



08 a 11 de Outubro de 2018  
Instituto Federal Fluminense  
Búzios - RJ

## REDES SEMÂNTICAS COMPLEXAS DE TÍTULOS DO ENSINO DE FÍSICA

**Jefferson Oliveira do Nascimento**<sup>1</sup> – jeffersonascimento@gmail.com;  
**Hernane Borges de Barros Pereira**<sup>2</sup> – hernanebbpereira@gmail.com;  
**Davidson Martins Moreira**<sup>3</sup> – davidson.moreira@gmail.com;  
**Roberto Luiz Souza Monteiro**<sup>4</sup> – roberto@souzamonteiro.com;  
**Marcelo do Vale Cunha**<sup>5</sup> – celaocunha@gmail.com;  
**Marcelo A. Moret**<sup>6</sup> – mamoret@gmail.com.

<sup>1</sup> CIMATEC, Departamento de Modelagem Computacional – Salvador, BA, Brasil;

<sup>2</sup> CIMATEC, Departamento de Modelagem Computacional – Salvador, BA, Brasil; Universidade do Estado da Bahia – UNEB;

<sup>3</sup> CIMATEC, Departamento de Modelagem Computacional – Salvador, BA, Brasil;

<sup>4</sup> CIMATEC, Departamento de Modelagem Computacional – Salvador, BA, Brasil; Universidade do Estado da Bahia – UNEB;

<sup>5</sup> CIMATEC, Departamento de Modelagem Computacional – Salvador, BA, Brasil;

<sup>6</sup> CIMATEC, Departamento de Modelagem Computacional – Salvador, BA, Brasil; Universidade do Estado da Bahia – UNEB;

**Resumo.** A teoria de redes, por meio da utilização dos índices da teoria das redes complexas, possibilita a construção de modelos computacionais para o estudo de padrões e previsões de atores conectados. Sendo assim, este artigo tem o objetivo de construir uma rede semântica dos títulos dos trabalhos (Stricto Sensu) realizados em Ensino de Física na década de 1996-2006. Com isto, verificar as propriedades emergentes e identificar a topologia da rede resultante. A rede semântica é construída, por meio da conexão das palavras que ocorrem nos títulos dos trabalhos, tendo sido realizado um tratamento prévio das mesmas. Diante dos resultados, há indícios de que a rede resultante apresenta o fenômeno mundo pequeno e parece seguir uma lei de potência. Percebeu-se que, pelos títulos, os trabalhos enfatizaram a formação de professores e na sequência, metodologias dos conteúdos físicos voltadas para os discentes dos diversos níveis de ensino.

**Palavras-chave:** Redes Complexas, Redes Semânticas, Ensino de Física.

**Abstract.** The network theory, by use of the contents of the theory of complex networks, enables the construction of computational models for the study of patterns and predictions of actors connected. Thus, this article aims to build a semantic network of the titles from dissertations, theses and postdoctoral reports on Physics Teaching in the decade 1996-2006.

*With this, the emergent properties check and identify the network topology. The semantic network is constructed by connecting the words that occur in titles of works having been carried out a pre-treating the same in a previously. On the resulting data, there are indications that the network presented, behaves like a model small world and scale free. It was noticed that the titles, the work first observed the formation of the teacher who teaches physics and following the student will learn that the physical content..*

**Keywords:** *Complex networks, Semantic networks, Physics Teaching.*

## 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 [1]. 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” [1].

Como possibilidades de buscas de padrões semânticos em produções científicas, podem ser realizados estudos, por meio das palavras que constituem os seus títulos, tendo como alicerces a Teoria dos Grafos e a de Redes (Redes Sociais e Complexas). Sendo assim, neste artigo, partimos da premissa que cada título de uma obra científica constitui uma clique<sup>1</sup> [2], tendo como vértices suas respectivas palavras (e as arestas são as ligações entre elas). Desta forma, podemos estudar 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.

Diante das ideias anteriores, apresentamos neste artigo, uma proposta para o estudo do Ensino de Física Brasileira, por meio da modelagem computacional, utilizando as abordagens pertencentes às Redes Sociais e Complexas. Nesse contexto, temos como objetivo investigar um sistema complexo que contemple a interação entre as palavras pertencentes aos títulos das dissertações e teses como elementos auxiliares para identificar temáticas que se destacaram na área de Ensino de Física no Brasil no período de 1996-2006. Realizaremos também a caracterização topologicamente da rede baseada em títulos do Ensino de Física. Assim, nossa escolha se deu pela utilização de redes semânticas. De acordo com [3] uma rede semântica é um sistema utilizado para representar o conhecimento imbuído de intenção de funcionalidade e estabelecido pelo contexto. Uma rede semântica é composta de palavras, conceitos ou entidades com significado semântico e seus relacionamentos. Este sistema é representado pela Teoria do Grafos.

De modo a atingir o objetivo proposto neste artigo, construiremos a rede semântica dos títulos das dissertações e teses em Ensino de Física, calculamos os índices estatísticos das redes complexas: número de vértices, número de arestas, grau médio, densidade, caminho mínimo médio, diâmetro, coeficiente de aglomeração e coeficiente de aglomeração médio. Em relação às redes sociais, calculamos a centralidades de grau. Caracterizamos topologicamente a redes semântica de títulos e verificamos 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. A título de exemplo, destacamos as pesquisas de

---

<sup>1</sup> “[...] é uma rede ou sub-rede que possui todos os seus vértices interligados entre si” [4]. É um tipo de rede cujo elemento fundamental não é o vértice, senão um conjunto de  $n$  vértices que estão mutuamente ligados entre si [5]

[6], [7] e [8] que investigaram redes tecnológicas. Jeong et al. [9] realizaram pesquisas em redes biológicas. Liljeros et al. [10] investigaram a rede de contatos sexuais entre humanos. Pereira et al. [11] estudaram os fluxos de informação e conhecimento que ocorrem em um arranjo produtivo local. Newman [12,13] analisaram redes de colaborações científicas. Vieira [14] estudou o contágio do HIV em redes sociais que apresentavam o fenômeno mundo pequeno. Os estudos relacionados às redes semânticas foram realizados por Ferrer e Cancho i Solé [15], Caldeira [4], Caldeira et al. [16], Fadigas et al. [2], Teixeira et al. [17], Santos Junior et al. [18] e Pereira et al. [19], Fadigas e Pereira [3], Pereira et al. [20] e Grilo et al. [3].

Este trabalho está organizado em 4 seções. Na segunda seção – Materiais e Métodos - apresentaremos os materiais e o método utilizado para a construção da rede semântica, bem como os índices analisados da teoria de redes complexas e sociais. Na terceira seção – Resultados e Discussão - as redes criadas a partir dos títulos são descritas. Os resultados são apresentados e discutidos e na quarta seção – Considerações Finais - são apresentadas as conclusões deste trabalho.

## 2. MATERIAS E MÉTODOS

A base de dados utilizados neste artigo para a construção da rede semântica dos trabalhos *Stricto Sensu*, correspondeu ao “*Catálogo Analítico de Ensino de Física no Brasil: dissertações e teses*” Salem e Kawamura [21], que abrange o período de 1996 a 2006. Na referida obra foram reunidas 618 referências de dissertações de mestrado, teses de doutorado e de livre-docência da área de Ensino de Física e correlatas. Neste artigo consideramos o uso das palavras que compõem os títulos como elemento principal para formar a rede semântica proposta. Para representarmos uma rede semântica, utilizamos um grafo  $G = (V, E)$  que consiste em uma estrutura matemática composta por dois conjuntos:  $V$  (finito e não vazio) e  $E$  (relações binárias sobre  $V$ ) [22]. 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  $V$ .

As propriedades utilizadas na análise da rede semântica proposta neste artigo, são àquelas relacionadas aos índices de estatística básica da teoria de redes. Assim, caracterizamos a topologia da rede de títulos e observamos as seguintes propriedades: 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 ( $\Delta$ ) - 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 ( $L$ ) de uma rede, calcula-se da seguinte maneira:

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

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:

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

Para que a rede semântica pudesse construída foi necessário tratamento nos títulos correspondentes às dissertações e teses, conforme Pereira et al. [19]:

Quadro 1 – Regras para o pré-processamento dos títulos

1	Cada título corresponde a uma sentença;
2	Os sinais gráficos de cada sentença como o ponto e vírgula, ponto de interrogação, ponto de exclamação e reticências são eliminados;
3	Nomes devem formar uma palavra simples. Por exemplo, “Bose–Einstein” e “Albert Einstein”, respectivamente, tornar-se-ão: “boseinstein” e “alberteinstein”.
4	Números ordinais devem ser escritos da seguinte forma, por exemplo, “8ª” e “1º”, tornar-se-ão, respectivamente: “oitava” e “primeiro”.
5	Os números devem ser escritos de forma textual, por exemplo, “1972” e “1995”, tornar-se-ão “umnovetedois” e “umnovecinco”.
6	Palavras compostas devem ser consideradas como uma só palavra, por exemplo, “ensino de ciências”, tornar-se-á, “ensinodeciências”.
7	Palavras escritas de formas incorretas, devem ser corrigidas.
8	As palavras que se repetem no título, devem ser retiradas, permanecendo apenas uma.
9	Linguagem especializada deve ser mantida, sempre que possível.
10	Palavras que apresentam mútua importância, devem se tornar apenas uma, por exemplo, “Física Quântica”, tornar-se-á, “FísicaQuântica”.
11	Palavras-chave escritas em linguagem diferente do Português, devem ser traduzidas para o português.

Fonte: Adaptado de Pereira et al. [19].

Com as regras supracitadas as redes de cliques baseadas nos títulos das dissertações e teses podem construídas. Para exemplificar a metodologia de construção das redes de cliques, apresentamos três títulos (T1, T2, T3) pertencentes à base de dados do relatório de Salem e Kawamura [21]:

**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:

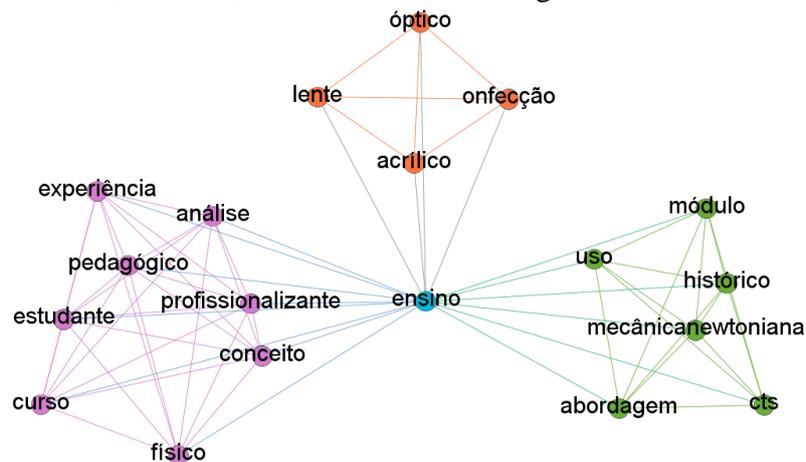


Figura 1 - Exemplo de construção da rede semântica baseada em títulos, tendo como fonte de dados, T1, T2 e T3. Fonte: Dos autores.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2 apresentamos o componente gigante (componente principal) da Rede Semântica de títulos de dissertações e teses do Ensino de Física no Brasil, no período de 1996-2006:

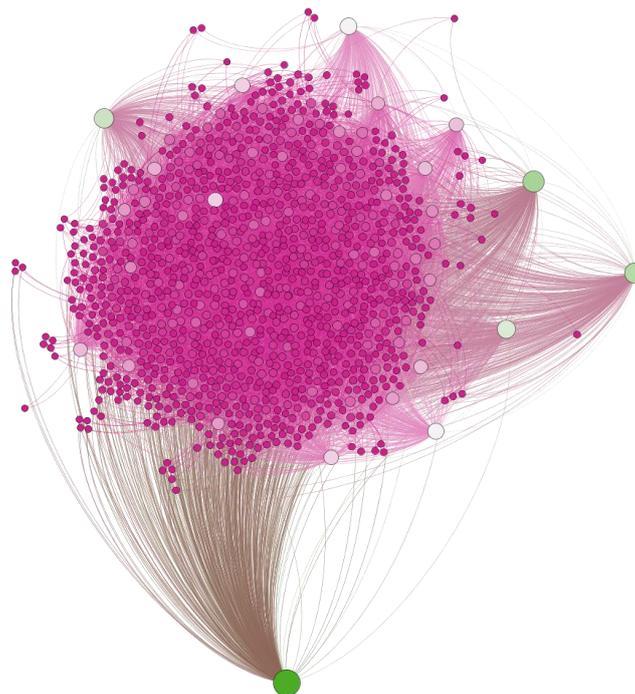


Figura 2 - Rede semântica complexa baseada em títulos do Ensino de Física Brasileiro.

Com o auxílio do *software* Gephi, foi possível a visualização da rede semântica explicitada pela Figura 2, baseadas nos títulos dos trabalhos em Ensino de Física. Os vértices que se destacam na periferia da rede com a cor verde, representam aqueles que possuem maior centralidade de grau, ou seja, são mais importantes por conta das quantidades de conexões que realizam com outros vértices. É válido destacar que os tamanhos deles estão proporcionais ao número de conexões que estes vértices realizam na rede e quanto mais forte a cor, maior é o seu grau. Na Tabela 1, apresentamos os índices básicos de redes complexas obtidas em relação a rede semântica de títulos (Figura 2).

Tabela 1 – Propriedades verificadas na rede semântica de títulos.

Redes	$n =  V $	$m =  E $	Qt. Comp.	Comp. Gigante (%)	$\langle k \rangle$	$\Delta$	$C_{ws}$	$L$	$D$
Rede semântica de Títulos	1129	11141	2	99,82	19,74	0,017	0,76	2,48	4

Fonte: Dos autores.

Conforme os dados apresentados na Tabela 1, verificamos que o valor do caminho mínimo médio ( $L$ ), é aproximadamente três arestas para conectarem dois vértices/palavras na rede. Ao observarmos o diâmetro ( $D$ ), o valor obtido encontrado é de quatro. A análise da medida do diâmetro na rede nos informa que duas palavras pertencentes a dois diferentes títulos estão conectados entre si por no máximo quatro palavras, retratando a proximidade entre os títulos por meio de suas arestas. Tal evidência indica que as palavras na rede de títulos possuem distâncias geodésicas curtas.

A densidade ( $\Delta$ ) da rede semântica construída, apresentou-se na ordem de 1,7%. Este índice é uma medida que está relacionada com o nível de coesão dos vértices de uma rede [2]. Conforme Pereira et al. [19] a medida de densidade, em uma rede semântica de títulos, indica a quantidade de ligações entre as palavras, ou seja, uma “tendência dos títulos estarem ligados através de um número grande de palavras”, o quanto a rede é ou não esparsa. Desta forma, o valor encontrado de densidade pode corresponder a uma menor coesão entre as conexões na rede, um indício do quão conectadas estão as dissertações e teses pelas palavras-chave no Ensino de Física Brasileiro por meio das palavras que constituem seus títulos.

O valor calculado e obtido para o coeficiente de aglomeração ( $C_{ws}$ ), foi da ordem de 76%, o que direciona ao fato de que há uma alta conectividade entre as palavras dos títulos dos trabalhos das dissertações e teses em Ensino de Física. Assim, há uma probabilidade elevada de duas palavras conectadas a uma terceira, ambas estarem conectadas entre si [19]. O valor do coeficiente de aglomeração indica também uma tendência na rede haver preferências por certas palavras, que constituem os títulos. Assim, apresentamos no Quadro 2 as vinte palavras que mais se destacaram na rede, por meio do número elevado de conexões realizadas com outras palavras (centralidade de grau):

Quadro 2 – Vértices com maior número de graus da rede.

Posição	Vértices (V)	Grau ( $k$ )	Posição	Vértices (V)	Grau ( $k$ )
1	Física	475	11	Aluno	176
2	Ensino médio	339	12	Concepção	173
3	Ciência	321	13	Uso	169
4	Ensino de física	294	14	Aprendizagem	164
5	Ensino	277	15	Ensino de Ciências	157
6	Professor	238	16	Análise	154
7	Estudo	227	17	Prática	139
8	Curso	196	18	Perspectiva	138
9	Proposta	193	19	Ensino Fundamental	136
10	Conceito	192	20	Científico	132

Fonte: Dos autores.

O Quadro 2 nos apresenta os vinte primeiros vértices com maior número de graus nas redes (centralidade de grau). Esta propriedade pertencente às redes sociais indica o quanto importante é um determinado vértice pelas simples conexões que ele realiza com os demais vértices na rede (vizinhos) [4]. As informações do Quadro 2 apresenta que a palavra ou “física” é a que apresentou a maior centralidade de grau na rede de títulos. Na sequência, “ensino médio”, “ciência”, “ensino de física” e “ensino”, corresponderam as cinco palavras, respectivamente, que mais se destacaram em termos da supracitada medida de centralidade. Pelos vértices com maiores centralidades de graus, ou seja, hubs da rede, podemos inferir que houve uma preferência na rede por assuntos que retratam: a formação do professor de física (vértices Física, professor, prática); metodologia para o ensino de física (vértices ensino de física, proposta, conceito, prática, concepção, aluno); pesquisas com ênfase na educação básica (vértices ensino médio, ciência, ensino fundamental). Diante das informações contidas no Quadro 2, podemos inferir que proporcionalmente ao valor da centralidade de grau para de cada vértice (palavra), há uma tendência na rede, uma preferência pela utilização de títulos com as palavras dispostas no Quadro 2. Desta forma, elencamos no Quadro 3, alguns assuntos importantes para o Ensino de Física nacional, conforme orientações fornecidas pelo parecer CNE/CES 1.304/2001 [23]:

Quadro 3 – Vértices e seus graus de assuntos importantes no Ensino de Física.

Vértices (V)	Grau (k)
Astronomia	72
Gravitação	26
Termodinâmica	21
Teoria da relatividade restrita	19
Cosmologia	15
Eletromagnetismo	14
Ensino de Física Moderna	13
Óptica	12
Física Quântica	8
Mecânica	7

Fonte: Dos autores.

As palavras contidas no Quadro 3 indicam que alguns assuntos considerados importantes para o Ensino de Física foram pouco explorados em títulos dos trabalhos *Stricto Sensu* analisados. Astronomia, por exemplo, surge na rede como primeiro assunto a ser abordado, com um grau de conexão ( $k=76$ ), valor bem mais baixo se comparado com a décima e última palavra do Quadro 2, que corresponde ao vértice “científico” ( $k=132$ ). Por sua vez, Gravitação, Termodinâmica, Teoria da Relatividade Restrita, Cosmologia, Eletromagnetismo, Física Moderna, Óptica, Física Quântica e Mecânica apresentam importâncias (centralidade de grau) na rede inferiores se comparados com o assunto de Astronomia ou com qualquer outro vértice do Quadro 2.

De uma forma geral, há uma adesão preferencial na rede semântica pelos vértices do Quadro 2 em sobreposição aos vértices do Quadro 3. Diante desta observação, enfatizamos que a densidade da rede semântica construída, baseada em títulos, indica a quantidade de ligações entre as palavras [19, 20], o que nos remete também, ao indício destes títulos estarem conectados por meio de algumas palavras preferenciais, que possuem uma alta probabilidade de serem *hubs* na rede (vértices altamente conectados). Em relação a caracterização da

topologia da rede semântica, a distribuição de graus, forneceu um padrão que sugere uma lei de potência, da forma  $P(k>k) \sim k^{-\gamma}$  (Figura 2):

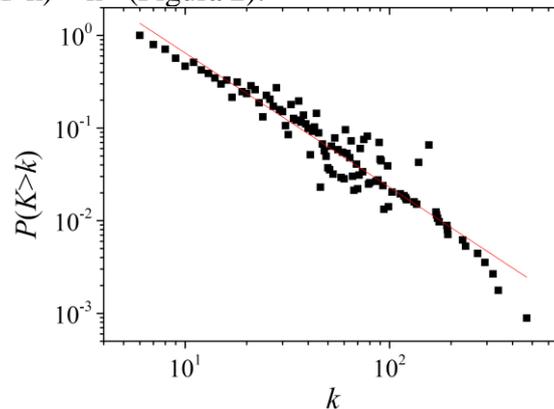


Figura 2 - Distribuição de graus da rede semântica dos títulos pertencentes aos trabalhos *stricto sensu* de Ensino de Física no Brasil. A linha representa o ajuste, cujo coeficiente angular é  $\gamma = 1,44 \pm 0,04$  e o coeficiente de correlação de Pearson  $r = 0,95$ .

Em consonância com [1,2-19], o padrão verificado na Figura 2 é recorrentemente verificado em redes semânticas de títulos formadas por cliques e neste caso podendo ser caracterizada como, uma rede livre de escala. A distribuição de graus realizada ratifica a presença de hubs (vértices altamente conectados) na rede. As palavras contidas no Quadro 2 que correspondem a estes vértices altamente aglomerados (hubs) estão situados na região da abscissa no sentido positivo do eixo, são os pontos extremos. As palavras contidas no Quadro 3 estão em sentido oposto aos hubs do Quadro 2, ratificando também que estes representam-se vértices pouco conectados, ou seja, não são hubs. Em relação ao valor do  $\gamma$  apresentado no gráfico da Figura 2, é menor do que recorrentemente é encontrado na literatura científica e o proposto por Barabási e Albert [7]. Contudo, as análises de redes semânticas realizadas por Fadigas et al. [2] e Seyed-allaei et al, indicaram um coeficiente angular com valores da mesma ordem.

De acordo com o Modelo de Barabási e Albert [9] uma rede livre de escala, apresenta duas características importantes a serem destacadas, que são: o crescimento e a adesão preferencial. A primeira está relacionada ao fato que novos vértices são adicionados e conectados aos vértices já pertencentes à rede [24]. A segunda está relacionada com uma característica denominada de vantagem acumulativa, ou seja, quando os novos vértices (palavras) forem adicionados na rede, há uma tendência deles se conectarem com vértices que possuem uma alta conectividade [24]. Assim, verifica-se que há uma maior probabilidade de ocorrerem novos títulos com a palavra “física”, do que com as demais palavras, como por exemplo, “ensino de física”. Devido às características da rede e, conseqüentemente, da previsão proposta pelo modelo, pode-se argumentar também que novos títulos poderão surgir com uma maior probabilidade de conterem as palavras do Quadro 2, do que as palavras do Quadro 3.

Como há a presença de *hubs* na rede, com poucas palavras aglomerando muitas outras e muitas palavras interagindo com poucas outras, a rede proposta apresentam-se resistentes as retiradas de vértices de forma aleatória e também eficiente na transmissão de uma determinada informação [9]. Assim, caso retirássemos da rede semântica (Figura 2) os vértices pertencentes ao Quadro 2, possivelmente, apresentar-se-ia dividida em componentes o que poderia dificultar a propagação de uma determinada informação. De acordo com a Ref. [2] esta dificuldade pode ocorrer em termos de não favorecer aos leitores, mecanismos de busca dos trabalhos pelos seus títulos. Na Tabela 2, realizamos uma comparação entre as

redes semânticas de títulos com a sua rede aleatória equivalente, ou seja, construída com o mesmo número de vértice ( $n$ ) e grau médio ( $\langle k \rangle$ ) da rede de títulos:

Tabela 2 - Rede semântica de títulos e a rede aleatória equivalente.

Redes	$n =  V $	$m =  E $	Qt. Comp.	Comp. Gigante (%)	$\langle k \rangle$	$\Delta$	$C_{ws}$	$L$	$D$
Rede semântica de títulos	1129	11141	2	99,82%	19,736	0,017	0,76	2,48	4
Rede aleatória equivalente	1129	11115	1	100%	19,736	0.017	0.016	2.68	4

Fonte: Dos autores.

Ao analisarmos as informações na tabela anterior, percebemos que, ambas as redes apresentaram aproximadamente, o mesmo caminho mínimo médio ( $L$ ). Os valores dos diâmetros são iguais ( $D=4$ ). Em relação aos coeficientes de aglomeração ( $C_{ws}$ ), a rede semântica dos títulos, apresentou um alto valor em relação a rede aleatória equivalente ( $C_{ws}=76\%$ ). Diante destes resultados verificados nesta comparação, há uma indicação que a rede também apresenta características do fenômeno pequeno mundo [6].

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos títulos dos trabalhos em Ensino de Física, por meio da utilização da teoria de redes (redes complexas e redes sociais), possibilitou o estudo da respectiva rede semântica desta base de dados nacional. Assim, a teoria de redes complexas (índices da teoria dos grafos e topologia da rede) e da análise de redes sociais (centralidade de grau) para o Ensino de Física nacional indicou que a rede semântica apresentou características pertinentes ao fenômeno mundo pequeno e ao de livre de escala. Ambas as propriedades são possíveis em uma mesma rede, chamando-a de rede híbrida. A sua alta conectividade evidenciada pelo coeficiente de aglomeração e uma distribuição de graus indicando uma lei de potência forneceram indícios desta caracterização topológica. Pelo fato dela ser resistente à retirada de vértices de forma aleatória, apresenta-se frágil se forem retiradas as palavras com maior medida de centralidade de grau (hubs), em que podem surgir mais de uma componente e dificultar a propagação da informação em ambientes de busca por títulos (em um determinado portal de busca de periódicos, por exemplo).

Ao serem observados os vértices com maiores centralidades de grau (*hubs*), foi possível inferir que, pelos títulos, os trabalhos defendidos objetivaram em sua maioria, a formação do professor de física, metodologias para o ensino de física e pesquisas voltadas para o ensino médio e fundamental. Uma outra constatação na rede pela análise das importâncias dos vértices na rede semântica por meio da medida de centralidade de grau foi que, os trabalhos também apresentaram um direcionamento dos conteúdos físicos, para os discentes, mas em menor proporção, como por exemplo, os assuntos de astronomia, física quântica e eletromagnetismo. Ao serem comparados os hubs do Quadro 2 com os vértices do Quadro 3, por ser uma rede semântica muito pequena e livre de escala, há uma tendência maior de novos trabalhos surgirem com títulos contendo as palavras do Quadro 2 do que o do Quadro 3.

#### Agradecimento

Jefferson Nascimento agradece à FAPESB pelo suporte financeiro parcial devido à bolsa de doutorado (BOL170/2015) e Marcelo A. Moret agradece ao CNPq pelo suporte financeiro parcial oriundo de sua bolsa de Produtividade em Pesquisa (No. 304454/2014-1).

## REFERÊNCIAS

- [1] 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.
- [2] FADIGAS, I. S., CASAS, T. H. P., SENNA, V., MORET, M. A, PEREIRA, H. B. B. **Educação Matemática Pesquisa**, 11, 167 (2009).
- [3] GRILLO, M.; FADIGAS, Inácio de Sousa; MIRANDA, J. G. V.; CUNHA, M. V.; MONTEIRO, R.L.S.; PEREIRA, H. B. B. . Robustness in semantic networks based on cliques. **Physica. A**, v. 472, p. 94-102, 2017.
- [4] CALDEIRA, S. M. G. **Caracterização da Rede de Signos Linguísticos: Um modelo baseado no aparelho psíquico de Freud**. Dissertação de mestrado em Modelagem Computacional, Centro de Pós graduação e Pesquisa da Fundação Visconde de Cairu. Salvador, Fundação Visconde de Cairu, 2005.
- [5] FADIGAS, Inácio de S.; PEREIRA, Hernane Borges de B. A network approach based on cliques. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 392, n. 10, p. 2576-2587, 2013.
- [6] WATTS, Duncan J.; STROGATZ, Steven H. Collective dynamics of ‘small-world’ networks. **Nature**, v. 393, n. 6684, p. 440-442, 1998.
- [7] BARABÁSI, A. L. e ALBERT, R. (1999). Emergence of Scaling in Random Networks. **Science**, n. 286, pp. 509-512.
- [8] FALOUTSOS, M.; FALOUTSOS, P. e FALOUTSOS, C. **On power-law relationships of the Internet topology**. Proceedings of the conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communication, pp. 251-262, 1999.
- [9] JEONG, H.; TOMBOR, B.; ALBERT, R.; OLTVAI, Z. N. e BARABÁSI, A. L. (2000). The large-scale organization of metabolic networks. **Nature**, v. 407, n. 6804, pp. 651-654.
- [10] LILJEROS, F.; EDLING, C. R.; AMARAL, L. A. N.; STANLEY, H. E. e ÅBERG, Y. (2001). The web of human sexual contacts. **Nature**, v. 411, pp. 907-908.
- [11] PEREIRA, H. B. B.; FREITAS, M. C. e SAMPAIO, R. R. Fluxos de informações e conhecimentos para inovações no arranjo produtivo local de confecções em Salvador/BA. **DataGramZero**, v. 8, n. 4, 2007
- [12] NEWMAN, M. E. J. (2001a). Scientific collaboration networks. I. Network construction and fundamental results. **Physical Review E**, v. 64, pp. 016131.1-016131.8.
- [13] NEWMAN, M. E. J. (2001b). Scientific collaboration networks. II. Shortest paths, weighted networks, and centrality. **Physical Review E**, v. 64, pp. 016132.1-016132.7
- [14] VIEIRA, I. T. **Small World Networks Models of the Dynamics os HIV Infection**. Doctoral Thesis, Faculty of Engineering, Science & Mathematics, University of Southampton, 2005.
- [15] FERRER I CANCHO, R. e SOLÉ, R. V. (2001). **The small world of human language**. Proceedings of the Royal Society of London, v. 268, pp. 2261-2265.
- [15] Caldeira et al. [15]
- [16] CALDEIRA, Silvia M. G. et al. The network of concepts in written texts. **The European Physical Journal B-Condensed Matter and Complex Systems**, v. 49, n. 4, p. 523-529, 2006
- [17] TEIXEIRA, G. M. et al. Complex semantic networks. **International Journal of Modern Physics C**, v. 21, n. 03, p. 333-347, 2010.
- [18] Santos Júnior, R. P. et al. Análise de diferentes conceitos de educação por meio das redes semânticas. **Pesquisa Brasileira em Ciência da Informação e Biblioteconomia**, v. 9, n. 2, 2014.
- [19] PEREIRA, H. B. B., FADIGAS, I. S., SENNA, V., MORET, M. A. Semantic networks based on titles of scientific papers. **Physica A** 390, 1192, 2011.
- [20] 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.
- [21] 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. 243 p.
- [22] Gross, J. L, Yellen, J. **Graph theory and its applications**. CRC press, Boca Raton FL USA 2005.
- [23] CNE/CES 1.304/2001. **Despacho do ministro em 4/12/2001, publicado no diário oficial da união de 7/12/2001, Seção 1, p. 25**. Disponível em: < <http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/CES1304.pdf>>. Acesso em: 18. mai. 2017
- [24] Barabási, Albert-László. Scale-free networks: a decade and beyond. **Science**, v. 325, n. 5939, p. 412-413, 2009.