

COMPLEXIDADE E ENSINO DE FÍSICA: O USO DA TEORIA DE GRAFOS NA ANÁLISE DO PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM

Giselle Watanabe

Universidade Federal do ABC, Centro de Ciências Naturais e Humanas, Brasil.

giselle.watanabe@ufabc.edu.br

Guilherme Brockington

Universidade Federal de São Paulo, Brasil

brockington@unifesp.br

Fernanda Carvalho

Programa Ensino, História e Filosofia das Ciências e Matemática/UFABC. Brasil.

carvalho.fernanda@ufabc.edu.br

Edgar Altszyler

Universidad de Buenos Aires, Departamento de Computación/CONICET, Argentina.

Natália Mota, Sidarta Ribeiro

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Instituto do Cérebro, Brasil.

RESUMO: As questões socioambientais, por sua natureza dinâmica e complexa, se mostram interessantes na promoção de discussões ativas e abertas em sala de aula. Dessa forma, tem-se uma oportunidade para que o acompanhamento da aprendizagem seja realizado considerando-se seu processo e não apenas momentos específicos nos quais imperam as avaliações. Assim, esse trabalho apresenta a análise e os resultados de uma investigação pautada no processo de ensino-aprendizagem de um grupo de alunos brasileiros que participaram de aulas de Física sobre o Aquecimento Global, norteadas por aspectos da complexidade. Os dados de 40 alunos foram coletados ao longo de vinte aulas e analisados por meio da Teoria de Grafos, como uma ferramenta de análise do discurso que permite evidenciar o processo de ensino-aprendizagem. Dos resultados, destacam-se que houve uma mudança complexificada na trajetória das palavras e, conseqüentemente, na estrutura da resposta. Evidenciamos que os alunos alcançaram níveis mais complexos em suas respostas, o que reflete uma construção do conhecimento escolar também mais complexificada.

PALAVRAS CHAVE: complexidade, ensino de ciências, teoria de grafos, aquecimento global.

OBJETIVO: As questões socioambientais são, em geral, assuntos abertos e dinâmicos. Uma das implicações diz respeito à necessidade de se propor atividades escolares que explicitem os distintos pontos de vistas e a natureza epistemológica adequada que permeiam o problema, contribuindo para a promoção de um posicionamento mais crítico e complexo (Freire, 2005; García, 1998). A complexidade torna-se, então, aspecto fundamental nessa discussão, em especial, quando a consideramos sob as Dimensões Epistemológica, da Educação e do Ensino-Aprendizagem (Watanabe, 2012). Especificamente na

Dimensão Ensino-Aprendizagem, ela aparece nos elementos que se inter-relacionam e que podem ser evidenciados nas construções cognitivas dos estudantes ao longo das aulas. Para nós, a identificação dessas construções se dá partir das *hipóteses de transição* (García, 1998), que nesse trabalho são analisadas por meio da Teoria de Grafos. Diante do exposto, o objetivo desse artigo é analisar como as ideias dos alunos evoluem no tempo, considerando suas hipóteses de transição, ao participarem de aulas de Física complexificadas sobre o Aquecimento Global.

MARCO TEÓRICO: COMPLEXIDADE E TEORIA DE GRAFOS

A complexidade pode ser identificada em pelo menos três dimensões, a saber: Epistemológica; da Educação e de Ensino-Aprendizagem (Watanabe, 2012). Nesse trabalho consideramos discutir as Dimensões Epistemológica e de Ensino-Aprendizagem, visto que a primeira está contemplada na proposta de sala de aula e a segunda contribui para analisar o processo de construção do conhecimento escolar. A Dimensão Epistemológica consiste em evidenciar e incorporar a perspectiva da complexidade nas Ciências Naturais (Stengers e Prigogine, 1992) e nos elementos que caracterizam uma abordagem de temas socioambientais que supere as forma de tratamento da Física Clássica, ou mesmo Moderna, especialmente no que diz respeito ao reducionismo e à impossibilidade previsões deterministas/simplificadoras sobre a evolução de sistemas dinâmicos físicos. A Dimensão de Ensino-Aprendizagem considera os espaços de ação para a inserção da questão socioambiental complexa na escola, incorporando seu estatuto, função e currículo atual. Parte das considerações dessa dimensão vai ao encontro dos pressupostos da *complexificação* do conhecimento e *hipóteses de progressão* (García, 1998). Essas hipóteses referem-se aos elementos centrais que podem ser identificados nos argumentos dos alunos ao longo da construção do conhecimento escolar, dando margem para identificação das articulações construídas a partir de conceitos e concepções que levam o aluno de um pensamento simples para outro mais complexo.

É especificamente a compreensão acerca das hipóteses de progressão explicitadas pelos alunos ao longo de suas construções de conhecimento que nos permitem fazer uso da Teoria de Grafos como ferramenta de análise do discurso, permitindo evidenciar o processo de ensino-aprendizagem. Um grafo é uma estrutura matemática que conecta um conjunto de pontos representando uma função particular ou uma regra. Formalmente, um grafo (ou rede) é definido como um conjunto $G = (N, E)$ onde $N = \{n_1, n_2, n_3, \dots\}$ é um conjunto de nós (que representam os elementos de qualquer fenômeno), ligados por arestas no conjunto $E = \{e_1, e_2, e_3, \dots\}$, onde cada e_i corresponde a uma dupla (n_i, n_j) com $n_i, n_j \in N$ (representando, portanto, qualquer relação entre os elementos ou nós). Assim, um grafo é uma representação de um conjunto de pontos e de como eles se unem. Ao se considerar a comunicação humana sabe-se que a co-ocorrência de palavras em frases reflete a estrutura da linguagem de uma forma sutil que pode ser descrita em termos de um grafo de interações de palavras (Ferrer, Cancho e Solé, 2001). Ao representarmos um fenômeno como um grafo (como uma sequência de palavras como estratégia de representação da complexa relação entre palavras durante o discurso) é possível caracterizar essas redes utilizando medidas básicas locais (medidas que descrevem a vizinhança de um nó ou a ocorrência de ciclos, bem como medidas globais que descrevem as propriedades estatísticas de toda a rede (Mota et al., 2012; Ma'Ayan et al., 2008). A representação de uma trajetória de palavras por nós e a sequência de palavras consecutivas representada por arestas direcionadas permite quantificar quantos nós (ou palavras diferentes) são utilizados em um discurso; quantos nós participam de componentes conectados ou fortemente conectados (conjuntos de nós ligados por caminhos específicos que formam ciclos longos). Essa representação de grafos de palavras já foi utilizada para demonstrar uma relação

específica entre a estrutura de relatos orais de memórias de crianças e habilidades de leitura (Mota et al., 2016). Nesse trabalho, usaremos os grafos para analisar a mudança na estrutura do discurso dos estudantes e uma possível complexificação.

METODOLOGIA: PROPOSTA DE AULAS E ANÁLISE DAS RESPOSTAS DOS ALUNOS

A proposta sobre Aquecimento Global (AG) complexificada foi desenvolvida pelo GrECC (Grupo de Ensino de Ciências e suas Complexidades) e teve como um dos princípios o reconhecimento de que a escola é um ambiente para desenvolver uma visão mais crítica e complexa do mundo. Essa proposta foi sistematizada considerando cinco momentos distintos de reflexões/ aulas, que trazem discussões acerca dos conteúdos conceituais da Física e proposições mais gerais que incorporam argumentos de distintas esferas do conhecimento (por exemplo, discursos do governo, das organizações não governamentais, empresas etc.). Nela também se discute os distintos modelos científicos que tratam do AG, as incertezas do sistema bem como as distintas visões de mundo que os envolve. A proposta é finalizada com uma discussão em torno das ações que podem contribuir para uma mudança de comportamento dos alunos frente aos problemas voltados ao ambiente local e global, dando destaque ao consumo insustentável e desenfreado.

A pesquisa a partir da proposta do GrECC foi desenvolvida em uma escola pública na zona sul de São Paulo, Brasil. Participaram 40 alunos, distribuídos em duas turmas do 3º ano do Ensino Médio, com idade entre 15 e 17 anos. O registro das produções dos alunos, que se reverte em dados para esse trabalho, teve como questões norteadoras “A Terra está esquentando? Como saber?”, que foi respondida em 4 momentos distintos distribuídos em 20 aulas de Física sobre o (AG). Os momentos de coleta de dados referem-se: 1-aula inicial acerca das Concepções sobre AG; 2-aula final sobre Conceitos de Física para discutir o AG; 3-aula acerca das polêmicas sobre AG; 4-aula final intitulada “O que dizer sobre o AG?”)Essa forma de coleta de dados nos parece relevante pois com ela se acompanha o processo, sendo possível identificar e compreender os elementos de construção das ideias dos alunos, que levam às hipóteses de progressão. Embora essa abordagem apresente aspectos que devem ser considerados, como a dificuldade dos alunos em se expressar por meio da escrita, nota-se que ela permite que os alunos acompanhem a construção de suas próprias ideias ao longo do processo. Isso se deve, especialmente, porque em cada momento de reescrita o participante tem a autonomia de modificar ou complementar suas reflexões, considerando as questões estudadas em sala ou aprendidas em outros contextos.

RESULTADOS

Para analisar a representação da trajetória de palavras e caracterizar quantitativamente a complexificação das produções dos alunos, foi utilizado o software SpeechGraphs. Como salientado, cada aluno respondeu à mesma pergunta (A Terra está esquentando? Como saber?) em 4 momentos das aulas sobre AG. O Quadro 1 traz um exemplo do tipo de respostas de apenas um dos participantes que, por sua vez, configura a estrutura presente na Figura 1 (grafos gerados da primeira e quarta respostas da classe). A imagem revela um aumento na complexidade do discurso.

Quad.1.

Exemplo de respostas construídas por um aluno

Momento	Argumentos a partir da questão “A Terra está esquentando? Como saber?”
Momento 1	Sim, a terra está esquentando com o passar dos anos. Podemos ver nos jornais e na TV, notícias de desastres na natureza como o derretimento das geleiras e desmatamentos das árvores.
Momento 2	Sim, mesmo a Terra estando em equilíbrio dinâmico existe alguns fluxos de energia que são barrados na atmosfera aquecendo a Terra.
Momento 3	Sim, o tempo de residência dos gases na atmosfera cria um ambiente favorável a vida no planeta, embora o excesso de gases aqueça a Terra.
Momento 4	Sim, a extração de materiais vem ocorrendo sempre para suprir o consumo da sociedade, essa ação contribui para o aquecimento global, embora acredite que a educação pode ajuda na conscientização da reciclagem.

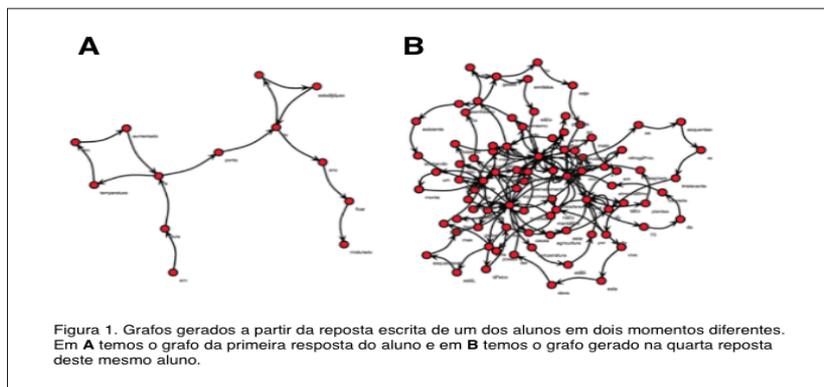


Fig.1. Grafos gerados no primeiro (A) e quarto (B) momentos das aulas

Analisando as palavras (nós) apresentadas nos discursos dos alunos nos dois momentos é possível notar, por meio da análise dos grafos da turma toda, que quantitativamente, houve um aumento na complexificação das respostas, também representadas nos gráficos a seguir por R1, R2, R3 e R4 (Fig.2). Vale destacar que esse tipo de construção também foi observado manualmente (8 alunos foram analisados nesse caso) pelos pesquisadores (Carvalho e Watanabe, 2016), considerando as hipóteses de transição.

Na Fig.2 estão representados os resultados da análise quantitativa dos grafos gerados pelas respostas dos 40 alunos. Inicialmente, é possível ver, em A, que houve um aumento estatisticamente significativo na quantidade de palavras utilizadas entre a primeira e quarta respostas.

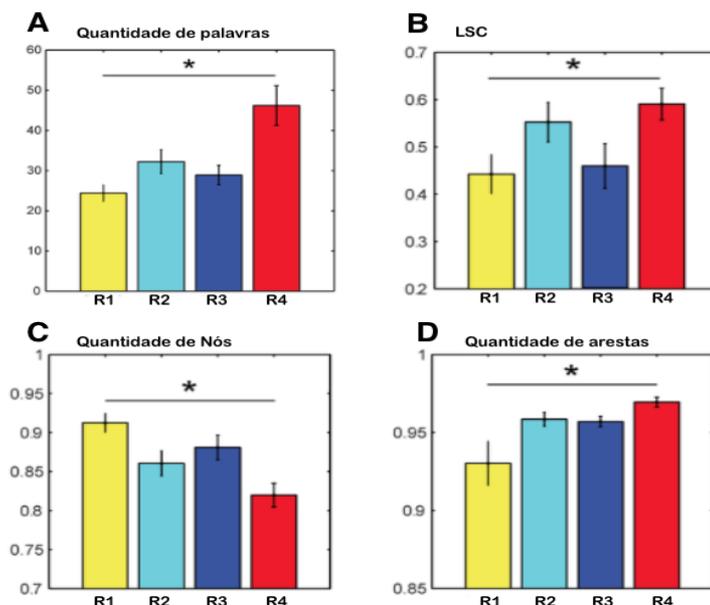


Fig. 2. Gráficos dos resultados das análises das respostas dos alunos ao longo do curso, identificadas por R1, R2, R3 e R4. Em **A** vemos um aumento estatisticamente significativo na quantidade de palavras usadas nas respostas. Em **B** vemos aumento estatisticamente significativo na quantidade de LSC das respostas. Em **C** temos uma diminuição estatisticamente significativa na quantidade de nós das respostas e em **D** vemos aumento estatisticamente significativo na quantidade de arestas das respostas.

Fig.2. Gráficos dos resultados das análises das respostas da classe, identificadas por R1, R2, R3 e R4. Em A nota-se um aumento estatisticamente significativo na quantidade de palavras usadas nas respostas; em B nota-se aumento estatisticamente significativo na quantidade de LSC das respostas; em C há uma diminuição estatisticamente significativa na quantidade de nós das respostas; e em D há um aumento estatisticamente significativo na quantidade de arestas das respostas.

Na Fig.2, o gráfico B revela um aumento estatisticamente significativo no número de LSC das respostas. LSC é a sigla em inglês para *Largest Strongly Connected component*, medida que fornece o número de palavras diferentes no maior componente em que todas as palavras são mutuamente conectadas por um caminho das arestas. É a propriedade dos grafos que permite medir quão bem as conexões estão sendo feitas e quão mais complexo é o grafo. Em C os resultados mostram uma diminuição estatisticamente significativa no número de nós, que é uma medida da diversidade lexical. Em D vemos um aumento estatisticamente significativo no número de arestas entre a primeira e quarta respostas, uma medida da conexão entre as palavras.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso da Teoria de Grafos permitiu uma análise acerca da mudança na estrutura das respostas dos estudantes. Na Fig.1 temos apenas uma ilustração desse processo, apresentando especialmente a mudança complexificada na trajetória das palavras e, conseqüentemente, na estrutura da resposta. Com isso, é possível interpretar que a construção do conhecimento escolar parte de um nível de complexidade

relativamente baixo visto que não foram observados argumentos mais complexos e relacionados com outras esferas de conhecimento logo no início da atividade. Salienta-se que ao alcançaram níveis mais complexos, os alunos passam a incorporar questões da ciência e aspectos sociais, portanto, a construção do conhecimento escolar parece mais significativa. Vale destacar que alguns alunos não se mantêm no nível mais alto de complexidade, eles transitam, mostrando a natureza flexível da construção do conhecimento escolar.

A análise permitiu ver um aumento no uso das palavras dos estudantes entre a primeira e a quarta vez que respondiam à mesma pergunta, indicando que eles passaram a usar um repertório maior em suas respostas. E esse aumento na quantidade de palavras foi seguido de uma diminuição da quantidade de nós, ou seja, da diversidade lexical. Isso indica que ao mesmo tempo que usavam mais palavras, essas eram cada vez menos aleatórias, ou seja, aumentavam a precisão da resposta (tornando-a mais significativa). Mais que isso, ao mesmo tempo em que diminuiu o número de nós, aumentou o número de arestas, revelando um aumento expressivo nas conexões feitas entre as palavras utilizadas nas respostas ao longo do tempo. Toda essa dinâmica aparece no aumento da quantidade de LSC que pode ser interpretada como a medida matemática mais técnica para a complexidade de uma rede, permitindo sintetizar todas as outras medidas.

Esses resultados também apontam que as construções dos alunos não se estabelecem de forma contínua e sequencial, visto que os alunos seguem uma evolução considerando seu tempo e as denominações mais significativas (diminuição do número de nós e diversidade lexical). Nesse sentido, pode-se considerar que suas ideias são organizadas ou reconstruídas dinamicamente ao longo da proposta, tal como foi observada também na análise qualitativa realizada anteriormente. Assim, não se trata de um processo linear com a incorporação de elementos, mas as ideias vão se estabelecendo, de forma dinâmica e complexa, ao longo do processo. Portanto há um processo de recriação que pode levar aos níveis mais complexos, da mesma forma em que como retroceder aos mais simples.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARVALHO, F. R.; WATANABE, G. (2016). Uma proposta para identificar elementos da complexidade nos argumentos dos alunos. In. *Encontro de Pesquisa em Ensino de Física – EPEF*, Natal/RN.
- FERRER, I. CANCHO, R., e SOLÉ, R. V. (2001) The small world of human language. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 268 n.1482, p. 2261–2265.
- FREIRE, P. (2005). *Pedagogia do oprimido*. Rio de Janeiro: Paz e Terra.
- GARCÍA, J. E. (1998). *Hacia una teoría alternativa sobre los contenidos escolares*. Espanha: Díada Editora S. L.
- MA'AYAN, A. *et al.* (2008) Ordered cyclic motifs contribute to dynamic stability in biological and engineered networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 105, n. 49, p. 19235–40.
- MOTA, N. B. *et al.* (2012) Speech graphs provide a quantitative measure of thought disorder in psychosis. *PloS one*, v. 7, n. 4, p. e34928.
- (2016) A Naturalistic Assessment of the Organization of Children's Memories Predicts Cognitive Functioning and Reading Ability. *Mind, Brain, and Education*, v. 10, n. 3, p. 184–195.
- PRIGOGINE, I.; STENGERS, I. (1984). *A nova aliança*. Brasília: Editora Universidade de Brasília.
- WATANABE, G. (2012). *Aspectos da complexidade: contribuições da Física para a compreensão do tema ambiental*. São Paulo – SP. 246 p. Tese - Instituto de Física e Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo.