teleológica e eficiente com nossos sistemas de produção a taxas mais baixas de geração de entropia. Surge, assim, a engenharia do caos.

Encáustica, a engenharia do caos (não confundir com encáustica, técnica de pintura), é uma tecnologia que se vale da ciência do caos para examinar sistemas caóticos, naturais ou artificiais, e construir, a partir de simulações e experimentos sobre estes sistemas, configurações que se mostrem úteis do ponto de vista produtivo por meio de teorias e práticas de controle sobre a dinâmica daqueles sistemas. Trata-se de uma proposta iniciada e cunhada por Serpa, estimulada pelos estudos de Alcântara e desenvolvida graças ao apoio de Moura da Cruz, que ora passam a discuti-la com vistas à preparação de um sistema acadêmico dinâmico capaz de operar eficazmente conforme metodologias disruptivas de ensino/aprendizagem.

Tanto quanto sabemos pela investigação conduzida, não há referências à aplicação da teoria do caos em um sistema como o que está sendo definido aqui. Assim, nossa pesquisa baseia-se em dois pilares fundamentais: organização sistêmica e desdobramento caótico. Buscando uma nova maneira de ver o mundo, alguns autores começaram a propor teorias mais integrativas: o todo é mais do que a soma das partes. Longe de ser uma proposta mística, esta visão se baseia no fato de que as propriedades que um nível organizacional apresenta não são apenas a soma das propriedades de suas partes constituintes, mas são devidas aos processos de interação que ocorrem entre essas partes constituintes. A esse fenômeno chamamos << emergência >> [7]. Assim, organização sistêmica é

um arranjo de atores, ferramentas, processos, conceitos e práticas, de modo que haja lugar para ocorrer << emergência >>. À medida que um novo nível emerge, descobre-se algo ainda mais interessante: o sistema não precisa de estímulo externo para se estabilizar. Isso ocorre a partir das suas próprias características e das possibilidades de interações aleatórias: temos então auto-organização. Dessa forma, desdobramento caótico é uma difusão de eventos aleatórios interligados que desencadeiam mecanismos internos de adaptação e regulação a partir de suas interações. Visto sob esta ótica, o sistema obedece a uma ordem interna, que permite a criação de novas estruturas e novas formas de comportamento. Este fenômeno é relatado por vários autores, dentre eles Gell-Mann [3], Kauffman [6] e Lewin [7]. Não há necessidade de um mecanismo organizacional externo. O sistema, como nós dissemos, se auto-organiza.

Como se depreende, os pilares essenciais descritos acima estão centrados em emergência e aleatoriedade. Agora bem, a educação clássica há muito tempo se firmou a partir de uma perspectiva autoritária, decorrente de séculos de tradição. O modelo de ensino centrado no professor, com o preceptor como detentor do conhecimento e, portanto, responsável por transmiti-lo aos alunos, permaneceu predominante, apesar dos esforços sempre presentes dos educadores para mudar essa imagem. À guisa de exemplo, como relatado por Mamede e Penaforte, nós podemos mencionar John Dewey, quem já em 1903 afirmava que

"A crença de que uma teoria pode ser aprendida a partir de uma fórmula verbal nasceu da concepção de que primeiro percebemos coisas e idéias, como se fossem objetos de conhecimento separados para serem vinculados pela função do julgamento. Desta forma, a educação se torna sinônimo de transmissão de fatos externos à mente, na perspectiva de que, em uma segunda etapa, como resultado de uma propriedade natural do processo de conhecimento, a descoberta de

suas conexões associativas irá necessariamente seguir” [10].

Diante dos fatos, acreditamos que é possível construir um novo modelo de ensino-aprendizagem a partir de concepções pouco ortodoxas centradas no caos e na auto-organização. A presente abordagem visa mostrar como um ambiente acadêmico pode se auto-organizar a partir do caos e evoluir por meio da aplicação de princípios contidos nas metodologias ativas para o incitamento de interações colaborativas entre professores e pesquisadores. Evidentemente, as simulações começam a partir da premissa de aleatoriedade das propriedades relevantes do sistema em foco, tais como resistência das instituições às mudanças, habilidades individuais e obstáculos burocráticos. Na verdade, essa aleatoriedade é a essência dos modelos mais inovadores e disruptivos de interação humana, nos quais o redesenho de desafios e problemas decorre naturalmente de interações fortuitas entre atores que manifestam seus próprios ritmos de trabalho e também aprendem com outros em grupos e projetos. Espera-se que o presente trabalho lance nova luz sobre os fundamentos teóricos das principais iniciativas contemporâneas para a adequação do processo de ensino-aprendizagem às grandes mudanças da nossa sociedade.

2. Metodologia

Este estudo se baseia na configuração de um <<modelo de brinquedo>> por meio de simulações computacionais realizadas em um ambiente acadêmico aleatoriamente construído. O próximo passo será aplicar o modelo aos perfis profissionais criados nas Faculdades ICESP, Brasília, Brasil. Se os resultados das simulações com os dados levantados forem promissores em relação às novas práticas adotadas na instituição, haverá uma forte indicação de que a teoria pode ser generalizada para qualquer ambiente acadêmico.

Para discutirmos a maneira pela qual é possível instituir, dentro da comunidade acadêmica, um processo comunicacional dinâmico com progresso¹, isto é, que modifica positiva e gradualmente a cultura anacrônica de ensino/aprendizagem hoje vigente na grande maioria — se não na totalidade — das instituições brasileiras de ensino superior, faz-se necessário estabelecer as bases formais que consubstanciam a modelagem da proposta em foco. Começamos por lembrar que, embora evolução implique necessariamente em auto-organização, esta por si só não é suficiente para constituir evolução. Entenderemos melhor isto mais adiante.

De início, consideremos por hipótese um sistema formado hierarquicamente pela classe de professores de uma instituição de ensino superior. Esta hierarquia não reflete uma organização de poder; antes sim, é referida a postos de atuação, tais como líder de grupo de pesquisa, orientador de trabalho de conclusão de curso, orientador de iniciação científica, etc. Obviamente, presume-se que, por se tratar de um sistema, a classe como um todo realiza coisas irrealizáveis para os elementos isolados constituintes do sistema. Este sistema complexo (mas não complicado) é de fato uma rede de atores individuais cujas interações mútuas tendem a produzir um comportamento autogerenciado, muito organizado e cooperativo. Demais disto, tanto quanto seus componentes, o sistema só poderá ser observado mediante uma sucessão de estados caracterizados a partir da definição de certas variáveis que permitem conhecer as simetrias do sistema. Assim, a função de estado que descreveria um membro x (professor) da classe X (sistema) seria escrita como

$$\{\Gamma(X), \Gamma(X, x)\},$$

¹ O conceito de evolução com progresso foi bem discutido por Lewis na década de 1960 [8]. É a noção de evolução contínua, ou seja, não existe um estado de especialização máxima que torne o sistema incapaz de se adaptar e se ajustar a novas condições.

sendo $\Gamma(X)$ a função de estado global e $\Gamma(X, x)$ a função de estado dos membros. Uma vez que os $\Gamma(X, x)$ estão em $\Gamma(X)$, estes objetos não comutam, o que significa que habitam espaços funcionais diferentes. Suas assinaturas, ou conjuntos de coordenadas associadas a eles, formam uma rede hierárquica. Cada nível da hierarquia está descrito pela estrutura

$$\mathcal{M} = \langle \ell, \beta^\ell, T^{\beta^\ell} \rangle,$$

em que

$\ell \rightarrow$ assinatura de escala,

$\beta^\ell \rightarrow$ grupo de simetria na escala ℓ ,

$T^{\beta^\ell} \rightarrow$ uma topologia em β^ℓ (basicamente, as coordenadas no ℓ -ésimo nível).

Se usarmos um espaço de Hilbert \mathcal{H} para descrever estes estados hierárquicos,

$$\Gamma_1, \Gamma_2 \in \mathcal{H}; \alpha, \beta \in R \Rightarrow \alpha \Gamma_1 + \beta \Gamma_2 \in \mathcal{H},$$

teremos para o estado geral,

$$\alpha \Gamma(X) = \left\{ \alpha \gamma_X^{\ell_1}(\tau^{\beta^{\ell_1}}), \right. \\ \left. \left\{ \alpha \gamma_{X_{x_1}}^{\ell_2}(\tau_1^{\beta^{\ell_2}}), \dots, \alpha \gamma_{X_{x_n}}^{\ell_2}(\tau_n^{\beta^{\ell_2}}) \right\}, \dots \right\}.$$

O formalismo apresentado acima é derivado de um trabalho de Altaisky em mecânica quântica [1], retomado e expandido por Serpa em computação quântica [16], e agora adaptado para o presente contexto². Para caracterizar o estado fundamental do sistema ora em conjectura e de seus elementos foram estabelecidas *strings* (ou *words*) de sub-variáveis binárias (seis ao todo), cujas <<casas>> (endereços dentro das *strings*) recebem 0, se variáveis recessivas, ou 1, se variáveis dominantes, de acordo com as chamadas <<seis idades>>, a saber:

- a. Interatividade – capacidade de interação dos elementos entre si, ou do sistema com outros sistemas;
- b. Iteratividade – capacidade para replicação de processos e ações;
- c. Interoperabilidade – capacidade de operacionalizar, a partir de interações, procedimentos e atividades concomitantes referentes a um mesmo contexto;
- d. Constructibilidade – capacidade para desenvolver construtos;
- e. Intelectividade – capacidade de tornar inteligíveis idéias e conceitos;
- f. Transdisciplinaridade – capacidade para ultrapassar os limites disciplinares, combinando conhecimentos de áreas diversas.

As letras usadas como identificadores dos itens serão evocadas mais adiante. Cada membro x (professor) é titulado com uma *string* ordenada, um vetor linha cuja ordem dos <<bits>> é a ordem apresentada acima, sendo que o estado de cada membro hierarquicamente incluído no sistema não pode ser avaliado independentemente dos níveis acima de seu próprio nível, nem do estado dos membros conivelados.

A ordem apresentada acima não é gratuita. A intelectividade, por exemplo, só será plenamente desenvolvida se houver destreza na elaboração e na associação de construtos. Por sua vez, a transdisciplinaridade só pode ser alcançada a partir das habilidades intelectivas, as quais aguçam a percepção das inter-relações disciplinares. Nada disso seria factível não houvesse antes a experiência interativa necessária ao desenvolvimento da retórica, nem a experiência da reprodução de vivências sociais agregadoras a partir do domínio da retórica, nem a experiência de testar idéias por interoperabilidade de

² Espaços de Hilbert são construtos aplicados com grande sucesso na mecânica quântica, embora seu âmbito de aplicação não se restrinja a esta área (nota dos autores).

processos comunicacionais e técnicas de atuação coletiva, cujos resultados certamente fomentam a trama de construtos. Partiu-se do princípio de que todo indivíduo tem essas potencialidades, algumas dominantes, outras recessivas.

Já que seria pretensioso e arriscado afirmar que as <<seis idades>> formam um conjunto imutável, introduzimos este conjunto como designativo de um estado fundamental comum a todos. Diz-se, então, que ocorre evolução individual se uma propriedade nova emerge a partir do estado fundamental (formado pelas <<seis idades>>). Esta nova <<idade>> acrescenta um <<bit>> à *string* original, 0 ou 1 (os <<*monomers*>> de Kauffman [6]), dependendo das interações entre os elementos da classe. Se, por seleção espontânea, a nova propriedade agregar valor ao sistema, tornando sua dinâmica mais eficaz, diz-se que houve evolução do sistema com progresso. Teoricamente, *strings* podem crescer indefinidamente, sendo que para um determinado comprimento L da *string* haverá 2^L tipos de *words* possíveis. Assim, as possíveis *strings* binárias de comprimento 2 são

$$A := \{01\}; B := \{11\}; C := \{00\}; D := \{10\}.$$

2.1. Topologia de gramáticas genéticas semi-randômicas

Mantenhamos, pois, o foco nas <<seis idades>> propostas. Um coletivo de *strings* permite estabelecer pares de *words* que podem ser recombinadas segundo regras previamente estabelecidas. Dá-se o nome de gramática ao conjunto de tais regras. Sendo tais regras similares às regras de recombinação cromossomal, dizemo-las <<genéticas>>. Gramáticas são especialmente úteis quando se deseja testar se um modelo distante da condição de equilíbrio é conduzido, à beira do caos, a processos de auto-organização, verificando se a dinâmica do sistema em questão manifesta um estado atrator, isto é, um estado de convergência, o qual desponta de uma trajetória que parece fazer mais sentido que outras, ou que ocorre com maior frequência durante as iterações. Uma vez

que a *word* de um novo elemento do sistema é constituída de uma seqüência arbitrária de zeros e uns, de acordo com a ordem proposta das <<idades>> podemos escolher um ponto de corte fixo nas *strings*, visto que os três primeiros bits se referem às propriedades que caracterizam os requisitos de atuação individual menos complexos — as capacidades de exercer ação mútua, repetir e por em prática os processos desenhados para o sistema —, e os três últimos às capacidades individuais superiores — aptidão para criar e aplicar novos construtos, usando-os como conectores entre diferentes áreas —, as quais se supõe menos freqüentes. Por esta razão, qual seja a de fixar um ponto de corte numa *string* aleatoriamente construída, é que demos o nome de gramática semi-randômica. Sejam, portanto, dois elementos com os seguintes rótulos:

$$\{001|011\}, \{111|010\}.$$

De acordo com a gramática em aplicação temos as recombinações

$$\{111|011\}, \{001|010\}.$$

Recombinações deste tipo são resultados de interações aleatórias. Outrossim, podem ocorrer mutações aleatórias em determinados *bits* provocadas por estímulos e motivações emergentes da própria dinâmica do sistema; noutras palavras, são ajustes de comportamentos em função dos *feedbacks* providos pelo próprio ambiente.

Consideremos agora uma topologia para as nossas *strings*, isto é, uma estrutura que permanece inalterada diante da mudança cardinal aleatória dos *bits*. Retomemos as letras identificadoras das <<seis idades>>, conservando-as na mesma ordem em que foram listadas. Dessa forma, nossa *string* completa poderia ser escrita de modo literal como

$$\{a,b,c,d,e,f\}.$$

Sendo esta *word* uma topologia, se tomarmos todos os seus subsets (abertos) ordenados de acordo com a seqüência original de letras — nos quais se omitem os itens recessivos —, poderemos estabelecer o seguinte *lattice*³ (Figura 1):

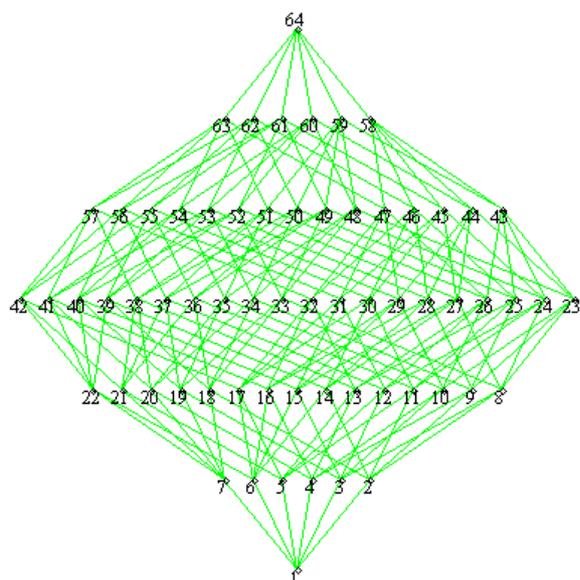


Figura 1 – *Lattice* da topologia definida no modelo.

Portanto, o número de abertos desta topologia equivale aos 2^L tipos de *words* possíveis já mencionados, a saber, 64. Dessarte, uma evolução individual, no sentido estrito apontado anteriormente, levará a uma mudança de topologia.

2.2. Buscando atratores no modelo

Kauffman define atrator como um conjunto de pontos, ou estados num espaço de configuração, para o qual as trajetórias dentro de determinados limites deste espaço convergem assintoticamente com o passar do tempo [6]. Sendo assim, fixada a topologia descrita na subseção anterior, a idéia principal é agora simular um

³ Em topologia, ou, mais especificamente, teoria da ordem, um *lattice* ou retículo é um conjunto parcialmente ordenado com a propriedade fundamental de que dado um par de elementos somente poderá haver um único extremo superior e um único extremo inferior. (nota dos autores).

modelo caótico de SAD (abreviatura para Sistema Acadêmico Dinâmico) a partir das trocas e *feedbacks* entre professores de um meio acadêmico qualquer, verificando se ao final de um grande número de iterações se observa um comportamento predominante, isto é, se a dinâmica do sistema conduz, com o tempo, a estados organizados em torno de uma fronteira de estabilidade, um atrator (a linha ou faixa que delimita a fronteira de um atrator é denominada <<caóstica>>). Para tanto é necessário estabelecer três equações diferenciais, a saber:

1. Equação diferencial do perfil acadêmico, subentendendo-se que este pode evoluir continuamente;
2. Equação diferencial da ação do meio acadêmico sobre o perfil acadêmico acima mencionado, admitindo-se que tal ação se modifica continuamente;
3. Equação diferencial da propensão individual, supondo-a também continuamente mutável.

As oscilações que caracterizam a evolução do sistema são referentes às flutuações competitivas reais entre as forças atuantes (resumidamente, resistência a mudanças *versus* motivações inovadoras, tendo como *background* um acervo de habilidades individuais). Esta dinâmica foi representada por um sistema do tipo Lotka-Volterra modificado por Serpa,

$$\begin{cases} a.u.u_o - \alpha_1.u.u_o.v.v_o = 0 \\ -b.v.v_o + \alpha_1.u.u_o.v.v_o - \\ -\alpha_2.v.v_o.w.w_o = 0 \\ -c.(w.w_o - w^\dagger) + \alpha_2.v.v_o.w.w_o = 0, \end{cases}$$

no qual a mescla das variáveis dinâmicas u, v, w com u_o, v_o, w_o encerra dissimilaridades e determina, com o tempo, a configuração final do sistema de acordo com

os dados registrados (para maiores detalhes sobre esta forma de modelagem, favor consultar a referência [15]).

3. Resultados e discussão

As primeiras simulações partiram da geração aleatória de 10 strings binárias das <<seis idades>>, das dissimilaridades entre as ações do meio acadêmico (computadas em termos de probabilidades) e das dissimilaridades entre as propensões individuais (que também são probabilísticas) para um total de 40 perfis acadêmicos aleatoriamente escolhidos entre as 10 strings (isto significa que há perfis repetidos). Os atratores mudam no espaço de configuração de acordo com o número de membros considerados (embora este não seja marcante para a forma da evolução), com a variabilidade das propensões individuais e com a variabilidade da resistência institucional às mudanças. De um modo geral, a presença de propensões individuais elevadas contra a ocorrência de acentuada resistência a mudanças resulta em atratores em torno de áreas bem definidas e estreitas (Figuras 3 e 4). Em termos de largura de faixas de dissimilaridades, o que se observa amiúde é que, consideradas as dissimilaridades entre as propensões individuais numa faixa mais larga de valores, o sistema tende a convergir para uma cáostica menor em torno de marcas mais elevadas no eixo das ordenadas (dissimilaridades no meio acadêmico), enquanto que para dissimilaridades entre as propensões individuais numa faixa mais estreita o sistema tende a convergir para uma cáostica maior em torno de marcas mais baixas no eixo das ordenadas (arrastando as dissimilaridades no meio acadêmico para valores menores).

Por definição, quanto mais estreita a cáostica, maior a simetria entre os componentes do sistema. A pergunta é: que perfis são necessários para que se obtenha um atrator que reflita esta simetria, isto é, o estado auto-organizado que buscamos, no qual as três grandes

variáveis dinâmicas se estabilizam? Repetidas simulações sob as mais diversas hipóteses iniciais, inclusive diferentes intervalos de tempo de processamento, mostraram que, para um total de 40 membros, a configuração ideal do conjunto exige de 9 a 10 membros com perfis entre 57 e 63 (em ordem, strings 111001, 111010, 111011, 111100, 111101, 111110, 111111), sendo pelo menos um com perfil máximo dominante 63 (Figura 5). Observe que em todos esses perfis, no mínimo um *bit* das <<três idades superiores>> é dominante, e todos das <<três idades inferiores>> são dominantes. Por configuração ideal de equilíbrio se entende aquela que exhibe um atrator bem localizado, caracterizado a partir do fato de serem pequenas as dissimilaridades e suas diferenças.

Conclusão

Este estudo mostrou simulações realizadas em representações de sistemas acadêmicos formados por pesquisadores e professores que interagem em um ambiente supostamente resistente a mudanças, ressaltando que estes sistemas, denominados SAD, podem evoluir de configurações caóticas para a estabilidade, induzindo atratores bem definidos. Presume-se que a estabilidade é um novo estado de ordem alcançado pela troca contínua de conhecimento e experiências entre os atores, de tal forma que se tornou possível mudar os processos internos de ensino e avaliação, agregando mais valor à aprendizagem e mais qualidade ao ensino. Certamente, é um modelo teórico que precisa ser confrontado com a realidade através de instrumentos práticos de coleta de dados. As atividades que promovam a interação devem ser organizadas para permitir observações precisas da evolução do SAD. As principais implicações práticas esperadas deste estudo são a modernização dos processos acadêmicos, tanto administrativos quanto de ensino / aprendizagem, e a melhoria da qualidade do ensino, uma vez que o funcionamento do modelo apresentado depende de mudanças institucionais

profundas. Além disso, os trabalhos futuros podem realizar análises estocásticas complementares ao assumir os processos de Markov sobre o número finito de possíveis estados individuais.

[17] Wheatley, M. 2012. *Liderança e a Nova Ciência: Descobrendo Ordem num Mundo Caótico*. Cultrix, São Paulo.

Referências

- [1] Altaisky, M. 2000. “What Can Biology Bestow to Quantum Mechanics?” *arXiv: quant-ph/0007023v1*.
- [2] Din, Q. 2017. “Complexity and Chaos Control in a Discrete-Time Prey-Predator Model.” *Commun Nonlinear Sci Numer Simulat* 49: 113–134.
- [3] Gell-Mann, M. 1996. *O Quark e o Jaguar: As Aventuras no Simples e no Complexo*. Rocco, Rio de Janeiro.
- [4] Gleick, J. 1991. *La Théorie du Chaos*. Flammarion, Paris.
- [5] Haefner, J. 1996. *Modeling Biological Systems: Principles and Applications*. Chapman & Hall, New York.
- [6] Kauffman, S. 1993. *The Origins of Order*. Oxford University Press, New York.
- [7] Lewin, R. 1994. *Complexidade: A Vida no Limite do Caos*. Rocco, Rio de Janeiro.
- [8] Lewis J. 1972. *O Homem e a Evolução*. Paz e Terra, Rio de Janeiro.
- [9] Lorenz E. 1993. *A Essência do Caos*. Editora Universidade de Brasília, Brasília.
- [10] Mamede, S., Penaforte, J. (orgs) 2001. *Aprendizagem Baseada em Problemas: Anatomia de uma Nova Abordagem Educacional*. Hucitec, Fortaleza.
- [11] Mitchell, M. 2009. *Complexity: A Guided Tour*. Oxford University Press, New York.
- [12] Prigogine, I. 1980. *From Being to Becoming: Time and Complexity in the Physical Sciences*. W. H. Freeman and Company, New York.
- [13] Prigogine, I. 2002. *As Leis do Caos*. Editora UNESP, São Paulo.
- [14] Šarlošia, J., Bockob, J., Suroveca, R. 2014. “Deterministic Chaos.” *Procedia Engineering* 96: 458 – 466.
- [15] Serpa, N. 2012. “Computational Simulations and Science: Advanced Lotka-Volterra Modeling in Economics.” *Int. J. of Data Analysis & Information Systems* 4(2): 69 - 80.
- [16] Serpa, N. 2017-2018. “Clouds of Quantum Machines.” *Encyclopedia of Information Science and Technology* 4th ed. 91: 1040-1062.

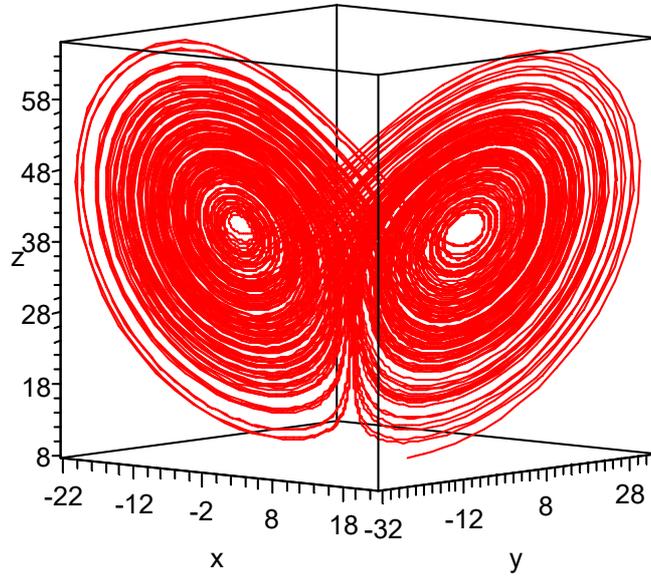


Figura 2 – O famoso ciclo de Lorenz construído em Maple.

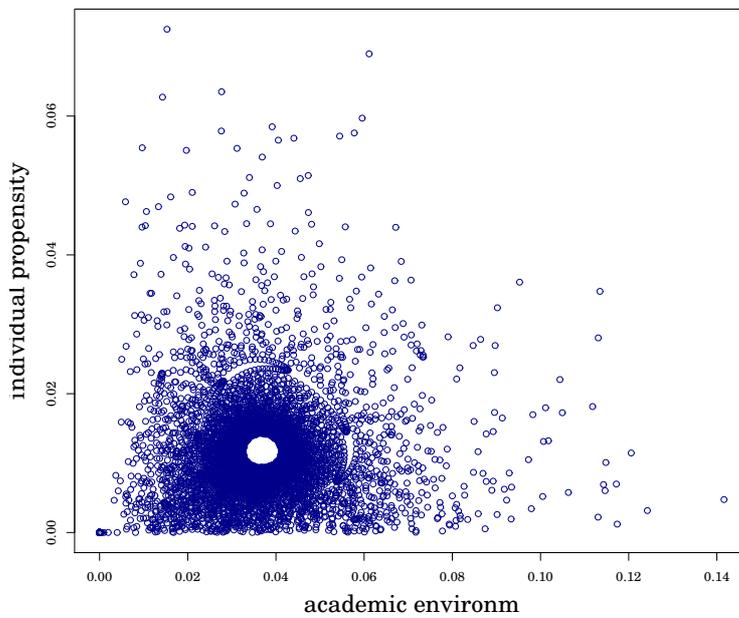


Figura 3 – Atrator para uma faixa mais larga de propensões individuais.

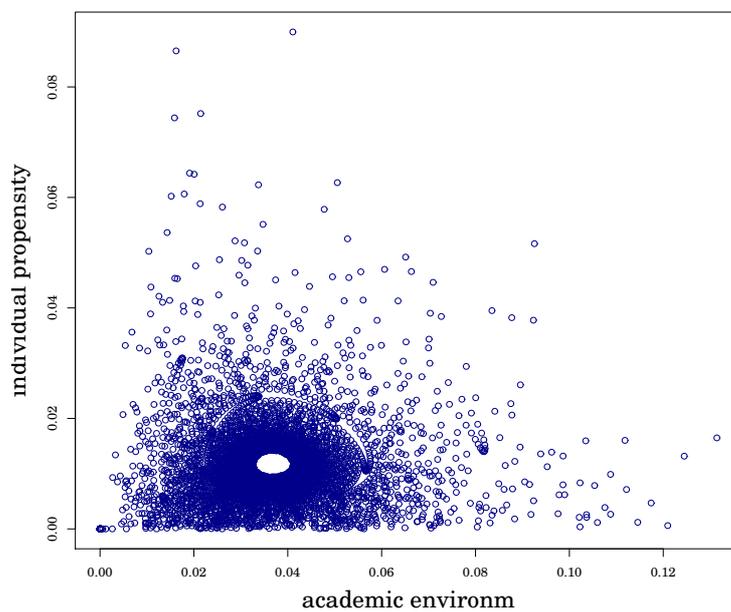


Figura 4 – Variação do atrator da figura anterior para uma faixa mais larga de propensões individuais.

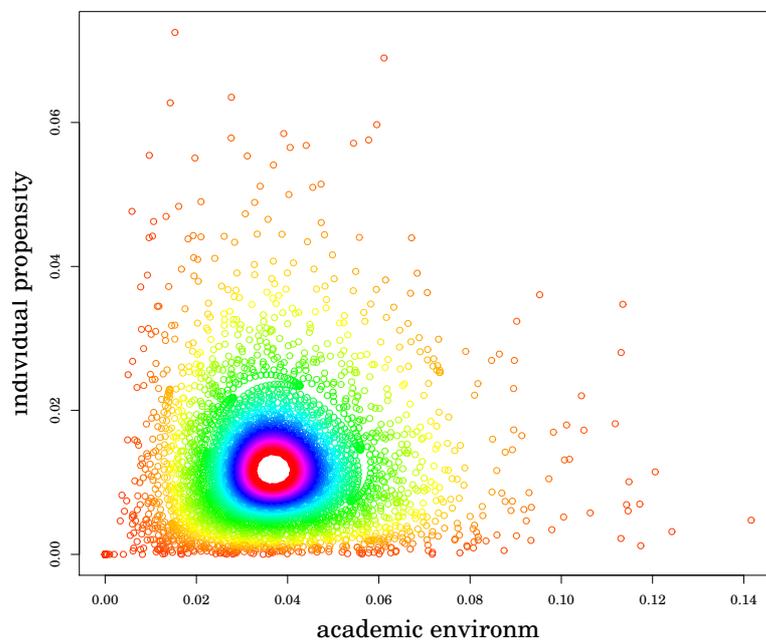


Figura 5. Cáostica (em vermelho) de uma evolução ideal para um sistema com 40 membros, contendo um perfil 63 e oito perfis entre 57 e 62.