

2107

TEXTO PARA DISCUSSÃO

PERSPECTIVAS DA COMPLEXIDADE PARA A EDUCAÇÃO NO BRASIL

Patrícia Alessandra Morita Sakowski
Marina Haddad Tóvolli

The logo for IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada) features the lowercase letters "ipea" in a white, sans-serif font. A vibrant yellow-green swoosh underline starts under the "i", curves under the "p", and ends under the "a".

ipea

PERSPECTIVAS DA COMPLEXIDADE PARA A EDUCAÇÃO NO BRASIL

Patrícia Alessandra Morita Sakowski¹
Marina Haddad Tóvolli²

1. Técnica de planejamento e pesquisa e chefe da Assessoria de Planejamento e Articulação Institucional (Aspla) do Ipea.
2. Pesquisadora do Programa de Pesquisa para o Desenvolvimento Nacional (PNPD) na Aspla do Ipea.

Governo Federal

**Secretaria de Assuntos Estratégicos da
Presidência da República**
Ministro Roberto Mangabeira Unger



Fundação pública vinculada à Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, o Ipea fornece suporte técnico e institucional às ações governamentais – possibilitando a formulação de inúmeras políticas públicas e programas de desenvolvimento brasileiro – e disponibiliza, para a sociedade, pesquisas e estudos realizados por seus técnicos.

Presidente

Jessé José Freire de Souza

Diretor de Desenvolvimento Institucional

Alexandre dos Santos Cunha

Diretor de Estudos e Políticas do Estado, das Instituições e da Democracia

Daniel Ricardo de Castro Cerqueira

Diretor de Estudos e Políticas Macroeconômicas

Cláudio Hamilton Matos dos Santos

Diretor de Estudos e Políticas Regionais, Urbanas e Ambientais

Marco Aurélio Costa

Diretora de Estudos e Políticas Setoriais de Inovação, Regulação e Infraestrutura

Fernanda De Negri

Diretor de Estudos e Políticas Sociais

André Bojikian Calixtre

Diretor de Estudos e Relações Econômicas e Políticas Internacionais

Brand Arenari

Chefe de Gabinete

José Eduardo Elias Romão

Assessor-chefe de Imprensa e Comunicação

João Cláudio Garcia Rodrigues Lima

Texto para Discussão

Publicação cujo objetivo é divulgar resultados de estudos direta ou indiretamente desenvolvidos pelo Ipea, os quais, por sua relevância, levam informações para profissionais especializados e estabelecem um espaço para sugestões.

© Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – **ipea** 2015

Texto para discussão / Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.- Brasília : Rio de Janeiro : Ipea , 1990-

ISSN 1415-4765

1. Brasil. 2. Aspectos Econômicos. 3. Aspectos Sociais.
I. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.

CDD 330.908

As opiniões emitidas nesta publicação são de exclusiva e inteira responsabilidade do(s) autor(es), não exprimindo, necessariamente, o ponto de vista do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada ou da Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República.

É permitida a reprodução deste texto e dos dados nele contidos, desde que citada a fonte. Reproduções para fins comerciais são proibidas.

SUMÁRIO

SINOPSE

1 INTRODUÇÃO	7
2 O PENSAMENTO COMPLEXO NA EDUCAÇÃO	9
3 MÉTODOS E METODOLOGIAS DE SISTEMAS COMPLEXOS EM EDUCAÇÃO.....	14
4 DISCUSSÃO	23
REFERÊNCIAS	27

SINOPSE

Sistemas educacionais podem ser vistos como sistemas complexos, ao considerarmos que o aprendizado, o ensino, a cognição e a educação são fenômenos resultantes das interações entre os agentes heterogêneos que compõem esses sistemas. Em virtude da natureza complexa dos sistemas educacionais, novas abordagens mostram-se relevantes e, até mesmo, necessárias, se considerarmos que os métodos tradicionais muitas vezes não são capazes de capturar as dinâmicas desses sistemas.

Este trabalho busca identificar o que tem sido feito no Brasil com respeito à abordagem de sistemas complexos em educação e trazer para a discussão potenciais benefícios dessa perspectiva para a educação no país. Apresentam-se os principais conceitos que têm marcado o pensamento teórico da complexidade, assim como as aplicações dos métodos e metodologias de sistemas complexos em educação no Brasil, como modelagem baseada em agentes, análise de redes, sistemas tutores inteligentes, mineração de dados educacionais (*educational data mining*) e *learning analytics*, entre outros. Por fim, alguns *insights* da abordagem de sistemas complexos para a educação são discutidos.

Palavras-chave: sistemas complexos; educação; complexidade; modelos baseados em agentes; análise de redes; sistemas tutores inteligentes; mineração de dados educacionais; *learning analytics*; políticas públicas.

1 INTRODUÇÃO

Sistemas educacionais abrangem um grande número de agentes heterogêneos, cuja interação leva a aprendizado, ensino, cognição e educação. Eles são compostos de camadas interconectadas, cada uma das quais dá suporte e restringe as outras camadas. Por meio de mecanismos de retroalimentação (*feedback*) e adaptação, esses sistemas e seus agentes coevoluem. Todas essas características fazem dos sistemas educacionais sistemas complexos.

Os agentes heterogêneos de um sistema educacional são, por exemplo, os estudantes, professores e pais. Cada estudante aprende de um modo diferente, cada professor tem o seu método de ensino e cada família possui um modo particular de educar seus filhos. O aprendizado surge não somente das informações transmitidas pelos professores, mas também é resultado das interações entre os estudantes e outros indivíduos, em ambientes formais e informais.

Os sistemas educacionais são formados por camadas interconectadas. Na perspectiva macro, eles englobam instituições governamentais, como o Ministério da Educação e as redes de escolas e universidades. No entanto, os ministérios da Fazenda, da Saúde e dos Transportes, entre outros, também podem ser considerados como parte do sistema, uma vez que eles influenciam a alocação dos recursos orçamentários, as condições de saúde da população e a acessibilidade às escolas, respectivamente.

Em um nível menor, as escolas não podem ser separadas do contexto em que existem. Fatores externos à escola, como segurança do bairro ou posição socioeconômica da comunidade, impactam a frequência escolar e o desempenho acadêmico dos alunos. Similarmente, o ensino superior influencia e é influenciado pela educação básica.

No nível interpessoal, os alunos interagem com seus colegas, professores, pais, diretores e sua comunidade como um todo; enquanto no nível intrapessoal, o aprendizado resulta de processos mentais influenciados por interesses pessoais, histórico pessoal, níveis de hormônio, memória operacional e outras características específicas, como resposta a estímulos do ambiente.

Os traços educacionais em uma sociedade emergem então das interações de todas essas diferentes escalas, as quais não podem ser isoladas uma das outras. Devido

à natureza complexa dos sistemas educacionais, as tradicionais metodologias lineares não são suficientes para capturar as dinâmicas desses sistemas. A presença de múltipla causalidade e não linearidade pode até mesmo colocar em dúvida a validade externa de resultados obtidos em rigorosos experimentos aleatórios controlados, dado que o controle de todas as principais variáveis pode ser impossível em pesquisas educacionais (Cohen, Manion e Morrison, 2003).

Dada a natureza complexa da educação, as metodologias de sistemas complexos podem ajudar a analisá-la em diferentes formas. Primeiramente, o simples entendimento da natureza complexa dos sistemas educacionais pode ajudar os pesquisadores a se desprenderem de uma visão mecanicista da educação, regida por causalidades simples e controles que levam a resultados previsíveis.

Em segundo lugar, a modelagem da educação pode fornecer uma melhor compreensão das dinâmicas do sistema. Na tentativa de identificação dos principais elementos e regras de um sistema, pode-se entender, pouco a pouco, como os diferentes agentes se inter-relacionam, assim como simular os possíveis resultados de uma determinada intervenção, por exemplo. Nesse contexto, o papel de modelos como “comunicadores de teoria” deve ser enfatizado (Heemskerk, Wilson e Pavao-Zuckerman, 2003). Os modelos podem ser aprimorados a partir de pesquisas colaborativas, enriquecendo ao mesmo tempo o entendimento dos fenômenos.

A imensa disponibilidade de dados sobre educação também torna viável estudos de associação. Técnicas de *machine learning* (aprendizagem automática) e análise de rede podem fornecer *insights* valiosos sobre tendências ou aspectos específicos a serem investigados. Além disso, compreender a complexidade dos sistemas educacionais pode ser a maneira de se encontrar soluções simples (Berlow *et al.*, 2009). Por exemplo, ao se conhecer a rede de relações compreendidas no sistema, é possível identificar os nós centrais ou pontos de alavancagem a partir dos quais poderiam ocorrer mudanças.

É importante mencionar que as metodologias de sistemas complexos não são um substituto dos métodos tradicionais de pesquisa educacional, mas sim um complemento. O conhecimento sobre os sistemas educacionais pode surgir da combinação de pesquisas empíricas, métodos quantitativos e qualitativos tradicionais, estudos de associação e modelagem.

Uma considerável quantidade de pesquisas no mundo tem explorado a natureza complexa dos sistemas educacionais, da aprendizagem e do ensino. No Brasil, no entanto, o estudo ainda é incipiente. O objetivo deste trabalho é analisar o que tem sido feito nessa área no país e investigar como a abordagem da complexidade pode ajudar a educação no Brasil. Após esta introdução, a seção 2 concentra-se no uso dos conceitos da complexidade, em sentido mais teórico, para se pensar a educação. A seção 3 apresenta aplicações dos métodos e das metodologias de sistemas complexos no país. Finalmente, a seção 4 discute por que a abordagem da complexidade parece ser particularmente apropriada para se analisar a educação no Brasil e ajudar no seu aprimoramento.

2 O PENSAMENTO COMPLEXO NA EDUCAÇÃO

No Brasil, a discussão da perspectiva da complexidade sobre a educação remete-se particularmente ao filósofo e sociólogo francês Edgar Morin. Vários estudos chamam atenção para os princípios da complexidade e a necessidade de se repensar a educação, principalmente a ressignificação das práticas pedagógicas. Há um grande foco em se questionar o modelo tradicional, baseado nas teorias instrucionistas, e em se propor um novo modelo a partir dos pressupostos epistemológicos presentes nas teorias quânticas e biológicas.

O paradigma tradicional ou newtoniano-cartesiano, que tem como pressuposto básico a fragmentação e a visão dualista do universo, teve grande influência sobre a educação, a escola e a prática pedagógica do professor (Behrens e Oliari, 2007). A prática educacional tem sido marcada por uma visão cartesiana de dicotomia das dualidades (sujeito-objeto, parte-todo, razão-emoção, local-global), em que se rejeita a articulação desses pares binários. Observa-se uma subdivisão do conhecimento em áreas, institutos e departamentos, em que os princípios de fragmentação, divisão, simplificação e redução são dominantes, resultando em uma prática pedagógica descontextualizada (Santos, 2008). Isso também é enfatizado por Petraglia (1995), que argumenta que os princípios de fragmentação e de simplificação foram concretizados na educação por meio de uma estrutura disciplinar do conhecimento, a qual acabou por perder significação.

De acordo com Araújo (2007), as atividades pedagógicas têm enfatizado os aspectos instrutivos, em detrimento de aspectos criativos, reflexivos, construtivos e cooperativos. Observa-se um processo *i*) rígido, de transmissão de conteúdo que privilegia a memorização

de informações isoladas; e *ii*) que desconsidera o contexto, o envolvimento dos alunos e suas diferenças.¹ O aluno é concebido como um espectador, que deve copiar, memorizar e reproduzir os conteúdos apresentados pelo professor (Behrens, 1999).

De forma geral, a maioria dos educadores tende a perceber e a interpretar o mundo a partir da física clássica, em que a realidade é apresentada como estável, previsível e predeterminada. Contrapondo esta visão, as teorias quânticas e biológicas apresentam pressupostos epistemológicos como dialogicidade, incerteza, propondo uma ressignificação das práticas pedagógicas (Moraes, 2004a). Apresentam-se a seguir brevemente alguns desses princípios.

2.1 O princípio dialógico

Morin (2011) destaca o princípio dialógico como um importante conceito da complexidade. Esse princípio refere-se à capacidade de associação entre dois termos que são antagônicos, mas ao mesmo tempo complementares. Por exemplo, ordem e desordem são antagônicos, mas podem ser em alguns momentos complementares, ao colaborarem e produzirem organização e complexidade.

Em relação ao princípio dialógico, Guimarães *et al.* (2009) argumentam que o envolvimento dos contrários implica a valorização de uma pedagogia que considera o conflito, que observa o todo, as partes e suas relações, em vez de isolá-las. A partir dessa visão, o currículo fragmentado cederia lugar a um currículo que permite a comunicação e o diálogo entre os saberes, que promove a construção do todo.

2.2 A complementaridade dos opostos

Relacionada com o princípio dialógico está a ideia da complementaridade dos opostos.² No contexto da educação, Santos (2008) chama atenção para a dicotomização e a ênfase em apenas um dos atributos dos pares binários como base do ensino, por exemplo, a

1. Araújo (2007), particularmente interessada nos desafios emergentes para a educação *on-line*, observa que existem cursos de ensino a distância (EAD) que continuam amarrados aos conceitos de currículo, marcado por uma visão instrucionista. Para a autora, os modelos instrucionistas apresentam-se cientificamente defasados e acabam por simplificar o processo de construção do conhecimento. Isso implica a necessidade de se investigar o uso da tecnologia nos cursos de EAD a partir de uma perspectiva de ensino-aprendizagem em rede, que permita o desenvolvimento do pensamento autônomo.

2. O princípio da complementaridade dos opostos foi proposto pelo físico dinamarquês Niels Bohr (1961), por meio do qual ele argumenta que onda e partícula integram uma mesma realidade (Santos, 2008).

racionalidade, o que acaba por gerar uma visão unilateral e uma incompreensão do processo de ensino e aprendizagem. Como resultante, os alunos não são capazes de articular as diversas dimensões do próprio indivíduo. Nesse contexto, Santos (2008) propõe a articulação dos pares binários, de forma a obter uma visão mais completa dos fenômenos observados. Para a autora, “razão sem emoção não capta a característica humana, enquanto que emoção sem razão não conduz a parte alguma” (*op.cit.*, p. 77).

Outro exemplo é o binário ordem-desordem. Para Santos (2008), há uma relação simbiótica de interdependência entre ordem e desordem. Em relação à gestão educacional, a autora argumenta que:

a ordem está representada pela legislação e pela organização, normas legais e burocráticas, grades curriculares. Na gestão dessa organização surgem a desordem e a ambiguidade, introduzidas pelos sujeitos que dão dinamicidade ao modelo de funcionalidade e racionalidade do sistema. Seres humanos, com sua diversidade, dão suporte e funcionalidade ao gerenciamento da organização. O comportamento das pessoas na instituição é um misto de dependência e autonomia (outro par binário). A ordem é desejável, mas a desordem, o espontaneísmo, a desobediência proporcionam vitalidade à instituição, embora, em excesso, levem à sua desintegração (*op.cit.*, p. 78).

2.3 Incerteza e não linearidade

Essas ideias nos conduzem à importância da incerteza e da não linearidade. Como apresentado por Santos (2008), o princípio da complementaridade dos opostos leva à articulação das dualidades, como certeza e incerteza, negando uma visão reducionista e determinista. O conceito de incerteza opõe-se à ideia dualista dicotomizada, que enfatiza apenas a ordem e a certeza. A escola mantém um cenário de certeza ao repetir normas, valores e sanções sociais, ao seguir as regras instituídas, como as regras de avaliação, de forma que se torna previsível o comportamento dos professores. Estes muitas vezes desconsideram as características incertas e complexas do processo de construção do conhecimento, despersonalizando e homogeneizando os alunos. Santos (2008), ao considerar que as características do sujeito, do conhecimento e da sociedade são dinâmicas, argumenta que a articulação da certeza e da incerteza na prática pedagógica é fundamental.

O conceito de incerteza, ainda, vai contra a ideia de causalidade linear fundamentada na racionalidade cartesiana, ao questionar a estabilidade, a determinação e a previsibilidade dos fenômenos (Moraes, 2004a; 2004b). O pressuposto de uma dinâmica não linear

contrapõe-se às práticas pedagógicas oriundas da teoria instrucionista, em que o processo de construção do conhecimento é compreendido como linear e não há espaço para uma aprendizagem colaborativa e interativa (Araújo, 2007).

2.4 Recursão organizacional

Outro importante conceito da complexidade é a recursão organizacional. Segundo Morin (2011, p. 74), um processo recursivo é “um processo em que os produtos e os efeitos são ao mesmo tempo causas e produtores do que os produz”. O princípio recursivo rompe com a ideia de causa e efeito, ao apresentar a concepção cíclica de que tudo o que é produzido retorna para o que o produziu.

Essa ideia é congruente com o sistema educacional se o considerarmos como um sistema que se auto-organiza, no sentido de que o aluno é fruto de um determinado sistema educacional e, ao mesmo tempo, influenciador deste. Dessa forma, as relações retroativas entre o aluno e o sistema fazem com que este evolua e se desenvolva (Moraes, 2004a).

A mesma ideia poder ser vista quando se discute sobre a construção do conhecimento. De acordo com Bonilla (2002), informação e conhecimento relacionam-se. Porém, estando o sentido no intérprete e não na informação, esta somente adquire significado dentro de um contexto humano. Conhecimento é, então, o processo de atribuição de significado às informações; isso ocorria nas interações entre os sujeitos e na relação destes com o mundo. Dessa forma, a construção de conhecimento engloba movimentos recursivos, em que indivíduos transformam o conhecimento, e o conhecimento transforma os sujeitos que o produziram.

2.5 O princípio da autopoiese

Relacionado com a recursão organizacional, há o princípio da autopoiese, formulado pelos biólogos e filósofos chilenos Maturana e Varela.³ Esse princípio refere-se a uma

3. Maturana e Varela, na busca por compreender a organização do ser vivo, formulam o princípio autopoietico, afirmando que todo ser vivo é uma organização autopoietica. A célula, por exemplo, “é uma rede de reações químicas que produz moléculas que i) a partir de suas interações produzem e participam recursivamente na mesma rede de reações que as produziram; e ii) constituem a célula como uma unidade física” (Varela, Maturana e Uribe, 1974, p. 188, tradução nossa). No original, “*network of chemical reactions which produce molecules such that (i) through their interactions generate and participate recursively in the same network of reactions which produced them, and (ii) realize the cell as a material unity*”.

unidade autônoma que se constitui como uma rede de produção de componentes, os quais participam recursivamente na mesma rede de produção. Ou seja, não existe uma separação entre o produtor e o produto, de forma que a organização autopoietica é em si o produto de suas operações (Varela, Maturana e Uribe, 1974; Maturana e Varela, 1995).⁴

Com base nessa ideia, Moraes e Torre (2006) argumentam que todo o conhecer e o aprender implicam processos autopoieticos, dado que o conhecimento e a aprendizagem são processos interpretativos e recursivos, gerados pelo sujeito quando este interage com o ambiente. Os autores chamam atenção para impossibilidade de se prever o que acontece com o aluno apenas pela observação do ambiente em que ele está inserido, uma vez que o ambiente não determina, mas pode apenas desencadear mudanças nas estruturas cognitivo-emocionais do aluno. Isso significa que a dinâmica de um professor pode funcionar bem com um determinado grupo de alunos, mas não com outro grupo.

Em consonância com Moraes e Torre (2006), Santos (2008) argumenta que para a prática pedagógica isso implica a adoção de uma metodologia que estimule os próprios alunos a produzirem o seu conhecimento. O professor teria o papel de facilitar diálogos entre os saberes, respeitando a diversidade de cada um, dado que cada aluno tem seu próprio estilo de aprendizagem e sua própria forma de solucionar problemas. Ao considerar que o ambiente influencia o indivíduo, Santos (2008) enfatiza que o conhecimento deve ser encarado como resultante do enredamento de aspectos físico, biológico e social. Para a autora, isso implica a necessidade de ressignificar o próprio conceito de percepção.

2.6 O princípio hologramático

O último princípio apresentado aqui é o princípio hologramático. Proposto por Morin (2011), este princípio refere-se à ideia de que a parte constitui o todo, e o todo constitui a parte. O autor usa a ideia do holograma físico para argumentar que o menor ponto da imagem do holograma contém quase toda a informação do objeto representado.

4. A principal diferença entre o princípio prévio de recursão organizacional e o da autopoiese é como os autores entendem autonomia *per se*. Morin (2011) considera uma autonomia relativa – o indivíduo é de fato dependente do ambiente –, enquanto Maturana e Varela (1995) admitem uma autonomia absoluta. Para os últimos autores, cada unidade autopoietica apresenta uma estrutura particular, e quando a unidade autopoietica interage com o ambiente, a estrutura deste não determina, ela apenas desencadeia mudanças na estrutura da unidade. Isto é, devido à organização autopoietica, o sistema é autônomo do ambiente. O sistema e o ambiente são inter-relacionados, mas não dependentes; cada sistema opera independentemente do outro.

Essa ideia vai contra a atual estrutura disciplinar do conhecimento, baseada nas orientações cartesianas, em que se acredita que a soma das partes listadas nas grades curriculares equivale ao todo do conhecimento. Essa estrutura disciplinar impossibilita o aluno de estabelecer relações entre os conhecimentos obtidos (Santos, 2008). Ao considerar que a compreensão das partes depende de suas inter-relações com a dinâmica do todo, a autora argumenta que, para explicar fenômenos isolados, a contextualização é fundamental. Para ela, há uma necessidade de se inverter o foco do binário parte-todo e de interligar a totalidade fragmentada.

Uma forma de superar a atual estrutura disciplinar e fragmentária do ensino, e de articular os contrários, é a transdisciplinaridade. Ao apontar que o que parece contraditório em um nível de realidade pode não o ser em outro nível de realidade, a transdisciplinaridade desvela que não existe uma verdade absoluta, mas sim verdades relativas, sujeitas a constantes mudanças. Dessa forma, a transdisciplinaridade oferece uma compreensão maior da realidade, que assume um significado mais amplo (Santos, 2008).

A partir da visão transdisciplinar, o conhecimento é visto como uma rede de conexões. O conhecimento é multidimensional, devido aos diferentes níveis de realidade no processo cognitivo (Santos, 2008). Para a autora, ao seguir a prática pedagógica tradicional, os professores tendem a ignorar o princípio hologramático e a não articular os diversos saberes para a construção de um conhecimento multidimensional. Dada a complexidade dos fenômenos, para se conhecer um objeto em toda a sua dimensão, são necessários conhecimentos e observadores transdisciplinares. Como citado por Santos (2008, p. 76):

a transdisciplinaridade maximiza a aprendizagem ao trabalhar com imagens e conceitos que mobilizam, conjuntamente, as dimensões mentais, emocionais e corporais, tecendo relações tanto horizontais como verticais do conhecimento. Ela cria situações de maior envolvimento dos alunos na construção de significados para si.

3 MÉTODOS E METODOLOGIAS DE SISTEMAS COMPLEXOS EM EDUCAÇÃO

A seção anterior apresentou uma discussão sobre a utilização dos conceitos teóricos da complexidade para pensar a educação no Brasil. Esta seção foca nas aplicações dos métodos

e metodologias de sistemas complexos em educação no país. Essas aplicações podem ser divididas em dois grupos principais: aquelas predominantemente relacionadas à modelagem e aquelas mais relacionadas à disponibilidade de dados. Essa divisão é basicamente feita por questões analíticas, uma vez que os dois grupos são fundamentalmente entrelaçados e interconectados. A modelagem abrange autômatos celulares e modelagem baseada em agentes, sistemas dinâmicos, análise de redes, e sistemas tutores inteligentes; enquanto a mineração de dados educacionais (*educational data mining*), *learning analytics*, e visualização de dados compõem o segundo grupo.⁵

3.1 Modelos baseados em agentes e autômatos celulares

No Brasil, modelos baseados em agentes e autômatos celulares têm sido particularmente usados para ensinar conceitos da complexidade, ciências e matemática, em diferentes níveis de ensino. Xavier e Borges (2004), por exemplo, discorrem sobre o uso de autômatos celulares para ensinar estudantes do último ano da educação básica sobre padrões emergentes e comportamento complexo. Uehara e Silveira (2008) focam na aplicação de autômatos celulares no ensino de cálculo em cursos de graduação em ciência da computação. Outros exemplos incluem o uso de modelagem computacional e simulação para ensinar física (Gomes e Ferracioli, 2002), química (Recchi e Martins, 2013), biologia (Pereira e Sampaio, 2008) e questões ambientais (Santos *et al.*, 2002).⁶

O *software* Netlogo é popular em muitas dessas aplicações. Recchi e Martins (2013), por exemplo, usaram o Netlogo para ensinar química e ciências em um curso de graduação. No curso, foi pedido que os alunos desenvolvessem projetos usando o *software*. Um estudo interessante, elaborado por um grupo desses estudantes, simulou a difusão da Aids. A partir da simulação, os alunos foram capazes de entender melhor os conceitos e os mecanismos de doenças infecciosas, assim como os fatores que contribuem para a proliferação dessas doenças. De tal modo, o Netlogo promoveu um processo dinâmico de aprendizagem, no qual o aluno pode intervir e interagir com o *software* e construir conhecimento.

5. Para mais informações dos métodos e metodologias de sistemas complexos, ver Fuentes (no prelo).

6. O uso de jogos em educação também pode ser considerado uma abordagem baseada em simulação, que está ganhando popularidade no Brasil (Borges *et al.*, 2013).

O uso de autômatos celulares e modelagem baseada em agentes no ensino também é extenso no mundo. Um projeto de pesquisa na Universidade de Stanford, por exemplo, incentiva o uso de modelos computacionais para conectar experimentos físicos e virtuais em aulas de ciência (Blikstein, 2012). Porém no exterior, diferentemente do Brasil, modelos baseados em agentes têm sido mais diretamente aplicados na análise de políticas educacionais. Maroulis *et al.* (2010) simulam um modelo baseado em agentes para investigar o impacto de reformas de “escolha escolar”⁷ em escolas públicas de Chicago, enquanto Millington, Butler e Hamnett (2014) utilizam um modelo baseado em agentes para analisar o impacto de políticas de alocação de escolas baseadas na distância no Reino Unido. Estudos similares não foram encontrados no Brasil.

3.2 Sistemas dinâmicos

Como colocado pela OECD (2009, p. 10),

sistemas dinâmicos são, de modo geral, conjuntos de equações diferenciais ou de equações discretas iterativas, usados para descrever o comportamento de partes inter-relacionadas em um sistema complexo, e frequentemente incluem ciclos positivos e negativos de retroalimentação. Eles são usados para permitir a simulação de, dentre outros, resultados de alternativas de intervenções no sistema (por exemplo, quais incentivos são mais prováveis de produzir a adoção de energias alternativas por consumidores e companhias de energia). Eles também têm sido usados para antecipar consequências não intencionais de políticas (por exemplo, o impacto do aumento da disponibilidade de seguro de saúde na diminuição de comportamentos preventivos de saúde).

Somente uma aplicação de sistemas dinâmicos à política educacional foi encontrada no Brasil. Preocupados com o possível não cumprimento da meta da taxa líquida de matrícula na educação superior estabelecida no Plano Nacional de Educação (PNE),⁸ Strauss e Borenstein (2015) utilizam a metodologia de sistemas dinâmicos para melhor analisar e entender a dinâmica do sistema de graduação brasileiro. Os autores desenvolveram um modelo que permitiu a simulação do comportamento de diversas variáveis, por exemplo, políticas regulatórias, oferta e demanda, setor público e privado, como forma de se analisar o efeito de diferentes políticas. A análise de distintos cenários

7. As reformas de “escolha escolar” (*school choice reforms*) dão aos pais a possibilidade de escolher a escola que seus filhos frequentarão, não ficando restritos às escolas presentes na região ou no bairro em que habitam.

8. O PNE (2011-2020) estabelece a meta de elevar a taxa líquida de matrícula na educação superior para 33% da população entre 18 a 24 anos (Brasil, 2011).

possibilitou uma melhor compreensão do comportamento dinâmico do sistema de educação superior brasileiro, permitindo assim o desenvolvimento de estratégias eficazes e o progresso de políticas educacionais.

Um exemplo similar no âmbito internacional é o trabalho de Murthy, Gujrati e Iyer (2010), que utiliza um modelo de simulação de sistemas dinâmicos para analisar e planejar investimentos futuros de um programa de EAD em um importante instituto de engenharia na Índia. Outros trabalhos relacionados (Al Hallak *et al.*, 2009; Dahlan e Yahaya, 2010; Rodrigues *et al.*, 2012) utilizam a abordagem de sistemas dinâmicos como sistemas de apoio à decisão para a administração do ensino superior.

3.3 Análise de redes

Diferentes exemplos de aplicação de análise de redes à educação foram encontrados no Brasil. Mesquita *et al.* (2008) utilizam a metodologia de análise de redes para investigar o potencial de organização e ação em rede de um grupo de educadores, técnicos, coordenadores e diretores de escolas da rede municipal de ensino da cidade de Fortaleza, que têm como interesse comum a inclusão socioeducacional de pessoas com necessidades especiais. Ao permitir a identificação do papel de cada ator, do tamanho e da densidade da rede e dos atores em posições favoráveis para a sustentação e expansão da rede, a análise possibilita a detecção de ações necessárias para um melhor funcionamento do grupo. Isso compreende o incentivo ao compartilhamento de informação e de experiências que promovam a inclusão de pessoas com necessidades especiais.

Aquino Guimarães *et al.* (2009) também aplicam a metodologia de análise de redes para examinar a rede de programas de pós-graduação em administração no Brasil. Observando uma carência de tradição de pesquisa na área de administração no país, os autores consideram de suma importância a articulação entre os programas de pós-graduação, de forma a aumentar a produção nacional em administração e a consolidação desse campo científico no país. Ou seja, uma rede forte e densa, no que se refere à diversidade de laços estabelecidos e de atores (programas) envolvidos, tende a ser uma condição ideal para o aumento do volume e da qualidade da produção científica.

Dessa forma, uma compreensão melhor da rede de programas de pós-graduação permite que os programas envolvidos identifiquem seu papel na rede e suas possíveis

contribuições para o fortalecimento e expansão desta. Isso contribui ainda para a formulação de políticas públicas mais adequadas, ao fornecer informações importantes para o desenvolvimento dos programas de pós-graduação no país (Aquino Guimarães *et al.*, 2009).

O estudo mostra que a rede dos programas de pós-graduação em administração no Brasil é fraca e pouco densa, sugerindo que as atividades partilhadas e as parcerias são pouco utilizadas pelos programas analisados. Além disso, a natureza da instituição, isto é, se é pública ou privada, não é um fator determinante na constituição da rede. Com base nesses resultados, Aquino Guimarães *et al.* (2009) argumentam que políticas institucionais que estimulem a prática de pesquisas conjuntas e o intercâmbio de professores e alunos deveriam ser consideradas como forma de aumentar a cooperação e o fortalecimento da rede de programas de pós-graduação.

Um estudo similar investiga a rede de instituições de pesquisa de administração pública e gestão social no Brasil (Rossoni, Hocayen-da-Silva e Ferreira, 2008). A análise mostra uma rede difusa, na qual os laços mais fortes se dão entre instituições de mesmo estado. Além disso, a estrutura da rede é relacionada aos indicadores de produção científica de cada instituição de pesquisa. Na mesma linha, Silva *et al.* (2006) usam o método de análise de redes para examinar a rede de coautoria dos professores do programa de pós-graduação em ciência da informação.

Outra interessante aplicação examina sistemas interativos e objetos de aprendizagem (OA) no processo de ensino-aprendizagem. Rossi *et al.* (2013) utilizam o método de análise de redes para avaliar a aprendizagem a partir do uso de jogos que exercitem operações matemáticas com frações. O método permitiu a análise da participação e do desempenho dos estudantes no jogo e a identificação de deficiências de aprendizagem entre um grupo de estudantes.

Estudos futuros com análise de redes poderiam abranger o uso de modelos de contágio e de formação de opinião⁹ para examinar a propagação da educação na sociedade. Para uma visão mais geral da utilização de análise de redes em pesquisa educacional, ver Daly (2010) e Carolan (2013).

9. Ver Tessone (no prelo) sobre a natureza complexa dos sistemas sociais.

3.4 Sistemas tutores inteligentes

Sistemas tutores inteligentes são relacionados à aplicação de inteligência artificial em educação e podem ser descritos como “*software* de computador projetado para simular o comportamento e a orientação de um tutor humano” (Educause, 2013, p.1, tradução nossa).¹⁰ Eles diferem de outra instrução assistida por computador ao serem capazes de interpretar respostas complexas do estudante e ao aprenderem enquanto operam. Isso significa que esses sistemas não checam simplesmente se uma resposta é certa ou errada, mas identificam onde o estudante errou. Eles podem ainda ajustar as suas bases de conhecimento a partir dos dados gerados pelos estudantes ao usarem o sistema, e alterar em tempo real os seus comportamentos de tutor de modo a serem mais efetivos (Educause, 2013). Cursos *on-line* abertos e massivos (*massive open on-line courses* – Moocs), como Coursera e EDX, são exemplos de instruções assistidas por computador, dado que eles não se adaptam conforme o comportamento do estudante. Consistem basicamente em vídeos pré-gravados e exercícios, cujo conteúdo não se altera conforme os estudantes respondem. No entanto, eles têm o potencial de se tornarem sistemas tutores inteligentes.

O melhor exemplo de sistemas tutores inteligentes no Brasil provavelmente é o Geekie.¹¹ Geekie é um sistema tutor inteligente desenvolvido no país, que oferece tutoria assistida por computador para estudantes conectados à internet. Em 2014, o Geekie fez parceria com a Secretaria de Educação de diferentes estados do Brasil, para oferecer gratuitamente seu sistema tutor inteligente para os estudantes se prepararem para o Exame Nacional do Ensino Médio (Enem). Quando o estudante entra no sistema, ele/ela realiza um teste diagnóstico, a partir do qual o sistema identifica as dificuldades e o nível de proficiência do aluno em diferentes áreas de conteúdo, e constrói um plano de estudo personalizado. Os relatórios de progresso dos estudantes são enviados aos professores e diretores, de forma que eles podem adaptar seus planos de aula de acordo com os relatórios. Em seu *website*, o Geekie afirma que o sistema tem tido impacto sobre 13 mil escolas públicas e mais de 2 milhões de estudantes.

Há várias pesquisas em sistemas tutores inteligentes no Brasil, e a maioria concentra-se nos departamentos de ciência da computação. O Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (Sbie) e o Congresso Brasileiro de Informática na Educação (Cbie), por

10. Mais informações sobre sistemas tutores inteligentes podem ser encontradas em Koedinger *et al.* (2013).

11. Disponível em: <<http://www.geekie.com.br>>.

exemplo, reúnem muitas pesquisas na área. Bittencourt *et al.* (2009) e Brusilovsky e Peylo (2003), por exemplo, constroem plataformas de aprendizagem adaptativa que utilizam dados dos estudantes para fornecer uma experiência de aprendizado personalizada.

Müller e Silveira (2013) usam uma técnica de recomendação – análoga àquelas empregadas para sugerir produtos para consumidores – a fim de indicar, em um sistema, usuários que possam ajudar outros usuários a resolver um determinado problema. Em outras palavras, o sistema utiliza pareamento social (*social matching*) para apoiar a formação de pares. Ele é direcionado a professores que possam ter dificuldades no uso de plataformas de ensino assistido por computador. Quando um professor tem uma dúvida, o sistema o ajuda a encontrar uma pessoa com similar sistema de configuração e grau de habilidade para resolver a questão.

3.5 *Learning analytics* e mineração de dados educacionais

Todos esses sistemas tutores inteligentes, Moocs e outras tecnologias educacionais têm produzido uma grande quantidade de dados, que podem ajudar a entender como os alunos aprendem e, conseqüentemente, possibilitar uma educação mais inteligente, interativa, atraente e efetiva (Koedinger *et al.*, 2013).

Mineração de dados (*data mining*) e *analytics* referem-se a “metodologias que extraem informações úteis e acionáveis de grandes bases de dados”¹² (Baker e Siemens, 2014), como as mencionadas anteriormente. Quando essas metodologias são aplicadas à educação, elas são chamadas de mineração de dados educacionais (*educational data mining*) e *learning analytics* (Baker e Siemens, 2014).¹³

Baker e Siemens (2014)¹⁴ classificam as principais metodologias da área em cinco grupos centrais: métodos de predição, descobrimento de estrutura (*structure discovery*), mineração de relações (*relationship mining*), destilação de dados para julgamento humano (*distillation of data for human judgment*) e descobrimento com modelos. Os principais

12. “Methodologies that extract useful and actionable information from large datasets”.

13. Para mais informação sobre o desenvolvimento das duas comunidades – *learning analytics* e *educational data mining* – e suas divergências, ver Siemens e Baker (2012) e Baker e Siemens (2014).

14. O trabalho fornece exemplos e explicações detalhadas das aplicações dessas metodologias.

modelos para predição são classificadores, regressores e de estimação de conhecimento latente. Por exemplo, ao se analisarem os dados dos estudantes, é possível identificar aqueles com maior risco de abandono escolar; e quando se verificam suas respostas, pode-se estimar o conhecimento latente. Descobrimto de estrutura engloba agrupamento (*clustering*), análise fatorial, análise de rede social e descobrimto de estrutura de domínio. Em um exercício em que cada estudante responde de forma diferente, técnicas de agrupamento podem ajudar na identificação de um conjunto de respostas erradas e na detecção de conceitos que estão sendo mal compreendidos. Dessa forma, vídeos que esclareçam essas questões podem ser sugeridos aos alunos. Mineração de relações abrange quatro grupos principais: mineração de regras de associação (*association rule mining*), mineração de correlações (*correlation mining*), mineração de padrões sequenciais (*sequential pattern mining*) e mineração de dados causais (*causal data mining*). Destilação de dados para facilitar decisões humanas é relacionada a estratégias de visualização¹⁵ para apresentar dados a educadores de forma adequada, tal como mapas de calor (*heat maps*), curvas de aprendizagem e *learnograms*.¹⁶ Finalmente, descobrimto com modelos envolve o uso de um modelo de predição dentro de outro modelo de predição, ou dentro de uma análise de mineração de relações, por exemplo.

Big data (megadados) em educação parece ser a área que mais avançou. No mundo, *learning analytics* e mineração de dados educacionais têm sido usadas, por exemplo, para estudar cursos *on-line*, dar suporte ao desenvolvimento de sistemas de *e-learning* (ensino eletrônico) mais efetivos e investigar como as crianças “jogam o sistema”¹⁷ (Baker e Yacef, 2009; Kotsiantis, 2012; Siemens e Baker, 2012). Dados de rastreamento ocular (*eye tracking*) e sensores de movimento têm sido usados para fornecer *insights* do exato processo de aprendizagem que ocorre quando uma criança realiza uma atividade (Blikstein, 2011); e *machine learning* (aprendizagem automática) tem sido utilizada para ajudar a prever quando um aluno abandonará a escola ou reprovará (Bayer *et al.*, 2012; Márquez-Vera *et al.*, 2013).

No Brasil, essas aplicações são mais escassas, apesar de ainda assim serem muitas. Kampff (2009) buscou identificar em um ambiente virtual de aprendizagem as

15. A questão da visualização é discutida em mais detalhes na subseção seguinte.

16. Um *learnogram* é uma ferramenta de representação gráfica que permite a visualização do processo de aprendizagem de alunos ao longo do tempo.

17. *Play the system*: usar as regras destinadas a proteger o sistema para manipulá-lo e direcioná-lo a um resultado desejado.

características e o comportamento de estudantes que apresentavam um maior risco de reprovação. O sistema, então, alertou o professor de que o estudante poderia precisar de uma atenção especial e, com base em experiências anteriores, forneceu-lhe sugestões de como lidar com tal situação. Pimentel e Omar (2006) utilizaram dados de estudantes para identificar a relação entre habilidades cognitivas e metacognitivas, ou seja: o que nós acreditamos saber está relacionado com o que nós realmente sabemos? Finalmente, Rigo *et al.* (2014) discutem o progresso necessário na aplicação de mineração de dados educacionais, como a implementação de soluções interativas, de forma que os resultados possam efetivamente dar suporte à detecção de comportamento conectado ao abandono escolar.

3.6 Visualização

A grande quantidade de dados em educação e modelos poderosos podem ajudar na simulação de intervenções políticas e no melhor entendimento de mecanismos na educação. Porém, se os *stakeholders* não conseguem entender o que todos esses dados e modelos expressam, todos os esforços terão uma contribuição pequena. É por isso que a destilação de dados para facilitar decisões humanas, já mencionada, é crucial.

Como colocado por Rand (no prelo), *stakeholders* e formuladores de política precisam compreender as análises para poderem tomar decisões adequadas.

Em alguns casos, eles não têm o conhecimento necessário para entender os resultados. A educação (sobre sistemas complexos) contribuirá com isso, mas também haverá a necessidade de maiores esforços em visualização, dado que a visualização pode tornar os resultados e os modelos mais claros” (tradução nossa).¹⁸

Gentile (2014) também enfatiza a importância da visualização e da interatividade: “deve-se considerar como os resultados da simulação são apresentados aos *stakeholders*, tendo em mente os seus interesses, relevância e experiência. Deve-se promover a exploração de dados *ad hoc*, pois isso facilita a verificação e validação do modelo e a descoberta de conhecimento”.

18. “In some cases, they do not have the complex systems literacy necessary to understand the results. Education (about complex systems) will help this, but so will increased efforts in visualization, since visualization can make results and models easier to understand” .

Em relação à visualização, um dos exemplos mais proeminentes no Brasil é o *site* Qedu.¹⁹ É um portal de livre acesso, que fornece informações sobre a qualidade da educação em nível federal, estadual e municipal. Ele reúne todos os dados que são gerados por diferentes avaliações de aprendizagem conduzidas no Brasil e os apresenta de forma mais clara e prática para o público em geral.

O portal mostra, por exemplo, que apenas 12% das crianças matriculadas no último ano do ensino básico no Brasil alcançaram um aprendizado considerado adequado em matemática em 2011. Permite também que o usuário visualize quanto essa porcentagem varia por estado. Alagoas e Amapá, por exemplo, apresentam a menor porcentagem (3%) no país, enquanto Minas Gerais (22%) e Santa Catarina (17%) possuem os melhores resultados. No entanto, quando se observa detalhadamente o estado de Minas Gerais, constata-se que os resultados entre as cidades são muito heterogêneos. Em Gameleiras, no norte do estado, a porcentagem é de 3%, enquanto em Coronel Xavier Chaves, também no norte do estado, a porcentagem é de 85%. O *site* também permite que o usuário visualize os resultados até no nível da escola. Esse pode ser um importante instrumento para os pais e para a população em geral, ao possibilitar o acompanhamento do desempenho dos alunos, ao ajudar na escolha da escola e facilitar a cobrança de melhores serviços da escola e ao permitir que cada indivíduo seja ativo e possa influenciar o sistema educacional.

4 DISCUSSÃO

Este trabalho apresentou um panorama da aplicação da abordagem de sistemas complexos em educação no Brasil. A primeira parte investigou o uso de conceitos da complexidade para se pensar a educação no sentido teórico, enquanto a segunda parte focou nas aplicações dos métodos e metodologias no país. A revisão levantou alguns *insights* para o ensino, aprendizagem e para políticas educacionais no Brasil, os quais são discutidos nesta seção.

Um primeiro *insight* é que ensinar conceitos da complexidade a alunos e *stakeholders* parece ser relevante. Como mencionado por Rand (no prelo), quando ainda jovens,

19. Disponível em: <www.qedu.org.br>.

as pessoas tendem a desenvolver uma mentalidade determinística e centralizada, ou seja, esperam que os sistemas tenham regras determinísticas que governem seus comportamentos, e que exista um controle central na maioria dos sistemas. Contudo, a maior parte dos sistemas complexos demonstra o oposto. Assim, expor os alunos aos conceitos da complexidade pode ajudar na contraposição dessa tendência.

Os métodos de sistemas complexos podem ser considerados ainda relativamente novos na pesquisa educacional no Brasil. São relativamente poucos os pesquisadores com um conhecimento completo do tema, e há uma menor tradição das abordagens quantitativas ou computacionalmente intensivas nas pesquisas em educação. De fato, a maioria das aplicações tende a vir de departamentos de ciência da computação, em vez de departamentos de educação. Assim sendo, o ensino de conceitos de sistemas complexos a professores, e a familiarização dos termos e metodologias dessa abordagem a *stakeholders*, pode ser um importante passo para o aperfeiçoamento da pesquisa em educação, podendo contribuir com importantes *insights* para as políticas educacionais.

Segundo, promover um currículo transdisciplinar no nível do estudante e conduzir uma análise interdisciplinar no nível da pesquisa política podem ser cruciais para estimular um aprendizado efetivo e para abordar a natureza complexa dos sistemas educacionais.

Como citam Carter e Reardon (2014, p. 16) sobre a desigualdade educacional:

*os problemas multidimensionais da desigualdade requerem soluções multidimensionais, desenvolvidas talvez por colaborações inovadoras e interdisciplinares entre pesquisadores experientes e pesquisadores da próxima geração. Conforme avançamos, abordar a desigualdade a partir da pesquisa, da política e da prática exige uma abordagem ecológica que atenda às múltiplas e interconectadas áreas da desigualdade. Projetos de pesquisa com métodos mistos, em particular, talvez sejam necessários para produzir resultados generalizáveis e *insight* mais profundo nos sutis, e geralmente invisíveis, mecanismos sociais que moldam as experiências de vida dos indivíduos (tradução e grifos nossos).*

Terceiro, parece importante reconhecer e incorporar a heterogeneidade dos estudantes na prática e na pesquisa educacional. Dados os altos níveis de desigualdade no Brasil, considerar a heterogeneidade dos alunos é uma questão crítica.

Quarto, modelagem e simulação computacional são ferramentas poderosas e importantes para o ensino de conceitos complexos no nível do estudante e para a análise de problemas complexos no nível da pesquisa e da política. Modelos podem ajudar na compreensão de mecanismos subjacentes e ser usados como instrumentos de apoio a decisões.

Quinto, a análise de redes pode ser empregada para promover a resiliência do sistema, identificar nós-chave e estimular o fluxo de informação.

No contexto dos dados, estes são recursos valiosos para o aperfeiçoamento do conhecimento de aprendizagem e para a validação e o aprimoramento de modelos. No entanto, empenhos na visualização são muito importantes para promover o fluxo de informação e o aprendizado dentro de um sistema educacional, e a emergência de soluções de baixo para cima (*bottom-up solutions*).

Por último, o direcionamento das políticas e práticas educacionais para o *aprendizado personalizado*, isto é, “instrução que é ajustada às necessidades de aprendizagem, ajustada às preferências de aprendizagem e ajustadas aos interesses específicos dos diferentes aprendizes”²⁰ (Pea, 2014, p. 13, tradução nossa), pode ser um interessante caminho para se seguir. O aprendizado personalizado dá suporte para o aprendizado de todos os estudantes; considera-se que ele aprimora o desempenho educacional, gera eficiências de custo por meio da produtividade educacional e otimização organizacional, e estimula a inovação educacional (*idem, ibidem*).

Isso parece fazer sentido particularmente no Brasil, considerando a heterogeneidade dos estudantes anteriormente mencionada, que abrange diferentes aspectos, como o contexto socioeconômico e as características intrínsecas do indivíduo. Um fator importante que merece destaque é a heterogeneidade presente dentro das salas de aula no Brasil, devido à elevada distorção idade-série no país. Em 2011, 15% dos estudantes do primeiro ao quinto ano estavam dois ou mais anos atrás da série adequada; 28% dos estudantes do sexto ao nono ano; e 30% dos estudantes do ensino médio (Qedu). Esse cenário acaba por gerar reprovação e abandono escolar.

20. “Instruction that is tailored to learning needs, tailored to learning preferences, and tailored to the specific interests of different learners”.

Uma política de progressão continuada foi adotada em alguns estados do Brasil na tentativa de melhorar essa situação. Após avaliação do programa, Menezes-Filho *et al.* (2008) afirmam que:

os resultados apontam para uma maior taxa de aprovação e uma menor taxa de abandono nas escolas estaduais urbanas que adotaram o programa. As estimativas do impacto do desempenho escolar indicam uma redução significativa na proficiência dos alunos do oitavo ano, enquanto que o impacto sobre os alunos do quarto ano não foi significativo.

Isso sugere que a política de progressão continuada talvez seja importante como forma de estimular a presença e evitar o abandono escolar, porém insuficiente. Nesse contexto, o aprendizado personalizado poderia complementar essa política, visando ao aprendizado e à proficiência, ao incorporar a heterogeneidade dos alunos, e pelas possibilidades de expansão se implementado por meio de sistemas tutores inteligentes.

Acemoglu, Laibson e List (2014, tradução nossa) argumentam que “a educação a distância terá extensos efeitos equalizadores. Não somente o capital humano ao redor do mundo será aprimorado,²¹ mas as desigualdades de capital humano também poderão diminuir”.²² Nós acreditamos que o aprendizado personalizado seja uma boa oportunidade para possibilitar o desenvolvimento do capital humano e a diminuição das desigualdades educacionais no Brasil. Ao mesmo tempo, é importante destacar que existe também um risco. Se não acompanharmos os novos desenvolvimentos em educação e não investirmos em uma infraestrutura que permita o desenvolvimento dessa técnica para a população como um todo, esses avanços poderão ter o efeito oposto.

21. Sobre o impacto da internet na concentração da atividade econômica, ver Forman Goldfarb e Greenstein (2014) e Sakowski (2014). Forman Goldfarb e Greenstein, (2014, tradução nossa) argumentam que “a taxa de crescimento de patentes foi maior entre países que não eram líderes de patenteamento no começo dos anos 1990, mas eram líderes na adoção da internet em 2000, o que sugere que a internet ajudou a conter a tendência de maior concentração geográfica”, e que “a internet poderia atuar como uma ampla força para enfraquecer as ligações entre a geografia da atividade inovadora e os padrões espaciais do uso *downstream* dela”. Do original: “*The rate of patent growth was faster among counties who were not leaders in patenting in the early 1990s but were leaders in internet adoption by 2000, suggesting that the internet helped stem the trend towards more geographic concentration*” and that “*the internet could act as a broad force for weakening the links between the geography of inventive activity and spatial patterns of downstream use of it*”.

22. “*Web-based education will have broadly equalizing effects. Not only will human capital around the globe be enhanced, but human capital inequalities may also decrease.*”

Para finalizar, vale ressaltar que os *insights* mencionados são possíveis caminhos derivados da abordagem de sistemas complexos para a educação. Uma investigação maior é necessária para confirmar a validade desses fatores.

REFERÊNCIAS

ACEMOGLU, D.; LAIBSON, D.; LIST, J. A. **Equalizing superstars**: the internet and the democratization of education. Cambridge: National Bureau of Economic Research, Jan. 2014. (Nber Working Paper, n. 19851). Disponível em: <<http://www.nber.org/papers/w19851>>. Acesso em: 8 dez. 2014.

AL HALLAK, L. *et al.* Decision support systems for university management processes: an approach towards dynamic simulation model. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER AND ELECTRICAL ENGINEERING, 2., 2009, Dubai. **Anais...** Los Alamitos: IEEE Computer Society, Dec. 2009. v. 2.

AQUINO GUIMARÃES, T. *et al.* A rede de programas de pós-graduação em administração no Brasil: análise de relações acadêmicas e atributos de programas. **Revista de Administração Contemporânea**, v. 13, n. 4, p. 564-582, 2009.

ARAÚJO, M. M. S. O pensamento complexo: desafios emergentes para a educação *on-line*. **Revista Brasileira de Educação**, v. 12, n. 36, p. 515-551, 2007.

BAKER, R. S. J. D.; YACEF, K. The state of educational data mining in 2009: a review and future visions. **Journal of Educational Data Mining**, v. 1, n. 1, p. 3-17, 2009.

BAKER, R.; SIEMENS, G. Educational data mining and learning analytics. *In*: SAWYER, K. (Ed.). **The Cambridge handbook of the learning sciences**. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2014. p. 253-274.

BAYER, J. *et al.* Predicting drop-out from social behaviour of students. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON EDUCATIONAL DATA MINING, 5., 2012, Chania. **Anais...** 2012.

BEHRENS, M. A. A prática pedagógica e o desafio do paradigma emergente. **Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos**, v. 80, n. 196, p. 383-403, 1999.

BEHRENS, M. A.; OLIARI, A. L. T. A evolução dos paradigmas na educação: do pensamento científico tradicional à complexidade. **Revista Diálogo Educacional**, v. 7, n. 22, p. 53-66, 2007.

BERLOW, E. L. *et al.* Simple prediction of interaction strengths in complex food webs. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 106, n. 1, p. 187-191, 2009. Supplement (news summary) .

BITTENCOURT, I. I. *et al.* A computational model for developing semantic web-based educational systems. **Knowledge-Based Systems**, v. 22, n. 4, p. 302-315, May 2009.

BLIKSTEIN, P. Using learning analytics to assess students' behavior in open-ended programming tasks. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON LEARNING ANALYTICS AND KNOWLEDGE*, 1., 2011, Banff, Alberta. **Anais...** New York: ACM, 2011. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2090116.2090132>>. Acesso em: 9 jan. 2014.

_____. Bifocal modeling: a study on the learning outcomes of comparing physical and computational models linked in real time. *In: ASSOCIATION FOR COMPUTING MACHINERY INTERNATIONAL CONFERENCE ON MULTIMODAL INTERACTION*, 14., 2012, Santa Monica, California. **Anais...** New York: ACM, 2012. p. 257-264. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2388729>>. Acesso em: 22 ago. 2014.

BOHR, N. **Atomic physics and human knowledge**. New York: Science Editions Inc., 1991.

BONILLA, M. H. S. **Escola aprendente: desafios e possibilidades postos no contexto da sociedade do conhecimento**. 2002. Tese (Doutorado) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2002. Disponível em: <<http://repositorio.ufba.br/ri/bitstream/ri/6819/1/tese%20bonilla.pdf>>. Acesso em: 3 out. 2014.

BORGES, S. S. *et al.* Gamificação aplicada à educação: um mapeamento sistemático. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO*, 24., 2013, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBIE, 2013.

BRASIL. Ministério da Educação. **O Plano Nacional de Educação (PNE) 2011-2020: metas e estratégias**. Brasília: MEC, 2011. Disponível em: <http://fne.mec.gov.br/images/pdf/notas_tecnicas_pne_2011_2020.pdf>. Acesso em: 5 dez. 2014.

BRUSILOVSKY, P; PEYLO, C. Adaptive and intelligent web-based educational systems. **International Journal of Artificial Intelligence in Education**, v. 13, n. 2, p. 159-172, 2003.

CAROLAN, B. V. **Social network analysis and education: theory, methods and applications**. Thousand Oaks: Sage Publications, 2013.

CARTER, P. L.; REARDON, S. F. **Inequality matters**. William T. Grant Foundation, Sept. 2014. Disponível em: <<https://ed.stanford.edu/sites/default/files/inequalitymatters.pdf>>. Acesso em: 30 set. 2014.

COHEN, L.; MANION, L.; MORRISON, K. **Research methods in education**. [s.l.]: Taylor and Francis, 2003.

DAHLAN, S. F. M.; YAHAYA, N. A. A system dynamics model for determining educational capacity of higher education institutions. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTATIONAL INTELLIGENCE, MODELLING AND SIMULATION*, 2., 2010, Bali. **Anais...** Los Alamitos: IEEE Computer Society, 2010.

DALY, A. J. **Social network theory and educational change**. Cambridge: Harvard Education Press, 2010.

EDUCAUSE. **7 things you should know about intelligent tutoring systems**. ELI, July 2013. Disponível em: <<https://net.educause.edu/ir/library/pdf/ELI7098.pdf>>. Acesso em: 16 out. 2014.

FORMAN, C.; GOLDFARB, A.; GREENSTEIN, S. **Information technology and the distribution of inventive activity**. Cambridge: Nber, Apr. 2014. (Nber Working Paper, n. 20036). Disponível em: <<http://www.nber.org/papers/w20036>>. Acesso em: 5 dez. 2014.

FUENTES, M. A. Methods and methodologies of complex systems. *In*: FURTADO, B. A.; SAKOWSKI, P. A. M.; TÓVOLI, M. H. (Org.). **Modeling complex systems for public policies**. Brasília: Ipea, no prelo.

GENTILE, J. E. Simulação computacional aplicada a políticas públicas. *In*: SEMINÁRIO INTERNACIONAL MODELAGEM DE SISTEMAS COMPLEXOS PARA POLÍTICAS PÚBLICAS, 2014, Brasília. **Anais...** Brasília: Ipea, 2014. Disponível em: <<http://goo.gl/YgJq7q>>.

GOMES, T.; FERRACIOLI, L. A abordagem da aprendizagem em física através de uma ferramenta de modelagem computacional baseada na metáfora de objetos e eventos: uma proposta de estudo. *In*: SEMINÁRIO SOBRE REPRESENTAÇÕES E MODELAGEM NO PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM, 4., 2002, Vitória, Espírito Santo. **Anais...** Vitória, 2002.

GUIMARÃES, M. C. M. *et al.* Paradigma da complexidade e paradigmas holísticos: implicações no processo educacional. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE DIDÁTICA E PRÁTICA DE ENSINO, 3., 2009. **Anais...** Edipe, 2009. Disponível em: <http://www.ceped.ueg.br/anais/IIIedipe/pdfs/2_trabalhos/gt09_didatica_praticas_ensino_estagio/trab_gt09_paradigma_complexidade.pdf>. Acesso em: 3 out. 2014.

HEEMSKERK, M.; WILSON, K.; PAVAO-ZUCKERMAN, M. Conceptual models as tools for communication across disciplines. **Conservation Ecology**, v. 7, n. 3, 2003.

KAMPFF, A. J. C. **Mineração de dados educacionais para geração de alertas em ambientes virtuais de aprendizagem como apoio à prática docente**. 2009. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

KOEDINGER, K. R. *et al.* New potentials for data-driven intelligent tutoring system development and optimization. **The AI Magazine**, v. 34, n. 3, p. 27-41, 2013.

KOTSIANTIS, S. B. Use of machine learning techniques for educational proposes: a decision support system for forecasting students' grades. **Artificial Intelligence Review**, v. 37, n. 4, p. 331-344, 1 Apr. 2012.

MAROULIS, S. *et al.* **An agent-based model of intra-district public school choice.** Kellogg School of Management, Sept. 2010. Disponível em: <<http://ccl.northwestern.edu/papers/choice.pdf>>. Acesso em: 17 jun. 2014.

MÁRQUEZ-VERA, C. *et al.* Predicting student failure at school using genetic programming and different data mining approaches with high dimensional and imbalanced data. **Applied Intelligence**, v. 38, n. 3, p. 315-330, 1 Apr. 2013.

MATURANA, H. R.; VARELA, F. J. **A árvore do conhecimento: as bases biológicas da compreensão humana.** Campinas: Psy II, 1995.

MENEZES-FILHO, N. *et al.* Avaliando o impacto da progressão continuada nas taxas de rendimento e desempenho escolar do Brasil. *In*: VASCONCELLOS, L. *et al.* (Org.). **Relatório de avaliação econômica de projetos sociais.** [s.l.]: Fundação Itaú Social, 2008. Disponível em: <http://www.fundacaointausocial.org.br/_arquivosstaticos/FIS/pdf/10_-_relatorio_de_avaliacao_progressao_continuada_-_atualizado.pdf>. Acesso em: 12 out. 2014.

MESQUITA, R. B. *et al.* Analysis of informal social networks: application to the reality of inclusive school. **Interface – Comunicação, Saúde, Educação, Botucatu**, v. 12, n. 26, p. 549-562, jul./set. 2008.

MILLINGTON, J.; BUTLER, T.; HAMNETT, C. Aspiration, attainment and success: an agent-based model of distance-based school allocation. **Journal of Artificial Societies and Social Simulation**, v. 17, n. 1, p. 10, 2014.

MORAES, M. C. **Pensamento eco-sistêmico: educação, aprendizagem e cidadania no século XXI.** Petrópolis: Vozes, 2004a.

_____. Pressupostos teóricos do sentipensar. *In*: MORAES, M. C.; TORRE, S. (Org.). **Sentipensar: fundamentos e estratégias para reencantar a educação.** Petrópolis: Vozes, 2004b.

MORAES, M. C.; TORRE, S. Pesquisando a partir do pensamento complexo – elementos para uma metodologia de desenvolvimento eco-sistêmico. **Educação**, v. 29, n. 1, p. 145-172, 2006.

MORIN, E. **Introdução ao pensamento complexo.** Porto Alegre: Sulina, 2011.

MÜLLER, L.; SILVEIRA, M. S. Podes me ajudar? Apoiando a formação de pares em sistemas de ajuda em pares através de técnicas de recomendação. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO, 24., 2013, Campinas, São Paulo. **Anais...** SBC, 2013. Disponível em: <<http://br-ie.org/pub/index.php/sbie/article/view/2565>>. Acesso em: 8 dez. 2014.

MURTHY, S.; GUJRATI, R.; IYER, S. Using system dynamics to model and analyze a distance education program. *In*: ACM/IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES AND DEVELOPMENT, 4., 2010, London. **Anais...** New York: ACM, 2010. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2369220.2369245>>. Acesso em: 24 jul. 2014.

OECD—ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Applications of complexity science for public policy**: new tools for finding unanticipated consequences and unrealized opportunities. Paris: OECD, 2009.

PEA, R. **The learning analytics workgroup**: a report on building the field of learning analytics for personalized learning at scale. Stanford: Stanford University, 2014. Disponível em: <https://ed.stanford.edu/sites/default/files/law_report_complete_09-02-2014.pdf>. Acesso em: 30 set. 2014.

PEREIRA, A. S. T.; SAMPAIO, F. F. Avitae: desenvolvimento de um ambiente de modelagem computacional para o ensino de biologia. **Ciências e Cognição**, v. 13, n. 2, p. 51-70, 2008.

PETRAGLIA, I. C. **Edgar Morin**: a educação e a complexidade do ser e do saber. Petrópolis: Vozes, 1995.

PIMENTEL, E. P.; OMAR, N. Descobrendo conhecimentos em dados de avaliação da aprendizagem com técnicas de mineração de dados. *In*: WORKSHOP DE INFORMÁTICA NA ESCOLA, 12., 2006, Campo Grande, Mato Grosso do Sul. **Anais...** SBC, 2006.

RAND, W. Complex systems: concepts, literature, possibilities and limitations. *In*: FURTADO, B. A.; SAKOWSKI, P. A. M.; TÓVOLI, M. H. **Modeling complex systems for public policies**. Brasília: Ipea, no prelo.

RECCHI, A. M. S.; MARTINS, M. M. Netlogo: linguagem de programação educacional para o ensino de química e ciências. *In*: ENCONTRO DE DEBATES SOBRE O ENSINO DE QUÍMICA, 33., Ijuí, Rio Grande do Sul. **Anais...** Ijuí: Unijuí, 2013.

RIGO, S. J. *et al.* Minerando dados educacionais com foco na evasão escolar: oportunidades, desafios e necessidades. **Revista Brasileira de Informática na Educação**, v. 22, n. 1, 19 maio 2014.

RODRIGUES, L. L. R. *et al.* Modelling and simulation of quality management in higher education: a system dynamics approach. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTATIONAL INTELLIGENCE, MODELLING AND SIMULATION, 4., 2012, Kuantan. **Anais...** Los Alamitos: IEEE Computer Society, 2012.

ROSSI, A. C. *et al.* Análise de rede social no processo de ensino e aprendizagem de um jogo educativo: jogo de fração. *In*: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE OBJETOS E TECNOLOGIAS DE APRENDIZAGEM, 8., 2013, Valdivia. **Anais...** 2013.

ROSSONI, L.; HOCAYEN-DA-SILVA, A. J.; FERREIRA, I. J. Aspectos estruturais da cooperação entre pesquisadores no campo de administração pública e gestão social: análise das redes entre instituições no Brasil. **Revista de Administração Pública**, v. 42, n. 6, p. 1041-1067, 2008.

SAKOWSKI, P. A. M. **Quão distante é longe?** A importância da distância geográfica para fluxos de conhecimento. Brasília: Ipea, ago. 2014. (Texto para Discussão, n. 1995). Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td_1995.web.pdf>. Acesso em: 5 dez. 2014.

SANTOS, A. Complexidade e transdisciplinaridade em educação: cinco princípios para resgatar o elo perdido. **Revista Brasileira de Educação**, v. 13, n. 37, p. 71-83, 2008.

SANTOS, A. C. K. *et al.* Modelagem computacional como uma possível estratégia para a educação ambiental fundamental. **Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental**, v. 5, p. 41-57, 2001.

SIEMENS, G.; BAKER, R. S. J. D. Learning analytics and educational data mining: towards communication and collaboration. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON LEARNING ANALYTICS AND KNOWLEDGE, 2., 2012, Vancouver. **Anais...** New York: ACM, 2012. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2330661>>. Acesso em: 22 ago. 2014.

SILVA, A. B. O. *et al.* Análise de redes sociais como metodologia de apoio para a discussão da interdisciplinaridade na ciência da informação. **Ciência da Informação**, Brasília, v. 35, n. 1, p. 72-93, abr. 2006.

STRAUSS, L. M.; BORENSTEIN, D. A system dynamics model for long-term planning of the undergraduate education in Brazil. **Higher Education**, v. 69, n. 3, p. 375-397, Mar. 2015.

TESSONE, C. J. The complex nature of social systems. *In*: FURTADO, B. A.; SAKOWSKI, P. A. M.; TÓVOLI, M. H. (Org.). **Modeling complex systems for public policies**. Brasília: Ipea, no prelo.

UEHARA, O. K.; SILVEIRA, I. F. Aplicação de autômatos celulares no ensino de cálculo diferencial e integral em cursos de computação. *In*: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO, 28., 2008, Belém, Pará. **Anais...** SBC, 2008.

VARELA, F. G.; MATURANA, H. R.; URIBE, R. Autopoiesis: the organization of living systems, its characterization and a model. **Biosystems**, v. 5, n. 4, p. 187-196, 1974.

XAVIER, A.; BORGES, A. T. A utilização de autômatos celulares no ensino de ciências. *In*: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 9., 2004, Jaboticatubas, Minas Gerais. **Anais...** 2004.

EDITORIAL

Coordenação

Cláudio Passos de Oliveira

Supervisão

Andrea Bossle de Abreu

Revisão

Camilla de Miranda Mariath Gomes

Carlos Eduardo Gonçalves de Melo

Elaine Oliveira Couto

Elisabete de Carvalho Soares

Lucia Duarte Moreira

Luciana Bastos Dias

Luciana Nogueira Duarte

Míriam Nunes da Fonseca

Thais da Conceição Santos Alves (estagiária)

Vivian Barros Volotão Santos (estagiária)

Editoração eletrônica

Roberto das Chagas Campos

Aeromilson Mesquita

Aline Cristine Torres da Silva Martins

Carlos Henrique Santos Vianna

Capa

Luís Cláudio Cardoso da Silva

Projeto gráfico

Renato Rodrigues Bueno

*The manuscripts in languages other than
Portuguese published herein have not been proofread.*

Livraria Ipea

SBS – Quadra 1 – Bloco J – Ed. BNDES, Térreo.

70076-900 – Brasília – DF

Fone: (61) 2026-5336

Correio eletrônico: livraria@ipea.gov.br

Missão do Ipea

Aprimorar as políticas públicas essenciais ao desenvolvimento brasileiro por meio da produção e disseminação de conhecimentos e da assessoria ao Estado nas suas decisões estratégicas.

