



PANORAMA DA COMPLEXIDADE: PRINCIPAIS CORRENTES, DEFINIÇÕES E CONSTRUCTOS

Alessandro Prudêncio Lukosevicius¹, Gustavo Guimarães Marchisotti², Carlos Alberto Pereira Soares¹

1 Universidade Federal Fluminense (UFF), 2 Escola Brasileira de Administração Pública e de Empresas, Fundação Getúlio Vargas (EBAPE/FGV)

RESUMO

A Teoria da Complexidade é aplicada a muitos campos do conhecimento humano, e suas implicações são crescentes, tanto no mercado quanto na academia. No entanto, usualmente, a teoria é abordada por fragmentos em revisões de literatura, que não a tem como foco principal. Dessa forma, dificulta-se o entendimento de sua unicidade, sua continuidade e sua consistência. Assim, o objetivo deste trabalho é prover um panorama sobre a Teoria da Complexidade, apresentando seus principais elementos e fomentando a discussão a respeito de suas potencialidades de uso. A abordagem da pesquisa é qualitativa, exploratória e bibliográfica, focada em três das principais bases científicas: *Web of Knowledge*, Scopus e SciELO Brasil. Constata-se que a popularidade da Teoria da Complexidade entre acadêmicos e praticantes é crescente e tem potencial para gerar benefícios ainda não explorados em diversas áreas.

Palavras-chave: Complexidade; Teoria da complexidade; Paradigma da complexidade; Definição de complexidade; Sistema adaptativo complexo.

1. INTRODUÇÃO

Na ótica dos praticantes, o comportamento das economias, o avanço das tecnologias e o ritmo das inovações são exemplos de manifestações que conduzem à ideia de um mundo mais complexo. Na academia, a percepção se repete (Saynisch, 2010; Sheffield *et al.*, 2012). Taylor (2003) exprime esse sentimento de um nível de complexidade sem precedentes ao afirmar que a velocidade das mudanças é maior que a capacidade de compreendê-las. Dessa forma, os tempos modernos são regidos pela complexidade crescente, e entender seus princípios para melhor navegar em seus meandros é a ideia mais produtiva (PMI, 2013).

Nesse contexto, a Teoria da Complexidade surge para auxiliar na compreensão dos mecanismos que regem a complexidade. Essa teoria é aplicada em diversas áreas, por exemplo: biologia, aviação, gestão, computação, matemática, física e meio ambiente.

Analisar o mundo pelas lentes da Teoria da Complexidade convida estudiosos e praticantes a vislumbrarem novas

perspectivas, encontrarem diferentes soluções e inovarem abordagens. Esse novo prisma traz importantes implicações, pois desafia o paradigma de um universo mecanicista, abrindo as portas para entender o mundo pelo viés dos sistemas complexos.

Os sistemas complexos não podem ter o comportamento inferido a partir dos seus componentes (Whitty *et al.*, 2009). Nesses sistemas, os diferentes elementos interagem e produzem saídas que são imprevisíveis e não lineares (Maylor *et al.*, 2008). Esse comportamento incerto pode explicar diversos fenômenos na natureza humana e geral.

Em relação à terminologia, vale ressaltar que as expressões “teoria da complexidade”, “estudo de sistemas dinâmicos”, “estudos de não linearidades”, “teoria de sistemas adaptativos complexos”, “pensamento complexo” e “ciências da complexidade” são muitas vezes tratadas como equivalentes (Neto, 2007). Neste artigo, a expressão “teoria da complexidade” será adotada no sentido de abarcar as demais expressões.



Apesar de muito estudada, a Teoria da Complexidade é geralmente abordada em fragmentos, por meio de cortes transversais em revisões de literatura, que não a têm como foco principal. Com isso, dificulta-se o entendimento da unicidade, da continuidade e da consistência da teoria. Assim, o objetivo deste trabalho é prover um panorama sobre a teoria em questão, apresentando seus elementos e fomentando a discussão a respeito de suas potencialidades.

A Teoria da Complexidade abre um novo leque de possibilidades de uso em diversos campos do saber humano, o que explica sua crescente popularidade na academia e no mercado. No entanto, suas aplicações ainda são incipientes. Portanto, há bastante espaço para novas descobertas nessa área.

A seguir, detalha-se os procedimentos metodológicos que deram origem aos resultados da pesquisa. Na sequência, apresenta-se a evolução da Teoria da Complexidade. Posteriormente, busca-se elucidar alguns elementos da complexidade, ou seja, os principais tipos, dimensões, propriedades e definições. Por fim, tece-se as considerações finais.

2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A ciência é um processo permanente de busca da verdade (Vergara, 2004). O conhecimento é o objeto da ciência, e a pesquisa científica é o instrumento de busca do conhecimento (Junior *et al.*, 2007). Por exemplo, na pesquisa em administração, visa-se produzir conhecimento para orientar a tomada de decisão (Cooper *et Schindler*, 2003).

Assim, este artigo visou levantar o histórico, as definições e as perspectivas da Teoria da Complexidade, por meio de uma abordagem qualitativa, exploratória e bibliográfica. A pesquisa exploratória permite ao pesquisador conhecer melhor o problema de pesquisa, sendo o objetivo tornar o problema mais explícito e construir hipóteses (Gil, 2010).

A técnica de coleta de dados adotada foi a pesquisa em fontes bibliográficas. A pesquisa bibliográfica explora dados secundários de material já publicado oriundos de fontes bibliográficas, como: artigos, livros, revistas e jornais; e não bibliográficas, como: CDs e material da *internet*. Essa estratégia foi utilizada nesta pesquisa com o intuito de permitir

ao pesquisador cobrir um leque de fenômenos mais amplo do que aquele que ele poderia pesquisar diretamente (Gil, 2010). O fluxo da coleta de dados da pesquisa é mostrado na Figura 1.

Inicialmente, artigos, livros, teses e dissertações foram pré-selecionados de bases nacionais e internacionais como: *Web of Knowledge*, *Scopus* e *SciELO Brasil*. O critério de seleção da bibliografia se baseou na combinação dos descritores: “*complexity theory*”, “*complexity paradigm*”, “*complexity definition*”, “*complexity adaptative system*” e suas respectivas traduções para o português.

Uma análise foi empreendida por meio de leitura exploratória para indicar os materiais merecedores de uma leitura crítica. Privilegiou-se autores clássicos no tema e publicações recentes (últimos cinco anos). Por fim, realizou-se uma síntese buscando pontos de convergência, divergência ou complementaridade entre os autores em relação ao objetivo deste estudo.

3. ESTUDO DA COMPLEXIDADE: AS DUAS PRINCIPAIS CORRENTES

O pensamento complexo e as ciências da complexidade são as duas principais correntes que exploram os estudos do tema complexidade, denominadas, respectivamente, como complexidade geral e complexidade restrita (Neto, 2007). A primeira é mais subjetiva e relaciona-se com a filosofia e as relações humanas. A segunda é mais voltada à formalização científica, originária das ciências naturais, físicas e químicas e da computação. A primeira tem como principal expoente o filósofo, sociólogo e epistemológico Edgar Morin. A segunda propaga-se, em especial, devido ao trabalho dos cientistas do Instituto Santa Fé, como o biólogo Stuart Kauffman, os físicos Philip Anderson e Murray Gell-Man e o economista Brian Arthur.

O pensamento complexo contempla o pensamento simples em vez de se opor a ele. O pensamento simples tenta se apossar da realidade, porém é reducionista e parcial devido ao processo de simplificação que divide a realidade em partes que eliminam a contradição (Morin, 2005). Assim, segundo o autor, o pensamento complexo mais se aproxima da realidade ao articular os princípios de ordem e desordem,

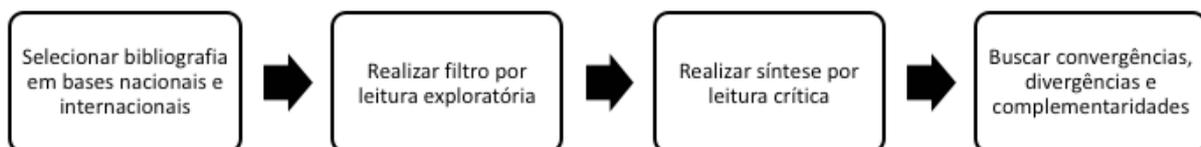


Figura 1. Fluxo da coleta de dados da pesquisa

Fonte: Os próprios autores



união e separação, autonomia e dependência, ou seja, elementos que em alguns momentos se complementam, em alguns concorrem e em outros são antagônicos. Portanto, o pensamento complexo é capaz de incorporar a incerteza e a contradição.

Já as ciências da complexidade agregam contribuições das seguintes áreas (Neto, 2007): (1) modelos matemáticos; (2) fenômenos da natureza (físico-química, biologia e aspectos biosociais); (3) fenômenos da humanidade (ciências da humanidade e aplicadas); e (4) explorações virtuais (computação).

4. DEFINIÇÕES DE COMPLEXIDADE

A origem da palavra complexidade vem do grego *complexus*, ou seja, “o que tece junto”. De acordo com o *Novo dicionário Aurélio da língua portuguesa*, complexidade significa “qualidade do que é complexo”. Mas, o que é complexo? O mesmo dicionário informa: (1) que abrange ou encerra muitos elementos ou partes, (2) observável sob diferentes aspectos e (3) confuso, complicado, intrincado.

Vê-se que é mais fácil reconhecer a complexidade do que defini-la. As pessoas têm uma noção intuitiva de complexidade. No senso comum, a ideia de complexidade se aproxima da definição do dicionário e confunde-se com complicado, difícil de entender, possuidor de muitas partes interconectadas, intrincado, emaranhado e nodoso (Thomas et Mengel, 2008; Whitty et Maylor, 2009).

Desse modo, poucas pessoas concordam a respeito do significado da palavra complexidade (Rensburg, 2012), pois o termo é muito difundido, e cada um pode ter seu próprio conceito de complexidade (PMI, 2009). Assim, complexidade tem significados diferentes dependendo da organização e da pessoa ouvida. No entanto, vários autores

propuseram suas definições para a avaliação da comunidade acadêmica (Tabela 1).

5. PRINCIPAIS CONSTRUCTOS RELACIONADOS À COMPLEXIDADE

A Teoria da Complexidade estuda os sistemas constituídos por uma grande quantidade de agentes, os quais se integram para produzir estratégias adaptativas de sobrevivência para os componentes do sistema e para o sistema como um todo (Ponchirolli, 2007).

A visão da complexidade desafia o paradigma de um mundo regular e previsível (PMI, 2009) e contraria a ideia de que o mundo é representado pela metáfora de uma máquina (Ponchirolli, 2007). Uma amostra disso ocorreu no episódio em que Einstein, nos primórdios da Teoria Quântica, afirmou que: “Deus não joga dados”, deixando clara sua rejeição à ideia de um universo de leis incertas. Contudo, a Teoria Quântica demonstrou que, no nível subatômico, a incerteza está constantemente presente, premissa também atestada pela Teoria da Complexidade a respeito do funcionamento do mundo.

Em termos históricos, Wood Jr. et Vasconcellos (1993) esclarecem que foi Jules-Henri Poincaré, matemático francês do século XIX, o primeiro a notar o comportamento complexo em meio à regularidade newtoniana vigente. Mas os principais estudos que permitiram o desenvolvimento da Teoria da Complexidade foram feitos nas décadas de 1960 e 1970 e sugeriam um modelo muito distinto da maneira como se pensava até então (Ponchirolli, 2007). A substituição do determinismo pela visão emergente presente na teoria tem influenciado também o conhecimento científico. Assim, são exemplos dessa influência: a mecânica quântica, a Teoria da Relatividade e a Teoria do Caos (Ponchirolli, 2007).

Tabela 1. Definições de complexidade

Definição de Complexidade	Autor(es)
Um sistema complexo é uma evolução gerada por princípios físicos e regras matemáticas simples, que mostram comportamentos complicados e não previsíveis	Dijkum (1997)
Complexidade é a medida da dificuldade inerente para entender um sistema complexo, assim como a quantidade de informações necessárias para entendê-lo	Bar-yam (2003)
Do ponto de vista estrutural e de processo, complexidade, respectivamente, é: 1) Conjunto de constituintes heterogêneos inseparavelmente associados e 2) Tecido de acontecimentos, ações, interações, retroações, determinações e acasos que constituem nosso mundo	Morin (2005)
A complexidade é um fenômeno quantitativo devido à imensa quantidade de interações e interferências entre um número muito grande de unidades, e compreende incertezas, indeterminações e fenômenos aleatórios, portanto, relaciona-se com a ideia de acaso	Morin (2005)
Complexidade pode ser melhor descrita pelo número de estados que um sistema pode ter de acordo com os drives: variedade, interdependência, ambiguidade e fluxo	Nedopil et al. (2011)
Complexidade é a característica do programa, projeto ou seus ambientes que torna difícil seu gerenciamento	PMI (2014)

Fonte: Os próprios autores



Portanto, a Teoria da Complexidade é baseada nos achados de outras teorias, como: Teoria do Caos, Teoria da Evolução, Teoria da Auto-Organização, Teoria da Cibernética, Teoria das Catástrofes, Teoria Não Linear Dinâmica e Teoria Sistemática (Ponchirolli, 2007; Thomas et Mengel, 2008; PMI, 2009; Saynisch, 2010). Para Wood Jr. et Vasconcellos (1993), a união da Teoria do Caos com o paradigma da complexidade e a Teoria Sistemática constitui uma nova forma de olhar os sistemas complexos.

Em relação à Teoria do Caos, alguns autores julgam o nome da teoria inadequado, uma vez que caos é ausência de ordem; todavia, existe um padrão nos sistemas complexos, mesmo que esse padrão não permita previsibilidade e controlabilidade (Wood Jr. et Vasconcellos, 1993). Explicam os autores que, por envolver várias disciplinas, a Teoria do Caos reúne estudiosos de diversas áreas e contraria a tendência de compartimentalização da ciência. Essa teoria ganhou grande popularidade com a publicação, em 1987, do *best-seller* *Caos: a criação de uma nova ciência*, do jornalista James Gleick, do *New York Times* (Gleick, 1989).

A seguir, apresentam-se os principais marcos na evolução dos estudos sobre complexidade, junto a uma breve explicação de conceitos e principais personagens envolvidos.

5.1. Efeito borboleta

Foi enquanto utilizava computadores para simular o comportamento do sistema climático, em 1960, no MIT (*Massachusetts Institute of Technology*), que o meteorologista Edward Lorenz descobriu o princípio da dependência das condições iniciais (PMI, 2009). Após uma simulação, ele reentrou com os mesmos dados no sistema, e os resultados foram totalmente diferentes da simulação anterior. Esse comportamento expressou a característica de não linearidade dos sistemas complexos, uma vez que a não linearidade sugere que o mesmo evento pode ser realizado muitas vezes com resultados totalmente diferentes a cada vez (Weaver, 2007).

Em outras palavras, depender das condições iniciais significa que pequenas mudanças em um sistema complexo (por exemplo, o bater de asas de uma borboleta no Brasil) podem produzir efeitos catastróficos e não antecipados (como o surgimento de um tornado a milhares de quilômetros no Texas). Desse modo, as condições iniciais de um sistema complexo determinam em que ponto ele se encontra atualmente.

Historicamente, esse fenômeno ficou conhecido como “efeito borboleta”. Lorentz apresentou os resultados em

um artigo intitulado “Predictability: the flap of butterfly’s wings in Brazil set off a tornado in Texas?”, em dezembro de 1979, na *Annual Meeting of the American Association for the Advancement of Science* (PMI, 2009).

Singh et Singh (2003) ilustram o efeito borboleta com um exemplo: um homem deve pegar o único voo do dia disponível para a Europa, mas o despertador não toca, ele sai atrasado para o aeroporto e perde o voo. No entanto, quando retorna para o carro, ouve pelo autofalante do aeroporto que o voo que deveria ter pegado caiu no Atlântico. Ou seja, a manifestação de uma condição inicial inesperada (no caso, o não toque do despertador) levou a condições e efeitos inesperados (no caso, a perda do voo que caiu).

5.2. Atratores caóticos

Wood Jr. et Vasconcellos (1993, p. 102) definem atrator como “um ponto ou nível ao qual um sistema retorna, quando os efeitos de perturbações externas cessam”, e atrator caótico como “um sistema caótico que converge para um conjunto de possíveis valores. Esse conjunto é infinito em número, mas limitado em amplitudes. Os atratores caóticos são não periódicos” (Wood Jr. et Vasconcellos, 1993, p. 102). Em resumo, o atratores caóticos podem ser entendidos como padrões recorrentes de comportamento em um sistema.

Os matemáticos David Ruelle e Floris Takens desenvolveram, no início dos anos 1970, o conceito de atratores caóticos, quando trabalhavam no estudo dos padrões de comportamento de turbulência de fluidos (Ruelle et Takens, 1971). Posteriormente, Lorenz inseriu o conceito de atratores caóticos para explicar os padrões recorrentes de comportamento que certos sistemas possuem (PMI, 2009). Com esses padrões recorrentes quase previsíveis, abriu-se novas possibilidades para explicar o comportamento de sistemas aparentemente caóticos.

5.3. Fractais

O termo fractal se refere às formas irregulares que repetem a si mesmas, na natureza, em tamanhos e escalas variadas (PMI, 2009). Assim, os fractais são gerados por computador a partir de fórmulas matemáticas e possuem semelhança com imagens da natureza, como cristais, árvores, vales e montanhas (Wood Jr. et Vasconcellos, 1993).

A geometria dos fractais explica matematicamente como é possível encontrar os mesmos padrões em pequena e em larga escalas (Cooke-Davis et al., 2007), lançando novas percepções sobre a natureza matemática dos atratores caóticos (PMI, 2009). Isso ajudou a explicar como padrões



complexos podem ser formados a partir de guias simples. Os fractais tiveram um grande reconhecimento dentro e fora dos meios científicos.

5.4. Universalidade e Padronização

Universalidade se refere ao fato de padrões de repetição ocorrerem nos mais diversos campos do conhecimento e na natureza (Cooke-Davis *et al.*, 2007). Nos anos 1970, o matemático Mich Feigenbaum descobriu um número, denominado fator do período de duplicação (valor aproximado de 4,669), que explicaria o movimento entre a simplicidade e o caos (Feigenbaum, 1979).

O matemático Ian Stewart (Stewart, 1996) entendeu esse fator como mais um dos comportamentos regulares que existem na natureza, como, por exemplo, o número das pétalas de flores obedecer à série de Fibonacci e uma infinidade de elementos da natureza respeitar a razão do número de ouro (Cooke-Davis *et al.*, 2007).

5.5. Estruturas dissipativas

Ilya Prigogine ganhou o prêmio Nobel de Física em 1978 pelo seu trabalho na ciência da termodinâmica. A cientista estudou as estruturas dissipativas (posteriormente conhecidas como sistemas dinâmicos complexos) que trocam energia (recebem e emitem) constantemente com o ambiente.

Ela mostrou que esses sistemas produzem comportamentos imprevisíveis (Cooke-Davis *et al.*, 2007), pois ora demonstram períodos de comportamento previsível, ora mostram-se instáveis (Wood Jr. *et Vasconcellos*, 1993).

5.6. Limite do caos (*edge of chaos*)

Limite do caos é um ponto teórico entre ordem e caos (Remington *et Pollack*, 2007). Trata-se do ponto em que existe algum nível de caos, mas o sistema ainda conserva um nível de ordem. Esse ponto resguarda a coerência e a consistência internas e mantém a especialização de algumas funções. Isso liberta a criatividade e abre oportunidades para melhoramento, pois a troca de informações com o ambiente é máxima.

Morin (2005) constata que existe uma forte relação entre ordem e desordem, pois ambas se influenciam mutuamente. Em certos casos, fenômenos desordenados são necessários para se atingir a organização. Em outras palavras, a desordem pode contribuir com o estabelecimento da organização.

Nessa direção, Ponchirolli (2007) informa que são duas as redes distintas de ligações entre os agentes de um sistema: a rede legítima e a rede “sombra”. A rede legítima é formada por ligações entendidas e estabelecidas explicitamente entre os agentes. A rede “sombra” é formada por ligações que surgem espontaneamente (não previstas anteriormente) pelas interações entre os agentes. Em geral, a rede legítima traz o sistema para a estabilidade, enquanto a rede “sombra” desvia o sistema da estabilidade.

Assim sendo, o limite do caos é a zona paradoxal em que há estabilidade e instabilidade ao mesmo tempo, local onde a rede legítima e a rede “sombra” entram em embate, e a realimentação positiva e a realimentação negativa convivem sem que nenhuma consiga prevalecer. Com isso, o sistema fica mais sensível às condições iniciais e torna-se criativo devido ao duplo aprendizado proporcionado pela dupla retroalimentação (Ponchirolli, 2007).

Consequentemente, o aprendizado do sistema ocorre pelos mecanismos de retroalimentação, a qual potencializa erros e acertos. Dessa forma, um erro insignificante pode levar ao colapso do sistema, assim como uma oportunidade pode levar o sistema a desempenhos elevados. Esses mecanismos de aprendizado são afetados pelas condições iniciais de cada ciclo e poderiam melhorar o entendimento do porquê organizações sucumbem ou prosperam inesperadamente diante de detalhes que ocorreram em sua trajetória.

É no limite do caos que ocorre a maior oportunidade de evolução do sistema (PMI, 2009), pois a desordem obriga a criar novas formas de ordem. Em uma analogia com a água, o vapor representa o estado de caos, e o gelo representa o estado de ordem, porém é na forma líquida que a água oferece as melhores oportunidades para a realização de atividades complexas.

5.7. Emergência

Emergência é o resultado das interações dinâmicas entre as partes (Sheffield *et al.*, 2012). As propriedades da emergência permitem emergir as características e os padrões que são diferentes, em tipo e grau, das características e dos padrões dos componentes do sistema (PMI, 2009). Emergência está no centro do processo de evolução, adaptação e transformação.

5.8. Sistemas adaptativos complexos

Segundo o PMI (2014, p. 28), um sistema é “considerado como uma coleção de diferentes componentes



que juntos podem produzir resultados não obtidos pelos componentes separadamente”. Sistemas abertos são sistemas porque consistem em partes interconectadas que trabalham em conjunto, e são abertos porque trocam recursos com o ambiente (Anderson, 1999).

O conceito de sistema ajuda no entendimento do relacionamento entre as partes e o todo, sendo uma forma intuitiva de encarar o mundo (Remington *et al.*, 2007). A abordagem sistêmica entende as empresas como sistemas abertos que interagem de forma permanente com o ambiente (Ponchirulli, 2007; Sheffield *et al.*, 2012). Em um sistema, existe um padrão de repetição, pois, caso isso não exista, trata-se de uma ocorrência simples, e não de um sistema (Remington *et al.*, 2007). Para complementar, vale destacar que o comportamento de um sistema é dinâmico quando evolui no tempo (Ponchirulli, 2007).

Assim, a complexidade reflete o entendimento de que o todo está nas partes e as partes estão no todo. Logo, sistemas complexos não podem ser entendidos pelas propriedades dos agentes individuais, pois o todo não é explicado pela soma das partes. Por isso, a forma como o sistema irá se comportar não pode ser prevista tendo como base as suas partes (Weaver, 2007). Isso é válido, por exemplo, para cardumes de peixes, colônias de formigas e grupos sociais humanos.

Sistemas puramente físicos ou químicos são determinísticos com regras constantes; no entanto, sistemas orgânicos complexos são adaptativos, pois evoluem ao longo do tempo (Ponchirulli, 2007). Segundo Ponchirulli, essa evolução depende de condições de mudança que possam interferir no sistema, causando interações não consideradas anteriormente e provocando efeitos inesperados onde causas são transformadas em efeitos e vice-versa.

Sistemas que obedecem à Teoria da Complexidade são denominados sistemas adaptativos complexos (Aritua *et al.*, 2009). Yanner Bar-Yam, professor do MIT e presidente do *New England Complex Systems Institute*, esclarece que são exemplos de sistemas complexos: o cérebro, a fisiologia do corpo humano, os governos, as famílias, o tráfego no trânsito, o clima, a ramificação de doenças infecciosas, o ecossistema mundial e subecossistemas, como desertos, oceanos e florestas (Bar-Yam, 2003). O PMI (2009) cita como exemplos de sistemas complexos dinâmicos: os terremotos, os sistemas celulares e os sistemas humanos.

Dessa forma, muitas mudanças podem ocorrer no sistema e entre os sistemas e seus ambientes, ou seja, comportamentos adaptativos contribuem para a dinâmica do sistema (PMI, 2014). Logo, sistemas complexos podem seguir determinado padrão, mas as interações estão constantemente mudando (Sargut *et al.*, 2011).

Por fim, é importante destacar que sistemas complexos humanos são diferentes dos sistemas complexos encontrados na natureza, devido à imprevisibilidade e ao intelecto humanos, não podendo, assim, ser modelados da mesma forma (Snowden *et al.*, 2007).

A Figura 2 mostra o comportamento adaptativo complexo.

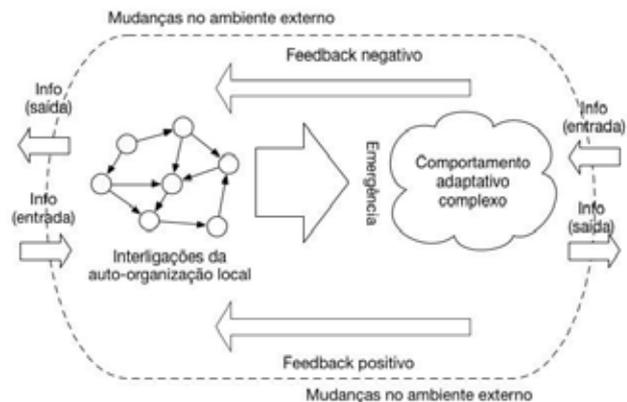


Figura 2. Comportamento adaptativo complexo

Fonte: Andrus (2005)

5.9. Redes complexas

Barabási (2003) define redes complexas como um grafo com características topológicas (estrutura) especiais (não triviais), composto por vértices (nós) interligados por meio de arestas (conexões ou arcos). As redes complexas são aplicadas em vários campos do conhecimento humano, tais como: Biologia, Matemática, Computação, Sociologia, Bibliometria, Artes, Zoologia, Linguística e Psicologia.

Uma das aplicações célebres das redes complexas foi realizada por Larry Page e Sergey Brin, fundadores da empresa Google, no final da década 1990. Eles perceberam que as páginas que recebem muitos *hiperlinks* tendem a ser mais relevantes que as que recebem poucos. Tal percepção foi base para a criação do algoritmo PageRank para a ordenação de páginas *web* (Brin *et al.*, 1998).

As redes complexas ganharam o interesse dos estudiosos da área por serem uma forma de modelar os sistemas dinâmicos complexos. Pela topologia dessas redes, pode-se entender melhor o comportamento do sistema complexo.

Mas, de forma geral, uma rede é “uma abstração que permite algum tipo de relacionamento entre pares de



objetos” (Figueiredo, 2011). As redes existem em muitos domínios da natureza, por exemplo: redes de computadores, pessoas, artigos, neurônios, proteínas, predadores e presas (Newman, 2010), e evidenciam a noção de que o todo tem um comportamento que não é explicado pelo comportamento das partes, mas que a interação entre as partes influencia o comportamento individual e coletivo. Portanto, as redes permeiam o cotidiano das pessoas e influenciam suas vidas.

Nesse campo de estudo, é fundamental descobrir, caracterizar e modelar a rede (Figueiredo, 2011), pois muitos fenômenos podem ser melhor explicados caso sejam modelados de acordo com a estrutura da rede que operam. Assim, a funcionalidade é influenciada pela estrutura, ou seja, pode-se inferir a respeito de um fenômeno apenas conhecendo as características da rede que o mapeia.

6. TIPOS, DIMENSÕES E PROPRIEDADES DA COMPLEXIDADE

Na literatura, a complexidade tem sido estudada sob diversas formas, por exemplo: aspectos principais, tipos, dimensões, características e fatores de complexidade (PMI, 2014). Em termos filosóficos, a complexidade recebe grande contribuição do pensamento complexo, proposto pelo filósofo francês Edgar Morin, que publicou diversos trabalhos nas áreas de Filosofia, Sociologia e Epistemologia.

Para Morin (2005), a complexidade é um fenômeno quantitativo devido à imensa quantidade de interações e interferências entre um número muito grande de unidades. Assim, ela compreende incertezas, indeterminações

e fenômenos aleatórios, isto é, relaciona-se com a ideia de acaso (Morin, 2005).

Segundo Geraldi *et al.* (2011), os tipos, os atributos e os indicadores de complexidade foram identificados e reagrupados em cinco dimensões: estrutural, incerteza, dinâmica, ritmo e sociopolítica. Remington *et Pollack* (2007) sugerem quatro tipos de complexidade: (a) complexidade estrutural, (b) complexidade técnica, (c) complexidade direcional e (d) complexidade temporal, conforme apresentado na Tabela 2.

Os tipos de complexidade podem se sobrepor. Quanto maior o projeto ou programa, maior a probabilidade de estes exibirem um ou mais tipos de complexidade (Remington *et Pollack*, 2007). Identificar o tipo de complexidade do projeto ajuda a direcionar os esforços para seu gerenciamento (Geraldi *et al.*, 2011). Por exemplo, se a complexidade sociopolítica predominar, então maior esforço deve ser direcionado para o gerenciamento das partes interessadas (*stakeholders*) do projeto.

No gerenciamento de projetos, Baccarini (1996) afirma que os textos dessa área comumente se referem a dois tipos de complexidade: complexidade organizacional e complexidade tecnológica. Segundo o PMI (2014), as causas de complexidade em programas e em projetos podem ser agrupadas em três tipos: comportamento humano, comportamento do sistema e ambiguidade, conforme Tabela 3.

O comportamento humano é a fonte de complexidade que pode surgir a partir da interação de condutas, de comportamentos e de atitudes das pessoas (PMI, 2014). O comportamento do sistema é a fonte de complexidade que pode surgir a partir da conexão entre os compo-

Tabela 2. Tipos de complexidade

Tipo	Descrição do tipo
Complexidade estrutural	Grande quantidade de elementos estruturais.
Complexidade técnica	Complexidade do produto do projeto, entre outros, problemas técnicos e de <i>design</i> . Frequentemente descrito como “complicado”.
Complexidade direcional	Metas não compartilhadas, significados não claros e agendas ocultas.
Complexidade temporal	Impacto de resultados não antecipados, como mudanças na legislação.

Fonte: Remington *et Pollack* (2007)

Tabela 3. Tipos e causas de complexidade no gerenciamento de projetos

Grupos	Causas associadas
Comportamento humano	Comportamento individual. Comportamento do grupo, organização e político. Comunicação e controle. Desenvolvimento e desenho organizacional.
Comportamento do sistema Ambiguidade	Complexidade do produto do projeto, entre outros, problemas técnicos e de <i>design</i> . Incerteza. Emergência.

Fonte: PMI (2014)



nentes inter-relacionados dos programas e dos projetos (PMI, 2014). A ambiguidade é o estado de falta de clareza: não saber o que esperar ou como compreender uma situação (PMI, 2014).

Hertogh *et Westerveld* (2010) afirmam que a complexidade tem seis dimensões: tecnológica, social, financeira, legal, organizacional e temporal. Tais dimensões são divididas em dois tipos: complexidade dos detalhes e complexidade dinâmica.

A Tabela 4 mostra essas características organizadas por tipo e dimensão.

Em termos de propriedades, três delas determinam a complexidade de um ambiente: (a) multiplicidade, refere-se à quantidade de elementos potencialmente interagindo; (b) interdependência, refere-se à forma como esses elementos estão conectados; e (c) diversidade, refere-se ao nível de heterogeneidade desses elementos (Sargut *et Mcgrath*, 2011). Quanto maiores a multiplicidade, a interdependência e a diversidade, maior é a complexidade (Sargut *et Mcgrath*, 2011). Em relação à caracterização, a complexidade estrutural, a incerteza, o ritmo e a dimensão sociopolítica são algumas das reconhecidas características da complexidade (Geraldi *et al.*, 2011).

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio de pesquisa qualitativa, exploratória e bibliográfica, focada em três das principais bases científicas, intencionou-se prover um panorama sobre a complexidade, apresentando seus principais elementos e fomentando a discussão a respeito de suas potencialidades.

Elaborou-se um “raio X” da Teoria da Complexidade em termos de: (1) introdução conceitual; (2) evolução histórica; e (3) principais tipos, dimensões, propriedades e definições encontradas na literatura científica.

Constata-se que a popularidade da Teoria da Complexidade entre acadêmicos e praticantes é crescente, porém existe um grande potencial de aplicações ainda desconhecidas. Dessa forma, seu potencial em gerar benefícios é promissor. Por exemplo, ela amplia o entendimento sobre os mercados globais, os sistemas de tráfego aéreo, o planejamento urbano e o gerenciamento de projetos complexos.

As duas correntes que tratam a perspectiva da complexidade – pensamento complexo e ciências da complexidade – possuem algumas ideias tanto complementares quanto outras concorrentes e conflitantes. Essa característica ajuda a explicar porque não há definição amplamente aceita para

o *constructo* complexidade. Contudo, alguns autores propuseram suas definições, entre eles: Dijkum (1997), Bar-yam (2003), Morin (2005), Nedopil *et al.* (2011) e PMI (2014).

Vale destacar que alguns dos principais *constructos* da Teoria da Complexidade, que contribuíram para o desenvolvimento histórico da teoria, foram: efeito borboleta, atratores caóticos, fractais, universalidade e padronização, estruturas dissipativas, limite do caos, emergência, sistemas adaptativos complexos e redes complexas.

Em relação às principais características de um sistema adaptativo complexo, em síntese, são (Snowden *et Boone*, 2007; Aritua *et al.*, 2009):

- Inter-relacionamentos: o nível de complexidade pode ser dimensionado pelo nível de estabilidade entre os inter-relacionamentos (Rensburg, 2012). Além disso, a complexidade envolve um grande número de elementos interativos e aumenta com o número de conexões não previstas entre os componentes do sistema (PMI, 2014).
- Retroalimentação (*feedback*): nos ciclos de retroalimentação, a informação circula, é modificada e depois retorna para influenciar o comportamento do sistema de forma positiva ou negativa.
- Adaptabilidade: em um sistema aberto, informações entram e saem constantemente por meio dos ciclos de retroalimentação. Essas informações influenciam os componentes do sistema, que, por consequência, influenciam o comportamento do sistema como um todo. O fluxo de informações muda o sistema continuamente, o qual, em resposta, adapta-se ao ambiente externo. Portanto, a evolução é irreversível, e o sistema tem uma história em que o passado é integrado ao presente de tal forma que os elementos evoluem uns com os outros e com o ambiente.
- Auto-organização: a segunda lei da termodinâmica diz que um sistema tende à desordem. Todavia, para a teoria da complexidade, alguns sistemas tendem à ordenação ou à auto-organização. Ou seja, a sobrevivência depende da renovação e da dissolução da ordem. Por exemplo, equilíbrio e desequilíbrio podem se alternar ao longo do ciclo de vida de um projeto complexo.
- Emergência: o comportamento do sistema não é explicado pelo comportamento dos componentes do sistema. Em outras palavras, o todo é maior que a soma das partes, e as soluções não podem ser impostas. Isso contraria a ideia de que para se geren-



Tabela 4. Dimensões da complexidade e suas características na visão dos praticantes

Dimensões da complexidade	Complexidade dos detalhes	Complexidade dinâmica
Tecnológica	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Produtos com escopos extensos ▪ Muitas interligações entre as partes do produto 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tecnologia inédita ▪ Incerteza técnica
Social	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Grande número de partes interessadas ▪ Muitas interligações entre as partes interessadas 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Entendimentos e percepções diferenciadas ▪ Alterações de interesse ao longo do projeto ▪ Mudanças na coordenação do projeto
Financeira	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dificuldade em calcular o custo de todos os elementos do produto 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Alterações nas condições de mercado ▪ Diferentes percepções sobre definições e acordos ▪ Interpretações errôneas da estratégia
Legal	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Necessidade de um grande número de autorizações e licenciamentos, que normalmente são interligadas e inter-relacionadas 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mudanças e conflitos com as leis ▪ Muitas decisões sem transparência sobre as melhores soluções ▪ Desenvolvimentos futuros que influenciam a organização das entregas do projeto
Organizacional	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Grande número de organizações envolvidas ▪ Interferência de muitos processos de trabalho ▪ Grande número de contratos com inúmeras interfaces 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pesquisadores serem parte do sistema
Temporal	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Planejamento de atividades separadas e seus relacionamentos 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Longo período com desenvolvimentos contínuos ▪ Não há um processo sequencial de implementação ▪ O planejamento tem que lidar com inúmeros processos ambíguos e incertos

Fonte: Hertogh et Westerveld (2010)

ciar bem um programa ou portfólio basta gerenciar os projetos individualmente.

- Não linearidade: pequenas mudanças nas condições iniciais ou no ambiente externo podem causar imprevisíveis consequências nas saídas do sistema. Na não linearidade, pequenas mudanças podem mudar radicalmente o comportamento do sistema, e o todo é muito diferente da soma das partes (Anderson, 1999). Por exemplo, o relacionamento humano é não linear (Weaver, 2007).
- Imprevisibilidade: o sistema pode parecer ordenado, previsível e ser descrito por equações geralmente simples, mas as condições externas e as mudanças constantes não permitem previsões com base em histórico. Assim, não é possível prever ou prever o comportamento de um sistema complexo.

Destaca-se, também, o uso da Teoria das Redes Complexas para a representação dos sistemas dinâmicos complexos. Essa teoria contempla a modelagem de

inúmeras redes reais naturais e sociais. Uma implicação teórica é o estímulo a novas pesquisas que analisem os reflexos e as conexões da Teoria da Complexidade em outros campos da literatura científica. Em termos práticos, a teoria em questão tem aplicações diretas em diversas áreas. Desse modo, pode proporcionar aos praticantes uma nova forma de encarar os problemas atuais e futuros.

É natural que as pesquisas tenham alguma restrição. Assim, uma limitação refere-se à escolha das bases de dados para rastreamento, uma vez que, por ser multidisciplinar, é provável que outras bases possuam trabalhos a respeito da Teoria da Complexidade.

Procurou-se minimizar esse cerceamento com a escolha das principais bases de dados no Brasil – SciELO Brasil – e no exterior – *Web of Knowledge* e Scopus –, no ponto de vista dos acadêmicos, em relação à quantidade e à qualidade da bibliografia das bases. Constata-se que a popularidade da teoria entre acadêmicos e praticantes é crescente, porém, existe um grande potencial de apli-



cações desconhecidas. Destarte, seu potencial em gerar benefícios é promissor.

Como desdobramento desta pesquisa, sugere-se a montagem de quadros teóricos que especifiquem aplicações da Teoria da Complexidade para determinados setores, por exemplo, para o campo da gestão, poder-se-ia realizar um recorte sobre a aplicação da Teoria da Complexidade em: projetos, finanças, *marketing*, estratégia e outras.

Por fim, espera-se que este estudo possa ajudar a despertar o interesse de praticantes e de estudiosos, assim como conscientizá-los da importância da complexidade para o entendimento do mundo.

REFERÊNCIAS

- Anderson, P. (1999). Complexity theory and organization science. *Organization Science*, v. 10, n. 3, p. 216–232.
- Andrus, C. (2005). Toward a complex adaptive intelligence community - the wiki and the blog. *Studies in intelligence*, v. 49, n. 3, p. 1–9.
- Aritua, B.; Smith, N. J. e Bower, D. (2009). Construction client multi-projects: a complex adaptive systems perspective. *International Journal of Project Management*, v. 27, n. 1, p. 72–79.
- Baccarini, D. (1996). The concept of project complexity - a review. *International Journal of Project Management*, v. 14, n. 4, p. 201–204.
- Bar-Yam, Y. (2003). *Dynamics of complex systems: studies in nonlinearity*. Westview Press.
- Brin, S., Page, L. (1998). The anatomy of a large-scale hypertextual web search engine. In *International World-Wide Web Conference (WWW)*.
- Cooke-Davis, T.; Cicmil, S. J. K.; Crawford, L. H. e Richardson, K. (2007). We're not in Kansas anymore, Toto: Mapping the strange landscape of complexity theory. *Project Management Journal*, v. 38, n. 2, p. 50–61.
- Cooper, D. R. et Schindler, P. S. (2003). *Métodos de pesquisa em administração*. Tradução por Luciana de Oliveira da Rocha. 7a. ed. Porto Alegre: Bookman.
- Dijkum, C. (1997). From cybernetics to the science of complexity. *Kybernets*, v. 26, n. 6, p. 725–737.
- Feigenbaum, M. J. (1979). The universal metrics properties of nonlinear transformations. *Journal of Statistical Physics*, v. 21, n. 6, p. 699–706.
- Figueiredo, D. R. (2011). Introdução a redes complexas – suplemento. Disponível em [<http://www.land.ufrj.br/@daniel>]. Acessado em 13 de abril de 2016.
- Gearldi, J., Maylor, H. e Williams, T. (2011). Now, let's make it really complex (complicated): A systematic review of the complexities of projects. *International Journal of Operations & Production Management*, v. 31, n. 9, p. 966–990.
- Gil, A. C. (2010). *Como elaborar projetos de pesquisa*. 5ª. ed. São Paulo: Atlas.
- Gleick, J. (1989). *Caos: a criação de uma nova ciência*. Tradução de Waltensir Dutra. Rio de Janeiro: Campus.
- Hertogh, M. et Westerveld, E. (2010). *Playing with complexity: management and organization of large infrastructure projects*. Erasmus University Rotterdam. Disponível em [<http://hdl.handle.net/1765/18456>]. Acessado em 13 de abril de 2016.
- Junior, W. P.; Pereira, V. L. D. V. e Filho, H. V. P. (2007). *Pesquisa científica sem tropeços: abordagem sistêmica*. São Paulo: Atlas.
- Morin, E. (2005). *Introdução ao pensamento complexo*. Tradução por Eliane Lisboa. Porto Alegre: Ed. Sulina.
- Nedopil, C.; Steger, U. e Amann, W. (2011). *Managing complexity in organizations: text and cases*. London: Palgrave Macmillan.
- Neto, R. B. (2007). *Perspectivas da complexidade aplicadas à gestão de empresas*. 2007. 309 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Newman, M. E. J. (2010). *Networks: An Introduction*. Oxford University Press.
- PMI (Project Management Institute). (2009). *Exploring the complexity of projects: implications of complexity theory for project management practice*. p. 1-92.
- PMI (Project Management Institute). (2014). *Navigating complexity: a practice guide*. p. 1-113.
- Ponchirolli, O. (2007). Teoria da complexidade e as organizações. *Diálogo Educ.* v. 7, n. 22, p. 81-100.
- Remington, K. et Pollack, J. (2007). *Tools for complex projects*. Aldershot, Hampshire, UK: Gower.
- Rensburg, A. C. J. V. (2012). Can complexity analysis support business performance insight?. *South African Journal of Industrial Engineering*, v. 23, p. 16–28.
- Ruelle, D. et Takens, F. (1971). On the nature of turbulence. *Communications in Mathematical Physics*, v. 20, p. 167–192.
- Saynisch, M. (2010). Mastering complexity and changes in projects, economy, and society via project management second order (PM-2). *Project Management Journal*, v. 41, n. 5, p. 4–20.



- Sargut, G. et Mcgrath, R. G. (2011). Learning to live with complexity. *Harvard Business Review*, p. 69-76.
- Sheffield, J.; Sankaran, S. e Haslett, T. (2012). Systems thinking: taming complexity in project management. *On the Horizon*, v. 20, n. 2, p. 126–136.
- Singh,, H. et Singh, A. (2002). Principles of complexity and chaos theory in project execution: a new approach to management cost engineering. *Journal of Cost Engineering*, v. 44, n. 12, p. 23–32.
- Snowden, D. J. et Boone, M. E. (2007). A leader’s framework for decision making. *Harvard Business Review*, p. 69–76.
- Stewart, I. (1996). *Nature’s numbers: discovering order and pattern in the universe*. London, UK: Phoenix.
- Taylor, M. C. (2003). *The moment of complexity: emerging network culture*. Chicago: The University of Chicago.
- Thomas, J. et Mengel, T. (2008). Preparing managers to deal with complexity - advanced project management education. *International Journal of Project Management*, v. 26, n. 3, p. 304–315.
- Vergara, S. C. (2004). *Projetos e relatórios de pesquisa em administração*. 3ª. ed. São Paulo: Atlas.
- Weaver, P. (2007). A Simple view of “Complexity” in project management. p. 1-13. Disponível em [<http://www.mosaicprojects.com.au/resources.html>]. Acesso em 13 de abril de 2015.
- Whitty, S. J. et Maylor, H. (2009). And then came Complex Project Management (revised). *International Journal of Project Management*, v. 27, n. 3, p. 304–310.
- Wood Jr, T. et Vasconcellos, H. (1993). *Caos: a criação de uma nova ciência?*. RAE. *Revista de Administração de Empresas*, São Paulo, v. 33, p. 94-105.