

Time-Varying Graphs e séries temporais: Análise do ensino de física nacional por meio de redes semânticas complexas

Time-Varying Graphs and time series: analysis of Brazil's Physics Teaching through complex semantic networks

Jefferson Oliveira do Nascimento¹, Hernane Borges de Barros Pereira², Joana D'Arc Silva Galvão de Carvalho³, Marcelo Albano Moret⁴.

RESUMO

Para o estudo de padrões emergentes em redes semânticas, as métricas pertencentes às redes sociais e complexas podem ser utilizadas. Este artigo tem como objetivo apresentar o método de construção e as análises das redes semânticas complexas formadas pelos títulos pertencentes às dissertações e teses defendidas em Ensino de Física no Brasil, entre os anos de 1972 a 2006. As análises ocorreram por meio das propriedades estatísticas das redes complexas, em redes estáticas. Encontrar os *hubs* e indicar as temáticas que nortearam o Ensino de Física no Brasil. As redes construídas apresentaram características híbridas, por meio do fenômeno mundo pequeno e livres de escala. Construímos e analisamos as redes baseadas em títulos por meio de um modelo computacional que evolua no tempo, por meio de um *Time-Varying Graphs* (TVG). Os resultados indicaram as variações temporais pelas janelas de tempo, anualmente, fornecendo indícios de como ocorreu a evolução da área de Ensino de Física no Brasil. Por fim, as análises de Teoria e Ciências das Redes, apresentaram-se como uma ferramenta robusta para analisar a evolução do Ensino de Física nacional.

Palavras-chave: Sistemas Complexos. Teoria e Ciência de Redes. Redes Semânticas. Ensino de Física.

ABSTRACT

For the study of emerging patterns in semantic networks, metrics belonging to social and complex networks can be used. This article aims to present the construction method and the analysis of the complex semantic networks formed by the titles belonging to the dissertations and theses defended in Physics Teaching in Brazil, between the years 1972 to 2006. The analyzes took place through the statistical properties of the complex networks, in static networks. Find the hubs and indicate the themes that guided Physics Education in Brazil. The constructed networks presented hybrid characteristics, through the phenomenon of small world and free of scale. We build and analyze the networks based on titles using a computational model that evolves over time, through a *Time-Varying Graphs* (TVG). The results indicated the temporal variations by the time windows, annually, providing indications of how the evolution of the area of Physics Teaching occurred in Brazil. Finally, the analysis of Network Theory and Science, presented itself as a robust tool to analyze the evolution of national Physics Teaching.

Keywords: Complex Systems. Network Theory and Science. Semantic Networks. Physics teaching.

¹ Doutor em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial. Departamento de Modelagem Computacional, CIMATEC – Salvador, BA, Brasil. E-mail: jeffersonascimento@gmail.com.

² Doutor em Engenharia Multimídia (Universidat Politécnicat de Catalunya). Universidade do Estado da Bahia; Programa de Modelagem Computacional - CIMATEC - Salvador/BA.

³ Doutoranda em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial. Departamento de Modelagem Computacional, CIMATEC – Salvador, BA, Brasil.

⁴ Doutor em Biofísica (UFRJ), Universidade do Estado da Bahia; Programa de Modelagem Computacional - CIMATEC - Salvador/BA.

1. INTRODUÇÃO

Os títulos de trabalhos científicos correspondem a uma importante e inicial demonstração de um conteúdo técnico que se discutirá no texto de uma produção científica (CUNHA, 2013). Ele é composto por palavras selecionadas pelos autores, na busca de uma representação sintética e fidedigna das ideias que serão apresentadas no corpo do trabalho. Como possibilidades de buscas propriedades emergentes em produções científicas, podem ser realizados estudos, por meio das palavras que constituem os seus títulos, as palavras-chave e os resumos, tendo como alicerce a Teoria e Ciência de Redes (Redes Sociais e Complexas) (NASCIMENTO, 2019). A partir da premissa que cada título e/ou conjunto de palavras-chave constituem uma clique, conforme Fadigas et al. (2009) e Nascimento (2019), tendo como vértices suas respectivas palavras (e as arestas são as ligações entre elas) podem ser estudadas as possíveis interações entre diferentes trabalhos científicos, seja por época, linhas de pesquisas, preferências temáticas locais (regional) e globais (nacionais), colaboração entre regiões, coautores, etc.

De acordo com Caldeira (2005, p. 1) uma clique é “[...] é uma rede ou sub-rede que possui todos os seus vértices interligados entre si”. Assim, apresentamos nesta pesquisa, um estudo da caracterização da pós-graduação em Ensino de Física do Brasil, por meio da modelagem computacional, utilizando as abordagens pertencentes às Redes Complexas. Nesse contexto, esta pesquisa tem como objetivo investigar os títulos como elementos para identificar um padrão no desenvolvimento do Ensino de Física nacional. Desta forma, analisamos as interações entre os diferentes títulos de dissertações e teses Brasileiras, no período de 1972-2006 buscando um sistema complexo que contemple a interação entre estes elementos presentes nas pesquisas *Stricto Sensu* realizadas. Desta forma optamos pelas redes semânticas complexas.

A realização do presente artigo está fundamentada teoricamente pela teoria dos grafos estáticos, grafos dinâmicos, sistemas complexos e pela Teoria e Ciência de Redes. De modo a atingir nossos objetivos, construiremos a rede semântica baseada em títulos das das dissertações e teses em Ensino de Física, calcularemos os índices das redes complexas considerando um modelo de rede semântica estática. Caracterizaremos topologicamente a rede e verificaremos às implicações fornecidas por esse modelo computacional para o contexto principal da fonte de dados: o Ensino de Física Brasileiro. A

teoria dos grafos, as análises das medidas de importância dos vértices pertencentes às redes sociais e a teoria das redes complexas, têm sido utilizadas na literatura científica com o intuito de investigar variados tipos de redes.

Nesse viés, destacamos em termos de revisão da literatura os estudos relacionados às redes semânticas, realizados por Caldeira (2005), Teixeira (2007), Aguiar (2009), Fadigas et al. (2009), Pereira et al. (2011), Cunha (2013), Fadigas e Pereira (2013) e Pereira et al. (2016), Nascimento, Pereira e Moret (2018) e Nascimento et al. (2019). Ao fim, construiremos e analisaremos as redes semânticas de títulos por meio de um modelo computacional que permita uma investigação dinâmica, ou seja, aborde a evolução temporal das redes com a utilização de um *Time-Varying Graphs* (TVG), grafos que variam no tempo. Uma modelagem computacional norteada neste pressuposto, permite o estudo da evolução do comportamento de uma rede ao longo de diferentes épocas, por meio de sua linha de tempo. Desta forma, faremos inferências sobre como ocorreu a evolução do Ensino de Física Brasileiro observando os títulos das pesquisas *Stricto Sensu* realizadas em 34 anos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A mineração de dados (títulos), para a construção das redes semânticas estáticas, ocorreu por meio dos três volumes do “Catálogo Analítico de Ensino de Física no Brasil: dissertações e teses”, que abrangeram, respectivamente, os períodos 1972-1992, 1992-1995 e 1996-2006 (SALEM; KAWAMURA, 2009). Estes catálogos apresentam referências das dissertações e teses na área de Ensino de Física, defendidas em instituições de ensino brasileiras. Incluem dissertações de mestrado, teses de doutorado e livre docência. Os trabalhos acadêmicos indicados no catálogo foram organizados e catalogados considerando os seguintes elementos: autor, título, local e data, orientador, palavras-chaves, grau acadêmico e grau de ensino focalizado (ibidem). Após a mineração dos dados, os títulos se tornaram os elementos principais à construção e análise das redes semânticas propostas neste artigo.

Para representarmos uma rede semântica estática, utilizamos um grafo estático $G = (V, E)$ que consiste em uma estrutura matemática composta por dois conjuntos: V e E (GROSS; YELLEN, 2005). Os elementos de V são denominados de vértices e os elementos de E são as arestas. O primeiro conjunto (V) é finito e não vazio e o segundo (E) corresponde as possíveis interações binárias sobre V (ibidem).

Para que a rede semântica baseada em títulos possa ser construída, inicialmente é necessário um tratamento nos títulos correspondentes às dissertações e teses dos autores dos trabalhos *Stricto Sensu*. Na sequência é realizada uma pré-formatação e posteriormente a utilização de algoritmos, conforme regras estabelecidas em Pereira et al. (2011) e Nascimento et al. (2018b). Na Figura 1 é representado um exemplo do processo de construção das redes de cliques. Conforme Nascimento et al. (2018b), apresentamos três títulos pertencentes à base de dados do relatório de Salem e Kawamura (2009): T1 - Módulo de ensino de Mecânica Newtoniana com uso de abordagem *CTS-Histórica*; T2 - Ensino de conceitos de Física: análise de uma experiência pedagógica com estudantes de um curso profissionalizante; T3 - Confeção de lentes acrílicas para o ensino de óptica. Utilizando os Títulos T1, T2 e T3, a rede semântica da Figura 1 é construída:

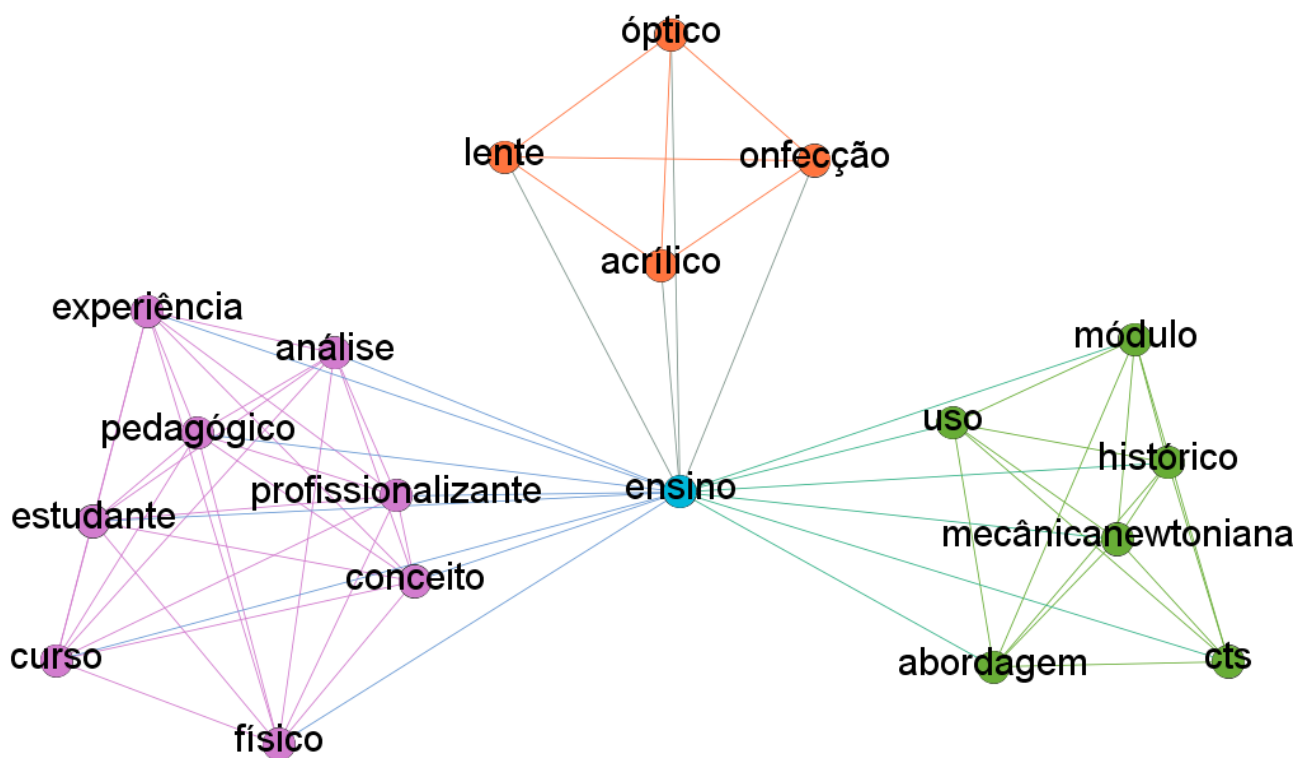


Figura 1. Exemplo de construção da rede semântica baseada em títulos, tendo como fonte de dados, T1, T2 e T3. Fonte: Nascimento et al. (2018b)

Partindo da ideia de grafos e inspirados na metodologia de construção das redes, apresentada em Nascimento et al. (2018b) e Nascimento (2019) modelamos as redes semânticas do Ensino de Física da presente pesquisa. Os índices de estatísticos pertencentes à teoria dos grafos ou de redes complexas estáticas que serão utilizados correspondem aos indicados em Nascimento et al. (2019): número de vértices, número de

arestas, grau médio, densidade, coeficiente de aglomeração, caminho mínimo médio e diâmetro, especificados da seguinte maneira:

Número de vértice (n) - Corresponde a cardinalidade do conjunto de vértices da rede

$$n = |V| \quad (1)$$

Número de arestas (m) - Corresponde a cardinalidade do conjunto de arestas da rede

$$m = |E| \quad (2)$$

Grau médio ($\langle k \rangle$) - Representa a quantidade média de conexões dos vértices de uma rede e, é obtido da seguinte maneira:

$$\langle k \rangle = \frac{1}{n} \sum_i^n k_i \quad (3)$$

onde k_i é o valor da quantidade de vizinhos do vértice i (i.e. a quantidade dos vértices adjacentes ou a quantidade de arestas incidentes).

Densidade (Δ) - É o número total de arestas existentes em uma rede dividido pelo número máximo possível de arestas:

$$\Delta = \frac{m}{n(n-1)/2} \quad (4)$$

O coeficiente de aglomeração de um vértice V , denominado de C_V , mede a proporção de arestas entre os vizinhos do vértice V (E_V) e o máximo número de arestas possíveis em tal vizinhança (Eq. 5):

$$C_V = \frac{2E_V}{k_V(k_V - 1)} \quad (5)$$

Coeficiente de aglomeração Médio (C_{ws}) - O coeficiente de aglomeração médio dos vértices pertencentes a uma rede:

$$C_{ws} = \frac{1}{N} \sum_{V=1}^N C_V \quad (6)$$

Caminho mínimo médio ou distância geodésica (L):

$$L = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i \neq j} d_{ij} \quad (7)$$

onde o termo d_{ij} corresponde a distância geodésica entre os vértices i e j , em termos do número de arestas existentes.

Diâmetro (D): É a maior distância geodésica da rede, calculada da seguinte maneira:

$$D = \max (d_{ij}) \quad (8)$$

A distribuição de Graus $P(k)$: Corresponde a probabilidade de distribuição de conexões dos vértices da rede. Para uma rede aleatória, e as considerações do modelo Erdős-Rényi (1960):

$$P(k) = \frac{n!}{k!(n-k)!} \binom{z}{k} \left(1 - \frac{z}{n}\right)^{n-k} \quad (9)$$

De acordo com Barabasi e Albert (1999) a distribuição de graus do modelo de redes livres de escala corresponde a uma lei de potência, sendo o γ o coeficiente angular:

$$P(k) \approx k^{-\gamma} \quad (10)$$

Conforme Watts e Strogatz (1998) as redes mundo pequeno podem apresentar como distribuição de graus, uma normal (modelo de redes aleatórias) ou uma lei de potência (modelo de redes livre de escala).

Em relação à caracterização da rede semântica por meio do cálculo das medidas de centralidades dos vértices, abordaremos nesta pesquisa a centralidade de grau. Este índice, corresponde ao número de vértices adjacentes a um determinado vértice v . Ele depende do número de arestas incidentes:

$$C_D(v_i) = d(v_i) = \sum_j v_{ij} \quad (11)$$

2.1 Redes semânticas do Ensino de Física Brasileiro como um *Time-Varying Graphs* (TVG)

Cunha (2013) expõe em sua pesquisa que um TVG corresponde a um grafo estático $G = (V, \varepsilon)$, onde são acrescentadas as informações ou parâmetros que correspondem às funções atemporais (conjuntos atemporais). Essas funções ou conjuntos atemporais são a função de presença (Υ), a função de latência (ζ) e o tempo de vida do sistema (Γ). Assim, em conformidade com Casteigts et al. (2011), Santana (2012) e Cunha (2013) um TVG é representado pela quintupla $G = (V, \varepsilon, \Upsilon, \zeta, \Gamma)$, em que: V e ε correspondem, respectivamente, o número de vértices e arestas do sistema. A função de presença $\Upsilon: \varepsilon \times \Gamma \rightarrow \{0,1\}$, garante a existência de uma dada aresta em um dado instante de tempo t . A função de latência (ζ) indica quanto tempo se necessita para que uma aresta esteja disponível em um instante $t \in \Gamma$, ou seja, é o tempo necessário para estabelecer a conexão entre dois vértices, em um dado instante t . A função $\Gamma \subset N$ representa o tempo de vida do sistema.

Alicerçados nos supracitados autores e diante das informações anteriores, temos para a presente pesquisa do Ensino de Física Brasileiro:

- $V = \{v_1, v_2, v_3, \dots, v_n\}$ correspondem aos conjuntos de vértices das redes semânticas, ou seja, as palavras pertencentes as cliques de títulos das dissertações e teses do Ensino de Física Brasileiro;
- $\mathcal{E} = \{e_1, e_2, e_3, \dots, e_n\}$ representam os conjuntos de arestas, isto é, as conexões realizadas entre as palavras nas respectivas redes baseadas em títulos do Ensino de Física nacional;
- Em relação a função presença (Υ), inspirados em Casteigts et al. (2011), Silva et al. (2012), Cunha (2013) e Nascimento (2019) o TVG baseado em títulos do Ensino de Física Brasileiro corresponde, respectivamente, a um conjunto de grafos estáticos forma $G^{[t_i, t_j]} = (V, \mathcal{E}^{[t_i, t_j]})$. Assim, $\forall e \in \mathcal{E}, e \in \mathcal{E}^{[t_i, t_j]} \Leftrightarrow \exists t \in [t_i, t_j], \Upsilon(e, t) = 1 \ e \in \mathcal{E}^{[t_i, t_j]}$.
 Teremos então a seguinte representação:

$$G = \{G^{[t_i, t_j]}, G^{[t_{i+1}, t_{j+1}]}, G^{[t_{i+2}, t_{j+2}]}, G^{[t_{i+3}, t_{j+3}]}, \dots, G^{[t_{i+n}, t_{j+n}]} \};$$
- A função de latência (ζ) é o tempo necessário para que duas palavras nas redes baseadas em Títulos do Ensino de Física nacional possam se conectar. Para esta pesquisa, a função latência é constante, não sendo computada nas análises.
- O tempo de vida do sistema corresponde a $\Gamma = \{t_1, t_2, t_3, \dots, t_{i+1}, \dots, t_n\}$, com $n=34$. O que significa dizer que o TVG baseado em Títulos, t_i corresponde a um intervalo temporal de 1 ano, ou seja, $|\Gamma| = 34$ anos, iniciando em 1972 e terminando em 2006.
- As janelas temporais temporais (τ) são definidas da seguinte forma: $\tau_i = [t_i, t_{i+1}]$. Então, o TVG em função destas janelas, pode ser representado da seguinte maneira:

$$G = \{G^{\tau_1}, G^{\tau_2}, G^{\tau_3}, \dots, G^{\tau_{34}} \}.$$

A título de exemplo, na presente pesquisa, o subgrafo (cujo $t=21$), corresponde a uma rede baseada em título das dissertações e teses apresentadas e defendidas pelos seus autores no ano de 1993. Por meio deste formalismo matemático apresentado,

analisamos o comportamento dos índices de redes ao longo do tempo. Para explanação, na Figura 2, os subgrafos correspondentes a t_1 , t_{17} e t_{34} das redes de títulos:

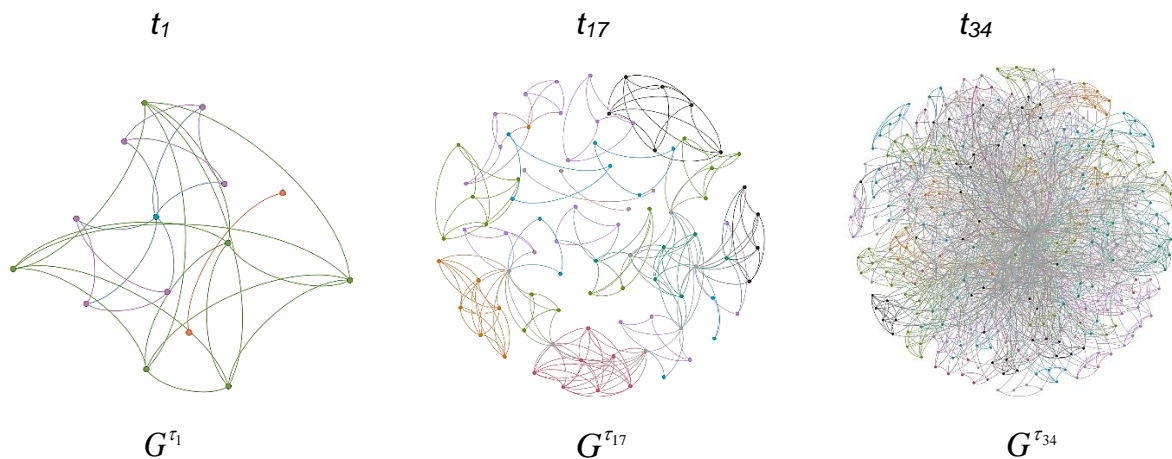


Figura 2. Evolução temporal das redes semânticas, conforme subgrafos G^{t_1} , $G^{t_{17}}$ e $G^{t_{34}}$ do TVG Física Nacional. Fonte: Nascimento (2019).

Para realizarmos as análises do TVG do Ensino de Física utilizamos os índices atemporais. Conforme Santoro et al. (2011), Cunha (2013) e Nascimento (2019) estes índices correspondem aos denominados de índices clássicos de redes ou atemporais: número de vértices (n), número de arestas (m), grau médio ($\langle k \rangle$), coeficiente de aglomeração (C_{ws}), caminho mínimo médio (L) e densidade (Δ).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresentamos a rede semântica baseada em títulos (Figura 3) de dissertações e teses nacionais em Ensino de Física (1972-2006) e a distribuição de graus dela (Figura 4):

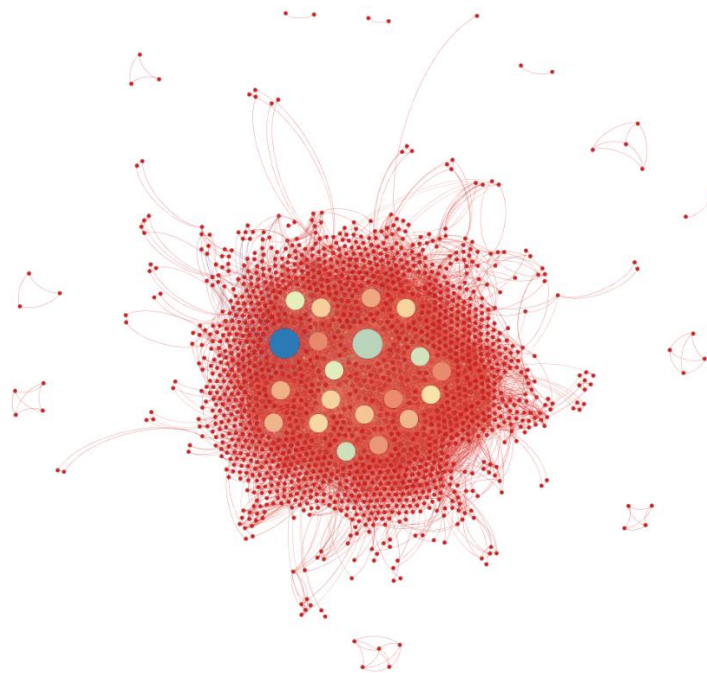


Figura 3. Rede semântica baseada em Títulos do Ensino de Física Brasileiro (1972-2006).
Fonte: Nascimento (2019).

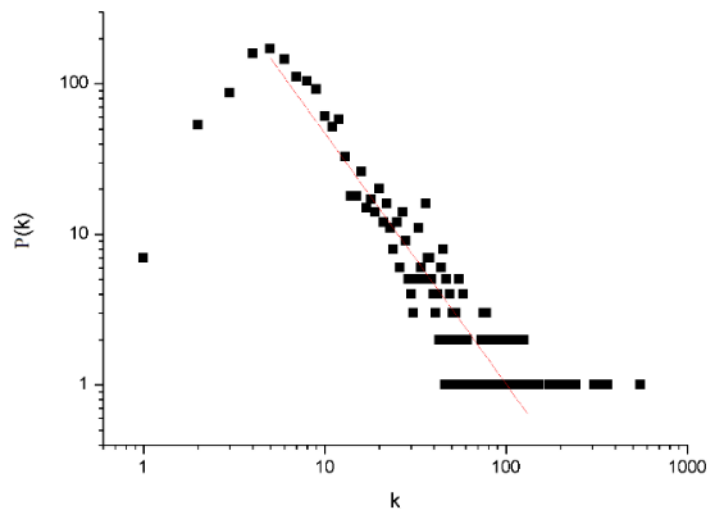


Figura 4. Distribuição de graus da rede semântica, do tipo $P(k) \sim k^{-\gamma}$ ($\gamma = 1,66$ e o ajuste $R^2=0,8774$). Fonte: Nascimento et al. (2018b).

Na Tabela 1 apresentamos as propriedades de redes complexas obtidas em relação a redes semânticas baseadas em títulos do Ensino de Física Nacional:

Tabela 1. Índices de redes complexas verificados para a rede semântica baseada em títulos no período de 1972-2006.

Rede Semântica	n	m	Qt. Comp.	Maior comp. (%)	$\langle k \rangle$	Δ	C_{ws}	L	D
Títulos	1593	13542	12	97,8	17,02	0,011	0,787	2,654	6
Maior comp.	1558	13498	1	100	17,32	0,011	0,784	2,654	6
Aleatória Eq.	1558	13488	1	100	17,32	0,011	0,011	2,855	4

Fonte: Nascimento (2019).

Conforme as Tabelas 1 observamos que o valor do caminho mínimo médio (L) é de aproximadamente três arestas, para conectarem duas palavras nas redes. Ao observarmos o diâmetro (D), o valor obtido é seis, para a rede de títulos. Tais informações refletem o fato de que os títulos de dissertações e teses distintas estão conectadas entre si, por meio de seis outras palavras.

O valor encontrado para a densidade (Δ) foi da ordem de 1,1 %. Para uma rede semântica de títulos, conforme a Figura 2, a densidade é uma “tendência dos títulos estarem ligados através de um número grande de palavras” (PEREIRA et al., 2011, p. 3). O valor encontrado para o coeficiente de aglomeração (C_{ws}), foi da ordem de 78% para a rede de títulos, indicando uma alta conectividade entre as palavras presentes das redes semânticas.

Pelo método de Watts e Strogatz (1998), a rede semântica da Figura 3 apresentou as seguintes características: $C_{ws} \gg C_{al}$ e L é mesma ordem de grandeza de L_{al} , em que C_{ws} é o coeficiente de aglomeração da rede e C_{al} é o coeficiente de aglomeração da rede aleatória equivalente; L é o caminho mínimo médio da rede e L_{al} é o caminho mínimo médio da rede aleatória equivalente. Desta forma, a topologia da rede semântica é *small-world* (mundo pequeno). Conforme a distribuição de graus presente na Figura 4, a rede também é caracterizada como *scale free* (livre de escala).

Encontramos os *hubs* da rede, conforme o método apresentado em Nascimento, Pereira e Moret (2019). Para a rede semântica baseada em títulos (Figura 2), o valor do k_i^{hub} correspondeu a $k_i^{hub} \geq 83,2127$. Desta forma, elencamos na Tabela 2, trinta vértices que apresentam maior centralidade de grau (k) - *hubs* - e se correspondem ou não em pontos de cortes. Os *hubs* que também são pontos de cortes, são vértices que, caso sejam retirados, a rede tende a apresentar uma quantidade de componentes maiores que um (NASCIMENTO, 2019).

Tabela 2. Centralidades de grau e indicativo de ponto de corte dos vértices da rede semântica baseada em Títulos 1972-2006.

	Vértices (V)	Grau (k)	Ponto de corte		Vértices (V)	Grau (k)	Ponto de corte
1	Física	552	Sim	16	Concepção	173	Sim
2	Ensino de Física	364	Sim	17	Perspectiva	152	Não
3	Ensino Médio	340	Não	18	Prática	139	Não
4	Ciência	333	Não	19	Ensino Fundamental	138	Não
5	Ensino	312	Não	20	Estudante	135	Não
6	Estudo	308	Sim	21	Científico	132	Não
7	Professor	244	Não	22	Segundo Grau	126	Não
8	Proposto	232	Não	23	Contribuição	125	Não
9	Curso	225	Não	24	Tecnologia	125	Não
10	Conceito	224	Não	25	Formação	121	Não
11	Aluno	220	Não	26	Avaliação	119	Não
12	Análise	208	Sim	27	Escola	112	Não
13	Ensino de Ciências	191	Sim	28	Conhecimento	112	Não
14	Aprendizagem	187	Não	29	Abordagem	110	Não
15	Uso	185	Sim	30	Utilização	103	Não

Fonte: Adaptado de Nascimento, Pereira e Moret (2018b).

Diante dos *hubs* encontrados e apresentados na Tabela 2, realizamos uma análise por meio de correlação com a rede dinâmica representada pelo TVG, para o período correspondente desta pesquisa: de 1972 à 2006. Apresentaremos mais adiante os resultados totais. Para realizarmos as análises das redes complexas dinâmicas, por meio do TVG do Ensino de Física, utilizamos os índices atemporais para obtermos as séries temporais. Conforme Santoro et al. (2011), Cunha (2013), e Nascimento (2019) estes índices correspondem aos denominados de índices clássicos de redes ou atemporais: número de vértices (n), número de arestas (m), coeficiente de aglomeração (C_{ws}), caminho mínimo médio (L) e densidade (Δ), da seguinte forma:

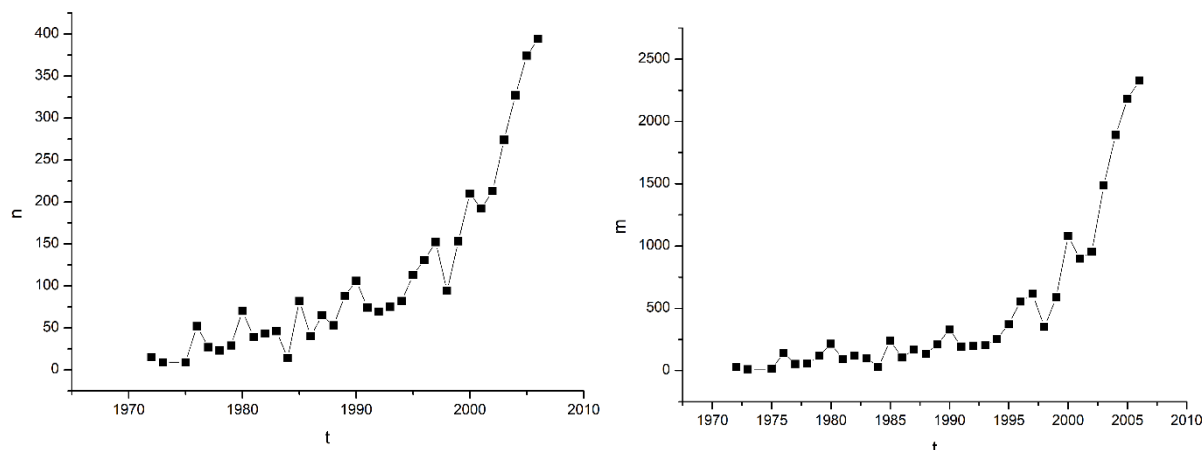


Figura 5. TVG dos coeficientes n e para o Ensino de Física Brasileiro. Fonte: Adaptado de Nascimento (2019).

Conforme Figura 5 as séries temporais indicam que tanto o número de vértices quanto o de arestas são proporcionais entre si e com o tempo. O fenômeno percebido no aumento para n e e , corresponde a elevação anual que ocorreu aos números de dissertações e teses defendidas. Em relação ao TVG da medida do Caminho Mínimo Médio (L), Figura 6, apresentou um comportamento semelhante ao que ocorreu com a Densidade (Δ), ou seja, uma oscilação nos primeiros 24 anos analisados e, uma tendência em de estabilidade, na década final. Esta tendência aponta na direção das redes apresentarem um comportamento de se tornarem mais esparsas, menos coesas.

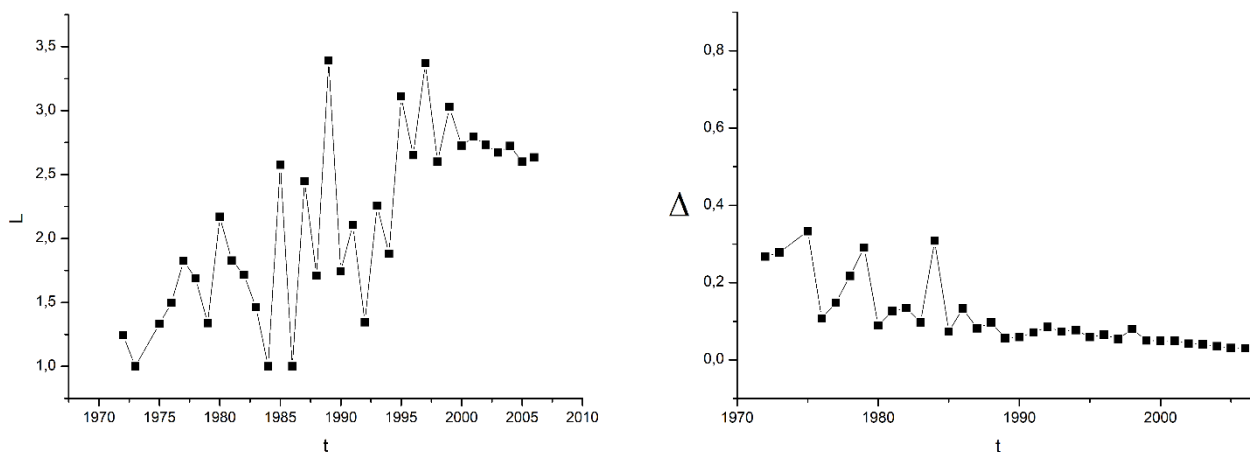


Figura 6. TVG do Caminho Mínimo Médio (L) e da Densidade (Δ) do Ensino de Física Brasileiro. Fonte: Adaptador de Nascimento (2019).

Na Figura 7 o TVG do Coeficiente de Aglomeração (C_{ws}) da rede semântica, também apresentou uma tendência de estabilidade na década final. Desta forma, como este índice analisa o grau com que os vértices das redes tendem a se agrupar, percebemos uma menor

flutuação no referido período. Essa tendência para a rede de títulos, ocorreu em média com $C_{ws} = 85\%$.

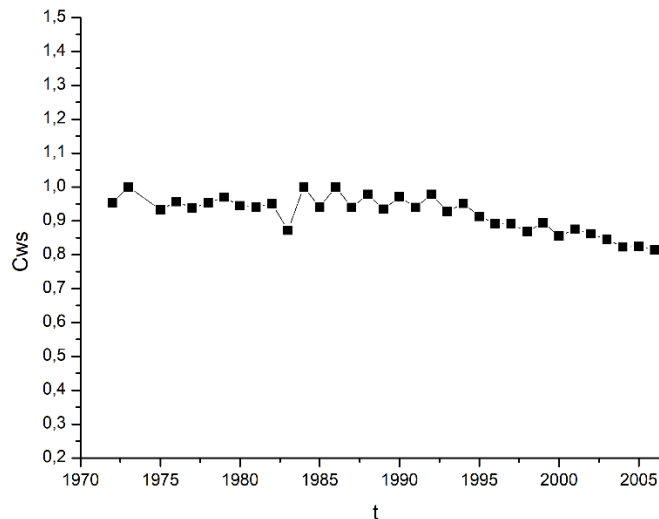


Figura 7. TVG do Coeficiente de Aglomeração (C_{ws}) do Ensino de Física Brasileiro. Fonte: Adaptador de Nascimento (2019).

Tanto a rede semântica complexa estática quanto a dinâmica (TVG), foi possível inferir sobre a complexidade presente nelas. Em uma rede, dissertar sobre a complexidade é algo que depende do grau de organização global que suas conexões realizam entre as entidades que as constituem (RIBEIRO et al., 2016). Logo, apontamos na direção de que é por conta da heterogeneidade pertencente nas arestas que conectam os vértices de redes reais, como as redes semânticas do Ensino de Física, o fato delas apresentarem diferentes níveis de organização e a possibilidade das diversas análises realizadas.

Desta forma, seja pelas análises realizadas por meio dos *hubs* encontrados na rede semântica estática, quanto as análises pertencentes às redes dinâmicas (TVG), podemos concluir que o Ensino de Física Brasileiro do período de 1972-2006 teve como foco: temáticas *Stricto Sensu* relacionadas à História e Filosofia da Ciência; recursos metodológicos para o Ensino de Física; formação de professores; psicologia cognitiva; pesquisas voltadas para o Ensino de Física em nível superior; pesquisas voltadas para a educação básica, com um foco maior que às de nível superior. Sugerimos as pesquisas realizadas em Nascimento (2019) para um maior aprofundamento nestes e outros resultados aqui citados.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio da análise das redes semânticas baseadas em títulos pertencentes aos trabalhos em Ensino de Física no Brasil no período de 1972-2006 e com base em alguns índices da teoria de redes complexas, foi possível a caracterização das redes. A rede semântica estática apresentou o fenômeno mundo pequeno (*Small-World*). Conforme Barabási e Albert (1999), também realizamos a distribuição de graus das redes semânticas e encontramos um comportamento de que segue uma lei de potência do tipo $P(k) \sim k^{-\gamma}$. Logo, as redes também apresentaram características de serem livres de escala (*Scale Free*). Analisamos a correlação entre as redes semânticas estáticas e que variam no tempo (*Time-Varying Graphs* - TVG) baseadas em títulos das dissertações e teses do Ensino de Física no Brasil. Em relação às redes dinâmicas, o TVG do Ensino de Física pôde ser representado por uma quintupla, que além dos Vértices e as Arestas, apresentaram os conjuntos atemporais: a função de presença (Υ), a função de latência (ζ) e o tempo de vida do sistema (Γ).

Tanto pelas análises da rede semântica estática quanto as análises realizadas por meio do TVG, em termos de difusão do conhecimento, há indícios de que os algoritmos em páginas de buscas de trabalhos científicos, apresentarão grande eficiência em encontrar informações das dissertações e teses que correspondem a base de dados utilizadas neste artigo. Por fim, há uma alta probabilidade também de serem escolhidos para os trabalhos consequentes às pesquisas *Stricto Sensu* que originaram as redes semânticas aqui apresentadas (estática e dinâmicas), trabalhos que venham a ter forte correlação com as temáticas aqui apresentadas/encontradas (*hubs*), as quais nortearam o Ensino de Física Brasileiro (1972-2006).

AGRADECIMENTOS

Jefferson Nascimento agradece ao CIMATEC/BA pela oportunidade de ter realizado pós-doutoramento nesta instituição. Marcelo A. Moret agradece ao CNPq pelo suporte financeiro parcial oriundo de sua bolsa de Produtividade em Pesquisa (No. 304454/2014-1).

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, M. S. F. **Redes de palavras em textos escritos: Uma análise da linguagem verbal utilizando redes complexas**. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Física) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2009.
- BARABÁSI, A. L., ALBERT, R. **Emergence of Scaling in Random Networks**. Science, n. 286, pp. 509-512, 1999.
- CALDEIRA, S. M. G. **Caracterização da Rede de Signos Linguísticos: Um modelo baseado no aparelho psíquico de Freud**. 130f. Dissertação (Mestrado Interdisciplinar em Modelagem Computacional) - Centro de Pós graduação e Pesquisa da Fundação Visconde de Cairu. Fundação Visconde de Cairu, Salvador, nov. 2005.
- CASTEIGTS, A. et al. **Episodic and semantic memory**. In: In: ADHOC-NOW. [S.l.]: Press, 2011. p. 346-359.
- CUNHA, M.V. **Redes semânticas baseadas em títulos de artigos científicos**. 127f. Dissertação (Mestrado em modelagem computacional e tecnologia industrial) – Faculdade de Tecnologia Senai CIMATEC, Salvador, 27 nov. 2013.
- FADIGAS, I. S.; CASAS, T. H. P.; SENNA, V.; MORET, M. A.; PEREIRA, H. B. B. **Análise de redes semânticas baseada em títulos de artigos de periódicos científicos: o caso dos periódicos de divulgação em educação matemática**. Educação Matemática Pesquisa, v. 11, n. 1, 2009.
- FADIGAS, I. S.; PEREIRA, H. B. B. **A network approach based on cliques**. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, v. 392, n. 10, p. 2576-2587, 2013.
- GROSS, J. L.; YELLEN, J. **Graph theory and its applications**. CRC press, Boca Raton FL USA 2005.
- NASCIMENTO, J. O. do; PEREIRA, H. B. B.; MOREIRA, D. M.; MONTEIRO, R. L. S.; CUNHA, M. V.; MORET, M. A. **Rede semânticas complexas de títulos do Ensino de Física**. In: XXI Encontro Nacional de Modelagem Computacional e o IX Encontro de Ciência e Tecnologia de Materiais. Anais do XXI ENMC e VIII ECTM. Nova Friburgo/RJ: IPRJ/UERJ. v. 1. p. 1-10. Búzios/RJ, 2018.
- NASCIMENTO, J. O. do ; PEREIRA, H. B. B.; MORET, M. A. **Grafos e Teoria de Redes: uma análise do Ensino de Física Brasileiro no período 1972-2006 por meio de cliques de palavras-chave**. REVISTA CEREUS, v. 10, p. 315-339, 2018. Disponível em: <<http://ojs.unirg.edu.br/index.php/1/article/view/2278/675>>. Acesso em 15 jan 2021.
- NASCIMENTO, J. O. do ; PEREIRA, H. B. B.; CUNHA, M. V.; MORET, M. A. **Sistemas complexos e Ciências das redes: redes semânticas baseadas em abstracts e keywords do Ensino de Física Nacional**. REVISTA CEREUS, v. 11, p. 161-183, 2019. Disponível em: <<http://ojs.unirg.edu.br/index.php/1/article/view/2695/783>>. Acesso em 15 jan 2021.
- NASCIMENTO, J. O. do. **Redes sociais e complexas: redes semânticas do Ensino de Física Brasileiro**. 124f. Tese (Doutorado em modelagem computacional e tecnologia industrial) – Centro Universitário Senai CIMATEC, Salvador, 28 jun. 2019.

PEREIRA, H. B. B. et al. **Semantic networks based on titles of scientific papers**. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, v. 390, n. 6, p. 1192-1197, 2011.

PEREIRA, H. B. B. et al. Density: **A measure of the diversity of concepts addressed in semantic networks**. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, v. 441, p. 81-84, 2016.

TEIXEIRA, G. M. **Redes semânticas baseadas em discursos orais: uma proposta metodológica baseada na psicologia cognitiva utilizando redes complexas**. Dissertação (Mestrado Interdisciplinar em Modelagem Computacional) | Fundação Visconde de Cairu, Salvador, 2007.

SALEM, S.; KAWAMURA, M. R. D. **Ensino de Física no Brasil: catálogo analítico de dissertações e teses (1996-2006)**. São Paulo: Instituto de Física da USP / PROFIS, 2009.

SANTANA, A. **Caracterização da jornada máxima em redes dinâmicas**. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Matemática). Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2012.