



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MODELAGEM COMPUTACIONAL
E TECNOLOGIA INDUSTRIAL**
Doutorado em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial

Tese de Doutorado

**Redes sociais e complexas: redes semânticas do Ensino de Física
Brasileiro**

Discente: Jefferson Oliveira do Nascimento
Orientador: Dr. Marcelo Albano. Moret Simões Gonçalves.
Coorientador: Dr. Hernane Borges de Barros Pereira

Junho de 2019

Jefferson Oliveira do Nascimento

Redes sociais e complexas: redes semânticas do Ensino de Física Brasileiro

Tese de doutorado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial do Centro Universitário SENAI CIMATEC, como parte da exigência para obtenção do grau de Doutor em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial, na linha de pesquisa de Sistemas Complexos.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Albano Moret Simões Gonçalves.

Coorientador: Prof. Dr. Hernane Borges de Barros Pereira.

Junho de 2019

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do Centro Universitário SENAI CIMATEC

N244r Nascimento, Jefferson Oliveira do

Redes sociais e complexas: redes semânticas do ensino de física brasileiro / Jefferson Oliveira do Nascimento – Salvador, 2019.

131 f. : il. color.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Albano Moret Simões Gonçalves.

Coorientador: Prof. Dr. Hernane Borges de Barros Pereira.

Tese (Doutorado em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial) – Programa de Pós-Graduação, Centro Universitário SENAI CIMATEC, Salvador, 2019. Inclui referências.

1. Sistemas complexos. 2. Teoria de redes. 3. Redes semânticas. 4. Ensino de física. I. Centro Universitário SENAI CIMATEC. II. Gonçalves, Marcelo Albano Moret Simões. III. Pereira, Hernane Borges de Barros. IV. Título.

CDD: 620.00113

REDES SOCIAIS E COMPLEXAS: REDES SEMÂNTICAS DO ENSINO DE FÍSICA BRASILEIRO

Jefferson Oliveira do Nascimento

A banca examinadora _____ a defesa de tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial, do Centro Universitário SENAI CIMATEC, como parte da exigência para obtenção do grau de Doutor em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial, na linha de pesquisa Modelagem de Sistemas Cognitivos.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcelo Albano Moret – Orientador – SENAI CIMATEC

Prof. Dr. Hernane Borges de Barros Pereira – Coorientador – SENAI CIMATEC

Prof. Dr. Roberto Luiz Souza Monteiro – SENAI CIMATEC

Prof. Dr. Davidson Martins Moreira – SENAI CIMATEC

Prof. Dr. Thadeu Josino Pereira Penna - (UFF) – Membro Externo

Prof. Dr. Roberto Carlos dos Santos Pacheco (UFSC) – Membro Externo

Agradecimentos

A Deus pelo dom da vida.

Aos meus pais Rita e Jorge e a toda a minha família pelo apoio e compreensão pelos momentos de ausências (Mestrado e agora, Doutorado).

Ao Centro Universitário SENAI CIMATEC pelo ensino e interações acadêmicas.

Ao Prof. Dr. Marcelo A. Moret pela orientação e a Prof. Dr. Hernane Borges de Barros Pereira pela coorientação.

À FAPESB pelo apoio financeiro concedido a esta pesquisa por meio da bolsa de doutorado.

À Profa. Dra. Camila de Sousa Pereira-Guizzo pela orientação de tese durante parte do doutorado e o auxílio na construção inicial da ideia apresentada na defesa do projeto de tese, evoluindo até chegar a esta defesa de tese.

Ao Prof. Dr. Thadeu Josino Pereira Penna (UFF) e ao Prof. Dr. Roberto Carlos dos Santos Pacheco (UFSC) por aceitarem a composição na banca de avaliação como membros externos.

A todos os meus professore(a)s do Doutorado pelos conhecimentos e trocas de experiências.

As minhas amigas Profa. Flora Cristine Scantlebury e Julie Miranda por todas as ajudas no Estado do Pará e Bahia, respectivamente.

A todos os amigos do Doutorado do CIMATEC e do Estado da Bahia.

A todos que contribuíram de forma direta ou indireta para o desenvolvimento desta tese de doutorado.

O meu mais profundo e sincero AGREDECIMENTO a todos

Jefferson Nascimento.

Resumo

Para o estudo de padrões emergente em redes semânticas, podem ser utilizadas as métricas pertencentes às redes sociais e complexas. Esta tese de doutorado tem como objetivo apresentar o método de construção e as análises das redes semânticas formadas pelos títulos, palavras-chave e resumos, 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 de redes sociais e da estatística das redes complexas, em redes estáticas. Os resultados indicaram que os *hubs* presentes nas redes e os vértices mais conectados com valores de centralidade de grau próximos aos dos *hubs* indicaram as temáticas que nortearam o Ensino de Física no Brasil. Os destaques corresponderam em metodologias para o Ensino de Física, Psicologia Cognitiva, Concepções Espontâneas, História e Filosofia da Ciência, Currículo e Formação de Professores. Em termos do nível de ensino verificados até 1995, o foco correspondeu a educação básica e, a partir de então, o nível superior. As redes construídas apresentaram características híbridas, com indicativos de mundo pequeno e livres de escala. As análises de redes permitiram verificar a atuação profissional dos egressos, indicando a predominância na atuação em Instituições de Ensino Superior. Construímos e analisamos as redes de títulos e palavras-chave, por meio de um modelo computacional que evolua no tempo, utilizando um TVG (*Time-Varying Graphs*) e, analisamos a sua correlação também. 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 forte ferramenta para indicar a evolução do Ensino de Física nacional.

Palavras-chave: Sistemas Complexos, Teoria 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 dissertation aims to present the method of construction and analysis of the semantic networks formed by the titles, keywords and abstracts, belonging to the dissertations and theses defended in Teaching Physics in Brazil, between the years of 1972 to 2006. The analyzes occurred through the properties of social networks and statistics of complex networks in static networks. The results indicated that the hubs present in the networks and the most connected vertices with values of centrality of degree near the hubs indicated the themes that guided the teaching of Physics in Brazil. The highlights corresponded in methodologies for Teaching Physics, Cognitive Psychology, Spontaneous Concepts, History and Philosophy of Science, Curriculum and Teacher Training. In terms of the level of education verified until 1995, the focus corresponded to basic education and, from then on, the higher level. The constructed networks presented hybrid characteristics, with small world indicative and free of scale. The analysis of networks allowed to verify the professional performance of the graduates, indicating the predominance in the performance in Higher Education Institutions. We construct and analyze the networks of titles and keywords, through a computational model that evolves in time, using a TVG (Time-Varying Graphs) and, we analyze its correlation as well. The results indicated the temporal variations in the time windows, annually, providing evidence of how the evolution of the area of Physical Education in Brazil occurred. Finally, the analyzes of Theory and Sciences of the Networks presented as a strong tool to indicate the evolution of the National Physics Teaching.

Keywords: Complex Systemas, Network Theory, Semantic Networks, Physics Teaching.

Lista de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1- Grafo que representa o problema de <i>Kaliningrad</i> | 30 |
| Figura 2 - Distribuição de graus de uma rede aleatória..... | 34 |
| Figura 3 - O fenômeno mundo pequeno durante o aumento da aleatoriedade da rede regular | 36 |
| Figura 3 - Comparação entre as topologias aleatória e livre de escala..... | 38 |
| Figura 4 - Estado inicial de rede de cliques isoladas..... | 40 |
| Figura 5 - Uma rede de cliques conectadas por justaposição e/ou por sobreposição..... | 41 |
| Figura 6 - Exemplo de construção da rede semântica baseada em títulos, tendo como fonte de dados, T1, T2 e T3..... | 42 |
| Figura 7 - Exemplo de construção da rede baseada em palavras-chave..... | 44 |
| Figura 8 – Rede semântica baseada em Títulos do Ensino de Física Brasileiro (1972-1992)..... | 49 |
| Figura 9 - Rede semântica baseadas em palavras-chave das dissertações e teses em Ensino de Física no período de 1972-1992..... | 51 |
| Figura 10 – Rede semântica baseada em resumos do Ensino de Física Brasileiro no Período de 1972-1992..... | 52 |
| Figura 11 – Distribuição de graus da rede semântica (a) baseada em Títulos (com $\gamma = 2,007$ e o ajuste $R^2 = 0,8737$); (b) Palavras-chave ($\gamma = 1,62025$ e o ajuste $R^2 = 0,85641$); (c) Resumo ($\gamma = 1,5147$ e o ajuste $R^2 = 0,82346$)..... | 62 |
| Figura 12 – Rede semântica baseada em Títulos do Ensino de Física Brasileiro (1992-1995)..... | 62 |
| Figura 13 – Rede semântica baseada em Palavras-chave do Ensino de Física Brasileiro (1992-1995)..... | 64 |
| Figura 14 – Rede semântica baseada em resumos do Ensino de Física Brasileiro (1992-1995)..... | 65 |
| Figura 15 – Distribuição de graus da rede semântica: (a) baseada em Títulos (com $\gamma = 2,1566$ e o ajuste $R^2 = 0,82448$); (b) Palavras-chave ($\gamma = 1,25214$ e o ajuste $R^2 = 0,8045$) (c) Resumos ($\gamma = 1,60704$ e o ajuste $R^2 = 0,86592$)..... | 73 |
| Figura 16 – Rede semântica baseada em títulos do Ensino de Física Brasileiro (1996-2006) | 75 |

| | |
|--|-----|
| Figura 17 – Rede semântica baseada em palavras-chave do Ensino de Física Brasileiro (1996-2006)..... | 76 |
| Figura 18 - Distribuição dos conjuntos de palavras utilizadas por títulos (a); distribuição dos conjuntos de cliques de palavras (b); distribuição dos conjuntos de cliques de palavras-chave..... | 83 |
| Figura 19 – Rede semântica baseada em Títulos do Ensino de Física Brasileiro (1972-2006)..... | 84 |
| Figura 20 – Rede semântica baseada em palavras-chave do Ensino de Física Brasileiro (1972-2006)..... | 85 |
| Figura 20 - Rede semântica baseada nas palavras-chave, destacando os pontos de cortes (vértices vermelhos)..... | 92 |
| Figura 21 - Rede semântica baseada em títulos, destacando os pontos de cortes (vértices vermelhos)..... | 92 |
| Figura 22 - Rede de afiliação (2-modos) entre os autores dos trabalhos <i>Stricto Sensu</i> em Ensino de Física e o local de atuação profissional deles..... | 100 |
| Figura 23 - Rede de afiliação (2-modos) entre os autores dos trabalhos <i>Stricto Sensu</i> em Ensino de Física e as Instituições de Ensino onde realizações suas pós-graduações..... | 106 |
| Figura 24 - Rede de afiliação (2-modos) entre os autores dos trabalhos <i>Stricto Sensu</i> em Ensino de Física e os Programas de Pós-Graduações..... | 110 |
| Figura 25 – Evolução temporal das redes semânticas, conforme Subgrafos G^{r_1} , $G^{r_{17}}$ e $G^{r_{34}}$ do TVG Física Nacional..... | 116 |
| Figura 26 – TVG dos coeficientes n e e para o Ensino de Física Brasileiro..... | 118 |
| Figura 27 – Correlação entre número de vértices e arestas das redes de títulos e palavras-chave..... | 118 |
| Figura 28 – TVG da Densidade e correlação entre as redes de títulos e palavras-chave e a medida de correlação..... | 119 |
| Figura 29 – TVG do Caminho mínimo médio (L) e a correlação entre as redes de títulos e palavras-chave..... | 120 |
| Figura 30 – TVG do Coeficiente de Aglomeração (C_{WS}) e a correlação entre as redes de títulos e palavras-chave..... | 121 |
| Figura 31 – Série temporal da Entropia de Shannon do Ensino de Física..... | 122 |
| Figura 32– Série temporal correlacionada da Entropia de Shannon do Ensino de Física..... | 123 |

Lista de Tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Tipos de redes encontradas na pesquisa de revisão..... | 19 |
| Tabela 2 – Índices de redes complexas verificados para a rede semântica baseada em títulos de 1972-1992..... | 50 |
| Tabela 3 – Índices de redes complexas verificados para a rede semântica baseada em palavras-chave no período de 1972-1992..... | 52 |
| Tabela 4 – Índices de redes complexas verificados para a rede semântica baseada em resumos no período de 1972-1992..... | 53 |
| Tabela 5 – Centralidade de grau e de intermediação dos vértices pertencentes a rede baseada em Títulos..... | 56 |
| Tabela 6 – Centralidade de grau e de intermediação dos vértices pertencentes a rede baseada em Palavras-chave..... | 57 |
| Tabela 7– Centralidade de grau e de intermediação dos vértices pertencentes a rede baseada em resumos..... | 58 |
| Tabela 8 – Índices de redes complexas verificados para a rede semântica baseada em Títulos de 1992-1995..... | 64 |
| Tabela 9 – Índices de redes complexas verificados para a rede semântica baseada em palavras-chave do Ensino de Física (1992-1995)..... | 65 |
| Tabela 10 – Índices de redes complexas verificados para a rede semântica baseada em resumos de 1992-1995..... | 66 |
| Tabela 11 – Centralidades de grau e intermediação dos vértices da rede semântica baseada em títulos 1992-1995..... | 68 |
| Tabela 12 – Centralidades de grau e intermediação dos vértices da rede semântica baseada em palavras-chave 1992-1995..... | 69 |
| Tabela 13 – Centralidades de grau e intermediação dos vértices da rede semântica baseada em resumos 1992-1995..... | 70 |
| Tabela 14 – Índices de redes complexas verificados para a rede semântica baseada em título no período de 1996-2006..... | 75 |
| Tabela 15 – Centralidades de grau e intermediação dos vértices da rede semântica baseada em Títulos 1996-2006..... | 78 |
| Tabela 16 – Centralidades de grau e intermediação dos vértices da rede semântica baseada em palavras-chave 1996-2006..... | 79 |

| | |
|--|-----|
| Tabela 17 – Índices de redes complexas verificados para a rede semântica baseada em títulos no período de 1972-2006..... | 85 |
| Tabela 18 – Índices de redes complexas verificados para a rede semântica baseada em palavras-chave no período de 1972-2006..... | 86 |
| Tabela 19 – Centralidades de grau e indicativo de ponto de corte dos vértices da rede semântica baseada em palavras-chave 1972-2006..... | 87 |
| Tabela 20 – Centralidades de grau e indicativo de ponto de corte dos vértices da rede semântica baseada em Títulos 1972-2006..... | 88 |
| Tabela 21 – Centralidades de intermediação dos vértices da rede semântica baseada em títulos e palavras-chave para o período de 1972-2006..... | 89 |
| Tabela 22 - Vértices que representam pontos de cortes na rede semântica de palavras-chave..... | 93 |
| Tabela 23 - Vértices que representam pontos de cortes na rede semântica de títulos..... | 93 |
| Tabela 24 - Vértices e os valores dos graus (k) que representam conteúdos importantes em física..... | 95 |
| Tabela 25 – Índices de redes complexas verificados para a rede semântica baseada em títulos (maior componente) no período de 1972-2006..... | 97 |
| Tabela 26 – Índices de redes complexas verificados para a rede semântica baseada em palavras-chave (maior componente) no período de 1972-2006..... | 97 |
| Tabela 27 – Índices de redes complexas verificados para a rede complexa de 2-modos..... | 101 |
| Tabela 28 – Categorizações e suas respectivas centralidades de Grau da rede de 2-modos..... | 102 |
| Tabela 29 – Categorizações e suas respectivas centralidades de Grau da rede de 2-modos considerando um ator participar concomitantemente em mais de um evento..... | 103 |
| Tabela 30 – Índices de redes complexas verificados para a rede de 2-modos..... | 106 |
| Tabela 31 – Instituições de Ensino Mais importantes conforme a centralidade de Grau..... | 107 |
| Tabela 32 – Instituições de Ensino mais importantes conforme a centralidade de Grau e Intermediação na componente gigante da rede de 2-modos..... | 108 |
| Tabela 33 – Índices de redes complexas verificados para a rede de 2-modos..... | 110 |

Tabela 34 – Vértices que correspondem aos PPGs da rede de 2-modos.....111

Tabela 35 – Vértices que correspondem aos PPGs da rede de 2-modos (maior componente).....113

Sumário

| | |
|--|-----|
| 1. Introdução | 13 |
| 1.1 A motivação da pesquisa | 16 |
| 1.2 Crença | 16 |
| 1.3 Axioma | 16 |
| 1.4 Hipóteses | 17 |
| 1.5 Objetivo Geral | 17 |
| 1.6 Objetivo Específico | 17 |
| 1.7 Problema da Pesquisa | 18 |
| 1.8 Questão da Pesquisa | 18 |
| 2. Revisão da Literatura | 19 |
| 3. Referencial Teórico | 24 |
| 3.1 Sistemas complexos | 24 |
| 3.2 Redes sociais e complexas | 28 |
| 4. Procedimentos metodológicos para obtenção das redes semânticas | 39 |
| 5. Resultados e discussão | 49 |
| 5.1 Resultados e discussão para o período de 1972-1992 | 49 |
| 5.2 Resultados e discussão para o período de 1992-1995 | 62 |
| 5.3 Resultados e discussão para o período de 1996-2006 | 74 |
| 5.4 Resultados e discussão para o período de 1972-2006 | 82 |
| 5.5 Atuação profissional no Ensino de Física | 99 |
| 5.6 Redes semânticas do Ensino de Física Brasileiro como um Time-Varying Graphs (TVG) | 114 |
| 6. Considerações finais | 123 |
| 7. Referências | 127 |

1. Introdução

Os títulos de trabalhos científicos correspondem a um importante e inicial demonstração de um conteúdo técnico que se discutirá no texto de uma produção científica (CUNHA, 2013, p. 3). “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” (ibidem). Esta lógica abordada também pode ser expandida para as escolhas relacionados às palavras-chave pertencentes aos trabalhos científicos (NASCIMENTO et al. 2016; NASCIMENTO et al., 2018a). Como possibilidades de buscas de padrões semânticos em produções científicas, podem ser realizados estudos, por meio das palavras que constituem os seus títulos e as palavras-chave, tendo como alicerce a Teoria de Redes (Redes Sociais e Complexas). A partir da premissa que cada título e/ou conjunto de palavras-chave constituem uma clique¹ (FADIGAS et al., 2009), 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.

Diante das ideias anteriores, apresentamos nesta tese, um estudo da caracterização da pós-graduação em Ensino de Física no país, por meio da modelagem computacional, utilizando as abordagens pertencentes às Redes Sociais e Complexas. Nesse contexto, esta pesquisa tem como objetivo investigar os títulos, as palavras-chave e os resumos como elementos auxiliares para identificar um padrão no desenvolvimento do Ensino de Física nacional. Assim, analisamos as interações entre títulos, palavras-chave e resumos, buscando um sistema complexo que contemple a interação entre estes elementos presentes nas dissertações e teses supracitadas. Desta forma optamos pelas redes semânticas complexas. A realização da presente pesquisa está teoricamente fundamentada pela teoria dos grafos e pela teoria de redes. De modo a atingir nossos objetivos, construiremos a rede semântica dos títulos, resumos e das palavras-chave das dissertações e teses em Ensino de Física,

¹ “[...] é uma rede ou sub-rede que possui todos os seus vértices interligados entre si” (CALDEIRA, 2005).

calcularemos os índices das redes complexas e as centralidades de grau e intermediação pertencentes às redes sociais, considerando um modelo de rede semântica estática (i.e. vértices e arestas fixas). Caracterizaremos topologicamente as redes e verificaremos às implicações fornecidas por esse modelo computacional para o contexto principal da fonte de dados: o Ensino de Física Brasileiro.

Após finalizadas as etapas descritas nos parágrafos anteriores, construiremos e analisaremos as redes semânticas de títulos e palavras-chave 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). Uma modelagem computacional norteada neste pressuposto, permite o estudo da evolução do comportamento de uma rede ao longo de diferentes épocas (CUNHA, 2003). Desta forma, faremos inferências sobre como ocorreu a evolução do Ensino de Física Brasileiro observando seus títulos e palavras-chave.

Em relação às aplicações da tese em Processos Industriais e Sistemas cognitivos, apresentamos a conseqüente exposição. Os avanços ocasionados pela física proporcionaram o desenvolvimento industrial de grandes empresas no mundo, como a Bell Telephone, IBM e a GE. Tal reconhecimentos com as ciências físicas podem ser conferidos na obra de Brinkman e Lang (1999), em que é destacado os avanços industriais na área de telecomunicações por meio de pesquisas principalmente em física do estado sólido. Para o Brasil o destaque da “Indústria Baseada em Física” ocorre na área de comunicações ópticas (CRUZ, 2005). Assim, nas palavras do autor:

O programa de pesquisa e desenvolvimento de tecnologia para fabricação de fibras ópticas do Instituto de Física da Unicamp, do CPqD e da ABC Xtal tem todos os elementos essenciais do desenvolvimento tecnológico: a universidade gerando conhecimento fundamental competitivo internacionalmente e formando recursos humanos, o centro de pesquisas ligado à empresa desenvolvendo a tecnologia e a empresa prosseguindo continuamente no desenvolvimento da tecnologia e empregando para isso os cientistas e engenheiros formados na universidade (Op. Cit, p. 47-48).

O relatório da Sociedade Brasileira de Física (SBF) de 2012 informa que até o ano de 2009 havia 2651 mestres e doutores em ciências físicas,

aproximadamente no Brasil. Cerca de 1856 destes profissionais se encontravam em atividades relacionadas à educação pública ou privada. Do total estimado, cerca de 270 desenvolviam suas atividades profissionais em Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) nas empresas e entidades sem fins lucrativos:

As principais ocupações se relacionavam com atividades econômicas associadas à indústria extrativa e à de transformação, atividades profissionais científicas e técnicas e à defesa, sendo que o número de físicos nas três primeiras áreas correspondia a cerca de 10% do de engenheiros (SBF, 2012).

Uma forma de avaliação das pesquisas desenvolvidas nas diversas instituições nacionais, geradoras do conhecimento fundamental e competitivo tanto à indústria nacional quanto internacional, em física, foi observado nas análises de redes semânticas da presente tese. Conforme a base de dados utilizados para construção das redes que alicerçam os estudos desta pesquisa, os programas de pós-graduações escolhidos pelos autores de dissertações e teses, foram diversificados. Programas em Física, Psicologia, Engenharias, Educação, dentre outros; poderemos verificar nas redes semânticas possíveis indícios de pesquisas cuja aplicação correspondeu ao campo industrial ou PD&I. Auxiliando esta análise, a rede que representará o local de atuação profissional dos egressos dos mestrados e doutorados irá ao encontro das análises de possíveis implicações no campo industrial desta pesquisa. Desta forma responderemos a pergunta: Onde os autores de dissertações e teses em Ensino de Física estão trabalhando?

Em relação à característica de sistemas cognitivos da tese, conforme Teixeira (2007) e Cunha (2013), por meio das análises das redes semânticas da presente pesquisa, poderemos fazer inferências sobre a memória declarativa dos autores dos trabalhos estudados. Essa memória é subdividida em episódica e semântica e, não são independentes entre si (TEIXEIRA, 2007). A primeira está relacionada com recordações do sujeito de algo ligado a um determinado contexto e tempo. Já a memória semântica está relacionada com o:

[...] uso da linguagem, pois organiza o conhecimento que as pessoas possuem sobre as palavras e outros símbolos verbais, seus significados acerca das relações entre eles e as regras, fórmulas e

Desta forma a memória semântica é a responsável pelo armazenamento dos signos linguísticos (GRZIB; BRIALES, 1996). Nas palavras de Sternberg (2000) significa dizer que: é na memória que ocorre a representação do conhecimento na mente humana através do uso de palavras e símbolos. Desta forma, inspirados em Fadigas et al. (2009) utilizaremos as redes semânticas para representar o conhecimento apresentado nos trabalhos em Ensino de Física, pois: “Esse tipo de rede representa um dos fundamentos teóricos do estudo de processos cognitivos, uma vez que pode ser usado para representar ou inferir sobre conhecimento” (FADIGAS et al., 2009, p. 169). Também apresentaremos uma discussão sobre as redes dinâmicas, por meio de um *Time-varying Graph* (TVG) das redes semânticas baseadas em títulos e palavras-chave dos trabalhos *Stricto Sensu* em Ensino de Física, presentes no banco de dados utilizado para construção das redes. Por fim, verificaremos a correlação do TVG das redes de títulos e palavras-chave, bem como, a utilização da Entropia de Shannon para verificar em que medida há diversidade (em termos de informação) nessas redes.

1.1 A motivação da pesquisa

A verificação da evolução do Ensino de Física no Brasil, utilizando redes semânticas baseadas nas dissertações e teses defendidas.

1.2 Crença

Creio que as análises pertencentes à Teoria e Ciências de Redes podem ser utilizadas para estudar evolução do Ensino de Física no Brasil tendo como base de informações das dissertações e teses produzidas e defendidas por seus autores.

1.3 Axioma

As redes semânticas correspondem a uma forma de representação do conhecimento.

1.4 Hipóteses

- O surgimento de um conjunto de títulos, palavras-chave e resumos em dissertações e teses na área de Ensino de Física no Brasil, dependem respectivamente do anterior;
- Por meio dos títulos e palavras-chave podemos mensurar o grau de organização da informação da área de Ensino de Física nacional.

1.5 Objetivo Geral

Caracterizar os estudos realizados nos programas de pós-graduações nacionais na área de Ensino de Física por meio de redes semânticas e redes de 2-modos entre os autores de dissertações e teses e as instituições de ensino.

1.6 Objetivo Específico

1. Estruturar um banco de dados dos títulos e palavras-chave das dissertações, teses e os locais de atuações profissionais dos autores de dissertações e teses em Ensino de Física no Brasil, entre 1972 e 2006;
2. Construir e analisar as redes semânticas de títulos, palavras-chave e resumos das dissertações, teses em Ensino de Física no Brasil, entre 1972 e 2006;
3. Construir e analisar as redes que representem a localização atual profissional dos autores (pertencentes a base de dados) dos trabalhos *Stricto Sensu* em Ensino de Física do país;

4. Analisar a correlação entre as redes semânticas estáticas e que variam no tempo (TVG - *Time-Varying Graphs*) baseadas em títulos e palavras-chave das dissertações e teses do Ensino de Física no Brasil.
5. Analisar o processo de difusão da informação, por meio das redes semânticas em Ensino de Física do país, entre 1972 e 2006.

1.7 Problema da Pesquisa

A caracterização das pesquisas da área de Ensino de Física nacional por meio de títulos, palavras-chave e resumos de dissertações e teses apresentadas e defendidas por seus autores.

1.8 Questão da Pesquisa

De que modo a modelagem computacional por meio da Teoria de Redes pode auxiliar na caracterização das pesquisas da área do Ensino de Física no Brasil?

2. Revisão da Literatura

Em uma pesquisa científica, a revisão da literatura é de fundamental importância para o desenvolvimento dela e permite a conexão entre o tema focal e os trabalhos correlatos disponíveis e publicados, permitindo após uma análise das obras selecionadas e já referenciados cientificamente, nortear as possíveis contribuições sobre um determinado tema ou problema (CERVO, BERVIAN, 2004). Para isso, a presente pesquisa de revisão da literatura científica foi realizada utilizando o Portal de Periódicos da CAPES (Coordenação de aperfeiçoamento de pessoal de nível superior) e, apesar da literatura científica sugerir uma busca de obras em um período de 5 anos (GOMES et. al., 2018), em nossa pesquisa, utilizamos um período de 15 anos.

Desta forma, para a presente revisão de literatura, utilizamos os seguintes critérios: (1) trabalhos disponíveis no Portal de Periódicos da CAPES; (2) com os descritores: “Ensino de Física”, “redes sociais”, “redes complexas”, “redes semânticas” e “redes”; (3) publicações dos últimos 15 anos (2004 a 2019); (4) a observância de todas as produções disponíveis (teses, dissertações, periódicos, *proceedings*, etc) e (5) idiomas em Espanhol, Inglês e Português. Com estes critérios de seleção, nesta revisão, permitiu-nos encontrar 11 trabalhos, distribuídos conforme Tabela 1:

Tabela 1 - Tipos de redes encontradas na pesquisa de revisão

| Redes presentes na pesquisa | Total |
|--------------------------------------|--------------|
| Redes sociais | 4 |
| Redes semânticas | 4 |
| Redes neurais | 1 |
| Rede semântica e de colaboração | 1 |
| Redes de colaboração e Sociotécnicas | 1 |

Fonte: Do autor.

Dos 11 periódicos encontrados 45,45% deles realizaram pesquisas do tipo quantitativa, 18,18% corresponderam a pesquisas quali-quantitativas e 27,27% realizam pesquisas qualitativa. Desta forma, Corso, Fossa e Oliveira (2005) ilustraram a teoria de redes por meio de uma aplicação no estudo quantitativo do estilo de textos: a estilometria. Os autores construíram uma rede baseada nas frases do texto e da posição relativa das palavras dentro dessas

frases. Definiram como vértices da rede as frases e as arestas corresponderam as conexões entre os vértices cada vez que a mesma palavra aparecesse na mesma posição da frase. Também realizaram na pesquisa textos de Machado de Assis, Rui Barbosa e fragmentos extraídos de um jornal local da cidade onde residem: a Tribuna do Norte. Dessa forma, foi possível estimar a dispersão na curva da distribuição de graus da rede e utilizaram essa grandeza estatística para caracterizar a riqueza estilística do texto.

Na pesquisa realizada por Fiorin et al. (2011) foram discutidas as redes neurais artificiais e algumas aplicações na área de energias renováveis. O trabalho descreveu a relevância desta ferramenta estatística nas diversas áreas do conhecimento como na física, conceitua e descreve as principais configurações possíveis de uma rede neural artificial. Por fim, o trabalho demonstrou a aplicação da ferramenta para o levantamento de disponibilidade de recursos de energia solar no Brasil a partir de dados de superfície coletados em estações da rede SONDA operada pelo Centro de Ciência do Sistema Terrestre do INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Os resultados mostraram que as redes neurais podem fornecer estimativas com a confiabilidade necessária para avaliação da disponibilidade de energia solar e com melhor desempenho que outras técnicas estatísticas utilizadas na literatura bem como, pode ser utilizado como roteiro em aulas de física.

Na obra intitulada de Titanic, Jack, Rose e o Princípio de Arquimedes apresentada por Oliveira (2012) por meio de informações extraídas de redes sociais foi elaborado um passo-a-passo que, analisa fisicamente uma a cena do filme Titanic, em que houve forte repercussão nas redes, quando ocorreu o relançamento para os cinemas. A cena em que as análises físicas ocorreram está associada a questões como flutuação e o Princípio de Arquimedes. Por fim, o autor disponibiliza a sua obra para ser utilizada como um recurso metodológico para o ensino de física, em aulas de mecânica dos fluidos.

Em 2012 foi realizada uma pesquisa desenvolvida na forma de uma rede interinstitucional no âmbito do projeto Observatório da Educação/Capes entre grupos ligados a universidades em três estados brasileiros sobre o tema Qualidade da Educação em Ciências, conforme Queiroz et al. (2012). A metodologia da pesquisa desenvolvida foi a realização de grupos focais com professores de ciências do ensino médio para a discussão de questões

relacionadas ao tema escolhido nas universidades participantes do projeto (que atuaram como hubs), cujos dados produzidos foram analisados sendo analisados. Os autores descrevem que, nessa rede de colaboração, os alunos envolvidos no projeto deparam com uma situação ímpar de horizontalidade, na qual conviveram com professores/pesquisadores e distintas formas de investigar, em um cenário de contínua reflexão e construção de conhecimento.

Conforme Piza et al. (2013) apresentaram um projeto que permitiu explorar os conceitos físicos envolvidos na transmissão da informação via tecnologia sem fio. A justificativa foi alicerçada no fato de que a monitoração eletrônica usando redes de sensores sem fio é uma área do conhecimento humano que vêm sendo investigada sob diversos aspectos tanto para averiguar seu funcionamento a priori quanto para avaliar suas aplicações futuras. Este artigo visa, apresentar um projeto simples que permite explorar os conceitos físicos envolvidos na transmissão da informação via tecnologia sem fio.

Ribeiro et al. (2016) apresentaram em seu artigo uma análise das propriedades emergentes em um conjunto de obras literárias *O Silmarillion*, *O Hobbit* e *O Senhor dos Anéis*. As relações sociais foram descritas pelos critérios de alusão, compartilhamento de eventos e ligação direta, com as principais medidas de centralidade juntamente com a entropia estrutural de primeira ordem. Diante das verificações, conforme a mecânica estatística, foi possível analisar o grau de homogeneidade das ligações entre as comunidades formadas.

Com o rápido desenvolvimento da tecnologia da informação, muitas novas tecnologias têm sido amplamente aplicadas no campo da educação. Os conceitos tradicionais de aprendizado e os modelos de aprendizado têm sido incapazes de atender às necessidades do status de aprendizado atual, especialmente no aprendizado de física (LI, YANG, WANG, 2016). Na obra desses autores, eles analisaram a aplicação da tecnologia da informação na avaliação do efeito do ensino de física. Usaram o método de mineração de dados para verificar indício de melhoras no processo de ensino de aprendizagem em Física. Os alunos puderam escolher o conteúdo da aprendizagem e desenvolver um plano de aprendizagem de acordo com os seus próprios interesses, *hobbies* e estrutura de conhecimento. Verificaram que os resultados apontam para a direção de que o aprendizado dos conteúdos física presentes nas redes sociais

de forma *on-line* tem uma riqueza de recursos de informação, ao mesmo tempo com uma alta interatividade.

Alcantara e Braga (2017) apresentaram em seu trabalho uma proposta para o ensino dos instrumentos óticos a partir de uma abordagem contextual da História das Ciências em que foi utilizada uma Rede de Relações Sociais que apresentou Constantijn Huygens como *hub* principal. A partir de fontes primárias e de outros documentos que tratam da cultura holandesa no século XVII, buscaremos mostrar como essa rede, composta por cientistas, pintores e filósofos, ligada a fatores como a religião e o comércio, pode nos oferecer uma visão interdisciplinar e complexa sobre o advento dos instrumentos óticos. A visão contextual desse período histórico poderá fornecer subsídios para a construção de um currículo interdisciplinar a partir dos instrumentos óticos.

Rodrigues e Camiletti (2018) estudaram a evolução conceitual de 28 alunos nas aulas de física, cujo assunto focal foi acústica. A pesquisa foi alicerçada em numa vertente reconsiderada para Mudança Conceitual, na qual a complexificação conceitual é utilizada como contraponto à versão inicial dessa teoria. Foram utilizadas na pesquisa mapas mentais e redes semânticas, testes de múltipla escolha e declarações de autoeficácia. Os mapas mentais mostram uma inclusão incremental de elementos da ciência por parte dos alunos. As medidas topológicas das redes semânticas foram confrontadas via Análise de Componentes Principais com traços latentes de habilidade, obtidos por Modelagem Rasch nos testes de múltipla escolha, e também com a declaração do senso de autoeficácia dos sujeitos de pesquisa. Os dados empíricos analisados mostraram um crescimento das características topológicas das redes semânticas, associado ao aumento no senso de autoeficácia e também do traço latente de habilidade. Esses resultados indicaram um aumento da complexidade nos sistemas de conhecimento dos estudantes, durante o processo de aprendizagem.

Ima, Ostermann e Cavalcanti (2018) propuseram a visão não moderna de Bruno Latour como referencial teórico para fundamentar a Educação em Ciências. Foram apresentados os conceitos que alicerçam sua teoria e, perpassando por diversos conceitos, como o de redes, mediação e purificação, explicamos o seu posicionamento “não moderno”. A obra finaliza sugerindo quatro pontos principais: a abordagem da ciência em ação, a preocupação com

o processo de formação das teorias científicas e não somente a apresentação das teorias “prontas”, a problematização das redes sociotécnicas e a formação de uma comunidade de leitores escritores.

A pesquisa alicerçada em uma rede semântica de palavras-chave do Ensino de Física nacional observando as palavras que mais se destacaram na rede e dos conteúdos físicos que surgem como mais importantes foram objetos de estudos em Nascimento et al. (2018a). É apresentada a rede semântica dos pontos de cortes, ou seja, aquela que indica as palavras que se forem retiradas, a rede tende a apresentar uma quantidade de componentes maiores que um. Observou-se que, pelos atores na rede (palavras-chave), as dissertações e teses estudadas objetivam a formação do professor de física, com conteúdo voltados para este fim. Metodologias para o ensino de física, apresentam pouca importância nos trabalhos observados. Em relação a topologia da rede, foram verificadas características de mundo pequeno e livre de escala.

É válido ressaltar que das obras elencadas anteriormente destacamos que Rodrigues e Camiletti (2018) utilizaram as redes semânticas das respostas dos discentes, para auxiliar na verificação de indícios de aprendizagem durante a pesquisa. Já Ribeiro et al. (2016) utilizaram rede semântica, construídas metodologicamente de forma diferente da proposta nesta tese e, apresentaram os modelos computacionais de redes sociais e complexas resultantes na pesquisa. Aplicaram também a medida de entropia estrutural e quantificaram a complexidade (nível de organização) das estruturas formadas pelas comunidades das redes. Nascimento et al. (2018a) encontrado na busca, reflete uma análise inicial das pesquisas realizadas nesta tese, considerando o período de 10 anos, com as redes semânticas baseadas em palavras-chave. Percebemos então a importância da presente tese, que é caracterizar as pesquisas em Ensino de Física no Brasil, em um período de 34 anos, por meio de redes semânticas estáticas e que variam no tempo, baseadas em títulos e palavras-chave e, utilizar a entropia de Shannon para estudar a complexidade nelas.

3. Referencial Teórico

3.1 Sistemas complexos

Na pesquisa realizada por Teixeira (2007) é descrito que há cerca de 30 anos as diversas áreas científicas possuíam técnicas e características próprias para estudos e análises dos padrões estudados em seus sistemas. Nas palavras da autora este pensamento abrangia das ciências físicas à antropologia, assim como, da economia à biologia. Desde o início dessas pesquisas, em sistemas complexos, apontaram à direção que todos esses sistemas congregavam propriedades universais (TEIXEIRA, 2007; CUNHA, 2013).

Desta forma um sistema dito complexo é aquele que possui várias entidades individuais que interagem entre si de forma diversificada, obedecendo regras pré-estabelecidas locais e indiferentes a qualquer “instrução de nível superior” (TEIXEIRA, 2007, p. 38). Assim, uma propriedade observada nesses sistemas é a da emergência, em que, partindo das interações individuais das entidades que o compõem (comportamento local), passa a ser originado um comportamento perceptível que represente o todo (comportamento global) (ibidem). Porém, o todo não é constituído pelo somatório das partes que o compõem, apresentando-se maior, em um sistema complexo. Este fato se deve à observação de que as interações das entidades individuais são não-lineares, ou seja, não é mais válido o princípio da superposição que verificam os sistemas complexos: o resultado deste comportamento emergente é comumente imprevisível e seu estudo se torna de fundamental interesse nas supracitadas áreas científicas (MOYANO, 2006; BAPTESTINI, 2006). Oliveira (2003, p. 83) sugere que sistemas complexos são:

[...] sistemas formados por muitas unidades simples, porém interligadas entre si, de forma que uma influencia o comportamento das outras. A complexidade do todo decorre desse entrelaçamento de influências mútuas, à medida que o sistema evolui dinamicamente. Modelos desse tipo vem sendo estudados nos últimos dez anos, através de simulações em computador”.

Para Svaiter apud Nussenzveig (2003, p. 197) os sistemas complexos são aqueles “[...] cuja evolução é descrita por leis bastante simples, mas cujo

comportamento final resulta complicado, embora não caótico”. O caráter caótico até pode ocorrer quando o sistema for perturbado minimamente, mas não há como avaliar como irá ocorrer seu comportamento a longo prazo (ibidem).

A investigação dos sistemas complexos ocorre por meio do formalismo matemático de sistemas dinâmicos, através de equações diferenciais, equações por meio de diferenças, mapas logísticos, autômatos celulares, redes dinâmicas (teoria de redes), etc. (ibidem), cuja ferramenta fundamental é a utilização de recursos computacionais (MOYANO, 2006; TEIXEIRA, 2007; CUNHA, 2013, NASCIMENTO et al., 2016). Então, por conta das dificuldades encontradas e relacionadas aos estudos desses sistemas que se apresentam “[...] fora do equilíbrio, a única ferramenta disponível, na prática, é o computador” (OLIVEIRA, 2003).

O exposto até aqui não corresponde uma definição de sistemas complexos, haja vista não encontrarmos na literatura científica uma única concepção teórica sobre o que ele é. Contudo, os supracitados autores indicam as seguintes propriedades para um sistema complexo: partes que se relacionam entre si; interação com o meio; adaptação ao meio; tratamento da informação em vários níveis; ordem emergente; propriedades coletivas emergentes, resultando em novos comportamentos causados pela interação entre as partes; quebra de ergodicidade; criticalidade autoorganizada, caos, estrutura fractal, seguem uma lei de potência, dentre outras.

De acordo com Nussenzveig (2003) o cérebro apresenta uma grande probabilidade de se constituir o sistema mais complexo conhecido. A título de exemplo, apresentamos então, algumas características do cérebro encontradas em sistemas complexos: sua função principal ocorre por meio de uma rede de neurônios conectados entre si. A transmissão de informações entre as células nervosas ocorre através da propagação de pulsos elétricos, por meio das sinapses. No cérebro existem centenas de milhares de células neuronais, que o caracterizam como uma estrutura formada por uma grande quantidade de entidades conectadas e, por isso, apresenta-se como um sistema dinâmico que evolui constantemente.

O número de conexões que cada neurônio realiza depende da sua “vizinhança”, em que há uma adesão preferencial que depende da região do cérebro. Assim, como cada célula recebe informações diferentes (podendo ser

contraditórias) de várias outras, a resposta não irá satisfazer a todos os estímulos recebidos, característica denominada de frustração. Logo, o sistema também é hierárquico. Quando um neurônio realiza uma resposta decorrente do recebimento de um sinal elétrico de outras células nervosas, essa resposta apresenta características que tornam este sistema de transporte de informações, como sendo de forma não-linear.

Devido a sua interação do cérebro com o ambiente externo – meio ambiente – classifica-se como um sistema aberto. Por meio dessa interação com o ambiente, as características das interconexões realizadas se alteram, o sistema se adapta e apresenta memória. Assim, o sistema é adaptativo. A aleatoriedade também está presente no sistema, pois, algumas interconexões iniciais entre as células nervosas do cérebro de um embrião, apresentam características parcialmente caóticas. Devida a supracitada interação com o meio ambiente, estas características são corrigidas, com a devida eliminação de conexões incoerentes. Então, o sistema se auto organiza espontaneamente, pois como é adaptativo, ele cria a ordem a partir de um estado desordenado, ou seja, apresenta ordem emergente.

Pequenas perturbações (estímulos por meio dos órgãos do sentido, por exemplo) podem realizar no sistema a transição de um estado inicial a outro. Devido a memória de longo prazo, o simples aroma de um perfume na idade adulta, pode nos levar a recordarmos de um momento em nossa infância, com todas as sensações boas e ruins relacionadas ao fato. Esta contextualização corresponde a um atrator de um sistema dinâmico, ou no caso, múltiplos atratores.

A quebra de ergodicidade também se faz presente e está relacionada com o fato de o sistema apresentar uma dependência com sua história anterior. As características da criticalidade auto organizada também estão presentes: uma incontável quantidade de interações entre as diferentes células nervosas faz com que ocorra a emergência de propriedades novas atribuídas ao sistema como um todo. Tais propriedades surgem como consequência de competições e cooperações entre as entidades conectadas do sistema que, apresentam como estado crítico, a evolução espontânea do próprio sistema. A estrutura fractal e autos similaridade podem ser observadas ao estudarmos a rede neural.

Um outro exemplo de um sistema complexo corresponde a um texto escrito. Não necessariamente devemos pensar no texto contido no maior livro que pudermos lembrar (em quantidade de palavras), mas a todos os textos escritos. Desta forma, os títulos de obras literárias e/ou técnicas, com suas palavras-chave e os resumos associados em uma produção científica ou não, apresentam as características de sistemas complexos. Mesmo ao realizarmos as considerações feitas por Caldeira (2005) e Teixeira (2007), e passarmos a admitir como premissa que a sentença corresponde a menor unidade de significado semântico em um texto, estes escritos já corresponderiam a um sistema complexo:

[...] a sentença é a menor unidade para análise dos significados expressos nos textos. Cada palavra isoladamente pode adquirir um significado que somente será identificado a partir do contexto. Esse contexto, para a nossa pesquisa é a sentença em que a palavra participa (CALDEIRA, 2005, p. 67).

Os sistemas complexos apresentam a interação de várias entidades entre si de forma não linear, ocorrendo então a emergência de propriedades que resultam no comportamento do todo. Quando temos um texto, as entidades correspondem as unidades significantes ou palavras, e a sua interação ocorre por meio das sentenças do texto (CALDEIRA, 2005). Dependendo das diversas interações que uma palavra tenha com outras palavras em um texto, ela poderá apresentar diferentes significados (ibidem). O discurso então corresponde a emergência resultante das diferentes interações entre os significantes no texto, um sistema complexo (CUNHA, 2013). Seguindo este pensamento Aguiar (2009, p. 18) também ratifica a construção textual como um sistema complexo:

A linguagem humana pode ser vista como um fenômeno em que signos linguísticos com significados próprios são organizados de forma a gerar uma estrutura com significado diferente da soma de cada unidade linguística. Isto significa que é possível analisar o fenômeno linguístico como um fenômeno complexo, a partir da emergência de uma propriedade global originada da compreensão de uma construção sintática (a sentença) proveniente da interação e organização de unidades linguísticas (as palavras). Da mesma forma que a compreensão de uma única sentença de um texto não é capaz de refletir toda a mensagem deste texto.

Para Aguiar (2009) as unidades significantes ou palavras são denominadas como signos linguísticos ou unidades linguísticas. Pelo exposto, o

sistema complexo formado pela interação entre as palavras pertencentes aos conjuntos de cliques de títulos e palavras-chave advindas das produções científicas do Ensino de Física Brasileiro (dissertações e teses), estão sendo estudadas nesta pesquisa por meio da Teoria de Redes.

3.2 Redes sociais e complexas

Como mencionado anteriormente, uma forma de investigação dos sistemas complexos ocorre por meio da teoria de redes. Assim, para Pereira (2013, p. 39-40) as redes sociais e complexas apresentam as seguintes características:

[...] possuem propriedades não triviais, inexistentes em modelos mais simples. Essas redes são sistemas complexos que, em geral, envolvem inúmeros elementos organizados em estruturas que podem existir, ou coexistir, em diferentes escalas. Seus processos de ação e de organização não são usualmente descritos por regras simples ou redutíveis a apenas um nível explanatório. Frequentemente, suas características principais emergem de interações entre suas partes constituintes e não podem ser previstas a partir de uma compreensão isolada de cada uma destas partes. Nesse sentido, deparamo-nos com a especialização de técnicas e métodos de cálculo para propriedades emergentes (e.g. densidade, coeficiente de aglomeração, caminho mínimo, distribuição de graus, centralidade e prestígio, etc.) de redes sociais e complexas. O estudo desses índices favorece a análise, interpretação e resolução de problemas em diversas áreas.

Destacam-se nos estudos de redes sociais e complexas a crescente implementação de técnicas (avanço teórico-tecnológico) à verificação das propriedades emergentes nessas redes, como a densidade, coeficiente de aglomeração, caminho mínimo, distribuição de graus, centralidade e prestígio, etc (FADIGAS et al., 2009; PEREIRA, 2013). Os cálculos destes índices e suas interpretações, conforme o contexto de análise, auxilia o encontro de soluções nas mais diversas áreas do conhecimento (PEREIRA, 2013).

Para Wasserman e Faust (1994, p. 20) uma rede social consiste em um conjunto ou conjuntos finitos de atores e a relação ou as relações definidas entre eles. As redes sociais são aquelas cuja a estrutura é irregular, complexa e evolutiva dinamicamente no tempo, com o foco principal movendo-se desde a análise de pequenas redes até aquelas de sistemas com milhares ou milhões de nós, e com uma atenção renovada às propriedades de redes de unidades dinâmicas (BOCCALETTI et al., 2006, p. 177). De acordo com Newman (2010, p. 5) uma rede social é, usualmente, uma rede de pessoas, ainda que ela [a rede

social] possa às vezes ser uma rede de grupos de pessoas, tais como empresas. Na obra de Pereira (2013, p. 42) é apresentado que uma rede social é:

[...] um conjunto de pessoas ou grupos de pessoas com algum padrão de contato, interação ou relacionamento entre elas. Vários tipos de relacionamento podem ser estudados, como amizade entre indivíduos, relações de negócios entre companhias, casamentos entre famílias, colaboração científica, redes de diretores de companhias, etc.

Fadigas et al. (2009) destacam que nos estudos das redes de redes sociais, os vértices correspondem aos atores e, o relacionamento entre estes atores correspondem às arestas. Um fato relevante pertencente aos estudos dessas redes é a possibilidade de verificação dos vértices que se destacam na rede, por meio dos índices de centralidades. Destacamos a centralidade de grau, intermediação e proximidade: a primeira, mede a importância que um determinado vértice tem, por meio de suas conexões, com vértices vizinhos conectados a ele (FADIGAS et al., 2009). Em relação a centralidade de intermediação, de acordo com Lopes et al. (2014 p. 155) para que o valor desta centralidade seja elevado, em um vértice, “o mesmo deve estar no caminho entre diversos outros nós”. A centralidade de proximidade de um determinado vértice, está relacionada com a distância dele aos demais vértices na rede (FREEMAN, 1978/79).

Quando os atores que constituem a rede correspondem a palavras, conceitos, dentre outros, denominamos a rede de semântica. Para Sternberg (2000) as redes semânticas estão relacionadas com uma forma de representação de como cada conceito é definido em relação a sua posição em uma rede de relacionamento entre diversos conceitos: “[...] são modelos de representação da rede de relação entre os significados” (TEIXEIRA, 2007, p. 10).

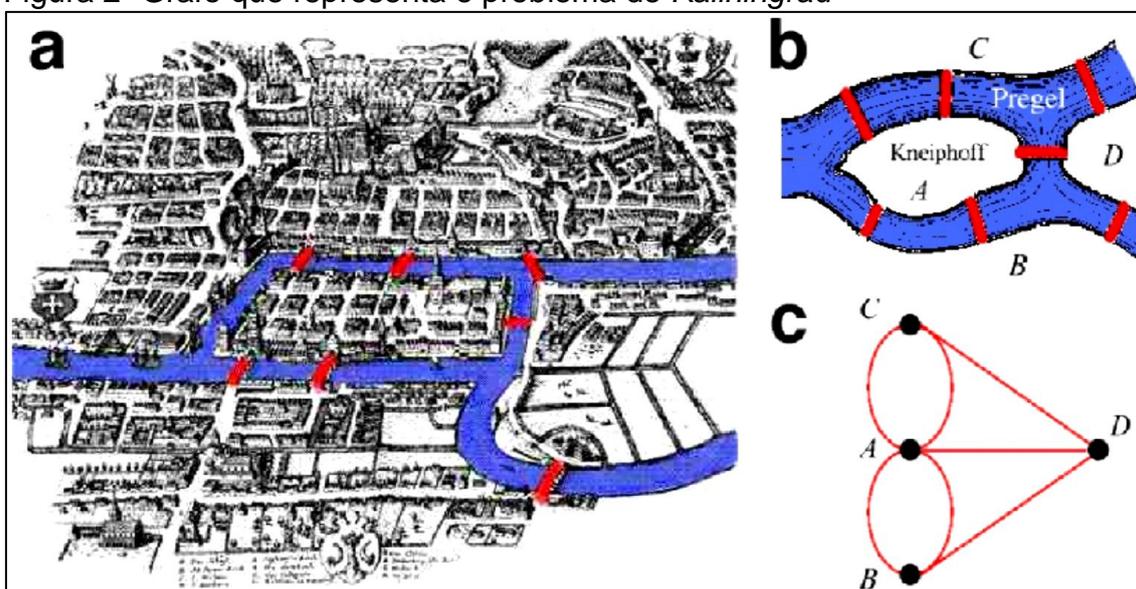
Na pesquisa desenvolvida por Motter et al. (2002) a ideia de rede semântica apresentada é a da rede que se forma por meio da conexão de duas palavras, apenas se ambas apresentarem conceitos similares. Para Steyvers e Tenenbaum (2005) uma rede semântica é uma representação abstrata de apenas um aspecto do conhecimento semântico, que corresponde às relações entre pares de palavras. Conforme Cunha (2013, p. 4) a ideia apresentada é que uma rede semântica “[...] é o nome dado a rede de relacionamentos entre

palavras ou conceitos e sua análise quantitativa torna-se mais uma contribuição para o estudo da linguagem”.

Diante da diversidade de definições encontradas na literatura científica, enfatizamos que nesta pesquisa estamos alicerçados em Rosa et al. (2017). Para estes autores 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 e, é representada pela Teoria dos Grafos (ibidem).

Uma rede social e complexa é representada por um grafo, cuja teoria surgiu com o problema das pontes de *Königsberg*, hoje em dia, *Kaliningrad* (Caliningrado) na Rússia. O problema consistia em encontrar um caminho que fosse possível passar por todos os bairros e a ilha *Kneiphof*, percorrendo todas as pontes (Figura 1), uma única vez em cada uma delas (EULER, 1736; AMARAL; OTTINO, 2004).

Figura 2- Grafo que representa o problema de *Kaliningrad*



Fonte: Adaptado de Amaral e Ottino (2004). Em a) A cidade de *Königsberg*, agora *Kaliningrad* (Caliningrado), na Rússia, que na época, haviam sete pontes que ligavam a ilha de *Kneiphof*, às margens do rio Pregel. Em b) a representação da área com as pontes. Em (c) o grafo que Euler representou o problema.

O problema foi resolvido em 1736, quando Euler percebeu que a distância física não tinha importância neste problema, apenas a topologia era importante. Por esta razão as pontes puderam ser representadas como arestas em um grafo

conectando vértices representando as diferentes margens e as ilhas (AMARAL; OTTINO, 2004). Em outras palavras: Euler demonstrou que é impossível realizar um passeio em uma rede que tenha mais de 2 vértices com um número ímpar de ligações. O Grafo de *Königsberg* por apresentar quatro vértices e um número ímpar de pontes (arestas) não era possível encontrar o caminho Euleriano, ou seja, aquele pelo qual o passeio completa seria realizado saindo e retornando par ao ponto de partida passando apenas uma vez por cada ponte (AMARAL; OTTINO, 2004, CUNHA, 2013).

Partindo da ideia de grafos, modelamos as redes semânticas do Ensino de Física (representadas por grafos) na presente pesquisa. Os índices de estatística básica pertencentes à teoria dos grafos ou de redes complexas que serão verificados correspondem a: 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), como $z = \langle k \rangle$:

$$P(k) \cong \frac{z^k}{k!} e^{-z} \quad (9)$$

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, destacamos a centralidade de grau e a centralidade de intermediação:

Centralidade de grau: Número de vértices adjacentes a um determinado vértice v . Depende do número de arestas incidentes:

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

Centralidade de Intermediação: Conforme Freeman (1978/9, p. 221), é a frequência de um vértice v ocorrer entre pares de outros vértices em caminhos mais curtos (geodésicos) que os conectam, ou ainda, é a probabilidade de um vértice k ocorrer aleatoriamente em geodésicas ligando v_i e v_j :

$$C_B(v_k) = \sum_{i,j} b_{ij}(v_k) = \frac{g_{ij}(v_k)}{g_{ij}} \quad (12)$$

Conforme citado anteriormente, quanto a topologia, uma rede complexa pode ser aleatória (*Random Network*), mundo pequeno (*Small-World*) e livre de escala (*Scale Free*).

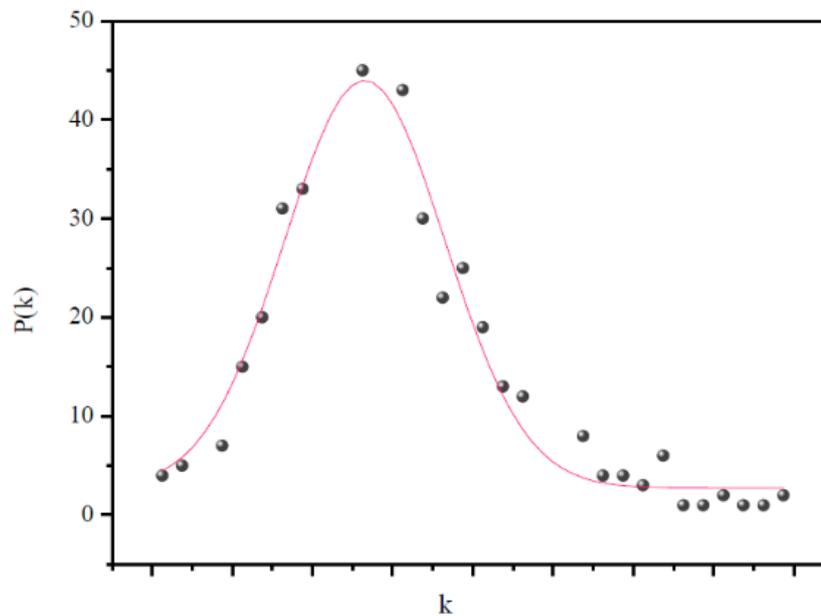
Um grafo ou rede aleatória corresponde àquele que é gerado por um processo aleatório, ou seja, se conectamos o n pares de vértices com o valor de probabilidade p , a distribuição corresponderá, em boa medida a probabilidade de $n(n-1)/2$ conexões/arestas distribuídas de forma aleatória (ERDÖS; RÉNYI, 1960). Conforme Erdős-Rényi (1960) este modelo é conhecido como $G(n, p)$ e a caracterização da sua topologia; a distribuição de graus de qualquer vértice é uma binomial. Sendo assim, com as condições apresentadas por Erdős-Rényi (1960), para o caso das redes serem grandes ($n \rightarrow \infty$), teremos: o número médio de conexões em cada vértice $\langle k \rangle$ é dado por $\langle k \rangle = p.(n-1)$, que diverge para p fixo; ao invés, p é escolhido como função de n para manter $\langle k \rangle$ fixado: $p = \langle k \rangle / (n-1)$; quando $n \gg k.\langle k \rangle$, e k é fixo podemos escrever $z = \langle k \rangle = p.n$. Diante destas informações, teremos:

$$P(k) = \binom{n}{k} p^k (1-p)^{n-k}, \text{ que a passa ser } P(k) = \frac{n!}{k!(n-k)!} \left(\frac{z}{n}\right)^k \left(1 - \frac{z}{n}\right)^{n-k} e,$$

então, chegamos na Eq. 9: $P(k) \cong \frac{z^k}{k!} e^{-z}$.

Conforme Aguiar (2009, p. 28) as redes aleatórias “[...] apresentam coeficiente de aglomeração médio igual a p , com $0 \leq p \leq 1$, e uma distribuição de graus característica do tipo normal (distribuição de graus de Poisson) com grau médio dado por $p(n-1)$, para n infinitamente grande”. A equação acima corresponde a uma distribuição de *Poisson* e, está representada na Figura 2:

Figura 2 - Distribuição de graus de uma rede aleatória.



Fonte: Adaptado de Aguiar (2009).

No *paper* intitulado de *The Small-World Problem*, Milgram (1967) realizou um experimento com o objetivo de medir a distância entre duas pessoas escolhidas aleatoriamente no Estados Unidos da América, estando elas em qualquer localização geográfica do país. Conforme Caldeira (2005, p.46):

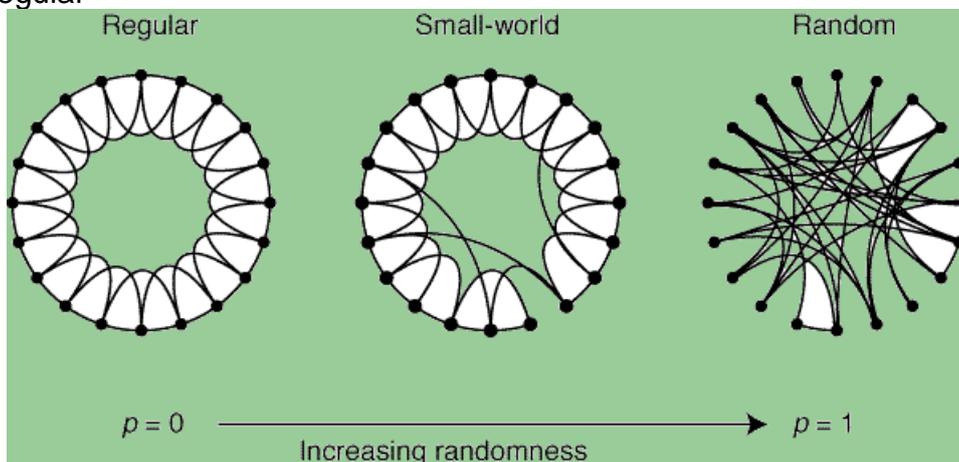
O experimento consistiu em escolher aleatoriamente duas pessoas, que seriam as destinatárias. A primeira residia em Cambridge e era esposa de um estudante. A segunda era um corretor da bolsa de valores que trabalhava em Boston e morava em Sharon, Massachusetts. Estas pessoas seriam os alvos de cartas enviadas a partir das cidades de Wichita no estado de Kansas e Omaha, no estado de Nebraska.

O resultado do envio de cartas para as pessoas Americanas, apresentou como resultado o fato de que, em média, duas pessoas distintas estavam separadas por outras seis pessoas. Com este resultado, destacam-se duas expressões: “os seis graus de separação” e “que mundo pequeno” (WATTS, 1999).

Na obra de Watts e Strogatz (1998) foi apresentado um modelo de redes complexas com a presença do denominado fenômeno mundo pequeno (*Small-World Phenomenon*). Esta topologia de redes apresenta características pertencentes as redes regulares e as redes aleatórias. Porém, as redes mundo pequeno não são regulares e nem aleatórias e sim um mundo entre esses dois

mundos: apresentam entre os seus vértices, caminhos curtos (L) e, também, uma elevada aglomeração (C_{ws}), conforme Figura 3:

Figura 3: O fenômeno mundo pequeno durante o aumento da aleatoriedade da rede regular



Fonte: Watts e Strogatz (1998).

Conforme Aguiar (2009, p. 30) as redes complexas que apresentam o fenômeno mundo pequeno podem apresentar a distribuição de graus de forma semelhante a distribuição de Poisson “[...] devido a sua relativa homogeneidade”. É válido destacar que para que ocorra o fenômeno mundo pequeno, Watts e Strogatz (1998) apresentam como condições que as redes não devem ser direcionadas e nem ponderadas; não devem apresentar arestas múltiplas, devem ser esparsas e serem conectadas.

Pelo método de Watts e Strogatz (1998) para verificar se uma rede complexa apresenta o fenômeno mundo pequeno ou não, observando as condições supracitadas, significa então, que a rede no foco da análise apresenta as seguintes características: $C_{ws} \gg C_{al}$ e L ser da 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. A rede aleatória equivalente corresponde àquela que apresenta igual valor de $\langle k \rangle$ e n da rede que se está analisando.

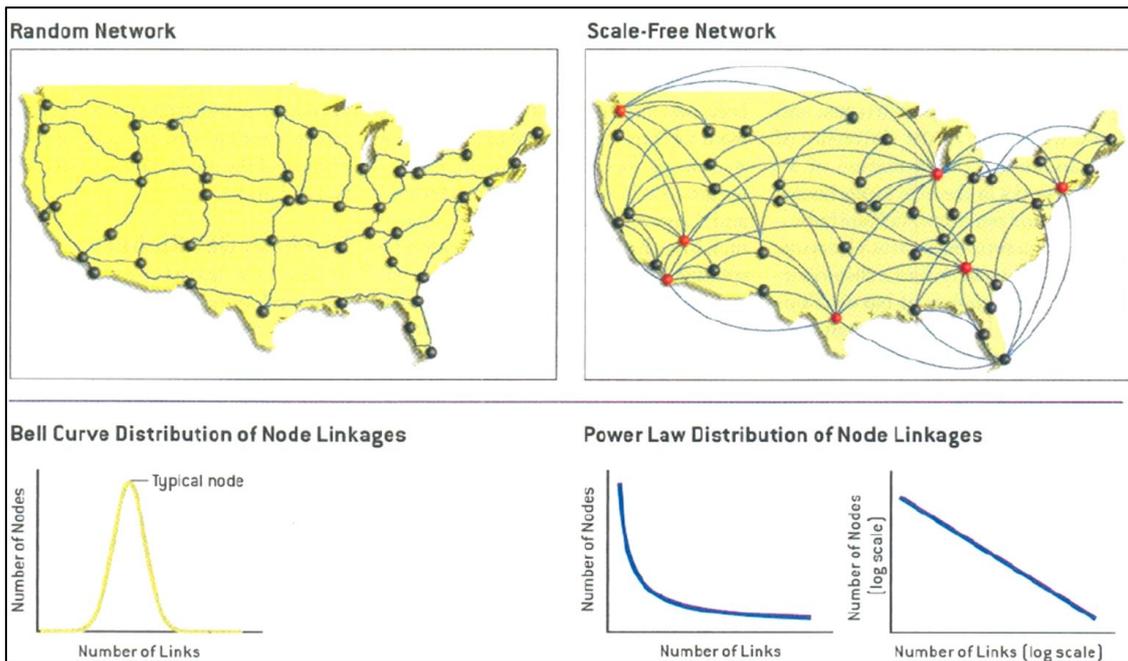
O modelo de redes livres de escala (*Scale Free*) ou redes sem escala, apresentam uma particularidade relacionada às suas conexões, que é falta de

uma escala característica em sua conectividade (TEIXEIRA, 2007). Conforme Barabási e Albert (1999) a distribuição de conectividade dessas redes é regida por uma lei de potência do tipo $P(k) \approx k^{-\gamma}$ (Eq. 10). Assim sendo, elas apresentam também como características a resistência a ataques em sua maior parte estrutural, mas, são vulneráveis a ataques coordenados que atinjam a menor parte de sua estrutura que conectam a maior parte da rede (ibidem). Essas estruturas que conectam a maior parte da rede, são os polos ou *hubs*, que na prática, significa dizer que são: “Poucos vértices ligados a muitos outros vértices [...]” (BARABÁSI; ALBERT, 2002), enquanto que há também na rede livre de escala “[...] muitos vértices ligados a poucos outros vértices” (ibidem). Desta forma, a probabilidade $\Pi(k)$ de um vértice se conectar a um outro vértice já conectado na rede, conforme Barabási (2007) é obtida da seguinte maneira:

$$\Pi(k) = \frac{k}{\sum_i k_i} \quad (13)$$

Conforme a Eq. 13 as conexões ocorrem de forma preferencial, uma adesão preferencial, ou seja, quanto mais conectado um vértice na rede estiver (quanto mais conexões apresentar) maior será a probabilidade dele em receber novas conexões (ibidem). Conforme Amaral e Ottino (2004) uma característica importante considerada em redes livre de escalas apresentada em Barabási e Albert (1999) e ausente no modelo de Watts e Strogatz (1998), é justamente a distribuição de graus. Se considerarmos o modelo de Barabási e Albert (1999) - que segue um lei de potência – e, o apresentado por Erdős-Rényi (1960), cuja distribuição de graus é uma Poisson; as redes aleatórias por apresentarem uma escala característica em sua conectividade, ambas as redes (redes aleatória e livres de escala) passam a ser excludentes entre si: uma mesma rede não será concomitantemente, aleatória e livre de escala. Na Figura 3 há uma comparação das distribuições de graus entre a rede aleatória e a livre de escala:

Figura 3: Comparação entre as topologias aleatória e livre de escala.



Fonte: Adaptado de Barabási e Bonabeau (2003).

Na Figura 3 a rede aleatória que representam a malha rodoviária dos EUA, com uma distribuição de Poisson e, a rede livre de escala que representa o sistema de aviação Americano com os aeroportos destacados em vermelho correspondendo aos que condensam muitas conexões (*hubs*). A distribuição de graus da malha aérea segue uma lei de potência do tipo $P(k) \approx k^{-\gamma}$. Uma característica importante é o fato de que, ao plotarmos o gráfico em escala logarítmica, para os eixos da abscissa e ordenada, o resultando tende a ser uma linha reta. Conforme Barabási e Albert (1999) a sugestão para o valor do coeficiente angular da lei de potência é $2,1 \leq \gamma \leq 4$. Algumas redes reais que apresentam um comportamento de livres de escala correspondem as redes de colaboração dentre atores de cinema, a rede de citação de artigos científicos (REDNER, 1998); a rede World Wide Web – WWW - (ALBERT, JEONG, BARABÁSI, 1999); a rede de contatos sexuais dos Suecos (LILJEROS et al., 2001), dentre outros.

4. Procedimentos metodológicos para obtenção das redes semânticas

A mineração de dados (títulos, palavras-chave e resumos), para a construção das redes semânticas estáticas, são os 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, palavras-chave e resumos, serão os elementos principais à construção e análise das redes semânticas propostas nesta de tese.

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 de títulos possa ser construída, inicialmente será necessário um tratamento nos títulos correspondentes às dissertações e teses dos autores dos trabalhos *Stricto Sensu*. Assim, em um arquivo de texto, por exemplo, formato .txt, disponibilizaremos em cada linha do arquivo, um título correspondente a cada trabalho. Após esta fase, realizaremos uma pré-formatação obedecendo as regras estabelecidas em Pereira et al. (2011), conforme Quadro 1, a seguir:

Quadro 1 – Regras para o pré-processamento dos títulos.

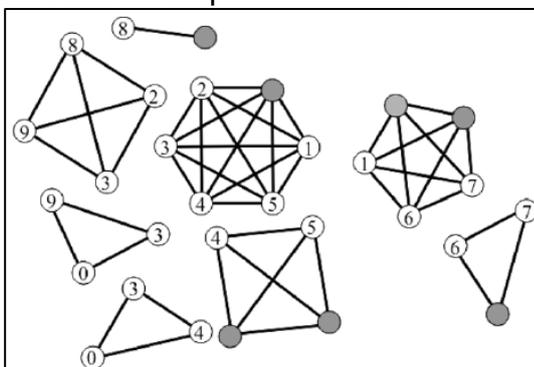
| | |
|---|--|
| 1 | Cada título corresponde a uma sentença. |
| 2 | Os sinais gráficos de cada sentença como o ponto e vírgula, ponto de interrogação, ponto de exclamação e reticências são eliminados. |
| 3 | Nomes devem formar uma palavra simples. Por exemplo, “Bose–Einstein” e “Albert Einstein”, respectivamente, tornar-se-ão: “boseeinstei” e |

| | |
|----|--|
| | “alberteinstein”. |
| 4 | Números ordinais devem ser escritos da seguinte forma, por exemplo, “8 ^a ” e “1 ^o ”, tornar-se-ão, respectivamente: “oitava” e “primeiro”. |
| 5 | Os números devem ser escritos de forma textual, por exemplo, “1972” e “1995”, tornar-se-ão “umnovesetedeois” e “umnovenovecinco”. |
| 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. (2011).

Com as regras citadas no Quadro 1, as redes de cliques baseadas nos títulos das dissertações e teses, podem ser pré-formatadas e então, construídas. As palavras dos títulos tornam-se vértices que são mutuamente conectadas, formando cliques, como está representado na Figura 4.

Figura 4 - Estado inicial de rede de cliques isoladas.

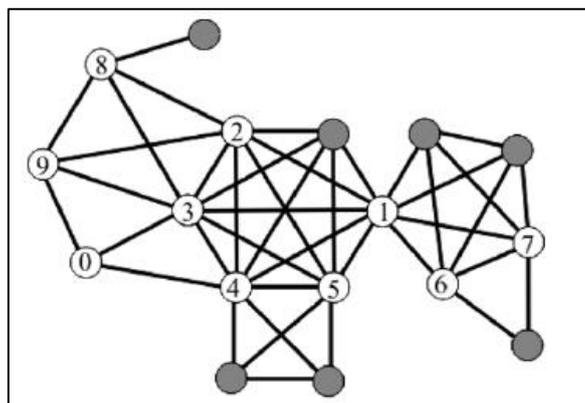


Fonte: Adaptado de Fadigas e Pereira (2013).

Complementando a definição inicial e anterior de Caldeiras (2005), uma rede de cliques é um tipo de rede cujo elemento fundamental não é o vértice, senão um conjunto de n vértices que estão mutuamente ligados entre si (FADIGAS; PEREIRA, 2013). Estas redes têm uma característica específica relacionada ao seu processo de formação. Esse processo é baseado na justaposição e/ou uma sobreposição de cliques. De acordo com Fadigas e Pereira (2013) a justaposição é um processo que permite duas cliques se conectarem por meio de apenas um vértice em comum entre elas. Se a conexão

entre as cliques ocorrer por meio da ligação mútua de dois ou mais vértices entre elas, o processo é chamado de sobreposição (ibidem). Consequente à Figura 4, na Figura 5, um exemplo destes processos de formação de redes de cliques:

Figura 5 - Uma rede de cliques conectadas por justaposição e/ou por sobreposição.



Fonte: Adaptado de Fadigas e Pereira (2013).

Nas Figuras 6 e 7 são representados exemplos dos processos de construções das redes de cliques. Para exemplificar a metodologia de construção das redes de cliques dos títulos das dissertações, teses e produções intelectuais dos autores, apresentamos três títulos (T1, T2, T3) pertencentes à base de dados do relatório de Salem e Kawamura (2009):

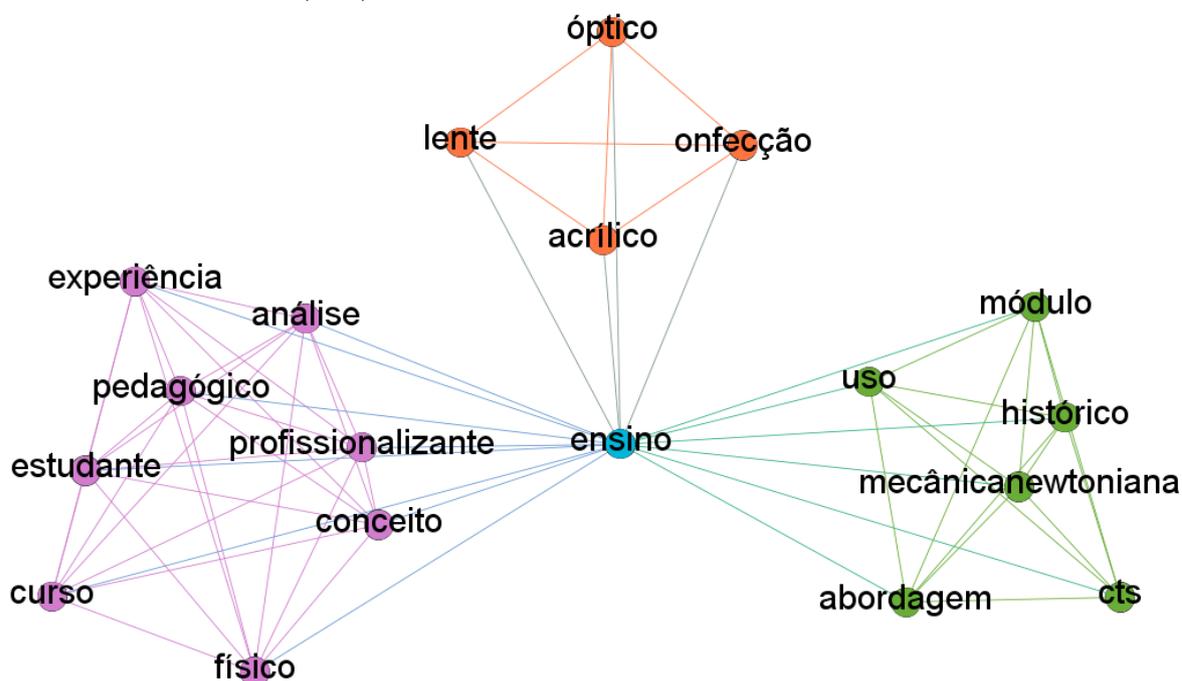
T1 - Módulo de ensino de Mecânica Newtoniana com uso de abordagem *CTS-Histórica*;

T2 - Ensino de conceitos de Física: análise de uma experiência pedagógica com estudantes de um curso profissionalizante;

T3 - Confecção de lentes acrílicas para o ensino de óptica;

Utilizando os Títulos T1, T2 e T3, a rede semântica da Figura 6 é construída:

Figura 6 - Exemplo de construção da rede semântica baseada em títulos, tendo como fonte de dados, T1, T2 e T3.



| | |
|---------------------|----------|
| módulo | N |
| ensino | N |
| mecânica newtoniana | NOTFOUND |
| uso | N |
| abordagem | N |
| cts | NOTFOUND |
| histórico | N |
| | |
| ensino | N |
| conceito | N |
| físico | N |
| análise | N |
| experiência | N |
| pedagógico | A |
| estudante | N |
| curso | N |
| profissionalizante | A |
| | |
| confecção | NOTFOUND |
| lente | N |
| acrílico | N |
| ensino | N |
| óptico | N |

Fonte: Nascimento et al. (2018c)

Na Figura 6 é apresentado um exemplo de construção da rede de títulos e, do arquivo de texto (.txt) gerado após o processamento dos dados com a utilização de *softwares*. Após o tratamento dos títulos utilizando as regras do Quadro 1, foram utilizados os programas UNITEX e Ambisin. O UNITEX é disponibilizado pela Rede Relex Brasil (consórcio de Laboratórios Linguísticos

com estudos referentes a nove idiomas, dentre eles o Português – do Brasil), que integra um programa francês do LADL (Laboratoire d'Automatique Documentaire et Linguistique) (CALDEIRAS, 2005; FADIGAS et al., 2009). Já o *software* Ambisin foi desenvolvido por Caldeiras (2005) com o objetivo de tratar questões pertinentes à eliminação das ambiguidades, das palavras gramaticais² e a separação das formas flexionada ou canônica³ das palavras do restante dos itens de classificação gramatical gerados pelo UNITEX (CALDEIRAS, 2005; FADIGAS et al., 2009).

Assim, com a utilização dos supracitados *softwares*, as cliques são construídas até a formação da rede completa. Após o tratamento do arquivo, onde cada conjunto títulos pertencentes a uma dissertação ou tese foram dispostos, um novo arquivo em formato texto é obtido com as palavras (vértices) que serão utilizadas para construir a rede semântica (conforme exemplo apresentado na Figura 3). Assim, as palavras foram dispostas linha a linha com a identificação de sua categoria (**N** para substantivo, **A** para adjetivo, **NOTFOUND** para palavras não encontradas no dicionário utilizado).

Em relação à rede semântica de cliques baseadas nas palavras-chave das dissertações e teses, a pré-formatação obedece às regras adaptadas de Pereira et al. (2011), Nascimento et al. (2017) e Nascimento et al. (2018a):

Quadro 2 – Regras para o pré-processamento das palavras-chave.

| | |
|---|--|
| 1 | Cada conjunto de palavras-chave 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 | Os nomes devem formar uma palavra simples. Por exemplo, "Aprendizagem Significativa" e "Mecânica Estatística", respectivamente, tornar-se-ão: "aprendizagemsignificativa" e "mecânicaestatística". |
| 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 "umnoveseteds" e "umnovenovecinco". |

² As palavras gramaticais correspondem às preposições, pronomes, artigos, numerais, advérbios, conjunções e interjeições (CALDEIRAS, 2005).

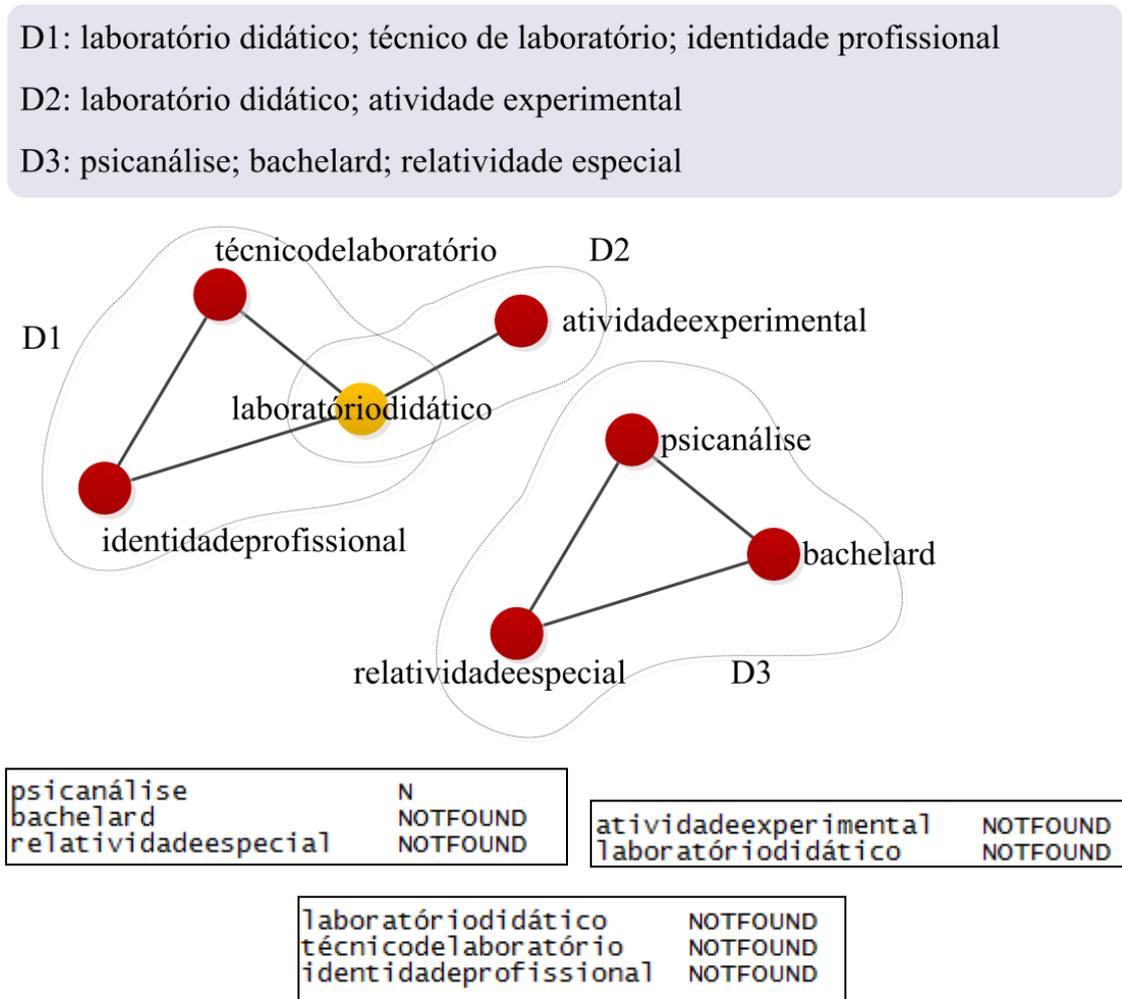
³ "[...] as palavras chamadas lexicais ou nocionais, reais, plenas ou lexicográficas, mesmo isoladas, fora da frase, despertam em nossa mente uma representação, seja de seres, de ações, de qualidade de seres ou modos de ações" (ibidem). De acordo com Santos apud Caldeiras (2005) são caracterizadas pelos nomes - substantivos, adjetivos, advérbios - e pelos verbos.

| | |
|----|---|
| 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 conjunto de palavras-chave, 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: Nascimento et al. (2018a).

As palavras-chave de cada dissertação e tese, tornam-se vértices que são mutuamente conectadas, dando origem as cliques, como está representado na Figura 4:

Figura 7 - Exemplo de construção da rede baseada em palavras-chave.



Fonte: Nascimento et al. (2018a).

Na Figura 7 é apresentado um exemplo de construção da rede de palavras-chave. Assim como na rede semântica de títulos, após o tratamento das palavras-chave, com os programas UNITEX e Ambisin, as cliques são construídas até a formação da rede completa. Após o tratamento do arquivo, onde cada conjunto de palavras-chave pertencentes a uma dissertação ou tese foram dispostas, um novo arquivo em formato texto é gerado com as palavras que serão utilizadas para construir a rede (vértices), foram dispostas linha a linha com a identificação de sua categoria (**N** para substantivo, **A** para adjetivo, **NOTFOUND** para palavras não encontradas no dicionário usado). O exemplo apresentado na Figura 4 apresenta uma rede completa com duas componentes e, traz as palavras-chave Laboratório didático, Técnico de laboratório e Identidade profissional, ambas pertencentes à dissertação 1. As palavras-chave Laboratório didático e Atividade experimental, pertencem à dissertação 2. As palavras-chave da dissertação 3 correspondem à Psicanálise, Bachelard e Relatividade Especial.

No que diz respeito as redes de cliques baseadas em resumos (*abstracts*), para que sejam construídas, partimos de forma análoga a descrição realizada para as redes de títulos e palavras-chave. A título de exemplo à construção das redes semânticas propostas nesta pesquisa, baseada em resumos, apresentamos no Quadro 3 dois resumos escolhidos de forma aleatória, pertencentes a base de dados dos resumos em Ensino de Física, para construirmos a rede resultante:

Quadro 3 - Dois resumos de trabalhos *Stricto Sensu* em Ensino de Física utilizados para a construção da uma rede semântica.

| Resumo 1 |
|---|
| <p>Examina o debate entre Bohr e Einstein sobre a interpretação da teoria quântica no período 1927-1949, de forma a explicitar a articulação entre pontos de vista físicos e epistemológicos. Inicialmente estuda a formação da teoria quântica, desde os resultados de Planck (1900) até a fundamentação desenvolvida por Bohr (1927). Em seguida, faz uma análise das interpretações propostas por diversos outros autores (Fock, Taketani e Langevin) tomando como parâmetros a dualidade onda-partícula, a interação objeto/meio de investigação, a descrição probabilística da natureza, a completude da teoria,</p> |

a adequação teoria/objeto e o conceito de não-separabilidade. Como principal resultado, atesta a importância dos aspectos epistemológicos contidos nesse debate e a riqueza de significados científicos: enquanto Bohr precisa o objetivo e clarifica a consistência da teoria quântica, Einstein preocupa-se com sua evolução numa perspectiva ampla. Ressalta a importância de estudos epistemológicos para a compreensão das teorias físicas e, por extensão, para o seu ensino.

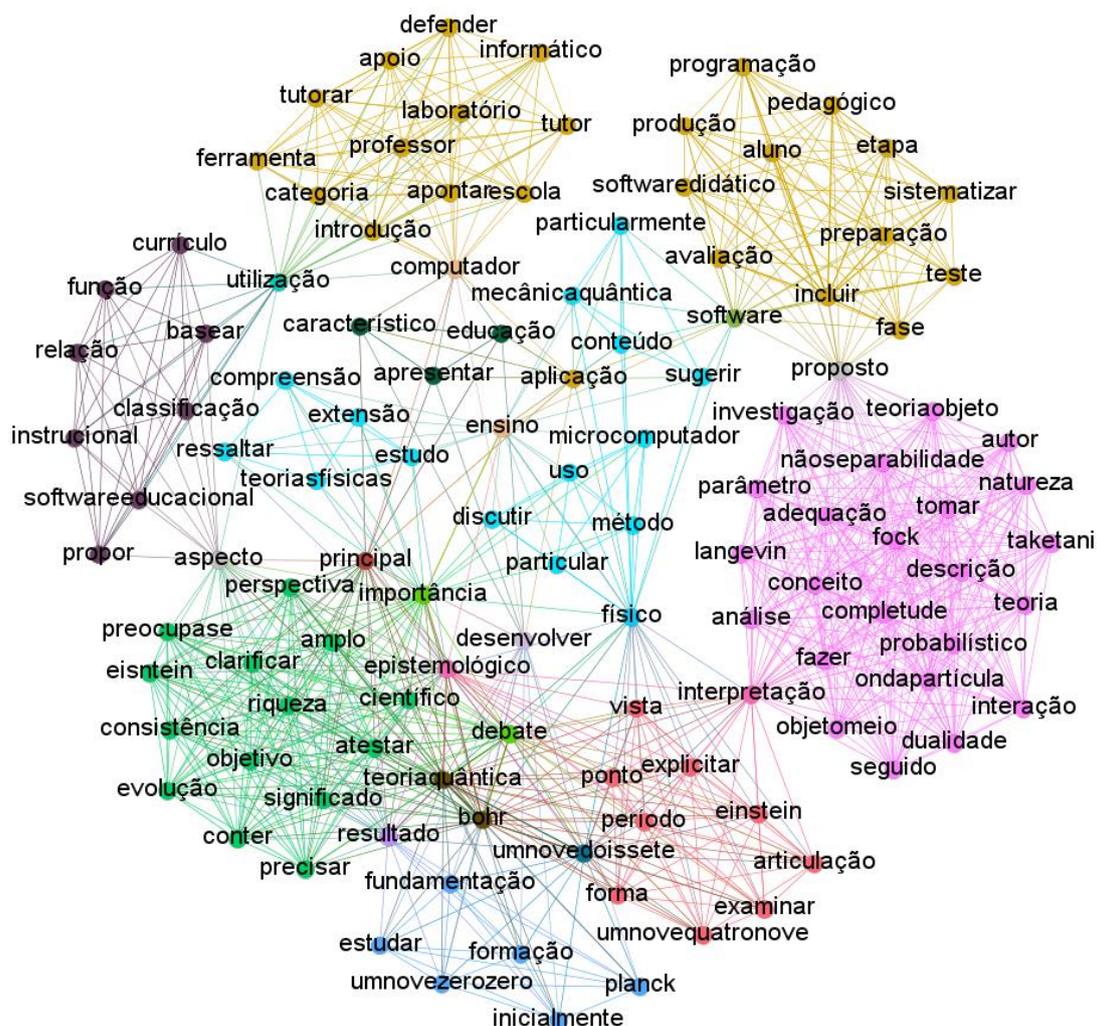
Resumo 2

Discute importância e métodos para o uso de microcomputadores no ensino, em particular no caso da física. Apresenta algumas características e principais aplicações desenvolvidas com computadores na educação. Propõe uma classificação do software educacional baseada em três aspectos: a relação deste com o currículo, sua função instrucional e sua utilização. Sistematiza as etapas de produção de um software didático incluindo: fase de preparação pedagógica, de programação e de testes com os alunos, incluindo, também, uma proposta de avaliação do software. Sugere aplicações de alguns softwares no ensino de física, particularmente para o conteúdo de mecânica quântica. Defende a introdução da informática na escola como apoio ao professor e ao laboratório, apontando a utilização do computador nas categorias: tutor, tutorado e ferramenta.

Fonte: Salem; Kawamura (1992, 1996).

A seguir a rede semântica baseada nos resumos contidos no Quadro 3:

Figura 7 - A rede semântica baseada nos resumos do Quadro 3.



| | |
|-------------------|----------|
| seguido | N |
| fazer | V |
| análise | N |
| interpretação | N |
| proposto | N |
| autor | N |
| fock | NOTFOUND |
| taketani | NOTFOUND |
| langevin | NOTFOUND |
| tomar | V |
| parâmetro | N |
| dualidade | N |
| ondapartícula | NOTFOUND |
| interação | N |
| objetomeio | NOTFOUND |
| investigação | N |
| descrição | N |
| probabilístico | A |
| natureza | N |
| completude | N |
| teoria | N |
| adequação | N |
| teoriaobjeto | NOTFOUND |
| conceito | N |
| nãoseparabilidade | NOTFOUND |

| | |
|----------------|----------|
| inicialmente | ADV |
| estudar | V |
| formação | N |
| teoriaquântica | NOTFOUND |
| resultado | N |
| planck | N+Pr |
| umnovezerozero | NOTFOUND |
| fundamentação | N |
| desenvolver | V |
| bohr | N+Pr |
| umnovedoisete | NOTFOUND |

| | |
|------------------|----------|
| examinar | V |
| debate | N |
| bohr | N+Pr |
| einstein | N+Pr |
| interpretação | N |
| teoriaquântica | NOTFOUND |
| período | N |
| umnovedoisete | NOTFOUND |
| umnovequatronove | NOTFOUND |
| forma | N |
| explicitar | V |
| articulação | N |
| ponto | N |
| vista | N |
| físico | N |
| epistemológico | A |

Fonte: Nascimento, Pereira e Moret (2019).

Apresentamos na Figura 7 um exemplo da construção de uma rede semântica baseada em resumos. Após o tratamento das palavras com as regras supracitadas de pré-processamento e, com os programas UNITEX e Ambisin, as cliques são construídas até a formação da rede completa. Na sequência, um novo arquivo em formato texto é gerado com as palavras que serão utilizadas para construir a rede (vértices). Abaixo da rede semântica na Figura 7 apresentamos três cliques com seus vértices e, como eles ficam dispostos linha a linha com a sua respectiva identificação de categoria (**N** para substantivo, **A** para adjetivo, **N+Pr** para substantivo próprio, **V** para verbo, **ADV** para advérbios, **NOTFOUND** para palavras não encontradas no dicionário usado).

Diante do apresentado neste tópico, as redes semânticas baseadas em títulos, resumos e palavras-chave de dissertações e teses na área de ensino de física no Brasil serão apresentadas no próximo capítulo. Destacamos que, a base de dados utilizada nesta tese compreende de 1972-2006. Para este período, foi possível obter os conjuntos de títulos e palavras, enquanto que para os resumos, foram para o período de 1972-1995. Apresentaremos então, no próximo capítulo, os resultados das análises baseadas em redes semânticas.

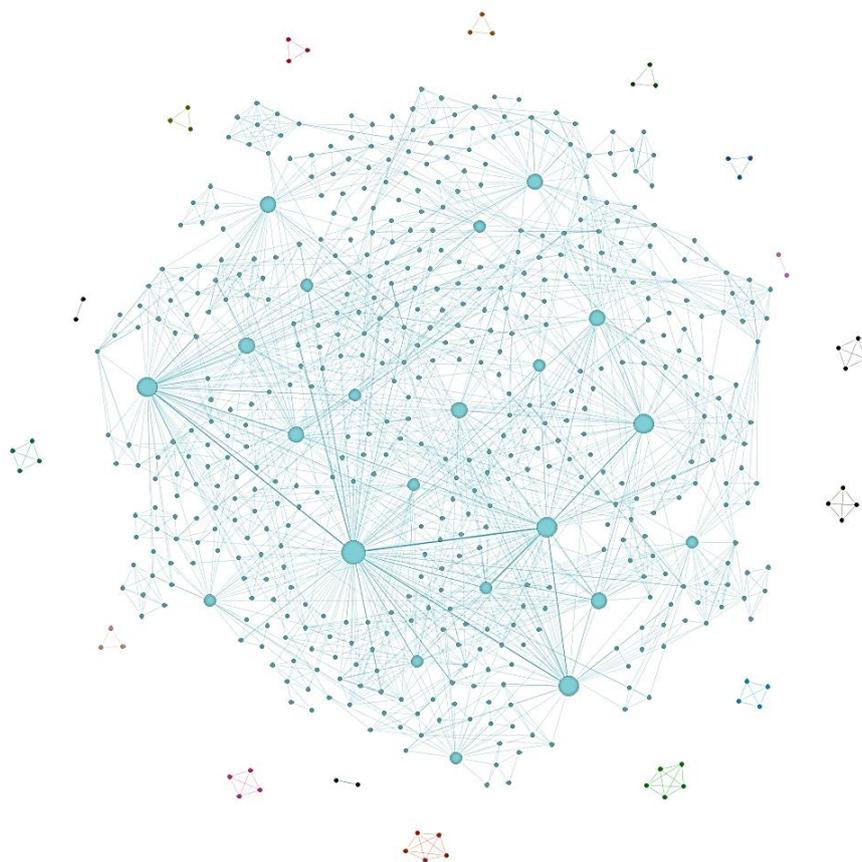
5. Resultados e discussão

Nesta sessão apresentaremos os resultados e discussão para cada período da base de dados utilizada 1972-1992, 1992-1995 e 1996-2006. Na sequência destas análises, apresentaremos os resultados considerando a base de dados de forma única, ou seja, para o período entre 1972 até 2006.

5.1 Resultados e discussão para o período de 1972-1992

Utilizando a metodologia proposta à construção das redes semânticas baseada em cliques da sessão anterior, construímos as redes baseadas em títulos, palavras chave e resumos das dissertações e teses em Ensino de Física defendidas no Brasil. Após a construção delas, nossa análise se concentrou em encontrarmos os vértices que correspondem aos Hubs e realizarmos assim, uma investigação dos conteúdos que se destacaram nas redes. Verificamos então, os vértices com maiores centralidades de grau e intermediação com o intuito de vermos que categorias poderiam emergir das análises de redes. Apresentaremos as redes semânticas, seus índices estatísticos de redes complexas e as métricas pertencentes às redes sociais (centralidades). Para iniciarmos as análises, apresentamos na Figura 8 a rede semântica de títulos para o período de 1972-1992:

Figura 8 – Rede semântica baseada em Títulos do Ensino de Física Brasileiro (1972-1992).



Para a visualização da rede semântica da Figura 8 e a distribuição dos vértices utilizamos três algoritmos: o *Yifan Hu proporcional*, *Não sobrepor* e *Fruchterman Reingold* pertencentes ao *software Gephi*⁴. Este último algoritmo permite que os vértices com maiores números de conexões com outros vértices (centralidade de grau), situem-se mais ao centro na rede. O tamanho dos vértices mais centrais está proporcional ao seu respectivo grau de conexão na rede. Os demais estão com tamanhos constantes e as cores na rede foram escolhidas de forma a diferenciar as diversas componentes. A maior componente está azul e as demais de cores variadas. Apresentamos na Tabela 1 os índices calculados para a rede da Figura 6:

Tabela 2 – Índices de redes complexas verificados para a rede semântica baseada em títulos de 1972-1992.

| Rede Semântica | n | m | Qt. Comp. | Maior comp. (%) | $\langle k \rangle$ | Δ | C_{ws} | L | D |
|----------------|-----|-----|-----------|-----------------|---------------------|----------|----------|-----|-----|
|----------------|-----|-----|-----------|-----------------|---------------------|----------|----------|-----|-----|

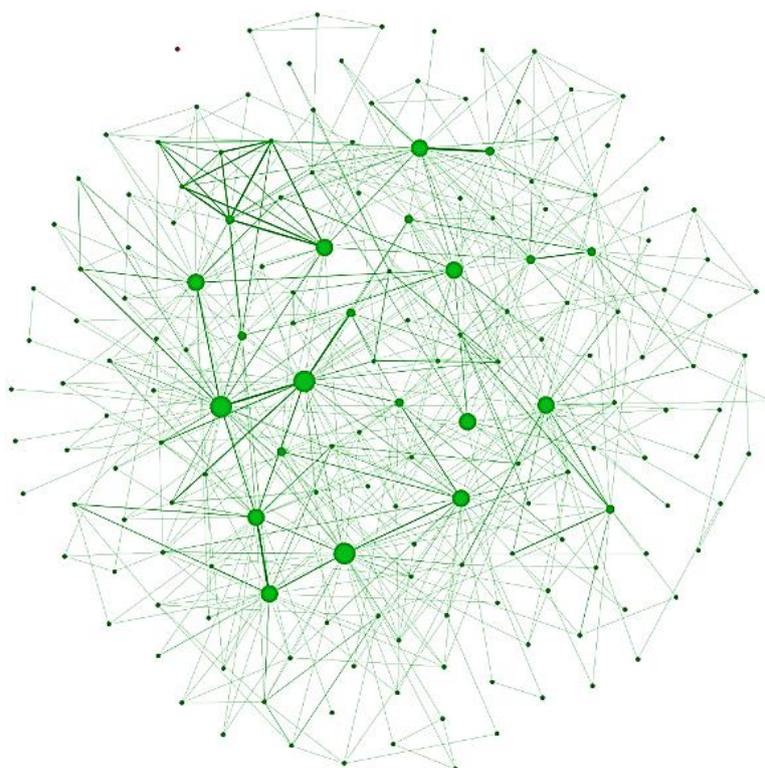
⁴ O *Software Gephi* é um programa de visualização e exploração de todos os tipos de grafos e redes. O Gephi possui código aberto e, é disponibilizado de forma gratuita (disponível para download em <https://gephi.org/>). Apresenta compatibilidade com os sistemas operacionais Windows, Mac OS X e Linux.

| | | | | | | | | | |
|---------------|-----|------|----|-------|------|-------|------|------|---|
| Títulos | 568 | 2069 | 17 | 90,49 | 7,28 | 0,013 | 0,87 | 3,24 | 7 |
| Maior comp. | 514 | 1998 | 1 | 100 | 7,77 | 0,015 | 0,86 | 3,24 | 7 |
| Aleatória Eq. | 515 | 1995 | 1 | 100 | 7,77 | 0.015 | 0.01 | 3.27 | 6 |

Fonte: Do autor.

Seguindo a mesma lógica apresentada na Figura 8, e apresentamos na Figura 9, a rede semântica baseadas em palavras-chave das dissertações e teses em Ensino de Física no período de 1972-1992:

Figura 9 - Rede semântica baseadas em palavras-chave das dissertações e teses em Ensino de Física no período de 1972-1992:



Fonte: Do autor.

Para a visualização da rede semântica da Figura 9 e a distribuição dos vértices dela utilizamos os mesmos algoritmos e procedimentos para a distribuição de vértices e cores. Logo, a maior componente está verde e único vértice que não se conectou na rede e que representa a segunda componente está em lilás (canto superior esquerdo da rede). Apresentamos na Tabela 3 os índices de redes complexas pertencentes à rede semântica da Figura 9:

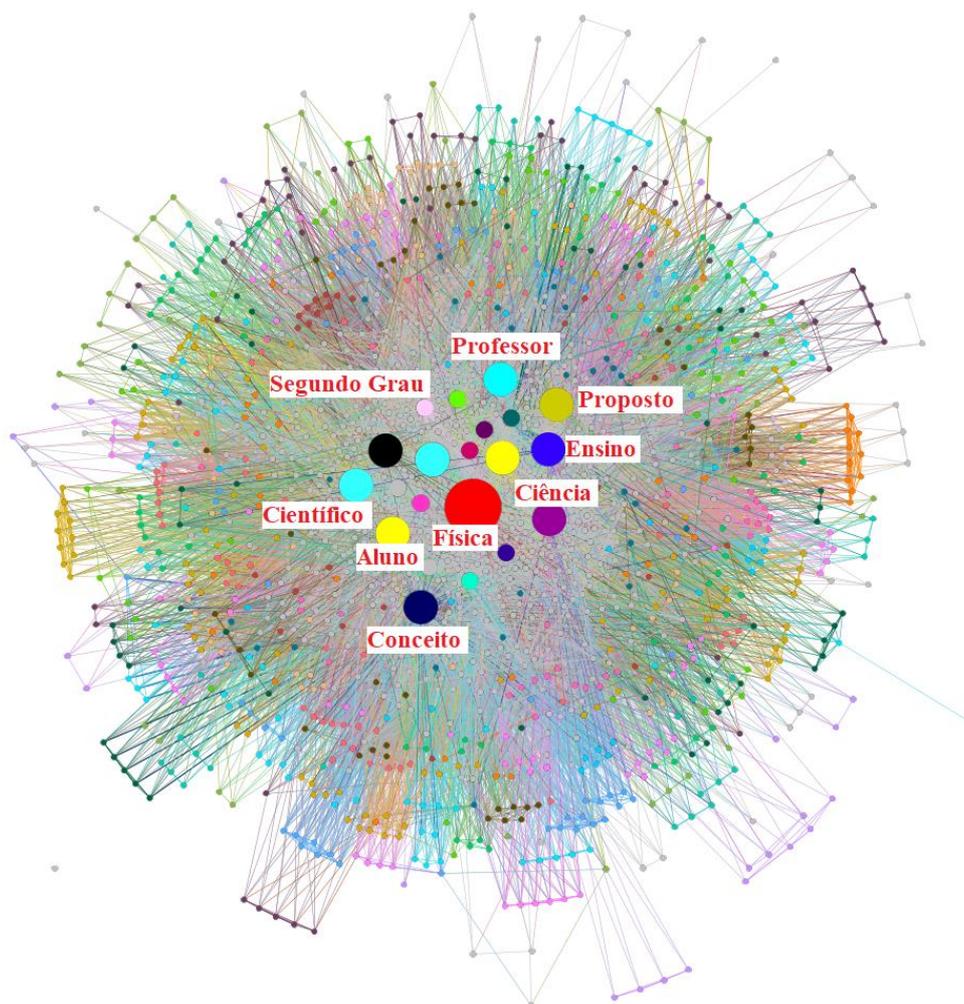
Tabela 3 – Índices de redes complexas verificados para a rede semântica baseada em palavras-chave no período de 1972-1992.

| Rede Semântica | n | m | Qt. Comp. | Maior comp. (%) | $\langle k \rangle$ | Δ | C_{ws} | L | D |
|----------------|-----|-----|-----------|-----------------|---------------------|----------|----------|--------|-----|
| Palavras-chave | 171 | 626 | 2 | 99,42 | 7,322 | 0,043 | 0,686 | 2,763 | 6 |
| Maior comp. | 170 | 626 | 1 | 100 | 7,365 | 0,044 | 0,686 | 2,763 | 6 |
| Aleatória Eq. | 170 | 647 | 1 | 100 | 7,365 | 0,044 | 0,051 | 2,7478 | 5 |

Fonte: Do autor.

Assim como na Figura 8 e na Figura 9, na Figura 10 apresentamos a rede semântica baseada em resumos no período de 1972-1992:

Figura 10 – Rede semântica baseada em resumos do Ensino de Física Brasileiro no Período de 1972-1992.



Fonte: Nascimento, Pereira e Moret (2019).

De forma análoga as redes das Figuras 8 e 9, na rede semântica da Figura 10 utilizamos os algoritmos *Yifan Hu proporcional*, *Não sobrepor* e *Frunchterman Reingold* (software Gephi) para a distribuição dos vértices. As cores dos vértices mais na periferia estão relacionadas aos vértices com maiores centralidades de grau, mais ao centro e estes com tamanhos proporcionais à centralidade de grau. Apresentamos na Tabela 4 os índices de redes complexas pertencentes à rede semântica baseada em resumos da Figura 10:

Tabela 4 – Índices de redes complexas verificados para a rede semântica baseada em resumos no período de 1972-1992.

| Rede Semântica | <i>n</i> | <i>m</i> | Qt. Comp. | Maior comp. (%) | $\langle k \rangle$ | Δ | C_{ws} | <i>L</i> | <i>D</i> |
|-----------------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------------|---------------------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------|-----------------|
| Resumos | 1565 | 31329 | 2 | 99,9 | 40,03 | 0,026 | 0,752 | 2,33 | 4 |
| Maior comp. | 1564 | 31329 | 1 | 100% | 40,06 | 0,026 | 0,752 | 2,33 | 4 |
| Aleatória Eq. | 1564 | 31898 | 1 | 100% | 40,50 | 0,026 | 0,026 | 2,31 | 3 |

Fonte: Do autor.

Nas Tabela 2, Tabela 3 e Tabela 4 apresentamos os valores dos índices de redes complexas calculados para as redes semântica das Figura 8, Figura 9 e Figura 10, respectivamente. Enfatizamos que os cálculos corresponderam para a rede completa; à sua maior componente (àquela que representa o sistema por corresponder a uma quantidade superior a 50% dos vértices mais uma unidade de vértice) e, a rede aleatória equivalente. Estas redes aleatórias foram construídas a partir da observância do mesmo número de vértices e grau médio das respectivas redes.

Para este primeiro período de análise (1972-1992) conforme os índices calculados para as redes (maior componente), percebemos que o número de vértices das redes semânticas variou entre $170 \leq n \leq 1564$. Para o número de arestas as redes apresentaram $626 \leq m \leq 31329$. As redes baseadas em títulos e palavras-chave corresponderam, respectivamente, as que apresentaram menores valores para este índice, ou seja, menos palavras e conexões entre elas. Fato este, de certa forma, já esperado ao compararmos estas redes com a baseadas em resumos. Os valores verificados para o grau médio estão

compreendidos entre $7,365 \leq \langle k \rangle \leq 40,063$; indicam que, em média, uma palavra conectou-se a outras 7 nas redes de títulos e palavras-chave e, em média, 40 na rede de palavras-chave. O intervalo verificado para a medida da densidade (Δ) correspondente foi: $0,012 \leq \Delta \leq 0,044$.

Para esta medida de análise a rede de resumos apresentou o valor intermediário, estando o menor valor atribuído a rede de títulos e o maior a de palavras-chave. Estes intervalos verificados, indicam que as redes semânticas das Figura 8, Figura 9 ou Figura 10, são esparsas. A densidade em uma dada rede semântica de títulos, indica a quantidade de ligações entre as palavras (NASCIMENTO; PEREIRA; MORET, 2018b), ou seja, uma “tendência dos títulos estarem ligados através de um número grande de palavras” (PEREIRA et al., 2011, p. 1196). Desta forma é uma medida que está relacionado ao nível de coesão dos vértices em uma rede semântica; para a rede baseada em palavras-chave e resumos, argumentamos que é uma tendência deles se conectarem por meio de um grande número de palavras (PEREIRA et al. 2011; NASCIMENTO et al. 2018a). Pelos valores encontrados, as densidades indicaram que as redes são esparsas.

Em relação aos caminhos mínimos médios (L) os valores verificados nas redes semânticas corresponderam a $2,335 \leq L \leq 3,277$. Eles sugerem que, para a rede de resumos, aproximadamente 2 arestas são necessárias para conectarem duas palavras nas redes. Para as redes de títulos e palavras-chave são necessárias 3 palavras, aproximadamente. O diâmetro (D) calculado para as redes semânticas correspondeu a: $4 \leq D \leq 7$. O diâmetro (D) calculado para as redes semânticas baseadas em resumos, obteve valor 4. Este resultado indica o fato que as palavras pertencentes às sentenças de um resumo ou de sentenças de resumos distintos estão conectadas entre si, por meio de 4 outras palavras, no máximo. Em relação a rede de títulos corresponde ao fato de que duas palavras pertencentes a dois diferentes títulos estão conectadas entre si por no máximo 7 outras palavras. Para as redes de palavras-chave o valor encontrado indica que as palavras pertencentes as palavras-chave de dissertações e teses distintas estão conectadas entre si, por meio de 6 outras palavras (NASCIMENTO et al. 2018a). Os valores encontrados em relação ao diâmetro para as redes indicam que as palavras nelas possuem grandes

distâncias geodésicas. Mais um indicativo do quão as redes semânticas são esparsas no período de 1972-1992.

Em relação ao Coeficiente de Aglomeração (C_{ws}) os valores encontrados foram $68\% \leq C_{ws} \leq 85,5\%$. O menor valor encontrado pertence a rede de palavras-chave e o maior a rede de títulos. A rede baseada em resumos apresentou valor da ordem de 75%. Os elevados valores encontrados nas redes direcionam ao fato de que há uma alta conectividade entre as palavras dos títulos, palavras-chave e resumos 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 (PEREIRA et al., 2011).

Conforme o método sugerido por Watts e Strogatz (1998) realizamos uma comparação entre as maiores componentes das redes semânticas de títulos, palavras-chave e de resumos com as suas respectivas redes aleatórias equivalentes (rede com o mesmo número de vértice e grau médio). Nas Tabelas 2, 3 e 4 apresentamos os valores das propriedades das redes semânticas estudadas e realizamos a comparação sugerida pelos supracitados autores. Percebemos que elas apresentaram valores similares para o caminho mínimo médio (L). O coeficiente de aglomeração médio (C_{ws}) de cada rede semântica apresentou valor elevado em comparação aos coeficientes de aglomeração das suas respectivas redes aleatórias equivalentes. Então, diante destes resultados, verificamos que a rede semântica complexa de títulos, palavras-chave e resumos, apresentam o fenômeno *Small-World*, isto é, há alta aglomeração local e curtos caminhos.

Devido aos valores do coeficiente de aglomeração percebemos que havia indicativo de haver tendências, preferências por certos vértices/palavras que constituem os títulos, palavras-chave e resumos - *hubs*. Para corroborar este pensamento, realizamos a mineração dos vértices com maiores graus (centralidade de grau) nas redes semânticas. Inspirados em Nascimento et al. (2019) utilizamos a consideração de que para ser um *hub* em uma rede, o vértice deve apresentar como grau k_i^{hub} valor maior ou igual a soma do grau médio com dobro do desvio padrão k_{lim} :

$$k_i^{hub} \geq k_{lim} \quad (14)$$

Em que $k_{lim} = \langle k \rangle + 2 \sigma$. Desta forma, com as métricas de Teoria e Ciências das Redes, propomos que a condição acima pode ser reescrita da seguinte forma:

$$k_{lim} = \langle k \rangle + 2 \sqrt{\frac{\sum (k - \langle k \rangle)^2}{n - 1}} \quad (15)$$

Em que: $\langle k \rangle$ é o grau médio da rede; k é o grau dos vértices e n é o número de vértices da rede.

Utilizando as Eq. 14 e Eq. 15 apresentamos nas tabelas abaixo os *hubs* e os vértices com número de grau (Centralidade de Grau) com valores próximos aos dos *hubs* presentes nas redes semânticas das Figuras 8, 9 e 10 e, a medida de centralidade de intermediação. Destacamos que para a rede de títulos $k_i^{hub} \geq k_{lim} = 26,3959$:

Tabela 5 – Centralidade de grau e de intermediação dos vértices pertencentes a rede baseada em Títulos.

| Centralidade de Grau dos vértices da Rede semântica de Títulos – 1972-1992 | | | | | | Centralidade de Intermediação vértices da Rede semântica de Títulos – 1972-1992 | | | | | | | | |
|--|------------------|-----|--------------|-----|--------------------|---|-----|--------------|------------------|----------|---------|-----------------|--------|-----|
| Vértices (V) | k | Hub | Vértices (V) | Hub | Vértices (V) | C.I. | Hub | Vértices (V) | C.I. | Hub | | | | |
| 1 | Física | 123 | Sim | 12 | Utilização | 30 | Sim | 1.. Física | 40077.6 | SIM | Relação | 5627.1 | Sim | |
| 2 | Estudo | 83 | Sim | 13 | Curso de Física | 28 | Sim | 2 | Estudo | 24523.7 | SIM | Aplicação | 5590.3 | Sim |
| 3 | Segundo Grau | 67 | Sim | 14 | Ciências | 27 | Sim | 3 | Ensino de Física | 17598.6 | SIM | Influência | 5411.5 | Não |
| 4 | Ensino de Física | 65 | Sim | 15 | Ensino de Ciências | 26 | Sim | 4 | análise | 12567.0 | SIM | Subsídio | 5170.2 | Não |
| 5 | Análise | 53 | S | 16 | Escola | 26 | Sim | 5 | Segundo Grau | 11037.6 | SIM | Aprendizagem | 5088.0 | Não |
| 6 | Aluno | 50 | Sim | 17 | Origem | 25 | Não | 6 | Aluno | 10336.29 | SIM | Curso de Física | 4638.7 | Não |
| 7 | Proposta | 41 | Sim | 18 | Aprendizagem | 24 | Não | 7 | Proposto (a) | 9590.60 | Sim | Ciências | 4123.2 | Sim |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|----|-----------|----|-----|----|------------|----|-----|----|--------------------|---------|-----|--------------|--------|-----|
| 8 | Curso | 38 | Sim | 19 | Brasil | 24 | Não | 8 | Ensino | 9559.66 | Não | Utilização | 3894.6 | Não |
| 9 | Ensino | 37 | Sim | 20 | Influência | 23 | Não | 9 | Curso | 8853.04 | Sim | Ciclo Básico | 3408.7 | Não |
| 10 | Aplicação | 35 | Sim | 21 | Avaliação | 22 | Não | 10 | Ensino de ciências | 7112.73 | Sim | Luz | 3351.9 | Não |
| 11 | Relação | 31 | Sim | 22 | Resultado | 22 | Não | 11 | Brasil | 6176.34 | Não | Planejamento | 3341.4 | Não |

Fonte: Do autor.

Em relação à rede de palavras-chave, ao utilizarmos as Eq. 14 e Eq. 15, encontramos que $k_i^{hub} \geq k_{lim} = 22,274$. Desta forma, na Tabela

Tabela 6 – Centralidade de grau e de intermediação dos vértices pertencentes a rede baseada em Palavras-chave.

| Centralidade de Grau dos vértices da Rede semântica de Palavras-chave – 1972-1992 | | | | | | | Centralidade de Intermediação vértices da Rede semântica de Palavras-chave – 1972-1992 | | | | | | | |
|---|------------------------|-----|-------------|------|------------------------------|------|--|-------------|------------------------|---------|-----|------------------------------|--------|-----|
| Vértices (V) | k | Hub | Vértice (V) | Hub. | Vértice (V) | C.I. | Hub | Vértice (V) | C.I. | Hub. | | | | |
| 1 | Piaget | 41 | SIM | 12 | Livro Didático | 20 | Não | 1 | Filosofia da Ciência | 2298.34 | SIM | Eletricidade | 733.08 | Não |
| 2 | Filosofia da Ciência | 40 | SIM | 13 | Laboratório-atividades | 20 | Não | 2 | Piaget | 2168.21 | SIM | Instituição de Ensino-perfil | 730.02 | Não |
| 3 | Concepções Espontâneas | 37 | SIM | 14 | Laboratório-análise | 19 | Não | 3 | Currículo | 2026.49 | SIM | Livro Didático | 701.82 | Não |
| 4 | Currículo | 30 | SIM | 15 | Ciências de Primeiro Grau | 18 | Não | 4 | Concepções Espontâneas | 1959.37 | SIM | Resolução de problemas | 623.88 | Não |
| 5 | Ensino de Ciências | 30 | SIM | 16 | Instituição de Ensino-perfil | 18 | Não | 5 | Ensino de Ciências | 1201.30 | SIM | História da Ciência | 519.67 | Sim |
| 6 | Evolução de Conceitos | 29 | SIM | 17 | Método Keller | 16 | Não | 6 | Projetos de Ensino | 1051.86 | SIM | Estrutura Conceitual | 419.10 | Não |
| 7 | Projetos de Ensino | 28 | SIM | 18 | Paulo Freire | 16 | Não | 7 | Laboratório-atividades | 1048.62 | Não | Epistemologia | 350.45 | Não |
| 8 | História da Ciência | 25 | SIM | 19 | Aprendizagem | 16 | NÃO | 8 | Mecânica | 1024.01 | Sim | Recursos Didáticos | 344.90 | Não |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|----|------------------------|----|-----|----|---------------------------|----|-----|----|------------------------|--------|-----|---------------|--------|-----|
| 9 | Ensino Individualizado | 24 | SIM | 20 | Estrutura Conceitual | 16 | NÃO | 9 | Ensino Individualizado | 765.30 | Sim | Método Keller | 317.50 | Não |
| 10 | Mecânica | 24 | SIM | 21 | Termodinâmica | 15 | NÃO | 10 | Evolução de Conceitos | 752.27 | Sim | Aprendizagem | 280.27 | Não |
| 11 | Eletricidade | 21 | Não | 22 | Desenvolvimento Cognitivo | 14 | NÃO | 11 | Laboratório-análise | 751.04 | Não | Ótica | 264.95 | Não |

Fonte: Do autor.

Para a rede de resumos, os valores obtidos utilizando as Eq. 14 e Eq. 15, foram: $k_i^{hub} \geq k_{lim} = 152,938$. Com base nesta informação, elencamos os primeiros 22 hubs, conforme Tabela 7:

Tabela 7– Centralidade de grau e de intermediação dos vértices pertencentes a rede baseada em resumos.

| Centralidade de Grau dos vértices da Rede semântica de Resumos – 1972-1992 | | | | | | Centralidade de Intermediação vértices da Rede semântica de Resumos – 1972-1992 | | | | | |
|--|------------|-----|-----|--------------|------|---|--------------|----------|----|------------|----------|
| Vértices (V) | k | Hub | k | Vértice | C.I. | Hub. | Vértices (V) | | | | |
| 1 | Física | 586 | 12. | Conhecimento | 328 | 1 | Física | 78613.60 | 12 | Concluir | 26572.59 |
| 2 | Aluno | 489 | 13 | Conteúdo | 310 | 2 | Aluno | 67132.47 | 13 | Científico | 26002.94 |
| 3 | Ensino | 447 | 14 | Utilizar | 295 | 3 | Conceito | 46904.41 | 14 | Analisar | 21772.16 |
| 4 | Ser | 438 | 15 | Não | 292 | 4 | Ciência | 45188.87 | 15 | Atividade | 19829.66 |
| 5 | Apresentar | 419 | 16 | Analisar | 286 | 5 | Ensino | 44956.34 | 16 | Concepção | 19228.30 |
| 6 | Professor | 406 | 17 | Estudo | 283 | 6 | Ser | 44389.39 | 17 | Partir | 18114.09 |
| 7 | Ciência | 399 | 18 | Aspecto | 277 | 7 | Apresentar | 38250.25 | 18 | Curso | 18100.96 |
| 8 | Conceito | 398 | 19 | Segundo Grau | 276 | 8 | Professor | 33099.13 | 19 | Aspecto | 17580.23 |
| 9 | Proposta | 350 | 20 | Concepção | 272 | 9 | Proposto | 30009.03 | 20 | Não | 17391.31 |

| | | | | | | | | | | | |
|----|------------|---------|----|---------------------|---------|--------|------------------|--------------|----|-----------------|--------------|
| 10 | Científico | 34 5 | 21 | Ensino de Física | 26 4 | 1 0 | Utilizar | 29978.5 3 | 21 | Estudo | 16918.5 2 |
| 11 | Concluir | 34 0 | 22 | Atividade | 26 0 | 1 1 | Conheciment o | 28300.5 0 | 22 | Segundo Grau | 16263.6 7 |

Fonte: Do autor.

As Tabela de 5 a 7 apresentam cada uma delas os vinte e dois vértices elencados com maiores graus na rede, ou seja, as palavras que são mais importantes, devido ao fato de realizarem um elevado número de conexões, com os vértices imediatamente conectados a eles (centralidade de grau) (PEREIRA et al., 2011). Constam também as informações se um determinado vértice é um *hub* ou não na rede. Para tal, o número de graus dele deve satisfazer as Eq. 9 e Eq. 10. Nas referidas tabelas também estão elencados os vértices com os maiores valores de Centralidade de Intermediação. Conforme Lopes et al. (2014) *Apud* Nascimento, Pereira e Moret (2018a, p. 58-3 – 58-4) “[...] para que o valor desta centralidade seja elevado, em um vértice, ele deve estar no caminho entre diversos outros nós”.

Assim, as informações retratam (Tabela 7), que para a rede semântica baseada em resumos no período de 1972-1992, o vértice mais importante foi “física” (k=586). Vértices “física”, “aluno” e “ensino” apresentaram os maiores valores de centralidade de grau, constituindo-se assim, as palavras mais conectadas nesta rede. Desta forma, há um indicativo nas redes semânticas da Figura 10, que as dissertações e teses objetivaram como foco principal as metodologias para o ensino de física dos discentes. Outros vértices que corroboram com este resultado são “analisar” (k=286), “proposta” (k=350) e “estudos” (k= 283). Seguindo este raciocínio, na Tabela 6, as palavras-chave relacionadas que correspondem a metodologias em Ensino de Física são “ensino individualizado” (k=24), “método Keller” (k = 16), Ensino de Ciências (k=30) e Ensino Individualizado (k=24). Já na rede semântica de títulos (Tabela 5) os vértices correspondentes são: Física (k=123), Ensino de Física (k=65), Proposta(k=41), Ensino (k=37), Aplicação (k= 35), Utilização (k=30), Ensino de Ciências (k=26). Sejam metodologias de ensino ou outras categorias investigadas no período analisado, há uma tendência de que, o nível de ensino mais objetivado nos trabalhos, correspondeu a educação básica. O primeiro

destaque nesse viés com os *hubs* “Escola” (k = 232) e (k=26), nas redes semântica baseada em resumos e de títulos, respectivamente. Outro fato a ser observado é o vértice “segundo-grau” como *hub* na rede baseada em resumos (k=276) e na rede baseada em palavras-chave (k=67), que aparecem como referência ao nível de ensino.

Especificando mais ainda, os *hubs* “ciências” (k=399) e (k=27) nas redes de resumos e títulos, respectivamente; “ensino de ciências” (k=30) e (k=26) nas redes de palavras-chave e títulos, respectivamente e o vértice “Ciências de Primeiro Grau” (k=18) além de também sugerirem o foco das pesquisas na educação básica, ratificam na própria educação básica que as dissertações e teses se concentraram em maior quantidade ao ensino fundamental (ou primeiro grau - nomenclatura utilizada nos períodos investigados).

Pelo exposto até aqui as análises das redes semânticas baseadas em resumos, palavras-chave e títulos sugerem que o foco principal das dissertações e teses correspondeu metodologias para o Ensino de Física; os trabalhos *Stricto Sensu* objetivaram a educação básica com o foco no ensino fundamental. Desta forma, conforme a Tabela 6, há indícios que as pesquisas em metodologias de ensino, cujo foco maior foi a educação básica, tenham ocorrido por atividade ligadas a laboratórios para o Ensino de Física no Ensino Fundamental. Pela observância dos vértices “Laboratório-atividades” (k=20) e “Laboratório-análise” (k=19) há indícios na rede semântica da Figura 9 de indicadores de pesquisas realizadas no Ensino de Física, por meio de atividades experimentais.

Outros fortes indícios encontramos nas redes semânticas relacionadas ao que chamaremos nesta pesquisa de Psicologia Cognitiva. Na rede semântica baseada em resumos da Figura 10 a presença dos *hubs* “conceito” (k=398), “concepção” (k=272); dos *hubs* presentes na rede baseada em Palavras-chave (Figura 9), “Piaget” (k=41), “concepções espontâneas” (k=37) “Evolução de Conceitos” (k=29) e nos vértices “Aprendizagem” (k=16), “Estrutura Conceitual” (k=16), “Desenvolvimento Cognitivo” (k=14); na rede baseada em títulos da Figura 8 os *hubs* “Aluno” (k=50), “Relação” (k=31) e o vértice “Aprendizagem” (k=17) destacam o quão presente nas redes estão *vértices e/ou hubs* relacionados à Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel e a Teoria de Piaget. Conforme descrito no parágrafo anterior nas redes semânticas de

resumos (Figura 10) e a de palavras-chave (Figura 9) apresentam *hubs* com um forte destaque à temática de concepções espontâneas: “concepção” e “concepções espontâneas”. De acordo com Moreira (2010) essas concepções correspondem a aprendizados incoerentes cientificamente em relação a um determinado fenômeno a ser estudado. Desta forma, percebemos então pelas redes estudadas que a temática de concepções espontâneas esteve associada, por vezes, à psicologia cognitiva da teoria de Jean Piaget.

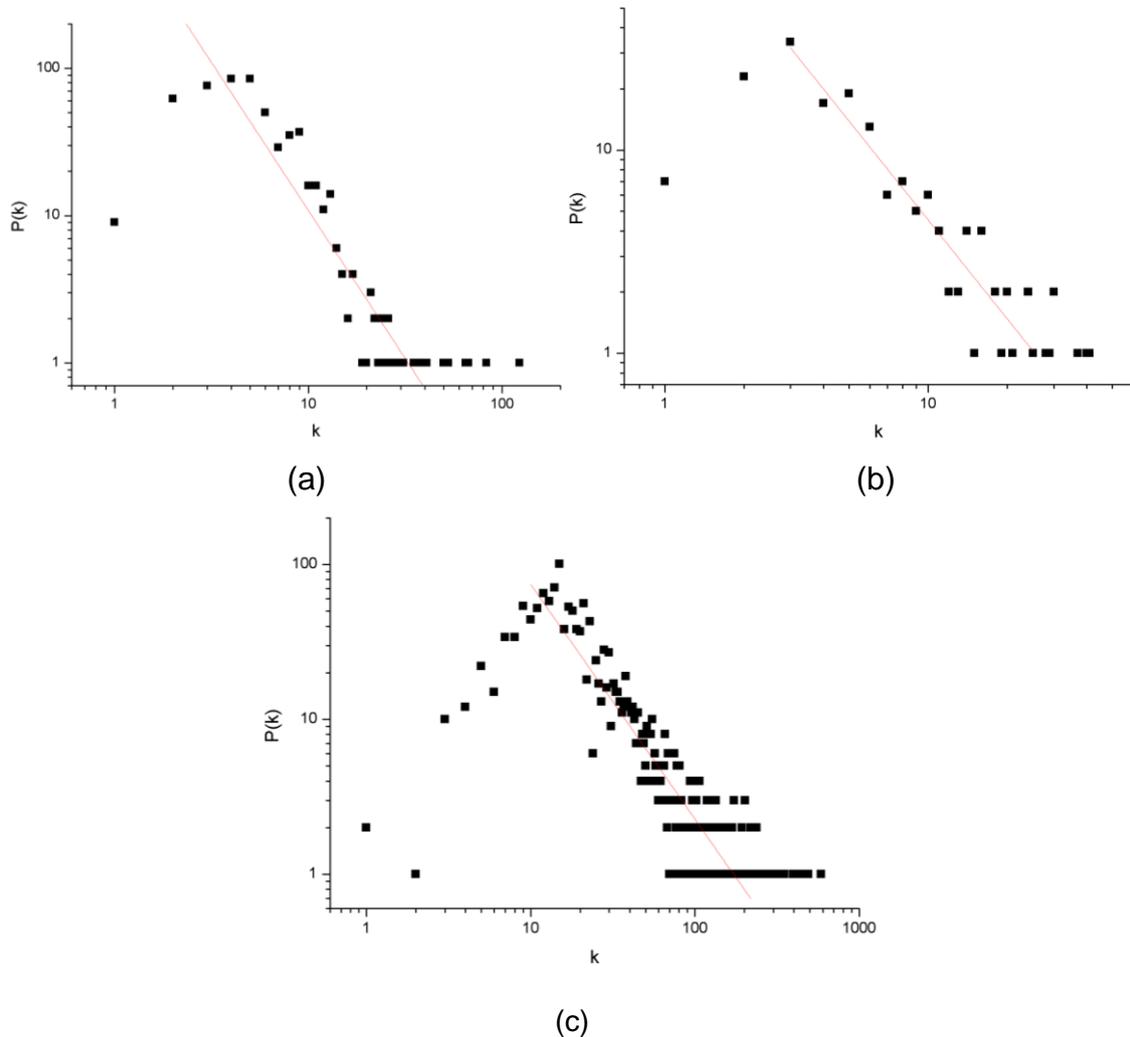
Por esta abrangência, assim como metodologia de ensino de física é o primeiro destaque das análises realizadas, percebemos então que a temática de concepções espontâneas corresponde ao segundo maior destaque do Ensino de Física no período total analisado, 1972-1992. Destacamos também que a temática de currículo se fez presente nas redes semânticas de palavras-chave (Figura 9) e resumos (Figura 10) com o hub “currículo” com $k=30$ e $k=154$ respectivamente. Assim como currículo esteve presente de forma discreta nas redes semânticas, a temática que se refere a formação do professor de física também. Os hubs “Magistério” ($k=276$), “formação” ($k=234$) e o vértice “licenciatura” ($k=124$) na rede de abstract sugerem este pensamento. De forma semelhante a lógica anterior os hubs “Curso” ($k=38$) e “Curso de Física” ($k=28$) na rede de título reforçam esta análise.

Diante das análises realizadas observando os valores das Centralidades de Grau e de Intermediação constatamos que houve uma atratividade maior na rede para determinados hubs. Conforme Barabási e Albert (1999) e Barabási (2009), percebemos então que há, para o período de 1972-1992, uma adesão preferencial por certos vértices nas redes de títulos, palavras-chave e resumos altamente conectados apontando a presença de *hubs*. Assim, estes vértices altamente conectados apontados nas Tabelas 5, 6 e 7 têm uma probabilidade maior em adquirir novas ligações do que aqueles que são menos conectados.

Conforme os passos científicos realizados em Pereira et al. (2011), Fadigas et al. (2009) e Nascimento et al. (2018a) e Nascimento, Pereira e Moret (2018b) realizamos a distribuição de graus das redes semânticas de títulos, palavras-chave e resumos. De acordo com o gráfico da Figura 9, a distribuição

fornece indícios de que as redes apresentam um comportamento de redes livres de escala na forma $P(k) \sim k^{-\gamma}$:

Figura 11 – Distribuição de graus da rede semântica (a) baseada em Títulos (com $\gamma = 2,007$ e o ajuste $R^2 = 0,8737$); (b) Palavras-chave ($\gamma = 1,62025$ e o ajuste $R^2 = 0,85641$); (c) Resumo ($\gamma = 1,5147$ e o ajuste $R^2 = 0,82346$).



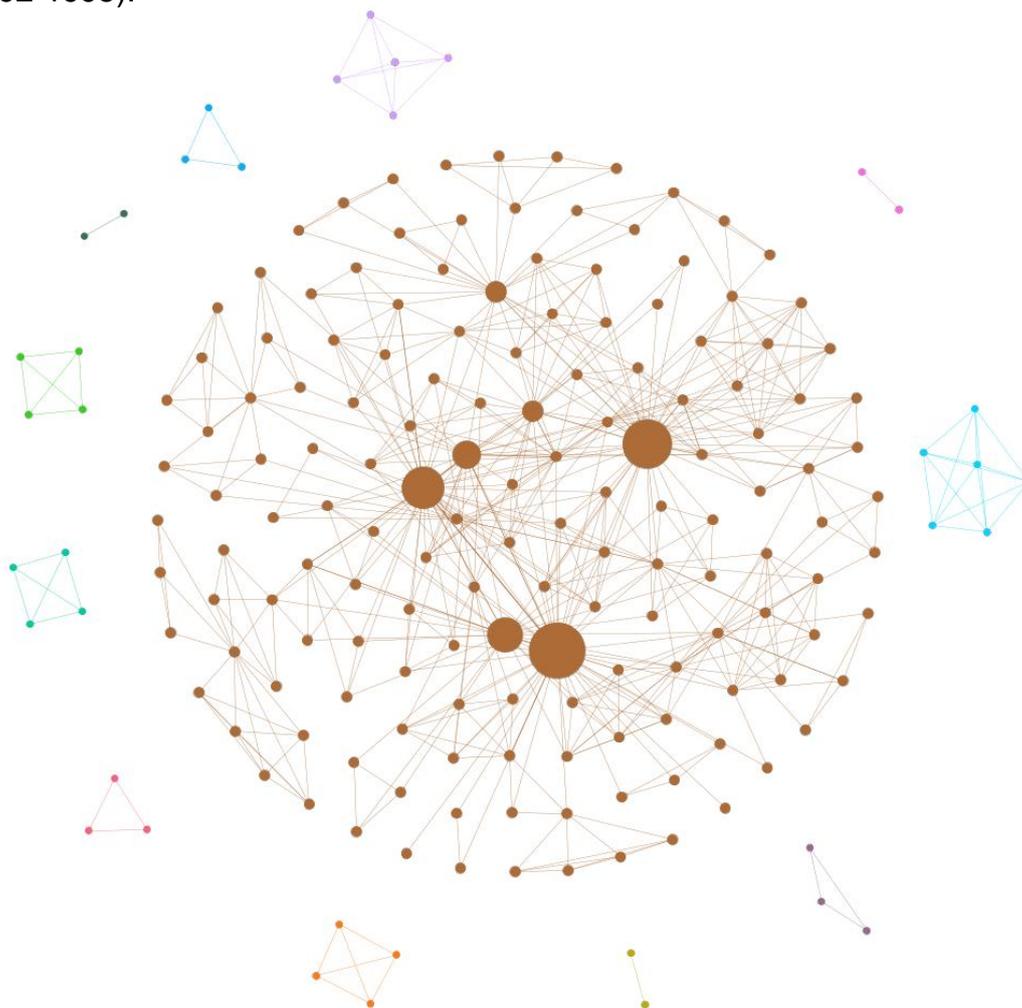
Fonte: (a) Do autor, (b) e (c) adaptado de Nascimento et al. (2019).

5.2 Resultados e discussão para o período de 1992-1995

Após os resultados encontrados para o Ensino de Física no período de 1972-1992 por meio das redes semânticas de cliques anteriores, passaremos agora para os resultados do período de 1992-1995. De forma semelhante à

sessão anterior, apresentaremos as redes construídas, as tabelas com seus índices e suas análises na sequência, as tabelas com hubs e centralidades e as análises. Desta forma, apresentamos as redes semânticas baseadas em títulos (Figura 12), palavras-chave (Figura 13) e resumos (Figura 14) das dissertações e teses em Ensino de Física defendidas no Brasil, para o referido período:

Figura 12 – Rede semântica baseada em Títulos do Ensino de Física Brasileiro (1992-1995).



Fonte: Do autor.

Para a visualização da rede semântica da Figura 12, bem como a distribuição dos vértices dela, utilizamos dois algoritmos: *Não sobrepor* e *Fruchterman Reingold* (software Gephi). O tamanho dos vértices mais centrais, que são *hubs*, está proporcional aos seus respectivos graus de conexão na rede. Os demais vértices apresentam tamanhos constantes e as cores na rede estão

dispostas com o intuito de diferenciar a maior componente (marrom) da rede das demais (cores diversas). Apresentamos na Tabela 8 os índices pertencentes às redes complexas verificados para a rede baseada em Títulos da Figura 12:

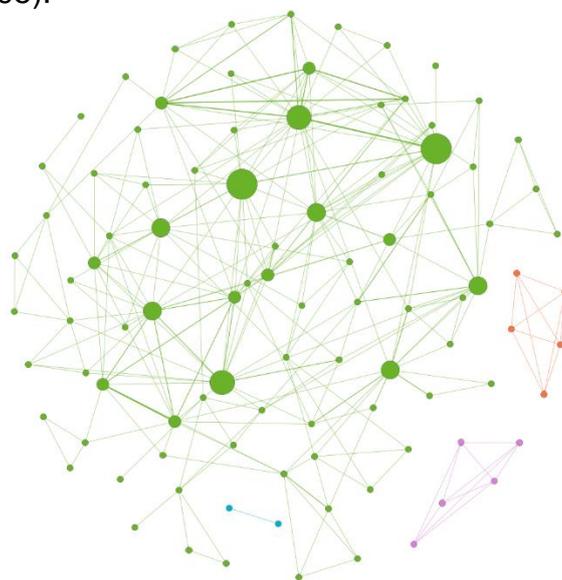
Tabela 8 – Índices de redes complexas verificados para a rede semântica baseada em Títulos de 1992-1995.

| Rede Semântica | n | m | Qt. Comp. | Maior comp. (%) | $\langle k \rangle$ | Δ | C_{WS} | L | D |
|----------------|-----|-----|-----------|-----------------|---------------------|----------|----------|-------|-----|
| Títulos | 189 | 593 | 12 | 79,89 | 6,275 | 0,033 | 0,905 | 3,023 | 6 |
| Maior comp. | 151 | 538 | 1 | 100% | 7,126 | 0,048 | 0,884 | 3,033 | 6 |
| Aleatória Eq. | 151 | 567 | 1 | 100 | 7,126 | 0,049 | 0,061 | 2,692 | 5 |

Fonte: Do autor.

De posse das informações da rede baseada em Títulos, e seguindo a lógica abordada na sessão 5.1, apresentamos na Figura 8, e apresentamos na Figura 13, a rede semântica baseadas em palavras-chave das dissertações e teses em Ensino de Física no período de 1972-1992:

Figura 13 – Rede semântica baseada em Palavras-chave do Ensino de Física Brasileiro (1992-1995).



Fonte: Adaptado de Nascimento et al. (2019).

De forma análoga à Figura 12, utilizamos os algoritmos *Não sobrepor* e *Fruchterman Reingold* pertencentes ao *software* Gephi. Com os hubs destacados mais ao centro das redes e com seus tamanhos proporcionais aos seus respectivos números de conexões. Como temos feito, mantivemos

constantemente os tamanhos dos demais vértices e diferenciamos as componentes da rede por cores. A maior está com a cor verde e as demais componentes com cores diversificadas. Dando continuidade, apresentamos na Tabela 9 os índices pertencentes às redes complexas verificados para a rede baseada em Palavras-chave da Figura 13:

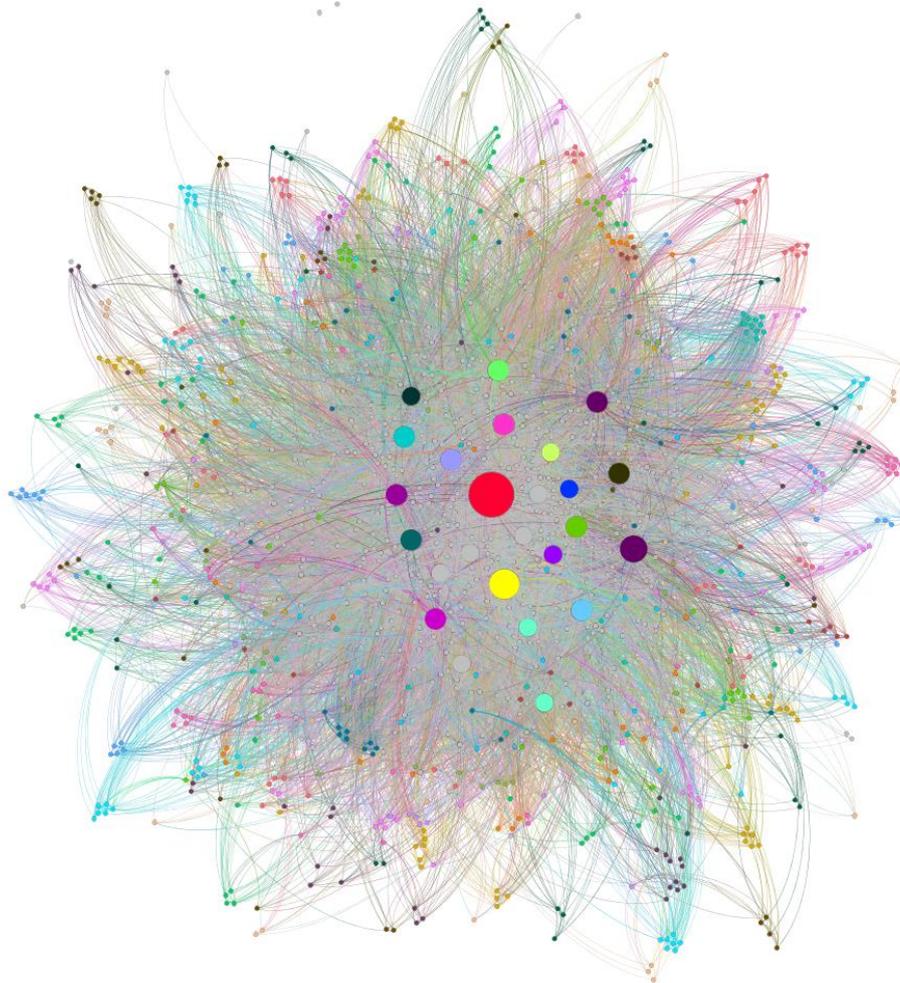
Tabela 9 – Índices de redes complexas verificados para a rede semântica baseada em palavras-chave do Ensino de Física (1992-1995).

| Rede Semântica | <i>n</i> | <i>m</i> | Qt. Comp. | Maior comp. (%) | $\langle k \rangle$ | Δ | C_{ws} | <i>L</i> | <i>D</i> |
|-----------------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------------|---------------------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------|-----------------|
| Palavras-chave | 97 | 276 | 4 | 87,63 | 5,691 | 0,059 | 0,743 | 3,036 | 6 |
| Maior comp. | 85 | 255 | 1 | 100% | 6 | 0,071 | 0,711 | 3,048 | 6 |
| Aleatória Eq. | 85 | 242 | 1 | 100 | 6 | 0,066 | 0,061 | 2,7 | 5 |

Fonte: Adaptado de Nascimento et al. (2019).

Com as informações da Tabela 8 e 9 e, das redes semânticas das Figuras 12 e 13, apresentaremos as informações pertencentes aos resumos, conforme a rede da Figura 14 e os valores dos índices de redes na sequência:

Figura 14 – Rede semântica baseada em resumos do Ensino de Física Brasileiro (1992-1995).



Fonte: Adaptado de Nascimento et al. (2019).

De acordo com informações pertencentes na rede semântica da Figura 14, na Tabela 10 estão dispostas as informações dos índices pertencentes às redes complexas para a rede semântica baseada em resumos da Figura 14:

Tabela 10 – Índices de redes complexas verificados para a rede semântica baseada em resumos de 1992-1995.

| Rede Semântica | n | m | Qt. Comp. | Maior comp. (%) | $\langle k \rangle$ | Δ | C_{ws} | L | D |
|----------------|------|-------|-----------|-----------------|---------------------|----------|----------|-------|-----|
| Resumos | 1223 | 24086 | 4 | 99,75 | 39,388 | 0,032 | 0,728 | 2,941 | 4 |
| Maior comp. | 1220 | 24086 | 1 | 100 | 39,48 | 0,032 | 0,728 | 2,291 | 4 |
| Aleatória Eq. | 1220 | 24269 | 1 | 100 | 39,48 | 0,032 | 0,032 | 2,231 | 3 |

Fonte: Adaptado de Nascimento et al. (2019).

Assim como realizamos a análise dos índices de redes complexas para o período de 1972-1992, de forma análoga realizamos a análise para o período de

1992-1995. Nas Tabela 8, Tabela 9 e Tabela 10 são apresentados os valores dos referidos índices calculados para as redes semântica das Figura 12, Figura 13 e Figura 14, respectivamente. Assim como na análise anterior, os cálculos foram realizados com base na maior componente da rede completa e, verificamos que o número de vértices nas redes semânticas variou entre $151 \leq n \leq 1220$. A variação para o número de arestas das redes correspondeu a $255 \leq m \leq 24086$. As redes baseadas em títulos e palavras-chave corresponderam, na presente época de análise, respectivamente, as que apresentaram menores valores para estes índices. Os valores verificados para o grau médio corresponderam a $7,126 \leq \langle k \rangle \leq 39,48$; indicando que, em média, uma palavra conectou-se a outras 7 nas redes de títulos e, em média, 39 na rede de resumos. O intervalo verificado para a medida da densidade (Δ) correspondente foi o de $0,032 \leq \Delta \leq 0,071$, sendo o menor valor verificado para a rede baseada em resumos e maior para a rede de palavras-chave. Pelos valores encontrados para esta medida, podemos afirmar que as redes são esparsas.

Em relação aos caminhos mínimos médios (**L**) os valores verificados nas redes semânticas corresponderam a $2,291 \leq L \leq 3,048$. Estes valores indicam que, para a rede de resumos, aproximadamente 2 arestas são necessárias para conectarem duas palavras nas redes. Para as redes de títulos e palavras-chave são necessárias 3 palavras, aproximadamente. O diâmetro (**D**) calculado para as redes semânticas correspondeu a: $4 \leq D \leq 6$. O diâmetro (**D**) calculado para as redes semânticas baseadas em resumos, obteve valor 4. Este resultado indica o fato que as palavras pertencentes às sentenças de um resumo ou de sentenças de resumos distintos estão conectadas entre si, por meio de 4 outras palavras, no máximo. Em relação a rede de títulos e palavras-chave corresponde ao fato de que duas palavras pertencentes a dois diferentes títulos ou dois conjuntos de palavras-chave estão conectadas entre si por no máximo 6 outras palavras. Estes valores encontrados correspondem também a indicativos do quão as redes semânticas são esparsas no período de 1992-1995.

Em relação ao Coeficiente de Aglomeração (**C_{ws}**) os valores encontrados foram $71\% \leq C_{ws} \leq 88\%$. Assim como no período de 1972-1992, o menor valor encontrado pertence a rede de palavras-chave e o maior a rede de títulos. A rede baseada em resumos apresentou valor da ordem de 73%. Os elevados valores

encontrados nas redes direcionam ao fato de que há uma alta conectividade entre as palavras dos respectivos títulos, palavras-chave e resumos dos trabalhos das dissertações e teses em Ensino de Física.

Conforme a aplicação do método proposto por Watts e Strogatz (1998) realizamos uma comparação entre as maiores componentes das redes semânticas e suas redes aleatórias equivalentes. Nas Tabelas 8, 9 e 10 apresentamos os valores das propriedades das redes semânticas estudadas e realizamos a comparação conforme o método proposto. Há similaridades entre os caminhos mínimos médios (L) e o coeficiente de aglomeração médio (C_{ws}) de cada rede semântica apresentou valor elevado em comparação aos coeficientes de aglomeração das suas respectivas redes aleatórias equivalentes. Então, diante destes resultados, verificamos que a rede semântica complexa de títulos, palavras-chave e resumos, apresentam o fenômeno *Small-World*, isto é, há alta aglomeração local e curtos caminhos. Para corroborar este pensamento, realizamos a mineração dos vértices com maiores centralidade de grau nas redes semânticas e, utilizamos as Eq. 14 e Eq. 15 para caracterizarmos os hubs das redes. Observando as equações anteriores, para a rede de títulos obtivemos $k_i^{hub} \geq k_{lim} = 19,274$. Conforme Tabela 11, apresentaremos também a centralidade de intermediação dos vértices elencados:

Tabela 11 – Centralidades de grau e intermediação dos vértices da rede semântica baseada em títulos 1992-1995.

| Centralidade de Grau dos vértices da Rede semântica de Títulos (1992-1995) | | | | | | | | Centralidade de Intermediação vértices da Rede semântica de Títulos (1992-1995) | | | | | | |
|--|------------------|-----|-----|----|------------------------|----|------|---|------------------|---------|-----|--------|-----------|--------|
| V | k | Hub | V | k | Hub. | V | C.I. | Hub. | V | C.I. | | | | |
| 1 | Ensino de Física | 44 | SIM | 12 | Proposto | 15 | SIM | 1 | Ensino de Física | 3423.77 | NÃO | 1 2 | Dialógico | 584.0 |
| 2 | Conceito | 43 | SIM | 13 | Produção | 15 | SIM | 2 | Conceito | 2750.90 | NÃO | 1 3 | Resgate | 511.14 |
| 3 | Segundo grau | 35 | SIM | 14 | Ensino de Ciências | 12 | SIM | 3 | Segundo grau | 2602.82 | NÃO | 1 4 | Aluno | 510.28 |
| 4 | Física | 26 | SIM | 15 | Representações mentais | 12 | SIM | 4 | Ensino | 2039.35 | SIM | 1 5 | Análise | 487.50 |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|----|--------------|----|-----|----|--------------|----|-----|----|--------------------|---------|-----|----|------------------------|--------|
| 5 | Estudo | 25 | SIM | 16 | História | 12 | SIM | 5 | Física | 1725.48 | NÃO | 16 | Física Moderna | 441.0 |
| 6 | Análise | 22 | SIM | 17 | Conceituação | 12 | NÃO | 6 | Elemento | 1656.0 | NÃO | 17 | Proposição | 344.10 |
| 7 | Ensino | 22 | SIM | 18 | Curso | 12 | SIM | 7 | Estudo | 1433.17 | NÃO | 18 | Representações mentais | 272.67 |
| 8 | Aluno | 19 | NÃO | 19 | Conhecimento | 11 | NÃO | 8 | Ensino de Ciências | 1151.0 | NÃO | 19 | Mudança | 250.24 |
| 9 | Proposição | 17 | NÃO | 20 | Calor | 11 | NÃO | 9 | Sala de Aula | 672.16 | NÃO | 20 | Produção | 195.36 |
| 10 | Sala de aula | 16 | NÃO | 21 | Temperatura | 11 | NÃO | 10 | Proposto | 670.50 | NÃO | 21 | Conhecimento | 134.43 |
| 11 | Resgate | 16 | NÃO | 22 | Mudança | 10 | NÃO | 11 | Conceituação | 652.98 | NÃO | 22 | Curso | 111.45 |

Fonte: Do autor.

Utilizando as Eq. 14 e Eq. 15 para encontrarmos os valores para os *hubs* das redes de palavras-chave, encontramos que: $k_i^{hub} \geq k_{lim} = 14,8152$. Assim, apresentamos na Tabela 12 os valores encontrados para as centralidade de grau e intermediação dos 22 vértices elencados:

Tabela 12 – Centralidades de grau e intermediação dos vértices da rede semântica baseada em palavras-chave 1992-1995.

| Centralidade de Grau dos vértices da Rede semântica Palavras-chave (1992-1995) | | | | | | | Centralidade de Intermediação vértices da Rede semântica de Palavras-chave (1992-1995) | | | | | | |
|--|------------------------|-----|-----|----|-----------------------|----|--|-----|--------------------|--------|-----------------------|--------|----|
| V | k | Hub | V | k | Hub | V | C.I. | Hub | V | C.I. | | | |
| 1 | Concepções Espontâneas | 18 | SIM | 12 | Calor | 12 | NÃO | 1 | Ensino de Ciências | 574.39 | Professor-Perfil | 243.0 | 12 |
| 2 | Mecânica | 18 | SIM | 13 | Educação Dialógica | 11 | NÃO | 2 | Livro Didático | 540.88 | História da Ciência | 220.00 | 11 |
| 3 | Mudança Conceitual | 17 | SIM | 14 | Gravitação | 11 | NÃO | 3 | Currículo | 450.56 | Ensino construtivista | 203.96 | 11 |
| 4 | Livro Didático | 17 | SIM | 15 | Evolução de Conceitos | 11 | NÃO | 4 | Projetos de Ensino | 428.39 | Mecânica quântica | 200.47 | 11 |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|----|---------------------------|----|-----|----|------------------------|---|-----|----|--------------------------------|--------|--|---------------------------|--------|---|
| 5 | Aprendizagem de Conceitos | 16 | SIM | 16 | Mecânica Quântica | 9 | NÃO | 5 | Concepções Espontâneas | 379.22 | | Paulo Freire | 178.46 | 9 |
| 6 | Filosofia da Ciência | 16 | SIM | 17 | Paulo Freire | 9 | NÃO | 6 | Filosofia da Ciência | 354.74 | | Ciências de Primeiro Grau | 164.0 | 9 |
| 7 | Currículo | 14 | NÃO | 18 | Luz | 9 | NÃO | 7 | Mudança conceitual | 348.69 | | Museu de Ciências | 159.32 | 9 |
| 8 | História da Ciência | 14 | NÃO | 19 | Museu de Ciências | 8 | NÃO | 8 | Mecânica | 324.27 | | Eletromagnetismo | 158.47 | 8 |
| 9 | Ensino de Ciências | 14 | NÃO | 20 | Temperatura | 8 | NÃO | 9 | Aprendizagem de Conceitos | 323.62 | | Gravitação | 157.01 | 8 |
| 10 | Historia da Ciência | 12 | NÃO | 21 | Laboratório Atividades | 8 | NÃO | 10 | Educação dialógica | 285.09 | | Exposição científica | 131.29 | 8 |
| 11 | Ensino Construtivista | 12 | NÃO | 22 | Projetos de Ensino | 7 | NÃO | 11 | Aperfeiçoamento de professores | 245.0 | | Pesquisa e Ensino | 127.57 | 7 |

Fonte: Do autor.

Ao utilizamos as equações anteriores para encontramos os valores para os Hubs da rede semântica baseada em resumos encontramos $k_i^{hub} \geq k_{lim} = 140,439$. Desta forma, elencamos os primeiros 22 hubs da rede, conforme

Tabela 13:

Tabela 13 – Centralidades de grau e intermediação dos vértices da rede semântica baseada em resumos 1992-1995.

| Centralidade de Grau dos vértices da Rede semântica de Resumos (1992-1995) | | | | | Centralidade de Intermediação dos vértices da Rede semântica de Resumos (1992-1995) | | | | | | |
|--|--------------|-----|----|--------------|---|---|--------------|----------|----|-------------|----------|
| V | k | V | k | V | C.I. | V | C.I. | | | | |
| 1 | Aluno | 431 | 12 | Através | 262 | 1 | Física | 42587.51 | 12 | Através | 14894.11 |
| 2 | Física | 415 | 13 | Ciência | 262 | 2 | Aluno | 40188.14 | 13 | Relação | 14701.05 |
| 3 | Ensino | 407 | 14 | Partir | 248 | 3 | Ensino | 32515.45 | 14 | Partir | 13398.33 |
| 4 | Concepção | 365 | 15 | Concluir | 245 | 4 | Concepção | 29308.52 | 15 | Ideia | 12801.34 |
| 5 | Conhecimento | 358 | 16 | Escola | 232 | 5 | Conhecimento | 28334.86 | 16 | Escola | 12724.68 |
| 6 | Professor | 349 | 17 | Não | 231 | 6 | Professor | 25561.82 | 17 | Concluir | 12484.19 |
| 7 | Ser | 328 | 18 | Aprendizagem | 226 | 7 | Ser | 25109.27 | 18 | Processo | 11815.95 |
| 8 | Analisar | 292 | 19 | Mudança | 226 | 8 | Ciência | 19187.61 | 19 | Identificar | 10334.05 |

| | | | | | | | | | | | |
|----|------------|-----|----|-------------|-----|----|------------|----------|----|------------------|----------|
| 9 | Conceito | 281 | 20 | Científico | 225 | 9 | Conceito | 16893.06 | 20 | Científico | 10180.97 |
| 10 | Apresentar | 272 | 21 | Processo | 224 | 10 | Analisar | 16689.32 | 21 | Ensino de Física | 9965.18 |
| 11 | Relação | 272 | 22 | Identificar | 221 | 11 | Apresentar | 15875.64 | 22 | Não | 9704.97 |

Fonte: Do autor.

As Tabela 11, Tabela 12 e Tabela 13 apresentam, cada uma, vinte e dois vértices elencados com maiores valores de centralidade de grau e de intermediação. Em termos de resultados pela observância dos vértices analisados, na Tabela 11, os vértices mais importantes corresponderam: “Ensino de Física” (k=44), “Física” (k=26), “Ensino” (k=22) e “Aluno” (k=19). De forma semelhante ao período de 1972-1992, há fortes indícios de que tenha sido priorizado no presente período de análise, dissertações e teses cujas pesquisas, em sua maioria, corresponderam a metodologias para o Ensino de Física. Os vértices “Aluno” (k=431), “Física” (k=415) e “Ensino” (k=407) também corroboram estes resultados na Tabela 13 (rede semântica baseada em resumos). Na rede de palavras-chave, cujos vértices estão elencados na Tabela 12, temos o vértice “Projetos de Ensino” (k=7; C.I. = 428.39) e “Pesquisa e Ensino” (C.I. = 127.57), também indicam a presença do referido tema.

Pelas análises realizadas na rede semântica da Figura 12 (conforme Tabela 11) em observância também aos vértices “Evolução de Conceitos”, “Aprendizagem de Conceitos” e “Ensino Construtivista”, por ambas as centralidades, corroboram com a marcante presença da temática de Psicologia Cognitiva e concepções espontâneas no período de 1992-1995. Os vértices “Representações mentais”, “Conceituação”, “Concepção”, “Aprendizagem”, “Conceito”, “Processo”, “Relação”, “Identificar” presentes na rede baseada em resumos, conforme os dados da Tabela 13, ratificam a presença das supracitadas temáticas. Na Tabela 12 os vértices mais importantes por ambas as medidas de centralidade corresponderam: “Concepções Espontâneas”, “Mecânica” e “Mudança Conceitual”. Com exceção aos vértices “Mecânica” estes resultados também vislumbram a temática de Psicologia Cognitiva e concepções espontâneas. Pelas análises das medidas de centralidade de intermediação os vértices relacionados ao tema de concepções espontâneas estão correlacionados com a temática de psicologia cognitiva.

Em termos do nível de ensino verificados, a educação básica continuou apresentando forte presença e preferência, superando o ensino superior nas redes semânticas de títulos, palavras-chave e resumos. A rede semântica baseada em títulos nos apresenta esta sugestão conforme os vértices “Segundo grau”, “Ensino de Ciências”, “Escola” e “Sala de Aula” presentes na Tabela 11. Vértices que apresentam importâncias pelas conexões com seus vizinhos e pela intermediação entre outros vértices, como “História” e “Curso”, estão relacionados às pesquisas voltadas para o ensino superior, nas redes semânticas estudadas. O vértice “Dialogico” (Tabela 11) apresenta na rede semântica da Figura 8, centralidade de intermediação em temáticas de pesquisas relacionadas a Paulo Freire com o ensino fundamental, médio e superior. Fato este que se repete com o vértice “Educação dialógica” na rede semântica baseada em palavras-chave (Figura 13 e Tabela 12).

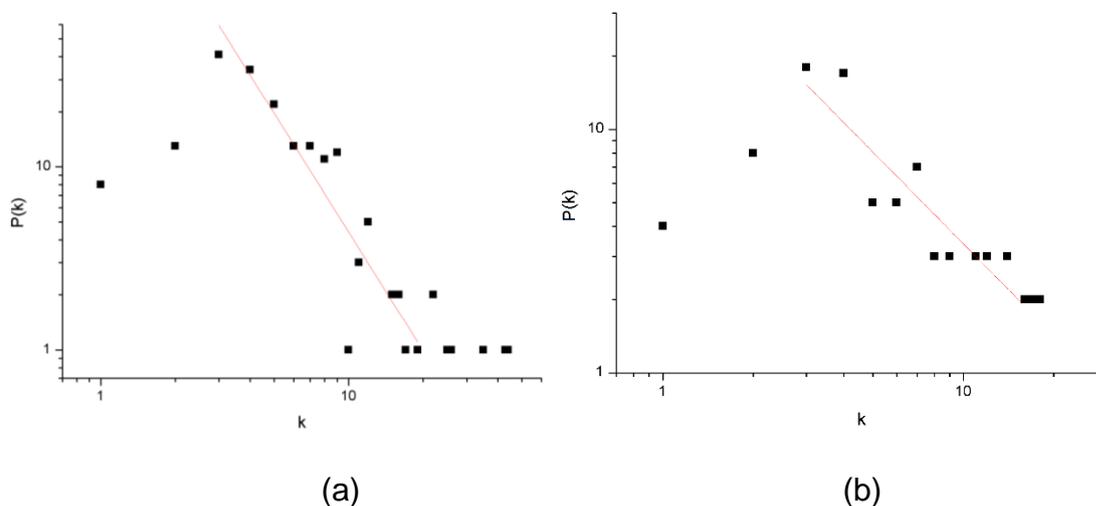
Na Tabela 12 os vértices “Ensino de Ciências”, “Ciências de Primeiro Grau” e “Museu de Ciências” corresponderam em ambas as medidas de centralidade, para o Ensino de Física na educação básica, especificamente o ensino fundamental. Na rede baseada em palavras-chave os vértices que ratificam tais pesquisas, por ambas as medidas de centralidade são “Ciência” e “Escola”. Semelhante ao que ocorreu no período anterior, pesquisas relacionadas a laboratórios de ciências estão fortemente correlacionadas nas redes semânticas com o ensino fundamental.

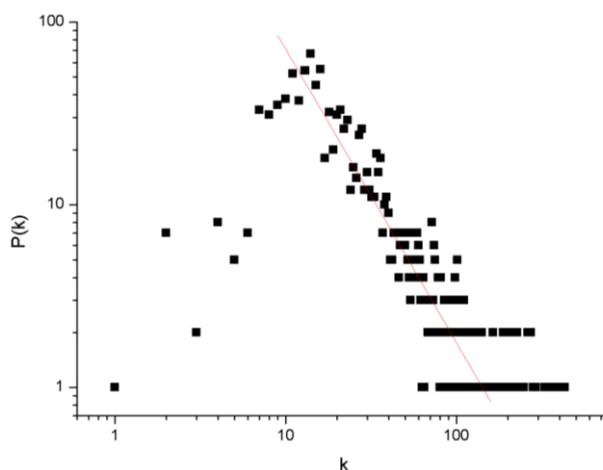
Os vértices “História” (Tabela 11), “História da Ciência” e “Filosofia da Ciência” (Tabela 12) indicam a presença da temática de História e Filosofia da Ciência no presente período de análise. No período de 1992-1995 as redes semânticas apresentaram em destaque vértices que correspondem a assuntos pertencentes ao Ensino de Física, são eles: “calor” (Figuras 12 e 13), temperatura (Figura 12), física moderna (Figura 12), mecânica (Figura 13 e 14), gravitação (Figura 13), mecânica quântica (Figura 14), luz (Figura 13 e 14), quântica (Figura 14) e eletricidade (Figura 14). É válido ressaltar que apenas o vértice “mecânica” pertencente à rede semântica baseada em palavras-chave possui centralidade de grau correspondente a um *hub*. Os vértices “Calor” e “Temperatura” estão presentes nas redes, correlacionados com as temáticas de psicologia cognitiva e concepções alternativas.

O vértice “Física Moderna”, “Quântica” e Mecânica Quântica” apresentam nas redes semânticas correlação com a educação básica, especificamente ao nível médio e a temática de Currículo, mesmo esta última não tendo sido de forma expressiva no período analisado. O vértice “Gravitação” apresentou correlações nas redes com o vértice “Mecânica” e com as temáticas de História e Filosofia da Ciência e Educação Dialógica (Paulo Freire). O vértice “Luz” apresentou correlação com as temáticas de história e filosofia da ciência, psicologia cognitiva e educação dialógica (Paulo Freire). O vértice “eletricidade” está correlacionado com as temáticas de concepções espontâneas, história e filosofia da ciência e educação dialógica (Paulo Freire).

Na Figura 15 apresentamos os ajustes lineares para as redes semânticas de Títulos (Figura 12), Palavras-chave (Figura 13) e Resumos (Figura 14). As distribuições realizadas forneceram indícios de que as redes apresentam um comportamento de redes livres de escala na forma $P(k) \sim k^{-\gamma}$:

Figura 15 – Distribuição de graus da rede semântica: (a) baseada em Títulos (com $\gamma = 2,1566$ e o ajuste $R^2 = 0,82448$); (b) Palavras-chave ($\gamma = 1,25214$ e o ajuste $R^2 = 0,8045$) (c) Resumos ($\gamma = 1,60704$ e o ajuste $R^2 = 0,86592$).





(c)

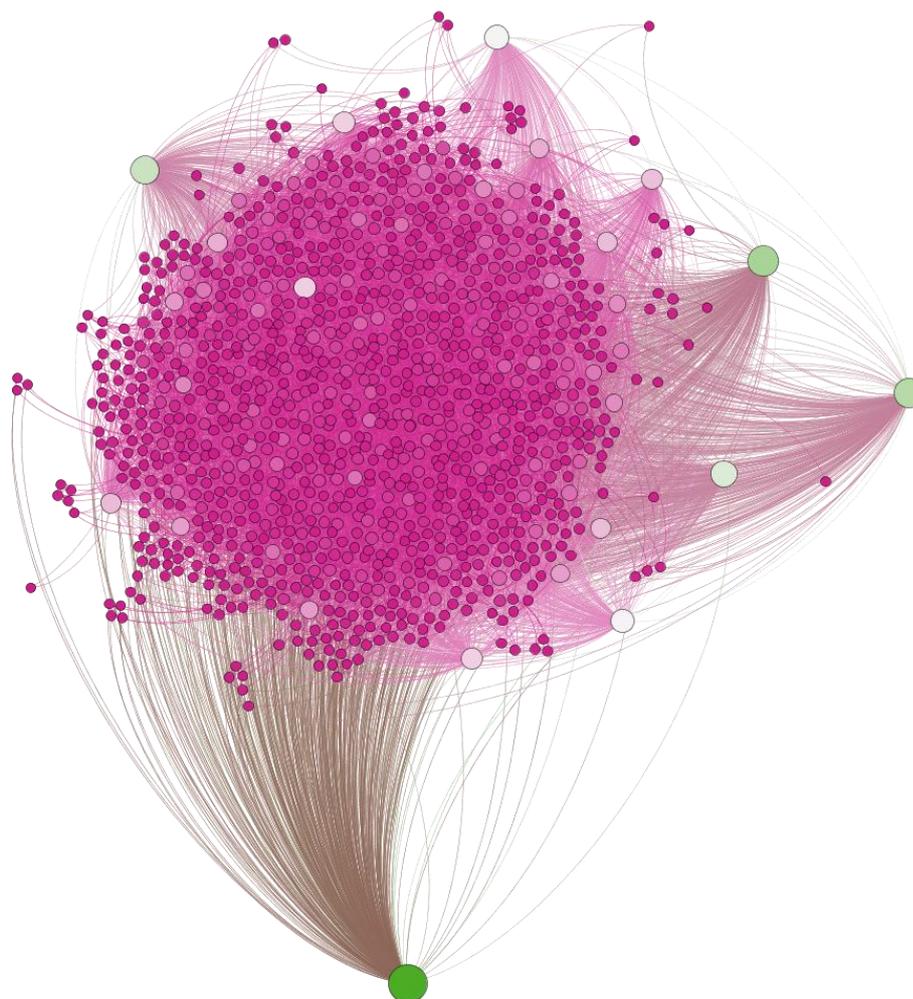
Fonte: (a) Do autor, (b) e (c) adaptados de Nascimento et al. (2019).

As distribuições de graus realizadas e apresentadas na Figura 15 ratificam que houve uma adesão preferencial por poucos vértices (palavras) que aglomeram muitos outros, nas redes semânticas baseadas em títulos, palavras-chave e resumos, assim como para o período de 1972-1992. Este fato pode ser percebido pelas informações apresentadas dos hubs nas Tabelas 11, 12 e 13.

5.3 Resultados e discussão para o período de 1996-2006

Após termos iniciados nossas análises conforme os períodos das bases de dados 1972-1992 e 1992-1995, iremos agora para a base de dados mais densa em termos de informações: a de 1996 até 2006. Diferentemente dos primeiros períodos analisados, o atual não apresentou o conjunto dos resumos pertencentes às dissertações e teses. Desta forma, apresentamos a rede semântica baseada em títulos (Figura 16) e palavras-chave (Figura 17) das dissertações e teses em Ensino de Física no Brasil, para o referido período:

Figura 16 – Rede semântica baseada em títulos do Ensino de Física Brasileiro (1996-2006).



Fonte: Nascimento et al. (2018c)

Para a distribuição dos vértices da rede semântica baseada em títulos da Figura 16 utilizamos os algoritmos o *Yifan Hu proportional* e o *Force Atlas2* (*software* Gephi) e destacamos alguns dos seus *hubs* ao longo de sua periferia. Os hubs apresentam cores verdes e quanto menor o número de conexões realizadas, mais suaves são os tons de verde. Mais ao centro da rede os vértices apresentam tamanhos proporcionais aos seus graus. Com base na Figura 16, apresentamos os índices de redes complexas devidamente calculados conforme Tabela 14 a seguir:

Tabela 14 – Índices de redes complexas verificados para a rede semântica baseada em título no período de 1996-2006.

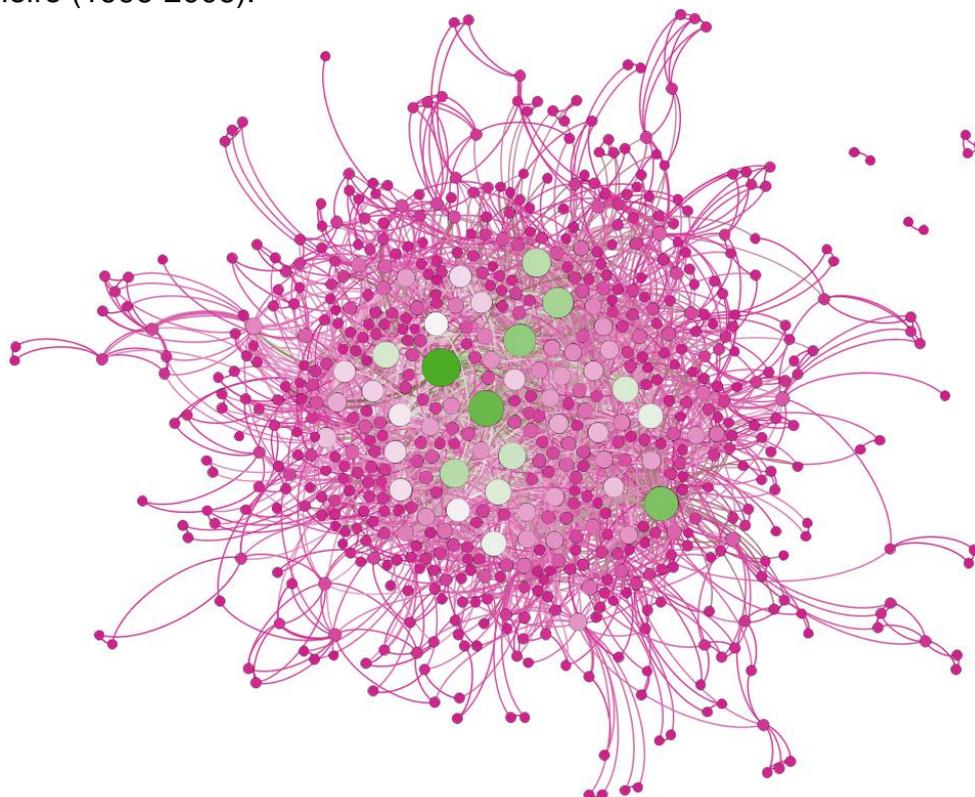
| Rede Semântica | n | m | Qt. Comp. | Maior comp. (%) | $\langle k \rangle$ | Δ | C_{ws} | L | D |
|----------------|-----|-----|-----------|-----------------|---------------------|----------|----------|-----|-----|
|----------------|-----|-----|-----------|-----------------|---------------------|----------|----------|-----|-----|

| | | | | | | | | | |
|---------------|------|-------|---|-------|--------|-------|--------|-------|---|
| Títulos | 1130 | 11130 | 2 | 99,82 | 19,69 | 0,017 | 0,762 | 2,48 | 4 |
| Maior comp. | 1128 | 11129 | 1 | 100 | 19,732 | 0,018 | 0,762 | 2,48 | 4 |
| Aleatória Eq. | 1128 | 11012 | 1 | 100 | 19,732 | 0,017 | 0,0175 | 2,688 | 4 |

Fonte: Nascimento et al. (2018c)

Seguindo a mesma lógica das sessões anteriores para as análises, apresentamos na Figura 17, a rede semântica baseada em palavras-chave das dissertações e teses em Ensino de Física no período de 1996-2006:

Figura 17 – Rede semântica baseada em palavras-chave do Ensino de Física Brasileiro (1996-2006).



Fonte: Adaptado de Nascimento et al. (2018a).

O algoritmo utilizado para a visualização e distribuição dos vértices que formam a rede na Figura 17, correspondeu ao *Fruchterman Reingold*, pertencente ao *software* Gephi. O referido algoritmo permite que os vértices com maiores números de conexões com outros vértices (centralidade de grau), situem-se mais ao centro na rede. O tamanho de cada vértice está proporcional ao seu respectivo grau de conexão na rede. Os vértices com as tonalidades da cor verde são os que apresentam os maiores graus de conexão, quanto mais

forte a cor, maior é o seu grau. Na Tabela 14, apresentamos as propriedades obtidas em relação a rede semântica das palavras-chave (Figura 17), relativo aos índices de redes complexas:

Tabela 14 – Índices de redes complexas verificados para a rede semântica baseada em palavras-chave no período de 1996-2006. Fonte:

| Rede Semântica | <i>n</i> | <i>m</i> | Qt. Comp. | Maior comp. (%) | $\langle k \rangle$ | Δ | C_{WS} | <i>L</i> | <i>D</i> |
|-----------------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------------|---------------------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------|-----------------|
| Palavras-chave | 634 | 2708 | 4 | 98,9 | 8,622 | 0,013 | 0,7334 | 3,061 | 6 |
| Maior comp. | 627 | 2703 | 1 | 100% | 8,543 | 0,013 | 0,734 | 3,061 | 6 |
| Aleatória Eq. | 627 | 2703 | 1 | 100% | 8,543 | 0.014 | 0.013 | 3,193 | 6 |

Fonte: Adaptado de Nascimento et al. (2018a).

Assim como nas análises anteriores, apresentaremos aqui os resultados para os cálculos realizados com base na componente gigante da rede completa de títulos e palavras-chave, conforme Tabela 13 e Tabela 14. Assim, verificamos que o número de vértices nas redes semântica de títulos correspondeu a 1128 e, 627 na de palavras-chave. Em relação as arestas foram 11129 realizadas na rede de títulos e 2703 na de palavras-chave. Os valores encontrados para o grau médio corresponderam a 19,732 e 8,543, respectivamente, nas redes de títulos e palavras-chave. indicando que, aproximadamente, uma palavra conectou-se a 18 outras nas redes de títulos e, em média, a outras 8,5 palavras na rede palavras-chave. Para a medida de densidade o valor encontrado para a rede de títulos foi 0,018 e de 0,013 para a rede de palavras-chave. De forma análoga as análises anteriores, os valores encontrados em relação a densidade, indicam que as redes são esparsas.

Em relação aos caminhos mínimos médios (*L*) os valores verificados nas redes semânticas corresponderam a 2,48 para a rede títulos e 3,061 para a rede de palavras-chave. Estes valores encontrados indicam que, para a rede de títulos, aproximadamente 2 arestas são necessárias para conectarem duas palavras nas redes. Para as redes de palavras-chave são necessárias 3 palavras, aproximadamente. O diâmetro (*D*) calculado para as redes semânticas

correspondeu a 4 para a rede de títulos e 6 para a baseada em palavras-chave. Estes resultados indicam o fato de que duas palavras pertencentes a dois diferentes títulos estão conectadas entre si por no máximo 4 outras. Já para a rede de palavras-chave o valor corresponde a 6 outras palavras-chave.

Em relação ao Coeficiente de Aglomeração (C_{ws}) os valores encontrados foram 76%, aproximadamente para a rede de títulos e de 73% para a rede de palavras-chave. De forma semelhante as análises anteriores, pela observância dos elevados valores verificados para o coeficiente de aglomeração indicam uma alta conectividade entre as palavras dos respectivos títulos e palavras-chave das dissertações e teses em Ensino de Física. O valor do coeficiente de aglomeração indica também uma tendência na rede haver preferências por certas palavras, que constituem os títulos e as palavras-chave.

Assim, apresentamos na Tabela 15 e Tabela 16, vinte e duas palavras que apresentam nas redes de títulos e palavras-chave vértices com os maiores valores de centralidade de grau e centralidade de intermediação. Destacamos que para a rede semântica baseada em títulos da Figura 16, o valor do k_i^{hub} , conforme as Eq. 14 e Eq. 15, correspondeu a $k_i^{hub} \geq 86,6964$ e para a rede de palavras-chave da Figura 14, $k_i^{hub} \geq 33,6749$:

Tabela 15 – Centralidades de grau e intermediação dos vértices da rede semântica baseada em Títulos 1996-2006.

| Centralidade de Grau dos vértices da Rede semântica de Títulos (1996-2006) | | | | | Centralidade de Intermediação dos vértices da Rede semântica de Títulos (1996-2006) | | | | | | |
|--|--------------|-----|----|--------------|---|---|------------------|-----------|----|--------------------|----------|
| V | | k | V | | k | V | | C.I | V | | C.I |
| 1 | Física | 471 | 12 | Uso | 169 | 1 | Física | 116643.77 | 12 | Ensino de Ciências | 16781.03 |
| 2 | Ensino médio | 341 | 13 | Aprendizagem | 160 | 2 | Ensino médio | 62213.187 | 13 | Análise | 16600.87 |
| 3 | Ciência | 321 | 14 | Análise | 156 | 3 | Ensino de física | 59278.036 | 14 | Uso | 15590.96 |

| | | | | | | | | | | | |
|----|------------------|-----|----|--------------------|-----|----|-----------|----------|----|--------------------|----------|
| 4 | Ensino de física | 293 | 15 | Ensino de Ciências | 156 | 4 | Ciência | 52648.21 | 15 | Aluno | 14550.96 |
| 5 | Ensino | 269 | 16 | Perspectiva | 139 | 5 | Ensino | 37029.31 | 16 | Aprendizagem | 13001.55 |
| 6 | Professor | 236 | 17 | Prático | 139 | 6 | Professor | 29191.93 | 17 | Científico | 12993.83 |
| 7 | Estudo | 228 | 18 | Ensino Fundamental | 136 | 7 | Estudo | 21996.09 | 18 | Perspectiva | 12275.17 |
| 8 | Conceito | 192 | 19 | Científico | 132 | 8 | Conceito | 21043.42 | 19 | Prática | 9846.39 |
| 9 | Proposto | 191 | 20 | Tecnologia | 121 | 9 | Curso | 20679.55 | 20 | Ensino Fundamental | 9276.93 |
| 10 | Aluno | 175 | 21 | Formação | 120 | 10 | Proposto | 19635.15 | 21 | Experiência | 8572.47 |
| 11 | Concepção | 172 | 22 | Estudante | 118 | 11 | Concepção | 19612.67 | 22 | Formação | 8319.09 |

Fonte: Do autor.

Tabela 16 – Centralidades de grau e intermediação dos vértices da rede semântica baseada em palavras-chave 1996-2006.

| Centralidade de Grau dos vértices da Rede semântica de Palavras-chave (1996-2006) | | | | | Centralidade de Intermediação dos vértices da Rede semântica de Palavras-chave (1996-2006) | | | | | | |
|---|------------------------------------|-----|----|---------------------------------|--|-----|------------------------------------|----------|----|----------------------------|---------|
| V | | k | V | k | V | C.I | V | C.I | | | |
| 1 | História da Ciência | 102 | 12 | Aprendizagem significativa | 56 | 1 | História da Ciência | 19671.73 | 12 | Concepção do professor | 7492.28 |
| 2 | Livro didático | 93 | 13 | Formação inicial de professores | 55 | 2 | Atividade experimental | 17343.06 | 13 | Interdisciplinaridade | 7307.13 |
| 3 | Atividade experimental | 87 | 14 | Física moderna e contemporânea | 51 | 3 | Formação continuada de professores | 16314.99 | 14 | Aprendizagem significativa | 6941.10 |
| 4 | Linguagem | 81 | 15 | Concepção do aluno | 50 | 4 | Livro didático | 15596.59 | 15 | Avaliação | 6674.17 |
| 5 | Formação continuada de professores | 75 | 16 | Epistemologia | 48 | 5 | Linguagem | 14324.52 | 16 | Concepção do aluno | 6628.69 |
| 6 | Formação de professores | 70 | 17 | Interdisciplinaridade | 46 | 6 | Proposta didática | 13793.52 | 17 | Currículo | 6369.60 |
| 7 | Proposta didática | 69 | 18 | Astronomia | 45 | 7 | Formação de professores | 10893.45 | 18 | Ciência e Tecnologia | 6139.45 |
| 8 | Prática Docente | 64 | 19 | Currículo | 45 | 8 | Mecânica | 10077.24 | 19 | CTS | 6120.14 |

| | | | | | | | | | | | |
|----|------------------------|----|----|-----------------------|----|----|------------------------------------|---------|----|--------------------------------|---------|
| 9 | Filosofia da ciência | 61 | 20 | CTS | 44 | 9 | Filosofia da Ciência | 8430.88 | 20 | Física moderna e contemporânea | 5899.44 |
| 10 | Mecânica | 60 | 21 | Ciência-concepção | 43 | 10 | Formação continuada de professores | 8095.49 | 21 | Epistemologia | 5710.41 |
| 11 | Concepção do professor | 59 | 22 | Divulgação científica | 42 | 11 | Prática docente | 7918.23 | 22 | Astronomia | 5690.71 |

Fonte: Do autor.

A Tabela 15 apresenta os vinte e dois primeiros vértices com maior número de graus nas redes (centralidade de grau). Conforme as informações dos vértices analisados a palavra “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. Ratificando, “Física” representa a maior importância na rede, por causa do maior número de conexões estabelecidas. Na rede semântica baseada em títulos, ao observarmos os cinco primeiros vértices “Física”, “Ensino Médio”, “Ciência”, “Ensino de Física” e “Ensino”, tanto por meio da centralidade de grau quanto da de intermediação, eles sugerem que o foco dos trabalhos correspondeu ao Ensino de Física e/ou metodologias com este fim, observados em sua maioria para a educação básica. O ensino médio se destaca dentre os níveis de ensino, comportamento este que diverge dos dois primeiros períodos analisados.

Ao observarmos os nove primeiros vértices da rede baseada em palavras-chave (Tabela 16), “História da Ciência”, “Livro didático”, “Atividade experimental”, “Linguagem”, “Formação continuada de professores”, “Formação de professores”, “Proposta didática”, “Prática Docente”, “Formação continuada de professores”, “Filosofia da ciência”; o décimo primeiro vértice “Concepção do professor” e o décimo terceiro vértice “formação inicial de professores” percebemos que há consonância com o sugerido acima em relação à rede baseada em títulos: metodologias para o Ensino de Física. Contudo, percebemos uma forte influência neste destaque de temas como, história da ciência, filosofia da ciência e a formação de professores. A título de exemplo, a tese de doutorado “Análise de uma ação didática centrada na utilização da

história da ciência: uma contribuição para a formação inicial do docente de Física”, com as respectivas palavras-chave: história da ciência, formação inicial de professores, concepções espontâneas e gravitação.

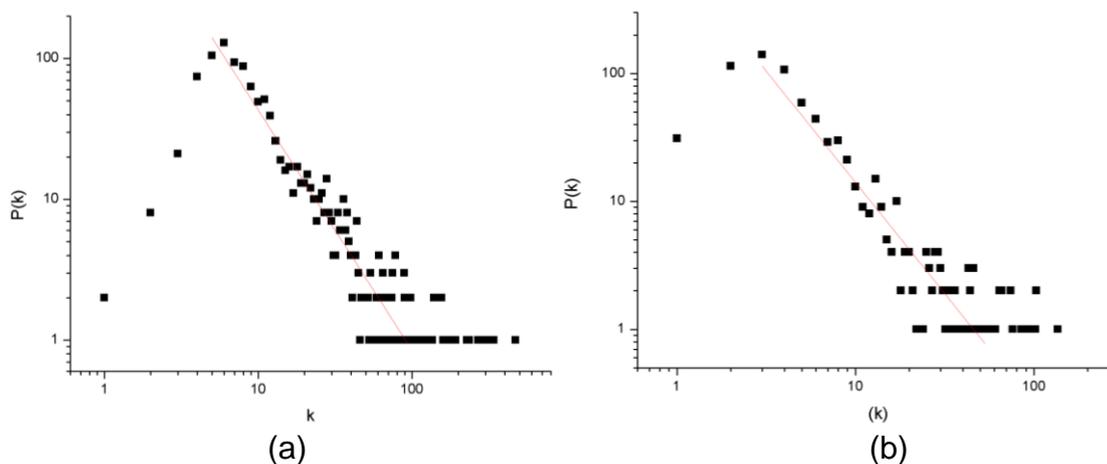
Conforme Tabela 15 os *hubs* “Aprendizagem”, “Análise”, “Conceito”, “Proposto”, “Aluno”, “Estudante” e “Concepção” e, na Tabela 16, os *hubs* “Aprendizagem significativa” e “Concepção do aluno” sugerem que dissertações e teses em Ensino de Física apresentaram como objeto focal em suas pesquisas a temática de Psicologia Cognitiva. Como vimos no exemplo anterior, há a presença da temática de concepções espontâneas. Diferentemente dos demais períodos analisados até aqui, neste presente (1996-2006), os trabalhos *Stricto Sensu* que apresentaram em suas pesquisas a abordagem de concepções alternativas (ou concepções espontâneas), estão presentes em sua grande maioria, juntamente com pesquisas em psicologia cognitiva, como por exemplo, a tese: Mapas conceituais como instrumentos potencialmente facilitadores da aprendizagem significativa de conceitos de Óptica Física; em que as palavras-chave pertencentes a ela são: aprendizagem significativa, concepções alternativas, mapa conceitual e ótica. O próprio exemplo citado no parágrafo anterior reitera também este fato.

Os *hubs* presentes na Tabela 15 “Científico” e “Tecnológico”, e na Tabela 16, “CTS” e “Ciência e Tecnologia” apontam na direção de uma temática ainda não abordada nos períodos anteriores, que é a de Ciência, Tecnologia e Sociedade. Pelo viés de novos temas abordados surgem também, conforme a Tabela 16, os assuntos “Epistemologia”, “Interdisciplinaridade”, “Currículo” e “Ciência-concepção”. Destacamos que, além destes vértices apresentarem conexões na rede com as temáticas já abordadas aqui, “Epistemologia” apresenta uma maior conexão com dissertações e teses com a temática “Ciência-concepção”, de forma semelhante como ocorre entre “Interdisciplinaridade” e “Currículo” na rede semântica de palavras-chave.

De forma análoga para os períodos anteriores, as Tabela 15 e Tabela 16 apresentam os *hubs* das redes semânticas baseadas em títulos e palavras-chave norteando a direção pela qual houve a adesão preferencial em ambas as redes. Realizamos a distribuição de graus das redes semânticas e as informações

fornececeram indícios de que as redes apresentam um comportamento de redes livres de escala na forma $P(k) \sim k^{-\gamma}$:

Figura 18 – Distribuição de graus da rede semântica (a) baseada em Títulos (com $\gamma = 1,71$ e o ajuste $R^2 = 0,87$); (b) Palavras-chave ($\gamma = 1,73784$ e o ajuste $R^2 = 0,85309$).

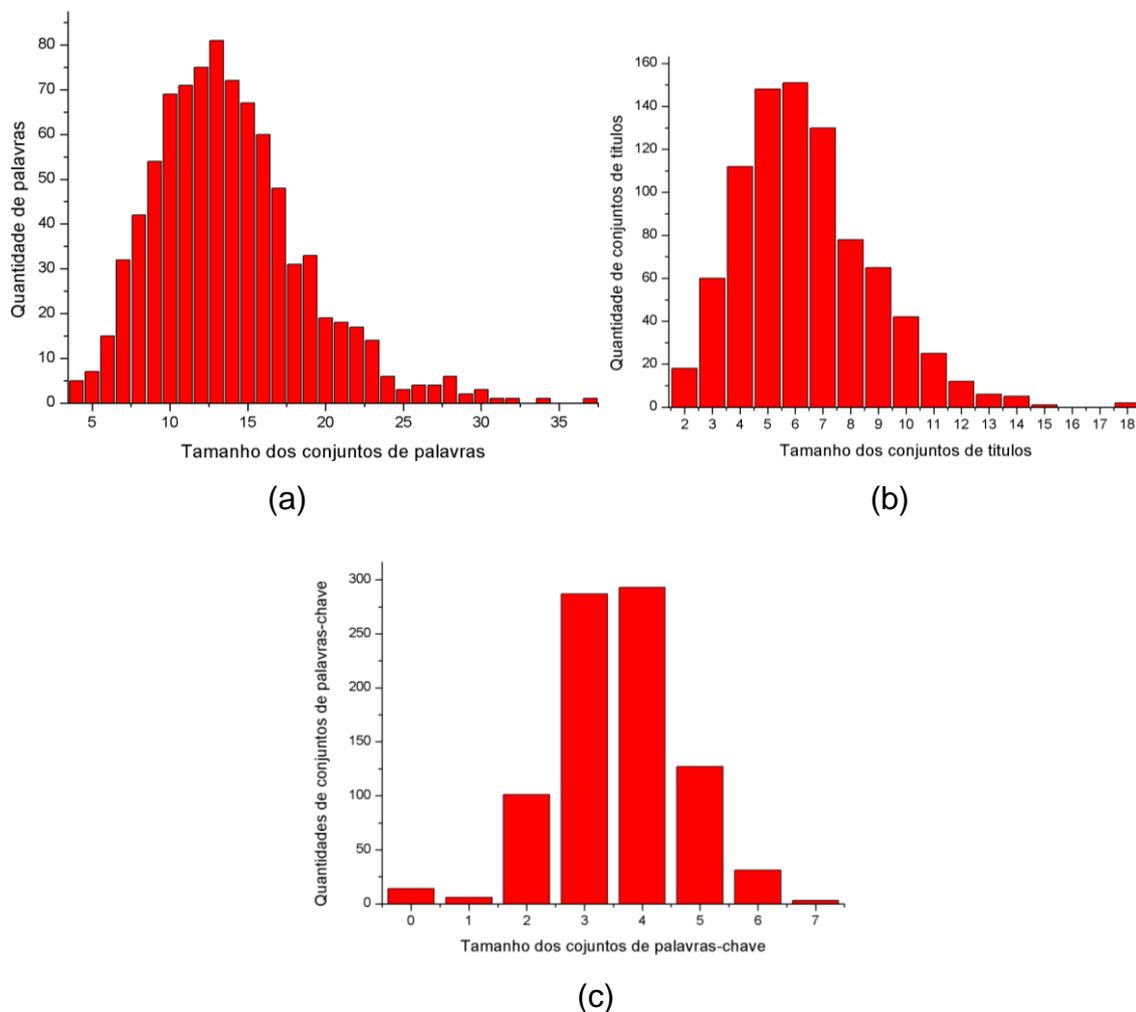


Fonte: (a) Adaptado de Nascimento et al. (2018c) e (b) adaptados de Nascimento et al. (2018a).

5.4 Resultados e discussão para o período de 1972-2006

Após as análises dos períodos de dissertações e teses em Ensino de Física de 1972-1992, 1992-1995 e 1996-2006, passaremos agora para as análises do período geral: 1972-2006. Do total de 891 referências de trabalhos *Stricto Sensu* (dissertações e teses), identificamos 864 trabalhos com palavras-chave. Tanto a distribuição dos conjuntos de palavras dos títulos quanto a de palavras-chave utilizadas para realizarmos as análises apresentadas nesta pesquisa, sugerem uma distribuição normal com destaque para os conjuntos de 12 e 13 palavras por títulos e, uma preferência por cliques de tamanhos 5 e 6. Em relação às palavras-chave a preferência ocorreu por cliques de tamanho 3 e 4, conforme Figura 18:

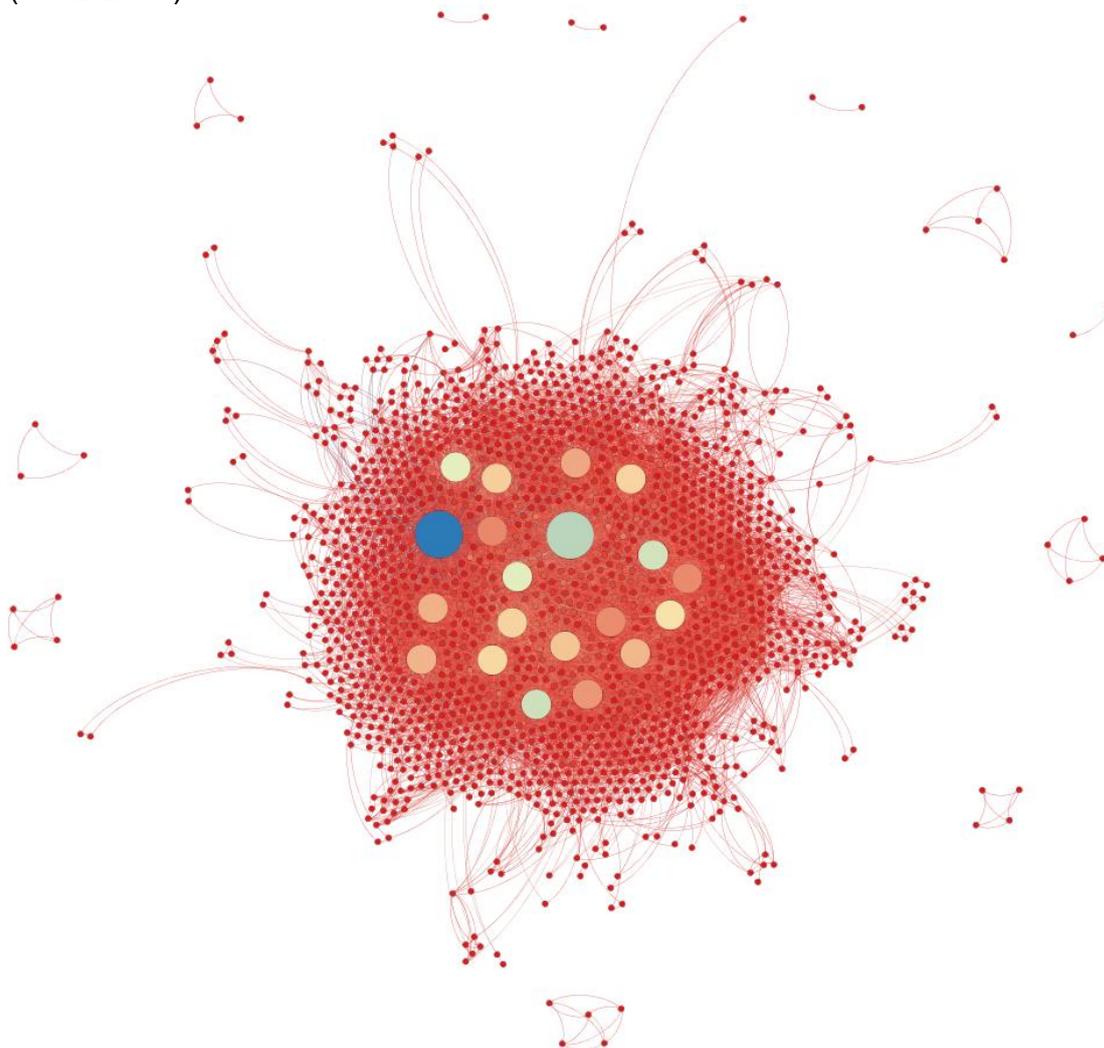
Figura 18 - Distribuição dos conjuntos de palavras utilizadas por títulos (a); distribuição dos conjuntos de cliques de palavras (b); distribuição dos conjuntos de cliques de palavras-chave.



Fonte: (a) Do autor; (b) e (c) Adaptados de Nascimento, Pereira e Moret (2018b).

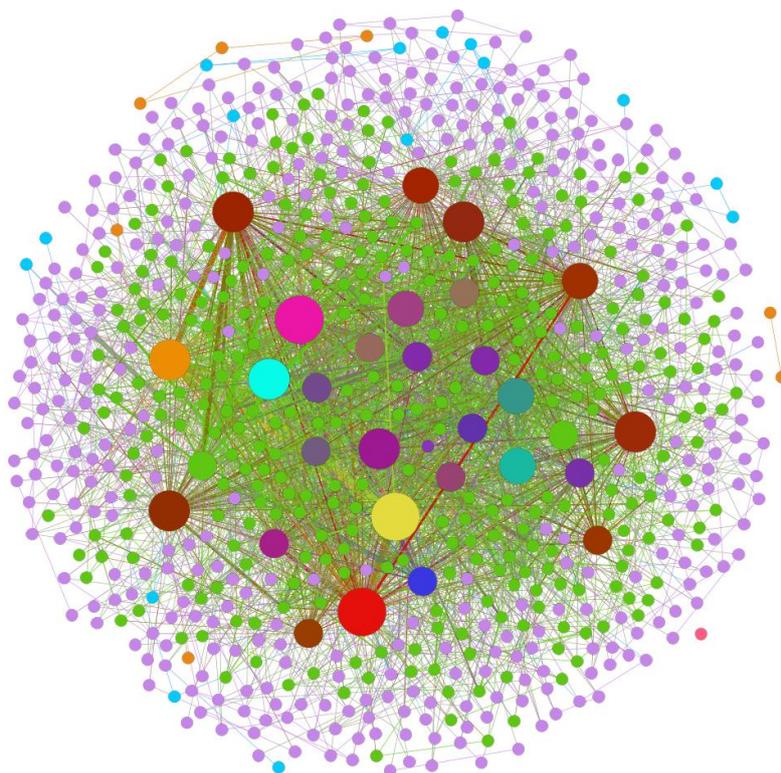
A diferença de valores na quantidade de palavras dos títulos apresentados nas Figuras 16a e 16b, é explicada por meio da metodologia apresentada para construção das redes. Reiteramos que as redes semânticas são construídas considerando que uma sentença é uma unidade conceitual (CALDEIRA, 2005; CUNHA, 2004). É o que representam as cliques: as menores unidades conceituais e significativas dos títulos, palavras-chave e resumos dos trabalhos em Ensino de Física, que correspondem à base de dados à construção das redes. Destacamos também que utilizamos o software *Ambinsin* para reduzir as palavras à forma canônica e eliminar as palavras gramaticais, ou seja, artigos, pronomes pessoais e possessivos, adjetivos possessivos, demonstrativos, interrogativos, advérbio etc. Apresentamos a rede semântica baseada em títulos (Figura 19) e palavras-chave (Figura 20) de dissertações e teses nacionais em Ensino de Física:

Figura 19 – Rede semântica baseada em Títulos do Ensino de Física Brasileiro (1972-2006).



Fonte: Do autor.

Figura 20 – Rede semântica baseada em palavras-chave do Ensino de Física Brasileiro (1972-2006).



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

Para a visualização das redes das Figuras 19 e 20 utilizamos três algoritmos, bem como, para a distribuição dos vértices, são eles, o *Force Atlas2*, *Não sobrepor* e *Fruchterman Reingold*. Com a ação conjunta destes algoritmos conseguimos enfatizar os *hubs* nas redes, localizando-os mais na região central dos respectivos grafos. Na Figura 19, os tamanhos dos *hubs* estão em proporcionalidade com o grau de conexão de cada um. Os vértices que tendem a cor para o azul, apresentam maiores valores do grau médio. Na Figura 20, os vértices com as tonalidades da cor lilás, laranja, azuis e verdes, mais na periferia da rede, são os que apresentam menores graus de conexão. Na Tabela 17 e na Tabela 18, apresentamos as propriedades de redes complexas obtidas em relação as redes semânticas baseadas em títulos e palavras-chave, respectivamente:

Tabela 17 – 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 | 159 3 | 1354 2 | 12 | 97,8 | 17,02 | 0,01 1 | 0,787 | 2,654 | 6 |

| | | | | | | | | | |
|---------------|----------|-----------|---|-----|------------|-----------|----------------|-------------|---|
| Maior comp. | 155 8 | 1349 8 | 1 | 100 | 17,32 7 | 0,01 1 | 0,784 | 2,654 | 6 |
| Aleatória Eq. | 155 8 | 1348 8 | 1 | 100 | 17,32 7 | 0,01 1 | 0,0111897 0 | 2,8558 9 | 4 |

Fonte: Do autor.

Tabela 18 – Índices de redes complexas verificados para a rede semântica baseada em palavras-chave no período de 1972-2006.

| Rede Semântica | n | m | Qt. Comp. | Maior comp. (%) | $\langle k \rangle$ | Δ | C_{ws} | L | D |
|----------------|-----|------|-----------|-----------------|---------------------|----------|----------|-------|-----|
| Palavras-chave | 734 | 3458 | 5 | 98,91% | 9,422 | 0,013 | 0,716 | 3,004 | 6 |
| Maior comp. | 726 | 3453 | 1 | 100% | 9,512 | 0,013 | 0,714 | 3,004 | 6 |
| Aleatória Eq. | 726 | 3536 | 1 | 100% | 9,512 | 0,013 | 0,013 | 3,013 | 5 |

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

Conforme as Tabelas 17 e 18, 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 e palavras-chave. Tais informações refletem o fato de que os títulos e palavras-chave 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 a rede de títulos e 1,3% para a rede de palavras-chave. Para uma rede semântica de títulos (Figura 19), a densidade é uma “tendência dos títulos estarem ligados através de um número grande de palavras” (PEREIRA et al., 2011, p. 3), raciocínio que pode ser aplicado também para a rede semântica de palavras-chave (Figura 20). Nessa perspectiva, para a rede da Figura 19, a densidade “[...] pode corresponder a uma menor coesão entre as conexões na rede, um indício do quão conectadas estão as dissertações e teses por meio das palavras-chave no Ensino de Física Brasileiro” (NASCIMENTO, PEREIRA, MORET, 2018b, p. 327). O valor encontrado para o coeficiente de aglomeração (C_{ws}), foi da ordem de 78% para a rede de títulos e 72% para a rede de palavras-chave e, estes valores refletem uma alta conectividade entre as palavras presentes das redes semânticas.

Para a rede semântica baseada em títulos da Figura 19, o valor do k_i^{hub} , correspondeu a $k_i^{hub} \geq 83,2127$ e, para a rede da palavras-chave da Figura 20, $k_i^{hub} \geq 37,5811$. Provenientes das redes semânticas (Figura 19 e Figura 20), conforme Tabela 19 e Tabela 20, elencamos os 30 vértices mais importantes, de acordo com o valor da Centralidade de Grau. Indicamos também se os *hubs* correspondem a pontos de cortes nas redes: os pontos de corte correspondem a vértices que, caso sejam retirados, a rede sofrerá como consequência o surgimento de número de componentes maior que um (NASCIMENTO et al., 2018a). Já na tabela 21, apresentamos os vértices que se destacaram nas redes por meio da centralidade de intermediação.

Tabela 19 – Centralidades de grau e indicativo de ponto de corte dos vértices da rede semântica baseada em palavras-chave 1972-2006.

| | Vértices (V) | Grau (k) | Ponto de corte | | Vértices (V) | Grau (k) | Ponto de corte |
|----|------------------------------------|---------------------|-------------------------------|----|---------------------------------|---------------------|-------------------------------|
| 1 | História da ciência | 119 | Não | 16 | Epistemologia | 56 | Sim |
| 2 | Livro didático | 110 | Não | 17 | Formação inicial de professores | 55 | Não |
| 3 | Filosofia da ciência | 96 | Não | 18 | Eletricidade | 52 | Não |
| 4 | Atividade experimental | 87 | Sim | 19 | Astronomia | 52 | Não |
| 5 | Mecânica | 85 | Não | 20 | Ciência-concepção | 51 | Não |
| 6 | Linguagem | 81 | Não | 21 | Eletromagnetismo | 51 | Não |
| 7 | Currículo | 80 | Sim | 22 | Física moderna e contemporânea | 51 | Não |
| 8 | Concepções espontâneas | 75 | Sim | 23 | Piaget | 50 | Não |
| 9 | Formação continuada de professores | 75 | Sim | 24 | Concepção do aluno | 50 | Não |
| 10 | Formação de professores | 72 | Não | 25 | Energia | 47 | Não |
| 11 | Proposta didática | 69 | Sim | 26 | Mudança conceitual | 47 | Não |

| | | | | | | | |
|----|----------------------------|----|-----|----|-----------------------|----|-----|
| 12 | Ensino de ciências | 67 | Não | 27 | Interdisciplinaridade | 46 | Não |
| 13 | Prática docente | 64 | Sim | 28 | Divulgação científica | 45 | Não |
| 14 | Aprendizagem significativa | 63 | Não | 29 | Ótica | 44 | Não |
| 15 | Concepção do professor | 59 | Não | 30 | CTS | 44 | Não |

Fonte: Do autor

Tabela 20 – 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).

Tabela 21 – Centralidades de intermediação dos vértices da rede semântica baseada em títulos e palavras-chave para o período de 1972-2006.

| Centralidade de Intermediação da Rede semântica de títulos (1972-2006) | | | | | Centralidade de Intermediação da Rede semântica de palavras-chave (1972-2006) | | | | | | |
|--|--------------------|------------|--------------|-----------------------|---|--------------|------------------------------------|-----------|----|---------------------------------|----------|
| Vértices (V) | | C.I. | Vértices (V) | | C.I. | Vértices (V) | | C.I. | | | |
| 1.. | Física | 230.635,41 | 16 | Concepção | 28.532,98 | 1 | História da ciência | 23.284,86 | 16 | Aprendizagem significativa | 7.679,02 |
| 2 | Ensino de Física | 125.886,02 | 17 | Segundo Grau | 19.864,94 | 2 | Livro didático | 22.164,79 | 17 | Formação inicial de professores | 7.527,78 |
| 3 | Ensino | 82.919,50 | 18 | Perspectiva | 19374,71 | 3 | Filosofia da ciência | 18.464,61 | 18 | Astronomia | 7.256,13 |
| 4 | Ensino Médio | 78707,86 | 19 | Científico | 17.042,41 | 4 | Atividade experimental | 18.053,45 | 19 | Epistemologia | 7158,75 |
| 5 | Ciência | 77.953,81 | 20 | Professores de Física | 16.567,75 | 5 | Mecânica | 17.592,78 | 20 | CTS | 6.628,90 |
| 6 | Estudo | 77.178,85 | 21 | Conhecimento | 16.134,17 | 6 | Currículo | 17.077,76 | 21 | Piaget | 6.620,57 |
| 7 | Curso | 50.618,00 | 22 | Contribuição | 15.811,23 | 7 | Formação continuada de professores | 15.526,20 | 22 | Eleticidade | 6.519,25 |
| 8 | Ensino de Ciências | 49.704,63 | 23 | Aplicação | 14.561,71 | 8 | Linguagem | 14.213,11 | 23 | Resolução de problemas | 6.23,49 |
| 9 | Análise | 49.332,58 | 24 | Ensino Fundamental | 13.553,32 | 9 | Proposta didática | 14.176,81 | 24 | Eletromagnetismo | 6.141,24 |
| 10 | Proposto | 47.761,18 | 25 | Formação | 13.515,50 | 10 | Concepções espontâneas | 12.705,73 | 25 | Física moderna e contemporânea | 6.122,15 |
| 11 | Aluno | 43.166,72 | 26 | Escola | 13.244,94 | 11 | Ensino de ciências | 11.727,71 | 26 | Ciência e Tecnologia | 5.929,15 |
| 12 | Professor | 43.009,25 | 27 | Prática | 12.86,35 | 12 | Formação de professores | 10.985,51 | 27 | Concepção do aluno | 5.801,92 |
| 13 | Conceito | 37.971,49 | 28 | Estudante | 12731,58 | 13 | Prática docente | 8.159,53 | 28 | Mudança Conceitual | 5.584,57 |
| 14 | Aprendizagem | 29.048,44 | 29 | Experiência | 12.093,48 | 14 | Interdisciplinaridade | 7.961,06 | 29 | Óptica | 5.179,95 |
| 15 | Uso | 28.972,17 | 30 | Construção | 11.991,66 | 15 | Concepção do professor | 7.687,16 | 30 | Divulgação Científica | 5.159,27 |

Fonte: Do autor.

Conforme as Tabela 19, Tabela 20 e a Tabela 21, as informações retratam que, para as redes semânticas de dissertações e teses em Ensino de Física no Brasil (1972-2006), os vértices mais importantes (maior centralidade de grau e de intermediação) foram na rede de palavras-chave: “História da ciência”, “Livro didático” e “Filosofia da ciência”. O primeiro e o terceiro vértices (*Hubs*) apontam na direção de pesquisas consolidadas na temática de História e Filosofia da Ciência. Por esse viés, os hubs “Epistemologia” e “Ciência-Concepção” também estão presentes nas pesquisas *Stricto Sensu* realizadas, com fortes conexões à História e Filosofia da Ciência. Para a rede de títulos, os 5 *hubs* mais importantes pelas medidas das centralidades foram “Física”, “Ensino de Física”, “Ensino Médio”, “Ciência”, “Ensino” e “Estudo”. Tais informações sugerem pesquisas em Ensino de Física, voltadas para a educação básica.

Os *hubs*, “Ensino Fundamental” e “Ensino de Ciências”, corroboram que pesquisas realizadas para a educação básica estão fortemente presentes nas redes semânticas. Juntamente a eles, temos na rede semântica de palavras-chave “Ciência”, “Atividade Experimental”, “Mecânica”, “Ensino de Ciências” e “Ensino Fundamental”. Desta forma, percebemos que na educação básica, houve forte presença de dissertações e teses focando o Ensino Fundamental. O segundo vértice mais importante na rede de palavras-chave, seja pela centralidade de grau ou de proximidade, foi “Livro didático”. Ele nos remete ao pensamento que pesquisas foram realizadas objetivando material/recurso didático para o Ensino de Física. Pensamento similar temos ao verificarmos o vértice “Atividade experimental”, que tanto aparece conectado a pesquisas para o Ensino Fundamental quanto como um recurso metodológico para o Ensino de Física. Logo, há também uma forte tendência na rede pelo que iremos denominar aqui de “recursos metodológicos para o Ensino de Física”.

Há nas redes semânticas a seguinte tendência: uma forte presença da temática de formação de professores, como podemos perceber com os hubs “Formação inicial de professores”, “Formação continuada de professores”, “Formação de professores”, “Prática docente” e “Concepção do professor” (rede semântica de palavra-chave) e “Professor” e “Formação” (rede semântica de títulos).

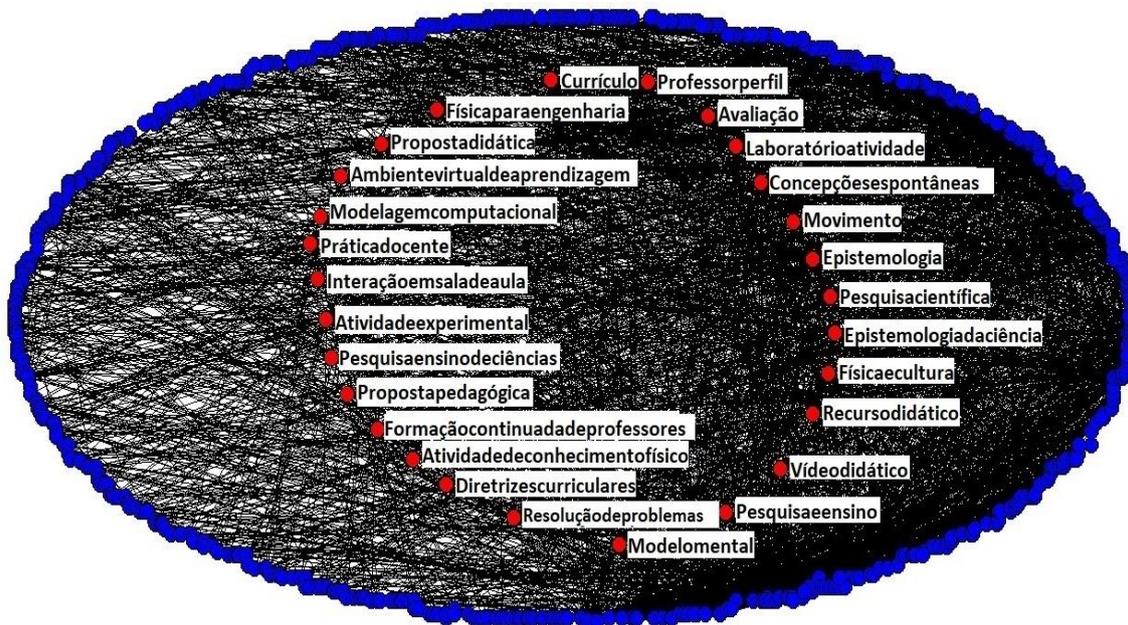
Percebemos nas redes semânticas também que a temática de Psicologia Cognitiva também aparece na rede como destaque, por meio dos *hubs* “Mudança conceitual”, “Concepções espontâneas”, “Concepção do aluno”, “Piaget”, “Aprendizagem significativa” e “Concepção do professor” – na rede semântica de palavras-chave - e, “Conceito”, “Aprendizagem” e “Concepção”, na rede semântica de títulos. Assim como nos parágrafos anteriores, pela disposição dos vértices, as análises das centralidades e pontos de corte, há indicativos que a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel tenha correspondido a mais utilizada. Neste viés as teorias relacionadas a Piaget estão em segundo lugar, em termos de Teoria de Aprendizagem verificadas na rede. É válido ressaltar que tanto na teoria de Ausubel quanto na de Piaget o foco é o aprendiz e não o professor; o conhecimento prévio é visto como característica fundamental no processo de ensino de aprendizagem de novos conceitos: teorias construtivistas. Tal pensamento pode ser somado ao anterior em termos de pesquisas voltadas para a formação do professor e, pesquisas em Ensino de Física foram direcionadas para o discente.

Na observância do vértice que representam assuntos do Ensino de Física, “Eletricidade”, “Astronomia”, “Mecânica”, “Eletromagnetismo”, “Física moderna e contemporânea”, “Óptica” e “Energia” há um forte indicativo que entre a educação básica e nível superior, a maioria das pesquisas corresponderam à educação básica. Pelos assuntos abordados e as análises anteriores, presentes nas Tabelas 19 e Tabela 20, houve uma maior tendência por pesquisas voltadas para o Ensino de Física a nível médio.

Com a informação dos vértices com as maiores medidas de centralidade de grau, podemos inferir que proporcionalmente ao valor deste índice para cada um, há uma tendência na rede, uma preferência pelos assuntos relacionados às palavras-chave e as palavras pertencentes aos títulos, elencadas na Tabela 19 e Tabela 20. Dessa forma, com o surgimento de novas dissertações e teses em Ensino de Física, há uma probabilidade maior de serem escolhidas para os trabalhos *Stricto Sensu*, as palavras elencadas a estas tabelas. Para aumentarmos o nosso espaço amostral de análise, na Figura 21 e 22, apresentamos as redes semânticas baseadas em palavras-chave e em títulos,

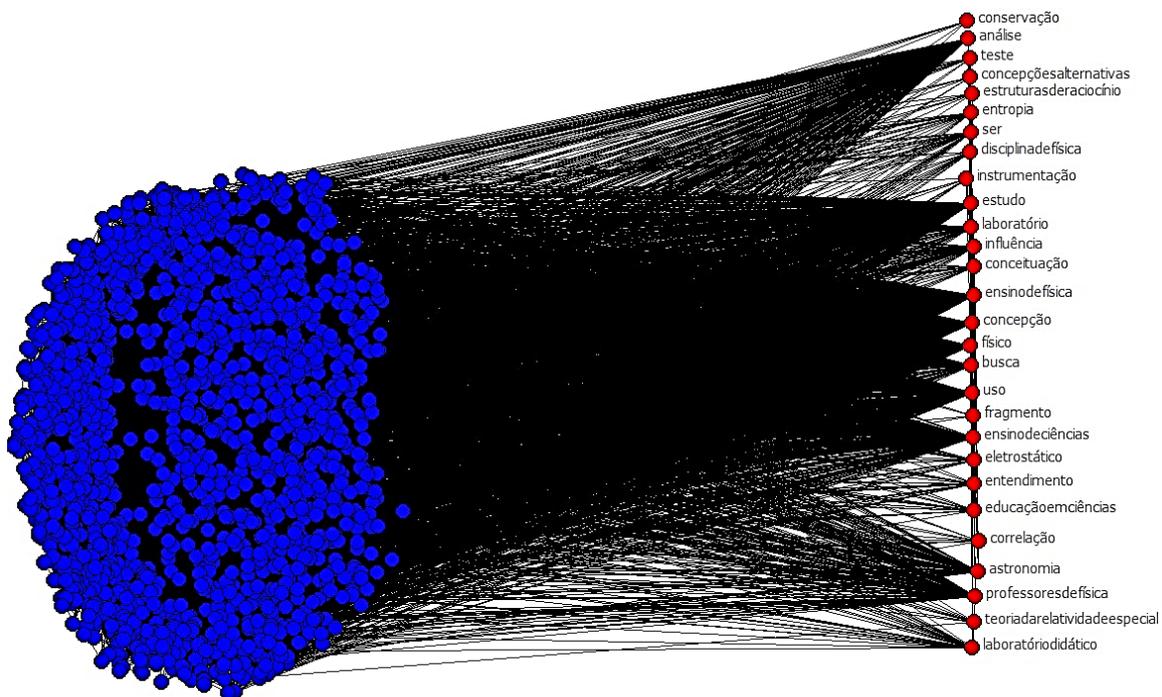
respectivamente, do Ensino de Física nacional e elencamos os vértices que representam pontos de cortes nelas:

Figura 21 - Rede semântica baseada nas palavras-chave, destacando os pontos de cortes (vértices vermelhos).



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

Figura 22 - Rede semântica baseada em títulos, destacando os pontos de cortes (vértices vermelhos).



Fonte: Do autor.

Com base na Figura 21 e Figura 22, apresentamos nas Tabelas 22 e 23 os vértices que correspondem a pontos de cortes na rede semântica de palavras-chave e títulos, respectivamente. Eles estão ordenados do maior para o menor grau de conexão:

Tabela 22 - Vértices que representam pontos de cortes na rede semântica de palavras-chave.

| | Vértices (V) | k | | Vértices (V) | k |
|----|-------------------------------------|----------|----|----------------------------------|----------|
| 1 | Atividade experimental | 87 | 15 | Atividade de conhecimento físico | 20 |
| 2 | Currículo | 80 | 16 | Ambiente virtual de aprendizagem | 19 |
| 3 | Formação Continuada de professores; | 75 | 17 | Pesquisa em ensino de ciências | 17 |
| 4 | Concepções espontâneas | 75 | 18 | Epistemologia da ciência | 17 |
| 5 | Proposta didática | 69 | 19 | Movimento | 16 |
| 6 | Proposta pedagógica | 69 | 20 | Modelagem computacional | 15 |
| 7 | Prática docente | 64 | 21 | Interação em sala de aula | 13 |
| 8 | Epistemologia | 56 | 22 | Física para engenharia | 12 |
| 9 | Resolução de problemas | 34 | 23 | Física e cultura | 12 |
| 10 | Avaliação | 33 | 24 | Pesquisa e ensino | 9 |
| 11 | Professor-Perfil | 32 | 25 | Recursos didáticos | 9 |
| 12 | Diretrizes curriculares | 28 | 26 | Pesquisa científica | 7 |
| 13 | Laboratório-atividades | 27 | 27 | Vídeo didático | 3 |
| 14 | Modelo mental | 22 | | | |

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

Tabela 23 - Vértices que representam pontos de cortes na rede semântica de títulos.

| | Vértices (V) | k | | Vértices (V) | k |
|---|---------------------|----------|----|----------------------|----------|
| 1 | Física | 552 | 15 | Entendimento | 20 |
| 2 | Ensino de Física | 364 | 16 | Entropia | 18 |
| 3 | Estudo | 308 | 17 | Educação em Ciências | 17 |

| | | | | | |
|----|-----------------------|-----|----|---------------------------------|----|
| 4 | Análise | 208 | 18 | Eletrostática | 16 |
| 5 | Ensino de Ciências | 191 | 19 | Conceituação | 15 |
| 6 | Uso | 185 | 20 | Disciplina de física | 13 |
| 7 | Concepção | 173 | 21 | Teste | 13 |
| 8 | Professores de Física | 97 | 22 | Instrumentação | 12 |
| 9 | Astronomia | 76 | 23 | Correlação | 9 |
| 10 | Busca | 55 | 24 | Teoria da relatividade Especial | 9 |
| 11 | Influência | 45 | 25 | Estruturas de raciocínio | 7 |
| 12 | Laboratório | 38 | 26 | Conservação | 6 |
| 13 | Laboratório Didático | 33 | 27 | Concepções Alternativas | 5 |
| 14 | Ser | 27 | 28 | Fragmento | 5 |

Fonte: Do autor.

Conforme as Tabelas 22 e 23 verificamos que, caso retirássemos da rede os vinte e sete vértices da rede semântica de palavras-chave e os 28 da rede de títulos, elas se fragmentariam em vários componentes. A conectividade entre as dissertações e teses do Ensino de Física Brasileiro, por meio das palavras-chave e títulos, não ocorreria como verificamos (Figura 19 e Figura 20). Isto sugere que existem palavras-chave e títulos que intermedeiam dissertações e teses, dando uma espécie de unidade no que chamaremos aqui de “discurso” do Ensino de Física Brasileiro. Pelos resultados até aqui, há fortes indícios que por intermédio dos vértices elencadas na Tabela 19, 20, 21, 22 e 23 houve a difusão do conhecimento em Ensino de Física no período analisado. Vejamos a seguinte análise, a título de exemplo: conforme Nascimento, Neide e Gonzatti (2016) as concepções espontâneas ou alternativas correspondem a aprendizados significativos adquiridos pelos aprendizes, contudo, incoerentes em relação a um modelo científico que alicerça um certo fenômeno em estudo. O modelo das distâncias é uma concepção alternativa ainda muito presente na estrutura cognitiva de muitos aprendizes. Assim, muitas pessoas acreditam que a estação do ano, verão, é quando o planeta Terra está mais próximo do Sol (periélio) e a estação inverno, quando o planeta está mais afastado do Sol (afélio). Conforme um modelo científico coerentemente correto, tanto no periélio quanto no afélio

haverá em um Hemisfério da Terra a estação verão e no outro, inverno, ambas concomitantemente (ibidem).

Diante do exposto anteriormente, suponhamos que uma dissertação de mestrado em Santa Catarina e uma tese de doutorado no Amazonas se conectem na rede semântica pela palavra-chave “concepções espontâneas”. Se retirássemos da rede baseada em palavras-chave (Figura 18), justamente o 4º vértice da Tabela 19, “Concepções espontâneas” ($k=75$), as demais palavras que compõem a clique permaneceriam isoladas, em termos de pesquisas, em seus respectivos estados. Logo, a difusão do conhecimento não ocorreria na rede, entre Santa Catarina e o Amazonas, bem como, para toda a rede. Ao iniciarmos esta explanação, citamos como exemplo o modelo da distância como uma concepção espontânea na temática de Estações do Ano. Percebemos então o impacto na rede semântica em termos de isolamento do vocabulário composto pela clique onde um dos vértices é “concepções espontâneas”: a não difusão do conhecimento de uma pesquisa como o Ensino de Física (astronomia), para estudo de fenômenos astronômicos, cujo o foco é o aprendiz (teoria de aprendizagem) e seus conhecimentos prévios (teoria construtivista), os chamados subsunçores (aprendizagem significativa).

Na Tabela 24 elencamos sessenta vértices que correspondem a assuntos e/ou temas estruturadores com abrangência para organizar o ensino de Física Brasileiro, conforme nortes presentes no parecer CNE/CES 1.304/2001:

Tabela 24 - Vértices e os valores dos graus (k) que representam conteúdos importantes em física.

| Rede Semântica de Palavras-Chave | | | | | | Rede Semântica de Títulos | | | | | |
|----------------------------------|------------------|-----|----------|---------------|-----|---------------------------|--------------|-----|----------|----------------|-----|
| Vértices | | k | Vértices | | k | Vértices | | k | Vértices | | k |
| 1 | Mecânica | 85 | 16 | Movimento | 16 | 1 | Astronomia | 76 | 16 | Gravitação | 23 |
| 2 | Eletricidade | 52 | 17 | Força | 16 | 2 | Energia | 71 | 17 | Eletrodinâmica | 20 |
| 3 | Astronomia | 52 | 18 | Eletrostática | 14 | 3 | Luz | 67 | 18 | Ondas | 20 |
| 4 | Eletromagnetismo | 51 | 19 | Óptica | 14 | 4 | Eletricidade | 43 | 19 | Entropia | 18 |

| | | | | | | | | | | | |
|----|--------------------------------|----|----|--------------------------|----|----|---------------------|----|----|-----------------------|----|
| 5 | Física moderna e contemporânea | 51 | 20 | Aceleração | 13 | 5 | Calor | 39 | 20 | Velocidade | 18 |
| 6 | Energia | 47 | 21 | Tempo | 13 | 6 | Física Moderna | 38 | 21 | Radiação | 17 |
| 7 | Física Moderna | 41 | 22 | Temperatura | 13 | 7 | Mecânica | 36 | 22 | Eletrostática | 16 |
| 8 | Gravitação | 39 | 23 | Efeito fotoelétrico | 13 | 8 | Temperatura | 35 | 23 | Física Quântica | 16 |
| 9 | Termodinâmica | 37 | 24 | Radiação | 13 | 9 | Mecânica Quântica | 33 | 24 | Raio-x | 16 |
| 10 | Luz | 33 | 25 | Relatividade de Restrita | 13 | 10 | Óptica | 33 | 25 | Cosmologia | 15 |
| 11 | Física Térmica | 33 | 26 | Hidrostática | 13 | 11 | Termodinâmica | 33 | 26 | Atrito | 12 |
| 12 | Calor | 31 | 27 | Imagem | 12 | 12 | Circuitos Elétricos | 32 | 27 | Campo Eletromagnético | 12 |
| 13 | Relatividade | 25 | 28 | Matéria | 11 | 13 | Força | 32 | 28 | Hidrostática | 12 |
| 14 | Mecânica Quântica | 22 | 29 | Física do Cotidiano | 10 | 14 | Eletromagnetismo | | 29 | Modelo Atômico | 12 |
| 15 | Cinemática | 20 | 30 | Energia Elétrica | 10 | 15 | Física Térmica | 23 | 30 | Radiação Ionizante | 12 |

Fonte: Dos autores

Os vértices contidos na Tabela 24 indicam que assuntos considerados importantes para o Ensino de Física foram pouco escolhidos como palavras-chave. De forma semelhante nos títulos dos trabalhos *Stricto Sensu* aqui analisados, os assuntos estão sutilmente presentes. Por exemplo, o vértice “Mecânica” é o primeiro assunto que surge na rede semântica e apresenta grau de conexão $k = 85$, ou seja, o seu valor de centralidade é baixo se compararmos com demais vértices contidos na Tabela 19. Ao mesmo tempo, seu valor de grau (k) é o mais elevado em relação aos vértices da Tabela 24 que também correspondem a assuntos em Física: “Eletricidade” ($k=52$), “Astronomia” ($k=52$), “Eletromagnetismo” ($k=51$), “Física moderna e contemporânea” ($k=51$), “Energia” ($k=47$) e “Ótica” ($k=44$). Essas informações podem indicar que novos trabalhos poderão ter baixa probabilidade de ocorrerem com os assuntos que compõem

os temas estruturadores de organização da Física no Brasil. Opondo-se ao vértice “Mecânica”, os vértices “Física do Cotidiano” ($k=10$) e “Energia Elétrica” ($k=10$) foram os menos importantes, quando observamos a sua medida de centralidade de grau (Tabela 24), para a presente análise. Enquanto na Tabela 21, “Mecânica” apresenta também a maior centralidade de Intermediação (17.592,78), os assuntos que apresentaram baixa intermediação com outros vértices foram Física Moderna e Contemporânea (6.122,15) e Óptica (5.179,95).

Conforme o método sugerido por Watts e Strogatz (2008), realizamos uma comparação entre a rede semântica de palavras-chave (maior componente) e a rede aleatória equivalente dela. De forma análoga, realizamos o mesmo procedimento para a rede semântica de títulos. Na Tabela 25 e 26, apresentamos os valores das propriedades das redes estudadas:

Tabela 25 – Índices de redes complexas verificados para a rede semântica baseada em títulos (maior componente) no período de 1972-2006.

| Rede Semântica | n | m | Qt. Comp. p. | Maior comp. (%) | $\langle k \rangle$ | Δ | C_{ws} | L | D |
|----------------|------|-------|--------------|-----------------|---------------------|----------|----------|-------|-----|
| Títulos | 1558 | 13498 | 1 | 100 | 17,327 | 0,011 | 0,784 | 2,654 | 6 |
| Aleatória Eq. | 1558 | 13488 | 1 | 100 | 17,327 | 0,011 | 0,0111 | 2,855 | 4 |

Fonte: Do autor.

Tabela 26 – Índices de redes complexas verificados para a rede semântica baseada em palavras-chave (maior componente) no período de 1972-2006.

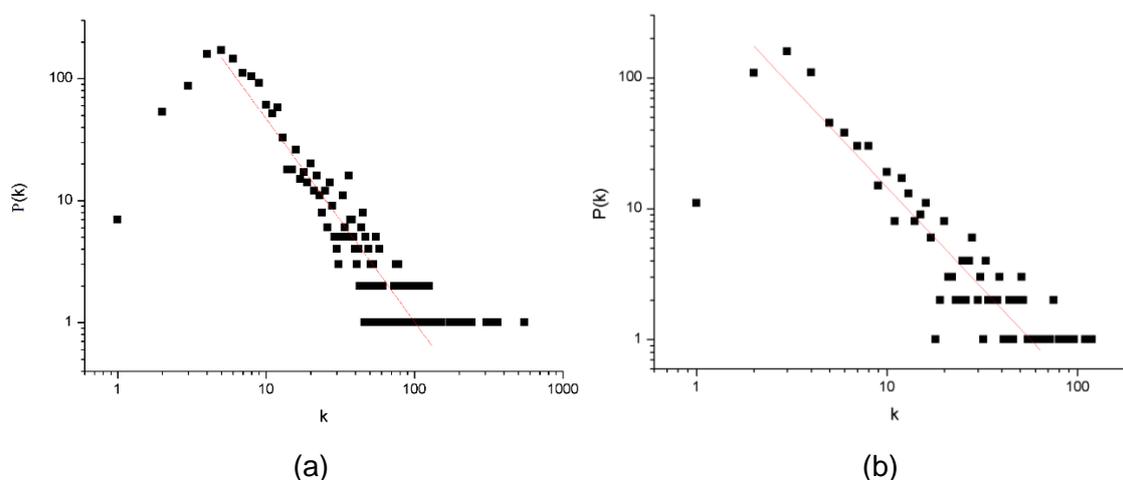
| Rede Semântica | n | m | Qt. Comp. | Maior comp. (%) | $\langle k \rangle$ | Δ | C_{ws} | L | D |
|----------------|-----|------|-----------|-----------------|---------------------|----------|----------|-------|-----|
| Palavras-chave | 726 | 3453 | 1 | 100% | 9,512 | 0,013 | 0,714 | 3,004 | 6 |
| Aleatória eq. | 726 | 3536 | 1 | 100% | 9,512 | 0,013 | 0,013 | 3,013 | 5 |

Fonte: Nascimento, Pereira e Moret (2018b)

Em ambas as redes, percebemos que apresentaram valores similares para o caminho mínimo médio (L). O coeficiente de aglomeração médio (C_{ws}) das redes semânticas apresentaram valores elevados quando comparados com o coeficiente de aglomeração das respectivas redes aleatórias equivalentes. Então, diante destes resultados, verificamos que a rede semântica complexa,

apresenta o fenômeno *Small-World*: alta aglomeração local e curtos caminhos. realizamos a distribuição de graus da rede semântica das palavras-chave. De acordo com os gráficos da Figura 22, a distribuição de ambas as redes semânticas fornece indícios de que elas podem apresentar um comportamento de redes livres de escala, na forma $P(k) \sim k^{-\gamma}$:

Figura 22 - Distribuição de graus da rede semântica baseada em: (a) (com $\gamma = 1,66$ e o ajuste $R^2 = 0,8774$) títulos. (b) palavras-chave (com $\gamma = 1,54$ e o ajuste $R^2 = 0,8657$).



Fonte: (a) Do autor e (b) Adaptado de Nascimento, Pereira, Moret (2019b).

Conforme Barabási e Albert (1999) e Barabási (2009), percebemos então que possivelmente há, para o período de 1972-2006, uma adesão preferencial pelos vértices altamente conectados nas redes (*hubs*). Assim, os *hubs* têm uma probabilidade maior em adquirir novas ligações do que os vértices que são menos conectados. Desta forma, há uma maior probabilidade de novas dissertações e teses surgirem com pesquisas relacionadas aos *hubs* nas Tabelas 19 e 20 do que os vértices elencados na Tabela 24, que dispõe de assuntos importantes para o Ensino de Física. Portanto, em relação a caracterização da topologia da rede semântica, aplicado o método de Watts e Strogatz (1998) e calculada a distribuição de graus da rede, argumentamos que a rede é caracterizada como *small-world* (mundo pequeno) e *scale free* (livre de escala).

5.5 Atuação profissional no Ensino de Física

Para realizarmos a investigação sobre a atuação profissional dos egressos dos programas em Ensino de Física no Brasil, realizamos a construção e a análises de uma rede de afiliação (2-modos). Para tanto, utilizamos os índices pertencentes à estatística de grafos bipartidos, conforme exposto por Latapy, Magnien e Del Veccio (2008): conjunto de vértices, composto por atores e eventos ($V = \{N, M\}$), conjunto de arestas (E), grau médio ($\langle k \rangle$), caminho mínimo médio (L), diâmetro (D) e a densidade (Δ).

- Conjunto de atores e eventos:

Para a rede de 2-modos temos $G = (\{N, M\}, E)$, em que N é o conjunto de atores (modo 1), denotado por $N = \{n_1, n_2, \dots, n_g\}$ e M é o conjunto de eventos (modo 2), $M = \{m_1, m_2, \dots, m_h\}$. Um ator n ($n \in N$) é afiliado a m ($m \in M$), se n é membro de m , ou seja, $(n, m) \in E$.

- Grau médio do modo 1 ($\langle k_n \rangle$), modo 2 ($\langle k_m \rangle$) e de toda a rede ($\langle k \rangle$):

$$\langle k_M \rangle = \frac{m}{n_N} \quad (11)$$

$$\langle k_N \rangle = \frac{m}{n_M} \quad (12)$$

$$\langle k \rangle = \frac{n_N \cdot k_N + n_M \cdot k_M}{n_N + n_M} \quad (13)$$

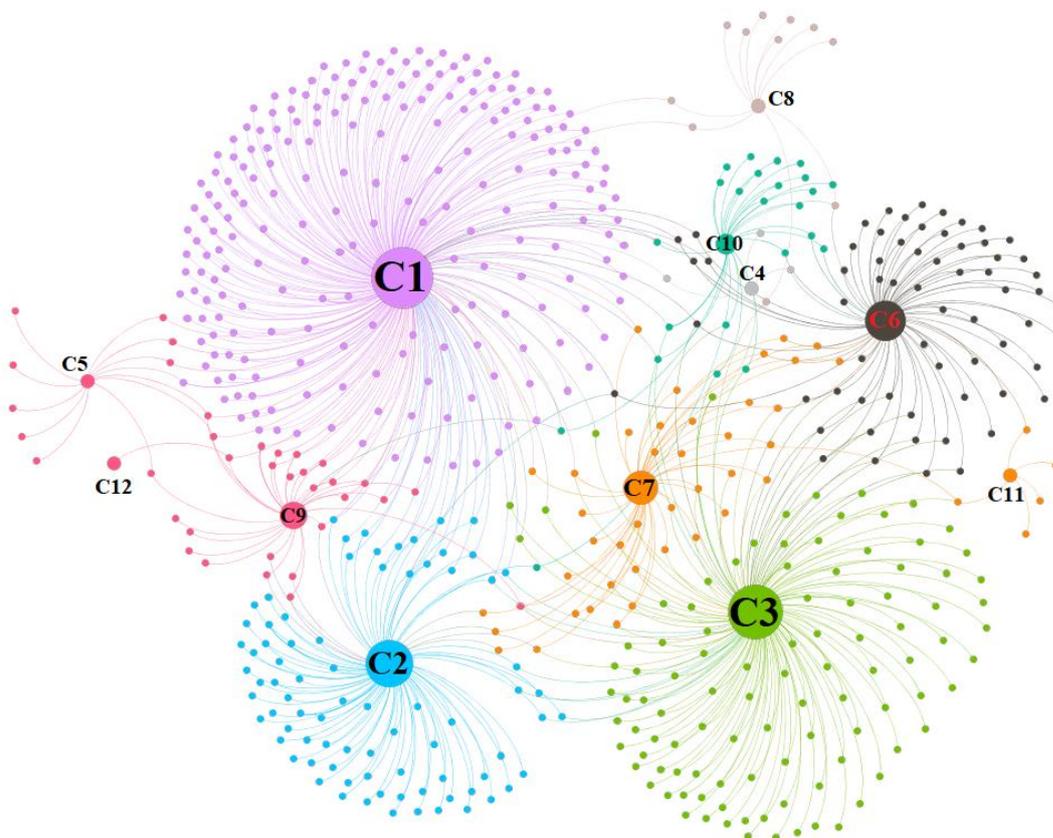
- Densidade da rede de 2-modos ($\Delta G'_{2m}$):

$$\Delta G'_{2m} = \frac{2m}{(n_N + n_M) \cdot (n_N + n_M - 1)} \quad (14)$$

Com base nas informações anteriores, a rede de 2-modos que representa a atuação profissional dos egressos na área de Ensino de Física, tem como

atores os autores de trabalhos *Stricto Sensu* e, os eventos, corresponderam justamente aos locais que se encontram atualmente desenvolvendo suas atuações profissionais. Desta forma, das 891 referências de dissertações, teses de doutorado e de livre-docência da área de Ensino de Física, encontramos 580 Currículos Lattes com as referidas informações. Assim, na Figura 22, está representada a rede de afiliação da atuação profissional dos autores de dissertações e teses do Ensino de Física, no período de 1972-2006:

Figura 22 - Rede de afiliação (2-modos) entre os autores dos trabalhos *Stricto Sensu* em Ensino de Física e o local de atuação profissional deles.



Fonte: Do autor.

Utilizando os algoritmos *Não sobrepor* e *Frunchterman Reingold*. Foi possível realizar disposição dos vértices da Figura 22, destacando o modo eventos, que correspondem às categorias construídas, que vão de C1 a C12. As cores dos vértices estão de acordo com a correspondente categoria a que eles estão conectados. Os tamanhos dos modos que representam as categorias, estão em proporcionalidade com o grau de conexão de cada um. As cores foram escolhidas de forma aleatória apenas para diferenciarmos os vértices.

Apresentamos na Tabela 27 os índices de redes complexas para a rede de 2-modos da Figura 22:

Tabela 27 – Índices de redes complexas verificados para a rede complexa de 2-modos.

| Rede | $n = V $ | $m = E $ | Qt. Comp. | Comp. Gigante (%) | $\langle k \rangle$ | Δ | L | D |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|-------------------|---------------------|----------|-------|-----|
| Rede de 2-modos | 592 | 715 | 1 | 100 | 2,416 | 0,004 | 3,369 | 8 |

Fonte: Do autor.

Conforme os dados apresentados na Tabela 27, o valor do grau médio ($\langle k \rangle$) aponta na direção de no máximo 3 conexões por atores para um evento e, 273 conexões no total recebidas para um único evento: atividades profissionais em Universidades Federais/Institutos Federais. O baixo valor de densidade verificado indica uma rede esparsa, com pouca coesão. Os autores de trabalhos em Ensino de Física estão desenvolvendo suas atividades profissionais instituição de ensino e, para o caso abordado análise, a possibilidade de articulação e/ou colaboração locais distintos de atuações profissionais, corresponderia ao seguinte fato: um autor trabalhar em mais de uma categoria institucional profissional, ocorrendo um possível intercâmbio de informação (conforme categorias apontadas a seguir). O valor verificado para o caminho mínimo médio (L), indica que em média são necessárias, aproximadamente 3 arestas para conectarem dois vértices. Ao observarmos o diâmetro (D), o valor obtido é 8, o que indica o fato de que dois vértices estão conectados entre si por no máximo 8 outros vértices, retratando também o qual esparsa é a rede.

Para construirmos a rede de 2-modos da Figura 22, foi necessário criarmos categorias para que fosse possível agruparmos os diversos locais encontrados nos 580 Currículos *Lattes*. Após esta análise, destacamos as seguintes categorias:

- C1 - Universidades e Institutos Federais;
- C2 - Universidades Estaduais;
- C3 - Instituições de nível superior não-públicas;
- C4 - Entidade sem fins lucrativos;
- C5 – Universidades/Instituições internacionais;

- C6 - Educação básica pública;
- C7 - Educação básica privada;
- C8 – Empresas nacionais e clínicas médicas;
- C9 – Sociedades, associações, agências de fomentos e fundações;
- C10 – Secretarias de Segurança Públicas e Ministério da defesa; ANS, ANVISA, CEE; Embrapa, FIOCRUZ; Museus; Centrais Elétricas, hospitais e assembleias Legislativas;
- C11 - Petrobras, Sistema S, Comissão Nacional de Energia Nuclear, etc;
- C12 – Revistas científicas.

Conforme Figura 22, apresentamos na Tabela 28, as categorias e a centralidade de grau de cada uma na rede de 2-modos da Figura 22:

Tabela 28 – Categorizações e suas respectivas centralidades de Grau da rede de 2-modos.

| Modo 1 | Grau (k) | % |
|---------------|-----------------|----------|
| C1 | k=273 | 38,18% |
| C3 | k=146 | 20,41% |
| C2 | k=91 | 12,72% |
| C6 | k=76 | 10,62% |
| C7 | k=43 | 6,01% |
| C9 | k=28 | 3,91% |
| C10 | k=25 | 3,49% |
| C5 | k=12 | 1,67% |
| C8 | k=11 | 1,53% |
| C11 | k=5 | 0,69% |
| C4 | k=4 | 0,55% |
| C12 | k=1 | 0,13% |

Fonte: Do autor.

O maior destaque (centralidade de grau) na rede de 2-modos correspondeu a C1 (Categoria 1), cerca de 38% das arestas na rede da Figura 22, corresponderam a autores de dissertações e teses em Ensino de Física que se encontram em atividades profissionais em Universidades Públicas Federais

ou Institutos Federais. Com cerca de 20% das arestas na rede de 2-modos (C3), correspondem a Universidades, Centro Universitários, Centros Superiores, Faculdades em que se encontram os egressos do Ensino de Física. Com aproximadamente 12% das conexões na rede de afiliação, estão as Universidades Estaduais (C2) como locais de trabalhos dos supracitados egressos. Com cerca de 10% das arestas na rede de 2-modos, a Educação Básica na rede pública de Ensino (C6) corresponde ao local de atuação profissional dos egressos e com 6% das conexões, a Educação Básica privada (C7).

Como crença ao iniciarmos especificamente as pesquisas em busca destes locais de atuações profissionais, acreditávamos que, os egressos que se encontrassem ativos no mercado de trabalho, estariam em instituições de ensino superior ou na educação básica. Porém, das categorias C8 até a C12, conforme Tabela 28, eles ocupam atualmente cargos em: empresas, clínicas médicas, sociedades e associações – como a Sociedade Brasileira de Física (SBF) ou a Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (ABRAPEC). Encontram-se também em Ministérios e Secretárias fora da área de Ensino, como o Ministério da Defesa ou Secretarias de Segurança Estaduais. Empresas relacionadas a Hidrocarbonetos (Petrobrás) ou Assembleias Legislativas também são locais de trabalho dos egressos, dentre outros.

Conforme Tabela 27, observamos que número de vértices máximo para um ator (autor de trabalho *Stricto Sensu*) na rede, correspondeu a $n=3$. Este valor indica que, no máximo, um egresso, encontra-se atuando profissionalmente em 3 instituições (3 categorias) diferentes. Desta forma, conforme Figura 22, podemos verificar quais atores estão atuando em mais de um local de trabalho concomitantemente. Assim, apresentamos na Tabela 29, as 49 possibilidades resultantes da referida análise:

Tabela 29 – Categorizações e suas respectivas centralidades de Grau da rede de 2-modos considerando um ator participar concomitantemente em mais de um evento.

| Modo 1 | K | % | | Modo 1 | k | % |
|---------------|----------|----------|--|---------------|----------|----------|
| C1 | 221 | 37,7% | | $C1 \cap C7$ | 2 | 0,034% |

| | | | | | | |
|---------------|----|--------|--|---------------|---|--------|
| C3 | 97 | 16,5% | | C1 ∩ C5 ∩ C9 | 2 | 0,034% |
| C2 | 61 | 10,4% | | C4 | 1 | 0,017% |
| C6 | 45 | 7,69% | | C3 ∩ C6 ∩ C7 | 1 | 0,017% |
| C3 ∩ C6 | 14 | 2,39% | | C6 ∩ C11 | 1 | 0,017% |
| C7 | 14 | 2,39% | | C2 ∩ C10 | 1 | 0,017% |
| C1 ∩ C9 | 13 | 2,22% | | C7 ∩ C10 | 1 | 0,017% |
| C10 | 13 | 2,22% | | C1 ∩ C3 ∩ C6 | 1 | 0,017% |
| C3 ∩ C7 | 12 | 2,05% | | C1 ∩ C3 ∩ C7 | 1 | 0,017% |
| C1 ∩ C2 | 11 | 1,88% | | C4 ∩ C6 | 1 | 0,017% |
| C8 | 8 | 1,36% | | C3 ∩ C4 | 1 | 0,017% |
| C5 | 5 | 0,85% | | C2 ∩ C3 ∩ C7 | 1 | 0,017% |
| C2 ∩ C3 | 5 | 0,85% | | C1 ∩ C2 ∩ C6 | 1 | 0,017% |
| C6 ∩ C7 | 5 | 0,85% | | C3 ∩ C8 | 1 | 0,017% |
| C1 ∩ C3 | 4 | 0,68% | | C1 ∩ C10 | 1 | 0,017% |
| C2 ∩ C9 | 4 | 0,68% | | C3 ∩ C7 ∩ C11 | 1 | 0,017% |
| C1 ∩ C6 | 4 | 0,68% | | C3 ∩ C7 ∩ C9 | 1 | 0,017% |
| C9 | 4 | 0,68% | | C1 ∩ C2 ∩ C9 | 1 | 0,017% |
| C1 ∩ C5 | 4 | 0,68% | | C1 ∩ C8 | 1 | 0,017% |
| C2 ∩ C7 | 3 | 0,51% | | C6 ∩ C8 ∩ C10 | 1 | 0,017% |
| C6 ∩ C10 | 3 | 0,51% | | C5 ∩ C9 | 1 | 0,017% |
| C11 | 3 | 0,51% | | C1 ∩ C4 | 1 | 0,017% |
| C3 ∩ C10 | 2 | 0,034% | | C1 ∩ C9 ∩ C10 | 1 | 0,017% |
| C1 ∩ C2 ∩ C3 | 2 | 0,034% | | C1 ∩ C9 ∩ C12 | 1 | 0,017% |
| C1 ∩ C3 ∩ C10 | 2 | 0,034% | | | | |

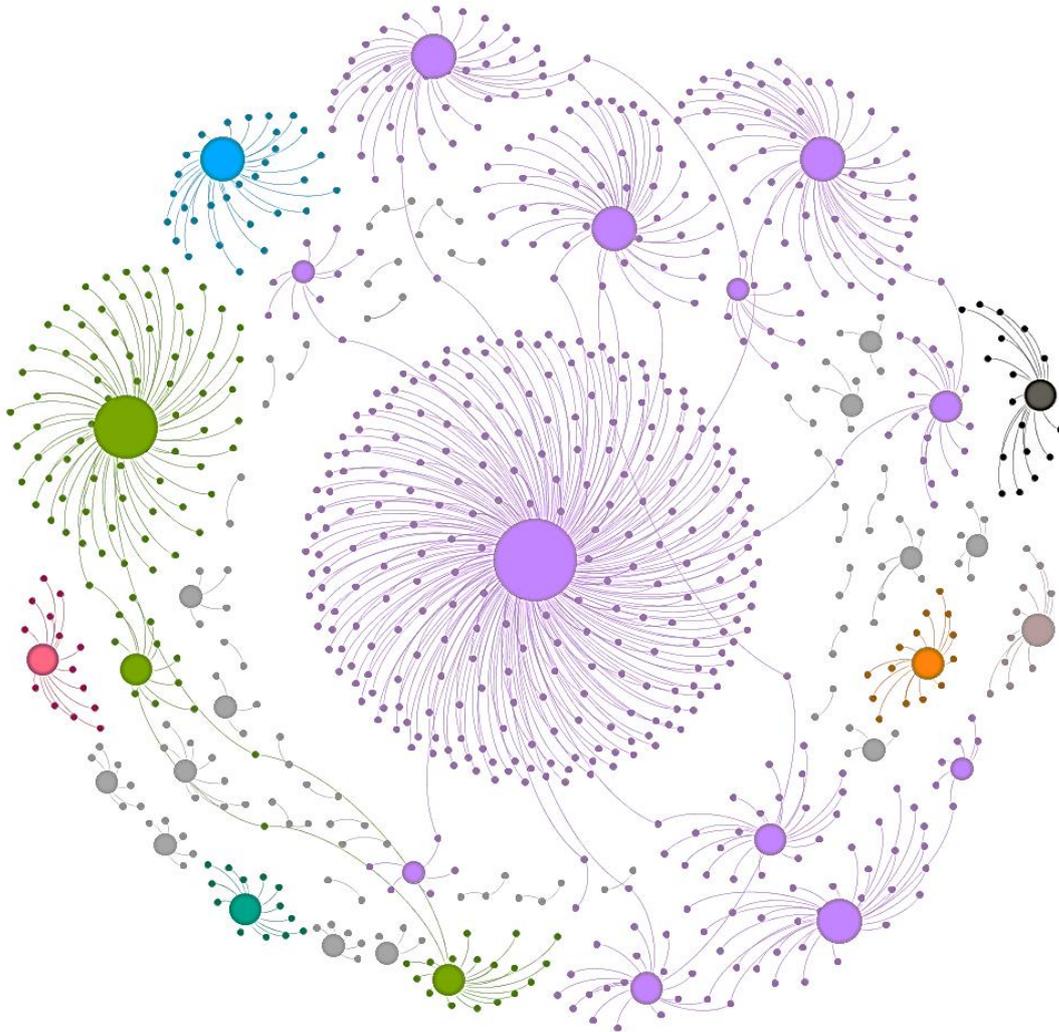
Fonte: Do autor.

Comparando a Tabela 29 com a Tabela 28, as 4 primeiras categorias em termos de importâncias por meio de suas conexões, mantem-se suas posições. Porém, a rede de 2-modos da Figura 23, de acordo com a Tabela 30, o 5º lugar mais importante corresponde aos atores que desenvolvem atividades

profissionais, ao mesmo tempo em C3 e C6, ou seja: trabalham em instituições de nível superior não-públicas e na educação básica pública. Seguindo este raciocínio, o evento (C1 \cap C9), que se encontra em 7º lugar de destaque na rede de 2-modos da Figura 23, apresenta os atores que se encontram nas Instituições Federais de Ensino e em Associações/Agências de fomento/Fundações. Em 9º lugar na rede, temos a configuração C3 \cap C7, ou seja, profissionais atuando em Instituições de Ensino Superior não-públicas e na Educação Básica Privada. Em 10º lugar temos C1 \cap C2, ou seja, autores de dissertações e teses que estão em Instituições Federais e Estaduais de Ensino Superior. Destacamos para a presente análise a 24ª posição em destaque, C1 \cap C2 \cap C3, ou seja, atores que estão lotados em Instituições Federais, Estaduais e não-públicas de ensino. Vale ressaltar que o ator que afirma em seu Currículo Lattes desenvolver atividades profissionais em revistas científicas indexadas (C12), corresponde a única ligação na última posição da rede semântica de 2-modos da Figura 23, com a configuração C1 \cap C9 \cap C12, ou seja, pertence a uma Instituição Federal de Ensino, atua também em Sociedades/Associações e em revista científica indexada.

Inspirados nas redes de 2-modos da Figura 22, apresentamos na Figura 23, a rede de 2-modos entre os autores de dissertações e teses em Ensino de Física e as Instituições de Ensino onde realizaram a pós-graduação *Stricto Sensu*.

Figura 23 - Rede de afiliação (2-modos) entre os autores dos trabalhos *Stricto Sensu* em Ensino de Física e as Instituições de Ensino onde realizações suas pós-graduações.



Fonte: Do autor.

Os algoritmos utilizados para a visualização da rede na Figura 23 e a distribuição dos vértices corresponderam ao *Force Atlas2*, *Não sobrepor* e *Fruchterman Reingold*. Os vértices com maiores tamanhos e destaques, representam as Instituições de Ensino onde foram realizados os Programas de Pós-Graduações. O tamanho deles é proporcional ao número conexões com os autores de dissertações e teses. As cores estão dispostas de forma a diferenciar as componentes que compõem a rede completa. Os vértices que representam os autores, apresentam mesma cor da instituição de ensino a qual ele está conectado. Na Tabela 30 apresentamos os índices de redes complexas para a rede da Figura 24:

Tabela 30 – Índices de redes complexas verificados para a rede de 2-modos.

| Rede | $n = V $ | $m = E $ | Qt. Comp. | Comp. Gigante (%) | $\langle k \rangle$ | Δ | L | D |
|------|-----------|-----------|-----------|-------------------|---------------------|----------|-----|-----|
|------|-----------|-----------|-----------|-------------------|---------------------|----------|-----|-----|

| | | | | | | | | |
|--|-----|-----|----|-------|-------|-------|-------|----|
| Rede de 2-modos | 851 | 813 | 45 | 61,22 | 1,911 | 0,002 | 3,99 | 12 |
| Rede de 2-modos (Maior Componente) | 521 | 526 | 1 | 100 | 2,019 | 0,004 | 4,053 | 12 |

Fonte: Do autor.

A rede de 2-modos da Figura 24, é composta por apresentar 782 autores de trabalhos *Stricto Sensu* em Ensino de Física e 59 Instituições de Ensino. A rede é esparsa, conforme podemos verificar pelo valor da densidade. Assim como em Nascimento, Pereira e Moret (2018a), um outro indício do caráter esparsa, é o elevado número de componentes. Em termos dos autores dos trabalhos em Ensino de Física, o valor $1 \leq \langle k \rangle \leq 2$, o que significa dizer que, ou um autor, realizou mestrado ou doutorado em uma instituição, ou só mestrado, ou só doutorado, ou doutorado e livre-docência. Também indica que, o autor realizou mestrado em uma instituição e doutorado em outra. Ou livre-docência na mesma instituição que realizou doutorado. O valor verificado para o caminho mínimo médio (L), indica que em média são necessárias, aproximadamente 4 arestas para conectarem dois vértices. Em relação ao diâmetro (D), o valor obtido é 12, o que indica o fato de que dois vértices estão conectados entre si por no máximo 12 outros vértices. Elencamos abaixo, as 30 maiores instituições de ensino, por meio da centralidade de grau:

Tabela 31 – Instituições de Ensino Mais importantes conforme a centralidade de Grau.

| Ordem Geral | Instituição de Ensino | Grau | Ordem Geral | Instituição de Ensino | Grau |
|-------------|-----------------------|---------|-------------|-----------------------|--------|
| 1 | USP | k = 262 | 16 | UNB | k = 12 |
| 2 | UFRGS | k = 72 | 17 | UFES | k = 10 |
| 3 | UFSC | k = 55 | 18 | UFSCar | k = 9 |
| 4 | UNICAMP | k = 46 | 19 | UFMT | k = 9 |
| 5 | UNESP | k = 42 | 20 | ULBRA | k = 8 |
| 6 | UFRJ | k = 32 | 21 | PUCRJ | k = 6 |
| 7 | UFMG | k = 30 | 22 | UFPR | k = 6 |

| | | | | | |
|----|-------|--------|----|----------|-------|
| 8 | UFRPE | k = 21 | 23 | UNIMEP | k = 6 |
| 9 | UFF | k = 20 | 24 | FGV | k = 5 |
| 10 | PUCRS | k = 19 | 25 | UNIJUÍ | k = 5 |
| 11 | UFSM | k = 18 | 26 | UERJ | k = 5 |
| 12 | UFBA | k = 17 | 27 | UFPA | k = 5 |
| 13 | PUCSP | k = 14 | 28 | CEFET-RJ | k = 4 |
| 14 | UEL | k = 14 | 29 | UFPEL | k = 4 |
| 15 | UFRN | k = 13 | 30 | UNICSUL | k = 3 |

Fonte: Do autor.

Considerando a rede total, dos quais elencamos as instituições acima, nas primeiras 15, há uma predominância da região Sudeste. As universidades do Sul com maiores centralidades são a UFRGS, UFSC, UFSM, respectivamente em 2º, 3º e 11º lugares. A região nordeste se destaca entre as 15 primeiras instituições com a UFRPE, UFBA e UFRN, respectivamente 8ª, 12º e 15º lugares. A região Centro-Oeste e Norte se destacam dentre as 15a-30a colocações na Tabela 32. É válido ressaltar que de 1972-2006 a UFPA é a única representante da região norte do Brasil nas redes.

A maior componente da rede 2-modos, com 61,22% (conforme Tabela 31), apresenta 13 Instituições elencadas na Tabela 32:

Tabela 32 – Instituições de Ensino mais importantes conforme a centralidade de Grau e Intermediação na componente gigante da rede de 2-modos.

| Ordem Geral | Instituição de Ensino | Grau | Instituição de Ensino | Centralidade de Intermediação |
|--------------------|------------------------------|-------------|------------------------------|--------------------------------------|
| 1 | USP | k = 262 | USP | 121786,59 |
| 2 | UFSC | k = 55 | UFF | 26422,9 |
| 3 | UNICAMP | k = 46 | UFSC | 26362 |
| 4 | UNESP | k = 42 | UNESP | 24313,4 |
| 5 | UFRJ | k = 32 | UNICAMP | 22683,1 |
| 6 | UFRPE | k = 21 | UFRJ | 18033,5 |
| 7 | UFF | k = 20 | UFRPE | 10190 |
| 8 | UFSM | k = 18 | UFSM | 8435,5 |

| | | | | |
|----|--------|-------|--------|------|
| 9 | UFSCar | k = 9 | UFMT | 4124 |
| 10 | UFMT | k = 9 | UFSCar | 4124 |
| 11 | PUCRJ | k = 6 | PUCRJ | 2585 |
| 12 | UFPA | k = 5 | UFPA | 2070 |
| 13 | UFMS | k = 1 | UFMS | 0,0 |

Fonte: Do autor.

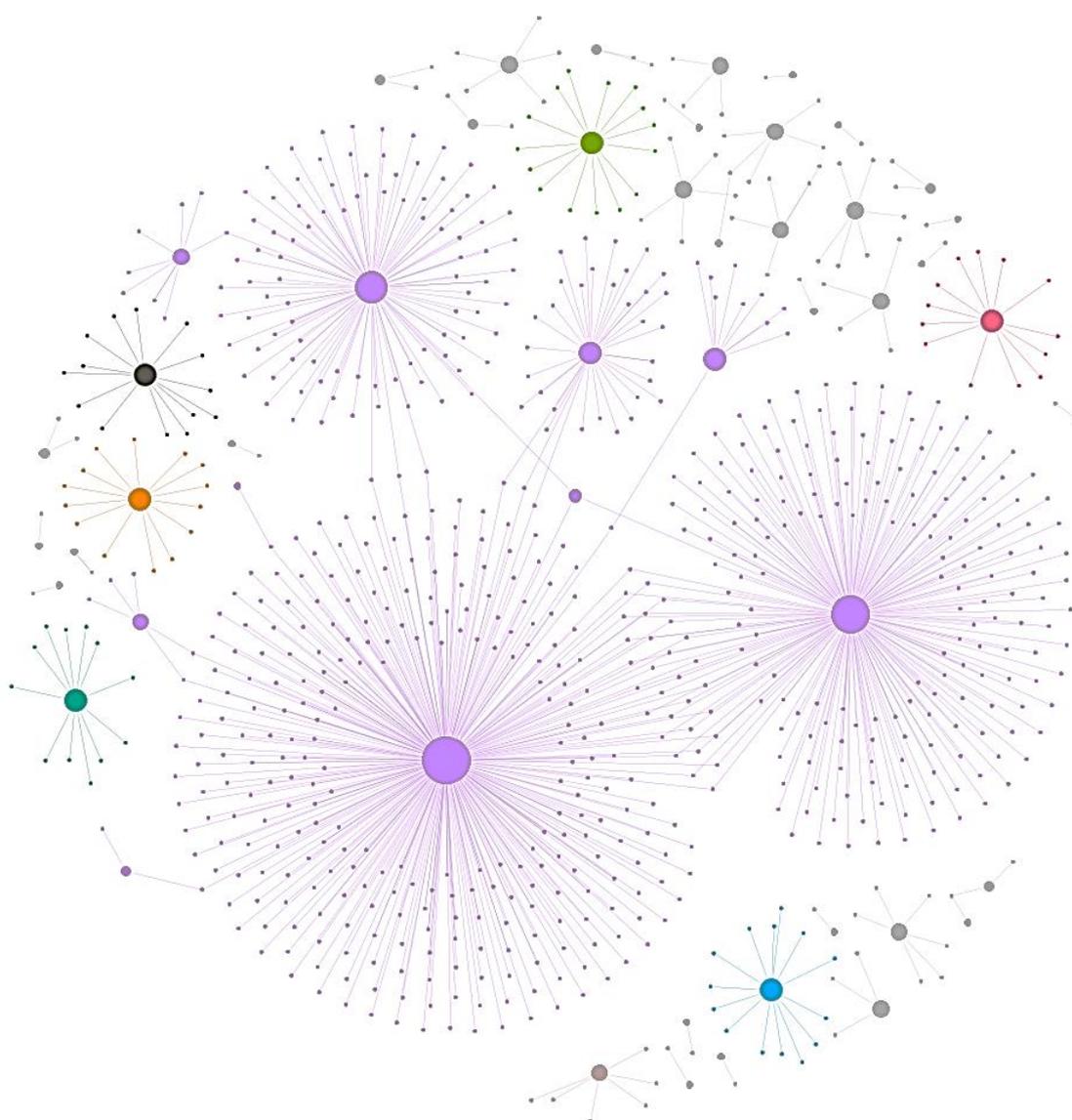
A região sudeste predomina na rede de 2-modos da Figura 24. A USP, por exemplo, apresenta maior importância na rede por meio da centralidade de grau ($k=262$) cujo seu respectivo valor é superior a soma dos demais graus das 12 instituições que compõem a rede. Ainda nesta região, temos a UNICAMP, UNESP, UFRJ, UFF, UFSCar e PUCRJ, respectivamente ordenadas por meio da centralidade de grau. A UFSC é a segunda universidade mais conectada na rede e única representante da região Sul, assim como, a UFSM (8ª Universidade mais importante). A UFRPE aparece na 6ª posição da rede da Figura 24, representando a Região Nordeste. A UFMT e UFMS correspondem respectivamente a 10ª e 13ª Universidades mais importantes na rede, representando a região Centro Oeste. A UFPA é a 12ª Instituição de Ensino mais importante da rede de 2-modos, sendo ainda, a única da região Norte.

Também são apresentados na Tabela 33 os valores da centralidade de intermediação, que conforme Nascimento, Pereira e Moret (2018a) “[...] é uma medida relacionada com o fato de um vértice estar entre dois outros, em uma posição privilegiada na rede”. Desta forma, inspirados em Freeman (1978/79) os vértices com maiores valores da referida centralidade, correspondem aqueles que possuem uma localização estratégica dentro da rede, ocupando assim, a posição de maior influência em relação aos demais vértices (ibidem). Então, para a rede de 2-modos da Figura 23, entre os autores de dissertações e teses e as Instituições de Ensino, podemos apontar quais delas podem estar relacionadas também com a possibilidade de um controle na difusão de uma informação. Diante destas informações e, de acordo com a Tabela 33, podemos verificar que a ordem das Universidades pela medida de centralidade de grau e intermediação são as mesmas, logo, a USP (C.I. = 121786,59), ocupa a posição de maior influência nas pesquisas em Ensino de Física, passando pela UFSC (C.I = 26362), UNICAMP (C.I. = 22683,1), até chegar na UFPA (C.I. = 2070), que apresentou a menor influência na rede. A Universidade Federal do Mato Grosso

do Sul (UFMS) não apresentou influência na rede, por meio da centralidade de intermediação.

Apresentamos na Figura 24, a rede de 2-modos, entre os autores de dissertações e teses em Ensino de Física e os seus respectivos programas de pós-graduações:

Figura 24 - Rede de afiliação (2-modos) entre os autores dos trabalhos *Stricto Sensu* em Ensino de Física e os Programas de Pós-Graduações.



Fonte: Do autor.

Para a visualização e distribuição dos vértices da Figura 24, utilizamos os algoritmos *Não sobrepor* e *Fruchterman Reingold*. Os vértices destacados

pelos seus tamanhos, correspondem aos Programas de Pós-Graduações das instituições de ensino e os demais vértices representam os autores de trabalhos *Stricto Sensu*. As cores estão dispostas a distinguir as componentes na rede. Na Tabela 33 apresentamos os índices de redes complexas para a rede da Figura 24:

Tabela 33 – Índices de redes complexas verificados para a rede de 2-modos.

| Rede | $n = V $ | $m = E $ | Qt. Comp. | Comp. Gigante (%) | $\langle k \rangle$ | Δ | L | D |
|------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-------------------|---------------------|----------|-------|-----|
| Rede de 2-modos | 837 | 838 | 35 | 77,78% | 2,002 | 0,002 | 3,446 | 8 |
| Rede de 2-modos (Maior Componente) | 651 | 686 | 1 | 100% | 2,108 | 0,003 | 3,452 | 8 |

Fonte: Do autor.

A rede de 2-modos da Figura 24, é composta por 44 Programas de Pós-Graduações e seus autores de trabalhos *Stricto Sensu* em Ensino de Física no período de 1972-2006. Assim como na rede de 2-modos da Figura 23, seja pela medida de densidade ou pelo número de componentes, a rede de 2-modos da Figura 24, apresenta-se esparsa. De forma análoga a análise anterior, ao observarmos a variação do grau médio pertencente aos autores das dissertações e teses em Ensino de Física, correspondeu: $1 \leq \langle k \rangle \leq 3$. Esta variação significa dizer que, um autor realizou apenas mestrado ($k = 1$), ou mestrado e doutorado ($k = 2$) ou ainda, mestrado, doutorado e livre-docência ($k = 3$). De fato, um autor de identificação na rede (ID = 207) que realizou mestrado, doutorado e livre-docência na USP, respectivamente, no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências, Educação e Física. Conforme os valores verificados para o caminho mínimo médio (L) e para o diâmetro (D), constatamos que a rede apresenta caminhos curtos entre os seus vértices. Conforme a rede de 2-modos (completa) da Figura 25, elencamos na Tabela 35 os 30 Programas de Pós-Graduações (PPGs) e suas respectivas Centralidades de Grau:

Tabela 34 – Vértices que correspondem aos PPGs da rede de 2-modos.

| Ordem Geral | Programa de Pós-Graduação | Grau | Ordem Geral | Programa de Pós-Graduação | Grau |
|-------------|---------------------------|------|-------------|---------------------------|------|
| 1 | Educação | 313 | 16 | Engenharia de Produção | 5 |

| | | | | | |
|----|---|-----|----|--|---|
| 2 | Ensino de Ciências | 210 | 17 | História da Ciência | 5 |
| 3 | Física | 96 | 18 | Tecnologia Educacional nas Ciências da Saúde | 5 |
| 4 | Educação para a Ciência | 34 | 19 | Matemática | 4 |
| 5 | Educação em Ciências e Matemática | 18 | 20 | Ciências Naturais | 3 |
| 6 | Educação Científica e Tecnológica | 16 | 21 | Informática | 3 |
| 7 | Ensino de Ciências e Matemática | 15 | 22 | Educação Escolar | 2 |
| 8 | Ensino das Ciências | 14 | 23 | Educação para a Ciência e o Ensino de Matemática | 2 |
| 9 | Ensino de Ciências e Educação Matemática | 14 | 24 | Ensino e História de Ciências da Terra | 2 |
| 10 | Ensino, Filosofia e História das Ciências | 14 | 25 | Ensino em Biociências e Saúde | 2 |
| 11 | Ensino de Ciências Naturais e Matemática | 12 | 26 | Física Aplicada | 2 |
| 12 | Psicologia | 9 | 27 | Informática na Educação | 2 |
| 13 | Educação em Ciências e Saúde | 6 | 28 | Ciências da Computação | 1 |
| 14 | Educação Matemática | 6 | 29 | Comunicação Social | 1 |
| 15 | Educação nas Ciências | 5 | 30 | Educação e Contemporaneidade | 1 |

Fonte: Do autor.

De acordo com a Tabela 34, em que elencamos da rede completa de 2-modos da Figura 24 os 30 programas de pós-graduações (PPGs) mais importantes por meio da centralidade de grau, destacamos a pluralidade dos PPGs onde foram realizadas pesquisas em Ensino de Física. Por exemplo, o 3º vértice mais importante é justamente o PPG em Física em que das suas 96 arestas, 72 estão relacionadas ao curso de Física da UFRGS. Os PPGs de Psicologia, Engenharia de Produção, Matemática, Ensino de Biociência e Saúde, Física Aplicada, Comunicação Social e Letras e Linguística (não elencado, ocupando a 41ª posição na rede, com $k=1$) ratificam esse universo diversificado onde ocorreram as pesquisas em Ensino de Física. A maior componente da rede 2-modos (Figura 24), com 77,78% (conforme Tabela 34), apresenta 9 PPGs, os

quais elencamos abaixo pelo valor da centralidade de grau e intermediação, conforme Tabela 35:

Tabela 35 – Vértices que correspondem aos PPGs da rede de 2-modos (maior componente):

| Ordem Geral | Programa de Pós-Graduação | Grau | Centralidade de Intermediação |
|--------------------|-----------------------------------|-------------|--------------------------------------|
| 1 | Educação | 313 | 163703,62 |
| 2 | Ensino de Ciências | 210 | 101084,50 |
| 3 | Física | 96 | 60473,87 |
| 4 | Educação para a Ciência | 34 | 19655.5 |
| 5 | Educação Científica e Tecnológica | 16 | 9630.0 |
| 6 | Psicologia | 9 | 5164.0 |
| 7 | Engenharia de Produção | 5 | 1944.5 |
| 8 | Educação Escolar | 2 | 649.0 |
| 9 | Educação em Ciências | 1 | - |

Fonte: Do autor.

Na Tabela 36 os 9 PPGs que representam o sistema “Ensino de Física” Brasileiro. Principalmente entre os 4 primeiros vértices, há uma forte colaboração científica presente na rede. O que percebemos na componente gigante da rede de 2-modos dos PPGs é uma rede de colaboração científica ocorrendo, pois, muitos dos autores de dissertações e teses ou cursaram o mestrado e o doutorado na mesma instituição de ensino (mas em programas de pesquisas distintos) ou o mestrado e o doutorado em instituições distintas, podendo ser em diferentes regiões brasileiras (cursos distintos ou não). Por exemplo, a maioria dos autores dos trabalhos em Ensino de Física, realizaram mestrado em Educação e doutorado em Ensino de Ciências, ou vice-e-versa. Bem como, o autor representado pelo vértice de ID = 290 na rede que realizou mestrado em educação na PUC-RJ e doutorado em Engenharia de Produção na UFRJ. Ou ainda o de ID = 283 que realizou mestrado em Física na UFRGS e Doutorado em Educação na PUC-RS ou o de ID = 691 que realizou mestrado em Física na UFRGS e Doutorado em Psicologia na UNB. Um impacto positivo neste caso da

presente rede de colaboração científica, é o fato de promover o intercâmbio de informações entre as pesquisas realizadas entre as instituições de ensino, por meios dos seus PPGs. Reiteramos, porém, que este fenômeno observado na rede, está restrito ao componente gigante.

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

Para que pudéssemos realizar as análises de redes semânticas por meio de um estudo da evolução temporal das redes baseadas em títulos e palavras-chave, utilizamos o formalismo referente aos Grafos que Variam no Tempo – TVG - *Time-Varying Graphs*. Nas sessões anteriores, as análises das redes semânticas foram realizadas com os vértices e as arestas fixos, ou seja, por meio de grafos estáticos, em que foi possível o estudo da conectividade da rede, por meio das interações entre os seus diversos atores. Mas, para considerarmos o caráter dinâmico nas redes semânticas (há alterações nos vértices e em suas interações), torna-se necessário a representação por meio de grafos cujos vértices e arestas sejam não-fixos (SANTANA, 2012; CUNHA, 2013).

Cunha (2013) expõe em sua pesquisa que um TVG corresponde a um grafo estático $G = (V, \mathcal{E})$ 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 $G = (V, \mathcal{E}, \Upsilon, \zeta, \Gamma)$, em que: V e \mathcal{E} correspondem, respectivamente, o número de vértices e arestas do sistema. A função de presença $\Upsilon: \mathcal{E} \times \Gamma \rightarrow \{0,1\}$ 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 $\Gamma \subset \mathbb{N}$ representa o tempo de vida do sistema.

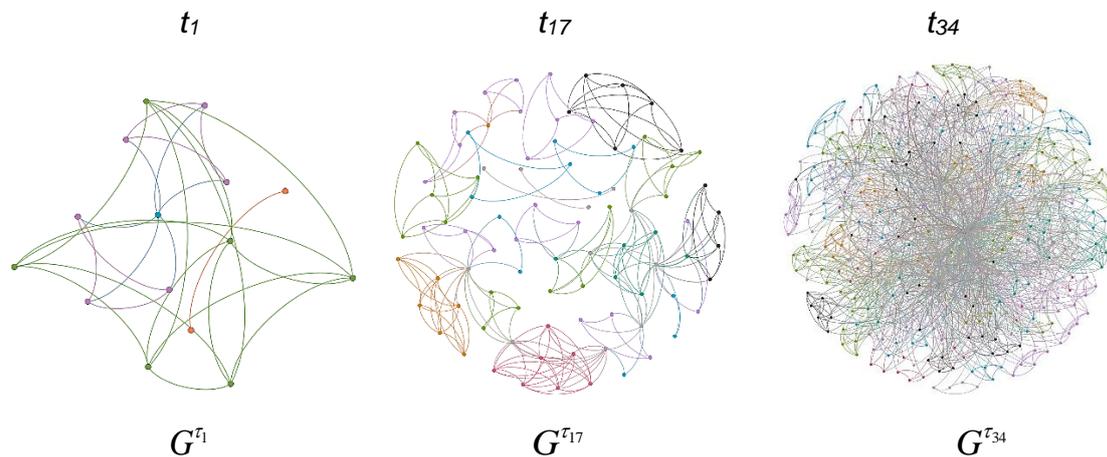
Alicerçados nos supracitados autores e diante das informações anteriores, temos para a presente pesquisa do Ensino de Física Brasileiro:

- $V = \{v_1, v_2, v_3, \dots, v_n\}$ correspondem aos conjuntos de vértices das redes semânticas, ou seja, as palavras pertencentes as cliques de títulos ou de palavras-chave 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 e palavras-chave do Ensino de Física nacional;
- Em relação a função presença (Υ), inspirados em Casteigts et al. (2011), Silva et al. (2012) e Cunha (2013), o TVG baseado em títulos e palavras-chave do Ensino de Física Brasileiro corresponde, respectivamente, a um conjunto de grafos estáticos da forma $G^{[t_i, t_j]} = (V, \mathcal{E}^{[t_i, t_j]})$. Assim, $\forall e \in \mathcal{E}$, $e \in \mathcal{E}^{[t_i, t_j]} \Leftrightarrow \exists t \in [t_i, t_j], \Upsilon(e, t) = 1 \text{ e } e \in \mathcal{E}^{[t_i, t_j]}$. Teremos então a seguinte representação: $G = \{G^{[t_1, t_2]}, G^{[t_2, t_3]}, G^{[t_3, t_4]}, \dots, G^{[t_n, t_{n+1}]}\}$;
- A função de latência (ζ) é o tempo necessário para que duas palavras nas redes baseadas em Títulos e Palavras-chave 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 e Palavras-chave, 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 (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: $G = \{G^{\tau_1}, G^{\tau_2}, G^{\tau_3}, \dots, G^{\tau_{34}}\}$.

Então, o TVG do Ensino de Física Nacional corresponde ao conjunto dos subgrafos estáticos das redes baseadas em títulos e palavras-chave de um ano de dissertações e teses defendidas. Logo, o tempo do TVG do Ensino de Física nacional é anual. Desta forma, para cada ano t , iniciado em 1972 e finalizado em 2006, há uma rede semântica baseada em títulos e palavras-chave dos trabalhos *Stricto Sensu* em Ensino de Física. Conforme Casteigts et al. (2011), Silva et al. (2012), Cunha (2013) e Barjon et al. (2014), temos então $G(V_t, \mathcal{E}_t, t) = G(V_1 + V_2 + V_3 \dots + V_{34}, \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3 \dots + \mathcal{E}_{34})$. A título de exemplo, na presente pesquisa, o subgrafo cujo $t=21$, corresponde a uma rede baseada em título e uma rede baseada em palavras-chave, de todas as dissertações e teses apresentadas e defendidas pelos seus autores no ano de 1993. Por meio deste formalismo apresentado, analisamos o comportamento dos índices de redes ao longo do tempo. Para explanação, apresentamos na Figura 25 os subgrafos correspondentes a t_1 , t_{17} e t_{34} das redes de títulos e palavras-chave respectivamente:

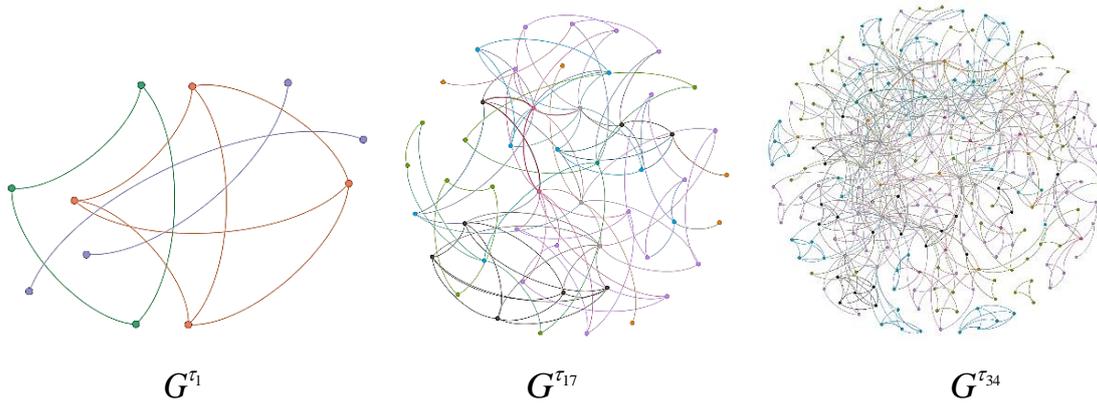
Figura 25 – Evolução temporal das redes semânticas, conforme Subgrafos G^{t_1} , $G^{t_{17}}$ e $G^{t_{34}}$ do TVG Física Nacional.

Rede Semântica baseada em Títulos



Rede Semântica baseada em Palavras-chave

t_1 t_{17} t_{34}



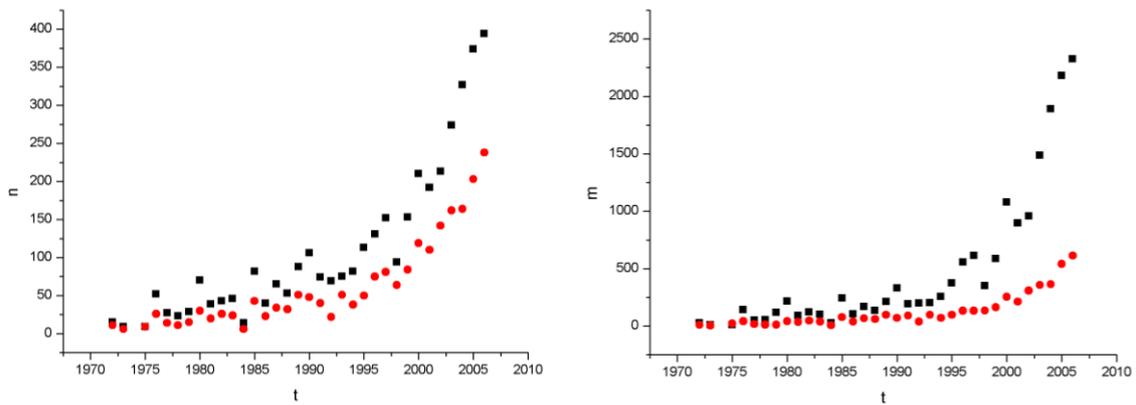
Fonte: Do autor.

Para realizarmos as análises do TVG do Ensino de Física utilizamos os índices atemporais. Conforme Santoro et al. (2011), Cunha (2013), Cunha et al. (2013) estes índices correspondem aos denominados de “índices clássicos de redes” ou “índices 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). Para tal, verificamos o nível de correlação entre as redes semânticas baseadas em títulos e palavras-chave, utilizando o coeficiente de Pearson:

$$r = \frac{n \sum x_i y_i - (\sum x_i) \cdot (\sum y_i)}{\sqrt{[n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2] \cdot [n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2]}} \quad (16)$$

Em que: $r = + 1$ a correlação é perfeitamente positiva. Se $r=-1$ a correlação é perfeitamente negativa e se $r=0$ não há correlação entre os pontos ou há, porém, é não-linear. O TVG das redes semânticas baseadas em títulos (escuro) e palavras-chave (vermelho) apresentou para o número de vértices (n) e o número de arestas (m) o comportamento presente na Figura 26:

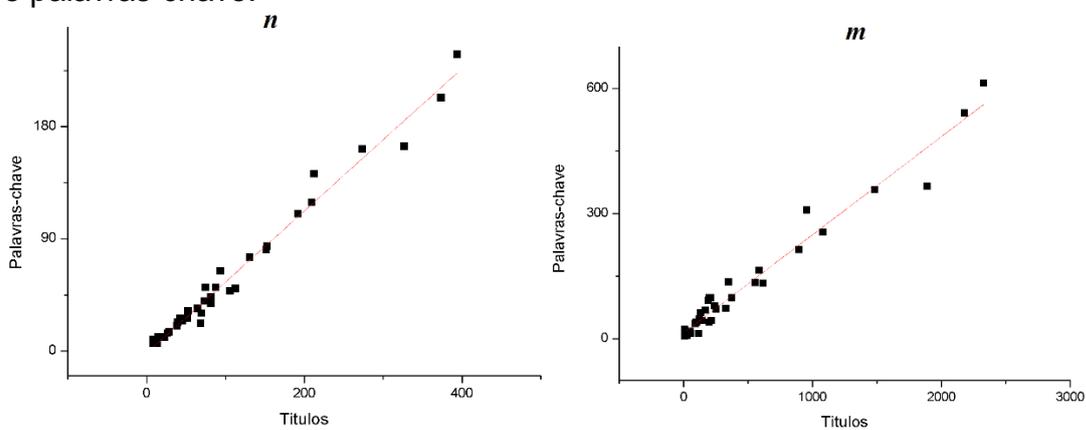
Figura 26 – TVG dos coeficientes n e e para o Ensino de Física Brasileiro.



Fonte: Do autor.

Conforme Figura 26 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 do aumento para n e e , corresponde a elevação anual que ocorreu em dissertações e teses defendidas. Ao utilizarmos a correlação de Person entre as redes de títulos e Palavras-chave encontramos para a rede o gráfico pertencente a Figura 27:

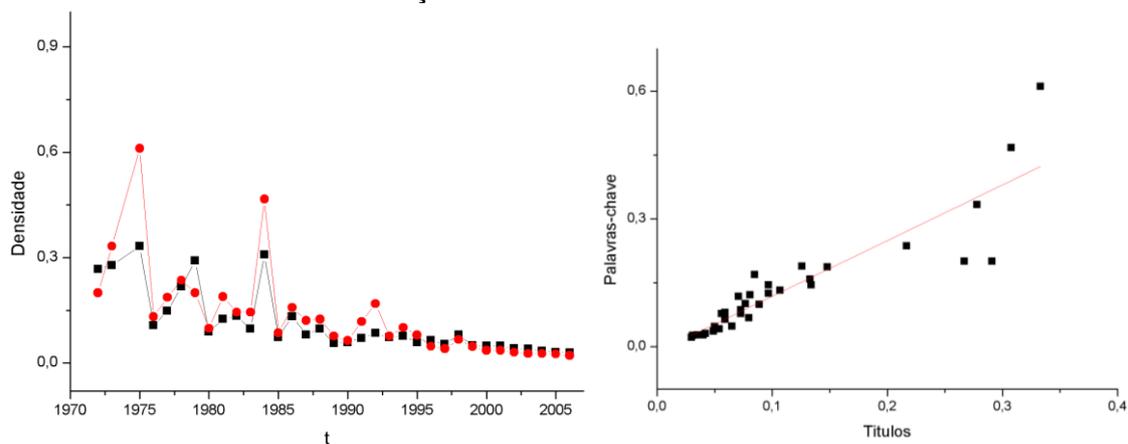
Figura 27 – Correlação entre número de vértices e arestas das redes de títulos e palavras-chave:



Fonte: Do autor.

Conforme Figura 27 a correlação verificada entre as redes semânticas baseadas em títulos e palavras-chave para o número de vértices (n), apresentou $r = 0,99$ e $r = 0,98$ para o número de arestas (m), ou seja, as redes estão fortemente correlacionadas nestas métricas. Na Figura 28, apresentamos o TVG da medida de densidade (Δ), para a rede de títulos (escuro) e a de palavras-chave (vermelho) bem como, a correlação entre as redes:

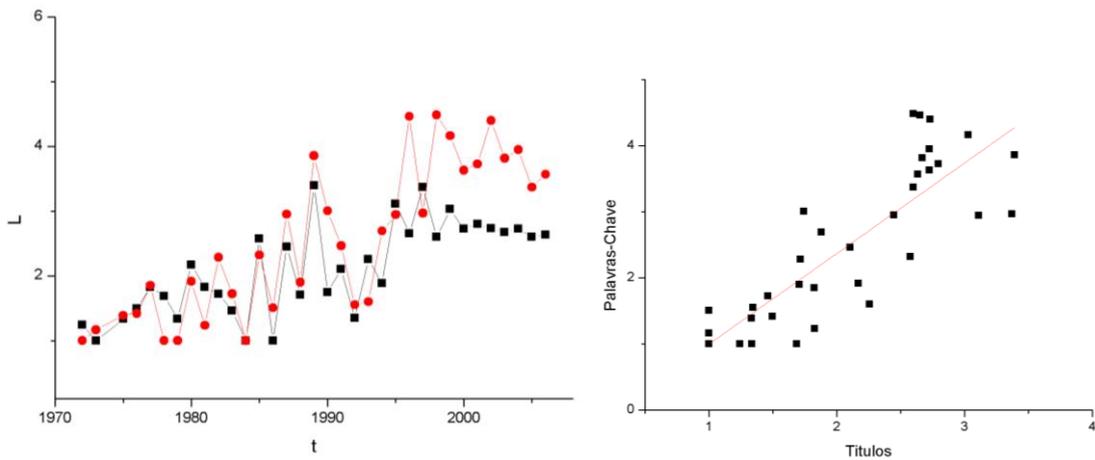
Figura 28 – TVG da Densidade e correlação entre as redes de títulos e palavras-chave e a medida de correlação.



Fonte: Do autor.

A medida de densidade (Δ) apresentou um comportamento de oscilação nos primeiros 24 anos, aproximadamente, dos 34 correspondentes ao período total e, uma tendência nos anos finais de estabilidade. Esta tendência aponta na direção das redes apresentarem um comportamento de se tornarem mais esparsas, menos coesas. Semelhante ao fenômeno verificado no resultado do TVG apresentado em Cunha (2013), o número de vértices (n) aumentou nas redes semânticas, ocorrendo uma relação inversamente proporcional com a densidade (Δ). Este fato foi percebido tanto na rede baseada em títulos, quanto em palavras-chave. O coeficiente de correlação de Person entre as redes baseadas em títulos e palavras-chave, apresentou $r = 0,89$, indicando uma forte correlação. Na Figura 29 apresentamos os resultados para o TVG do Caminho Mínimo Médio (L) para as redes baseadas em Títulos (escuro) e palavras-chave (vermelho) e a medida de correlação entre elas:

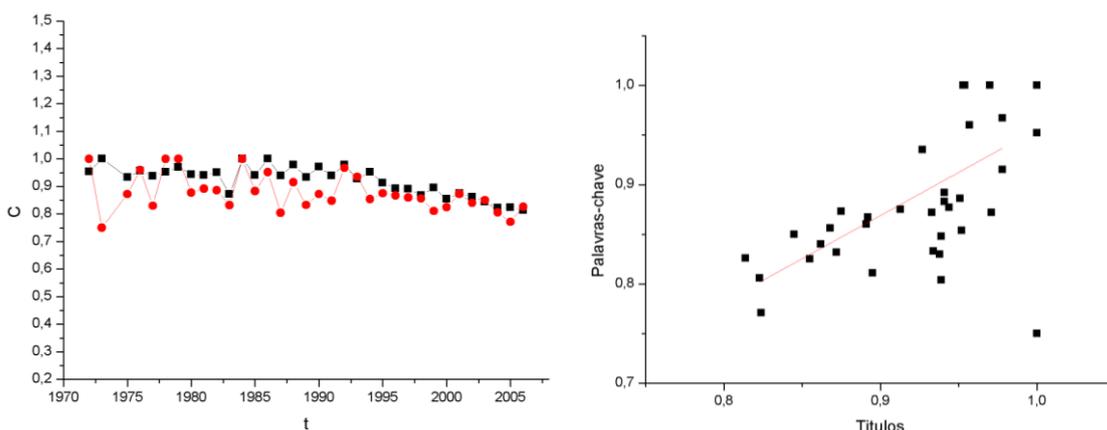
Figura 29 – TVG do Caminho mínimo médio (L) e a correlação entre as redes de títulos e palavras-chave.



Fonte: Do autor.

Conforme Figura 29 a medida do Caminho Mínimo Médio (L) apresentou um comportamento semelhante ao que ocorreu com a Densidade (Figura 28), ou seja, uma oscilação nos primeiros 24 anos analisados e, uma tendência em de estabilidade, na década final. Em relação à medida de correlação entre as redes, o coeficiente de Pearson indicou $r = 0,82$, ou seja, as redes apresentaram uma boa medida de correlação. Na Figura 31 apresentamos o TVG para o Coeficiente de Aglomeração (C_{ws}) das redes de títulos (escuro) e palavras-chave (vermelho) e, a medida de correlação entre as redes:

Figura 30– TVG do Coeficiente de Aglomeração (C_{ws}) e a correlação entre as redes de títulos e palavras-chave.



Fonte: Do autor.

Na Figura 30 o TVG do coeficiente de aglomeração das redes semânticas, 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 85% de aglomeração e 84% para a rede de palavras-chave. Em relação ao coeficiente de correlação, encontramos para as redes semânticas o valor de $r = 0,54$.

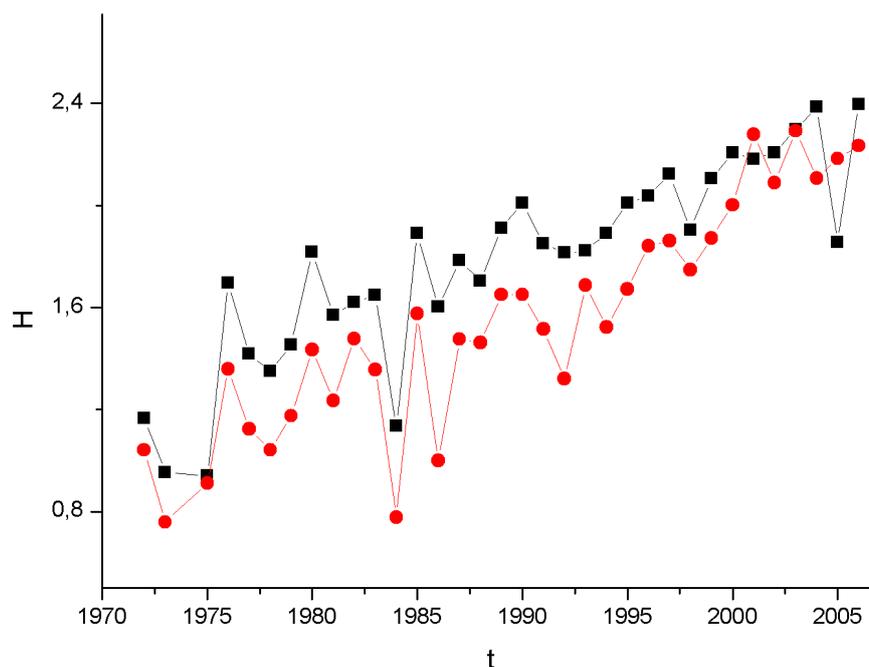
A complexidade presente em uma rede depende do grau de organização global que suas conexões realizam entre as entidades que as constituem (RIBEIRO et al., 2016). Os referidos autores apontam na direção de que é por conta da heterogeneidade pertencente as arestas que conectam os vértices de redes reais, como as redes semânticas do Ensino de Física, o fato delas apresentarem diferentes níveis de organização (ibidem). Uma forma de verificarmos em que medida este grau de organização ocorre (a complexidade da rede), bem como a diversidade de uma informação, é por meio da Entropia de Shannon.

Um processo é dito ergódico em média se suas médias temporais e de conjunto coincidem quanto tendem a um tempo infinito, sendo necessária a estacionariedade do processo em análise. A Entropia de Shannon explica que em um determinado processo ergódico, a sua análise deve ser realizada de forma probabilística (SHANNOON, 1948). Logo, devemos considerar um conjunto de probabilidades de ocorrências dos eventos possíveis. Desta forma, em um processo ergódico, a quantidade de informação obtida deve somar todas as probabilidades de ocorrência (p) de um evento, sendo multiplicado pelo seu próprio logaritmo (ibidem), da seguinte maneira:

$$H = -\sum_i^N p_i \log p_i \quad (17)$$

Em que p_i é a probabilidade de ocorrência de uma dada palavra, para o universo de palavras contidas nos conjuntos de títulos e palavras-chave do Ensino de Física Nacional. Diante das informações anteriores, apresentamos a série temporal formada pelas medidas calculadas para a Entropia de Shannon, rede baseada em títulos (escuro) e palavras-chave (vermelho), para o período de 1972-2006 do Ensino de Física Nacional:

Figura 31– Série temporal da Entropia de Shannon do Ensino de Física.

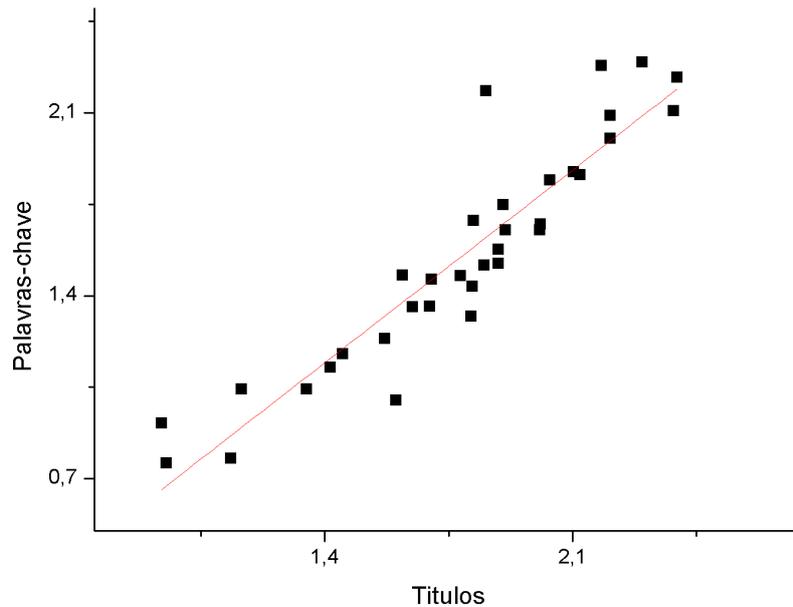


Fonte: Do autor.

Conforme a Figura 31 verificamos que tanto a rede semântica do Ensino de Física baseada em títulos quanto a de palavras-chave apresentaram um aumento na diversidade das informações presentes nas redes. Essa pluralidade na informação apresentada diretamente proporcional ao tempo, deve-se principalmente ao fato do aumento das dissertações e teses ao longo do período total analisado. Desta forma, proporcionaram uma quantidade maior de informações resultantes dos trabalhos, tanto números quanto em pluralidade nos títulos e palavras-chave.

Para realizamos a análise da correlação entre as séries temporais das redes de títulos e palavras-chave, utilizamos o coeficiente de Person conforme Eq. 16. Assim, apresentamos na Figura 32 a correlação entre as medidas da Entropia de Shannon verificadas para as redes semânticas de títulos e palavras-chave:

Figura 32– Série temporal correlacionada da Entropia de Shannon do Ensino de Física.



Fonte: Do autor.

O gráfico da Figura 32 apresenta o coeficiente de correlação de Pearson com valor de $r = 0,92$. Este resultado indica que as séries temporais presentes na Figura 32 estão fortemente correlacionadas (Figura 32). Então, concluímos que, em termos da diversidade da informação, verificado pela Entropia de Shannon que, a rede semântica de títulos e a de palavras-chave das dissertações e teses do Ensino de Física Brasileiro nos trazem as mesmas informações. Logo, não há diferença alguma em analisarmos de forma isolada a rede baseada em títulos ou a de palavras-chave, os resultados obtidos serão iguais.

6. Considerações finais

Por meio da análise das redes semânticas baseadas em títulos, palavras-chave e resumos pertencentes aos trabalhos em Ensino de Física no Brasil no período de 1972-2006 (títulos e palavras-chave) e 1972-1995 (resumos), com base em alguns índices da teoria de redes (complexas e sociais), foi possível a caracterização das redes. Conforme o método apresentado por Watts e Strogatz (1998), realizamos uma comparação entre os seus coeficientes de aglomeração e o caminho mínimo médio das redes semânticas, entre as componentes gigantes delas e as suas respectivas redes aleatórias equivalentes. Vale

ressaltar que seguimos os nortes fornecido pelo método Watts e Strogatz (1998) e consideramos as restrições propostas por Watts (1999): a rede deve ser esparsa, não dirigida, não ponderada, conectada e não conter laços. Desta forma, pudemos argumentar que as redes semânticas apresentaram 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 seguem uma lei de potência do tipo $P(k) \sim k^\gamma$. Logo, as redes também apresentaram características de serem livres de escala (*Scale Free*).

Ressaltamos que os valores encontrados para o coeficiente angular γ , da lei de potência, verificados para as redes nos períodos analisados parcialmente (1972-1992, 1992-1995 e 1996-2006) e para o período total (1972-2006) os melhores ajustes lineares encontrados foram para as redes semânticas de títulos de 1972-1992 (com $\gamma = 2,007$ e o ajuste $R^2 = 0,8737$) e 1992-1995 (com $\gamma = 2,1566$ e o ajuste $R^2 = 0,82448$). Os demais valores encontrados estão fora do intervalo indicado por Barabási e Albert (1999), porém, apresentam coerência com as redes *Scale Free* encontradas nas obras de Seyed-allaei et al. (2006), Fadigas et al. (2009), Nascimento et al. (2018a) e Nascimento, Pereira e Moret (2018a) e Nascimento et al. (2019). Diante das informações anteriores, podemos argumentar que as redes apresentaram comportamento híbrido: redes *Scale Free* e *Small-World*.

Como as redes *scale free* são resistentes à retirada de vértices de forma aleatória, apresentam vulnerabilidade em caso de retirada dos vértices (palavras) que correspondem aos *hubs* nas redes. Isso sugere que, sem elas, os “discursos” do Ensino de Física nacional, em termos de palavras, seriam localizados em determinados programas de pós-graduações e regiões. Isso significa que, caso retirássemos das redes semânticas vértices altamente conectados (*hubs*) e, também, aqueles vértices que representam os pontos de cortes, as redes passariam a ter muitos componentes o que dificultaria encontrar trabalhos semelhantes. Esta dificuldade se manifestaria em termos de não favorecer aos leitores a utilização dos mecanismos de buscas de trabalhos científicos (como o portal de periódicos da CAPES, por exemplo). Então, pelas características das redes, tanto pelos índices de redes complexas quanto os de

redes sociais, podemos inferir que houve a difusão da informação do Ensino de Física nos períodos analisados.

Pelo exposto até aqui, com relação aos objetivos propostos na presente tese, temos as seguintes considerações: o primeiro objetivo específico correspondia em estruturar um banco de dados dos títulos e palavras-chave das dissertações, teses e os locais de atuações profissionais dos autores de dissertações e teses em Ensino de Física no Brasil, entre 1972 e 2006. Pelo apresentado aqui neste tópico de Considerações Finais, foi possível realizar a construção de um banco de dados, cujas informações de títulos, palavras-chave e resumos foram obtidos a partir dos relatórios de Ensino de Física (1972-1992, 1992-1995 e 1996-2006). Por meio da base de dados dos nomes dos autores, foi possível investigar os locais de atuações profissionais deles, tendo como base de investigação, o Currículo Lattes.

O segundo objetivo específico consistiu em construir e analisar as redes semânticas de títulos, palavras-chave e resumos das dissertações, teses em Ensino de Física no Brasil, entre 1972 e 2006. Novamente, pelas informações iniciais deste tópico, realizamos as construções e análises das redes semânticas para o período correspondente a cada relatório do Ensino de Física e para o período total (1972-2006). Destas análises realizadas, em que utilizamos os *hubs* para verificar as categorias na qual o Ensino de Física Nacional esteve ancorado, no período observado, há uma forte correlação entre os resultados obtidos aqui e os dos próprios relatórios. Há total coerência também com a tese de doutorado de Salem (2012), uma das autoras dos relatórios e que realizou a sua pesquisa em Ensino de Física tendo como base a fonte de dados utilizados aqui: os 3 relatórios.

O terceiro objetivo específico foi construir e analisar as redes que representem a localização atual profissional dos autores (pertencentes a base de dados) dos trabalhos *Stricto Sensu* em Ensino de Física do país. Desta forma realizamos a investigação sobre a atuação profissional dos autores dos trabalhos *Stricto Sensu* em Ensino de Física no Brasil, por meio da análise de uma rede de 2-modos. Em análise da rede, foi possível verificar que, das categorias estabelecidas para representarem os locais de trabalho, 72% dos profissionais estão atuando e distribuídos em Instituições de Ensino Superior Públicas, da

inciativa privada ou instituições de ensino internacional. Aproximadamente 17% dos profissionais estão atuando como professores na Educação Básica pública ou privada. Podemos perceber que a maioria dos profissionais que se encontram ainda na ativa estão trabalhando diretamente em instituições de ensino nos diferentes níveis da educação.

O quarto objetivo específico correspondeu em analisar a correlação entre as redes semânticas estáticas e que variam no tempo (TVG - *Time-Varying Graphs*) baseadas em títulos e palavras-chave das dissertações e teses do Ensino de Física no Brasil. Desta forma, a correlação das redes estática (baseadas em títulos, palavras-chave e resumos) de forma qualitativa foi possível concluir os tópicos/categorias estabelecidas pela observância dos hubs. Com este resultado, foi possível apontar os “interesses” que alicerçaram a pós-graduação em Ensino de Física nacional. 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). Por meio desta abordagem, foi possível estudar os índices clássicos de redes e verificamos que, para a maioria dos índices há uma fortíssima correlação entre as séries temporais das redes de títulos e palavras-chave. Por fim, utilizamos a Entropia de Shannon nas supracitadas séries temporais para verificar em que medida havia a diversidade da informação, nas redes de títulos e palavras-chave. Concluimos que, pela medida de Entropia e a correlação de Pearson nas séries temporais das redes semânticas de títulos e palavras-chave nos trazem as mesmas informações, logo, não havendo diferença alguma em analisarmos uma ou outra, os resultados são os mesmos.

7. 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.
- ALBERT, JEONG, R. H., BARABÁSI, A.L. Internet: Diameter of the world-wide web. **Nature**, 1999.
- AMARAL, L. A. N., OTTINO, J. M. Complex networks. Augmenting the framework for the study of complex systems. **Eur. Phys. J. B** **38**, 147–162, 2004.
- ALCANTARA, Marlon C.; BRAGA, Marco. Elementos histórico-culturais para o ensino dos instrumentos ópticos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 34, n. 1, p. 109-130, maio 2017.
- BARJON, M et al. Testing temporal connectivity in sparse dynamic graphs. **arXiv preprint arXiv:1404.7634**, 2014.
- BAPTESTINI, Elizabeth Machado. Um sistema presa-predador com evasão mediada por feromônio de alarme. 2006. 81p. Tese (Magister Scientiae) – Departamento de Física, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.
- BARABÁSI, A. L., ALBERT, R. Emergence of Scaling in Random Networks. *Science*, n. 286, pp. 509-512, 1999.
- BARABÁSI, A.L. The architecture of complexity. **IEEE Control Syst.**, 27, 33–42, 2007.
- BRINKMAN, W. e LANG, D.V. *Reviews of modern physics*, vol. 71, nº. 2, pp. S480-S488, **Centenary**, 1999.
- BOCCALETTI, S., LATORA, V., MORENO, Y., CHAVEZ, M., HWANG, D. U. Complex networks: Structure and dynamics. **Phys. Rep.**, 424, pp. 175-308, 2006.
- 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.; FLOCCHINI, P.; QUATTROCIOCCHI, W.; SANTORO, N. **Time-varying graphs and dynamic networks**. In: ADHOC-NOW. [S.l.: s.n.], p. 346-359, 2011.
- CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A. Metodologia científica. São Paulo: Pearson, 2004.

CORSO, Gilberto; FOSSA, Camilla R.; OLIVEIRA, Genilson B. de. Uma aplicação da teoria de redes à estilometria: comparando Machado de Assis e Tribuna do Norte. **Rev. Bras. Ensino Fís.**, São Paulo , v. 27, n. 3, p. 389-393, 2005.

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.

CRUZ, Carlos H. de Brito. Física e indústria no Brasil. **Cienc. Cult.**, São Paulo, v. 57, n. 3, p. 47-50, 2005 .

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: 11. jul. 2016

EULER, L. Solution problematis and geometriam situs pertinentis. Graph Theory 1736-1936, **Oxford University Press**, USA, 1736.

ERDOS, P.; RENYI, A. On the evolution of random graphs. Publ. Math. Inst. Hungar. Acad. Sci, v. 5, p. 17-61, 1960.

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.

FREEMAN, L. C. 1978/79. Centralitu in Social Network: Conceptual Clarification. **Social Networks**, v. 1, pp. 215-239.

FIORIN, D. V. et al. Aplicações de redes neurais e previsões de disponibilidade de recursos energéticos solares. **Rev. Bras. Ensino Fís.**, São Paulo , v. 33, n. 1, p. 01-20, Mar. 2011.

GRZIB, G. e BRIALES, C. **Psicología general**. Madrid: Editorial Centro de Estudios Ramón Areces, 1996.

GOMES, M. V. M; PEREIRA-GUIZZO, CAMILA DE SOUSA ; SAMPAIO, R. R. ; NASCIMENTO, J. O. do . Jogos digitais para o desenvolvimento da habilidade espacial: uma revisão da literatura internacional. **EDUCAÇÃO: TEORIA E PRÁTICA**, v. 28, p. 357-373, 2018.

GROSS, J. L.; YELLEN, J. **Graph theory and its applications**. CRC press, Boca Raton FL USA 2005.

IMA, Nathan Willig; OSTERMANN, Fernanda; CAVALCANTI, Claudio Jose de Holanda. A não-modernidade de Bruno Latour e suas implicações para a Educação em Ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 35, n. 2, p. 367-388, set. 2018.

LATAPY, M.; MAGNIEN, C.; DEL VECCHIO, N. Basic notions for the analysis of large two-mode networks. **Social Networks**, vol. 30, núm. 1, pág. 31-48, 2008.

LI, Ruidong ; YANG, Hui ; WANG, Yan. Application of Information Technology and Data Mining in Evaluating Physics Teaching Effect. **Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação**, Issue E8, pp.313-323, 2016

MILGRAM, S. The small-world problem. **Psychology Today**, 2:60–67, 1967.

LILJEROS, F.; EDLING, C. R., AMARAL, L. A. N., STANLEY, H. E., ABERG, Y., **Nature (London)** 411, 907, 2001.

MOREIRA, Marco Antonio. **O que é, afinal, aprendizagem significativa**. Material de apoio aula inaugural do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais da UFMG, Cuiabá, MT, 2010. Disponível em <<http://www.if.ufrgs.br/~moreira/oqueeafinal.pdf>>. Acesso em: 01.03.201

MOTTER, A. E.; MOURA, A. P. S. de, LAI, Ying-Cheng, DASGUPTA P. Topology of the conceptual network of language. **Phys. Rev. E** 65, 065102(R). DOI:<https://doi.org/10.1103/PhysRevE.65.065102>, 2003.

MOYANO, L. G. **Mecânica estatística não-extensiva em sistemas complexos: fundamentos dinâmicos e aplicações**. Tese de Doutorado, Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas. Rio de Janeiro, 2006.

NEWMAN, M. E. J. **Networks: an introduction**. Oxford: Oxford University Press, 2010.

NUSSENZVEIG, M. **Complexidade e caos**. 2ª Ed. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2003.

NASCIMENTO, J. O. do; NEIDE, I. G.; GONZATTI, S. E. M. Objetos de Aprendizagem e o Microsoft Excel como ferramentas auxiliares no Ensino de Física. **CADERNO PEDAGÓGICO (LAJEADO. ONLINE)**, v. 13, p. 124-138, 2016.

NASCIMENTO, Jefferson Oliveira do; Pereira-Guizzo, Camila de Sousa ; Monteiro, Roberto Luiz Souza ; Moreira, Davidson Martins; Moret, Marcelo Albano; Pereira, Hernane Borges De Barros . The postgraduate Brazilian studies in Physics Teaching using Complex Network. In: **6th International Conference on Nonlinear Science and Complexity**, 2016, São José dos Campos - SP. v. 1. doi:10.20906/CPS/NSC2016-0010

NASCIMENTO, J. O. do (b); PEREIRA, H. B. B.; MORET, M. A. **Redes semânticas baseadas em palavras-chave do Ensino de Física Brasileiro: uma comparação nos métodos de pré-processamento dos dados**. In: VIII

Encontro Científico de Física Aplicada, 2017, Vitória/ES. Anais do VIII ECFA. Vitória/ES: UFES, 2017. v. 1. p. 1-6.

NASCIMENTO, J. O. do; MONTEIRO, R. L. S.; MOREIRA, D. M.; MORET, Marcelo A.; PEREIRA, H. B. B. Semantic networks of keywords from Brazilian dissertations on physics teaching. **Discontinuity, Nonlinearity and Complexity**, 2018.

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.; 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.

OLIVEIRA, Luciano Denardin de. Titanic, Jack, Rose e o Princípio de Arquimedes. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 29, n. 2, p. 283-288, ago. 2012. ISSN 2175-7941.

OLIVEIRA NETO, Nemesio Matos. **Álgebra de Heisenberg Generalizada, Partículas Compostas e Estados de Quase-Equilíbrio**. 2006. 167p. Tese (Doutorado em Física) – Centro Brasileiro em Pesquisas Físicas, Rio de Janeiro, 2006.

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. **Redes Sociais e Complexas: Aplicações em Difusão do Conhecimento**. Academia de Ciências da Bahia: Memória, v. 3, p. 39-47, 2013.

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.

PIZA, Luciana Vieira et al. Ensinando os fundamentos de redes de sensores sem fio usando um sistema simples. **Rev. Bras. Ensino Fís.**, São Paulo , v. 35, n. 1, p. 01-07, 2013.

QUEIROZ, G. R. P. C. et al. Ensino de Ciências de qualidade na perspectiva dos professores de nível médio: construindo uma comunidade de pesquisadores. *Revista Brasileira de Pós-Graduação*, 9(16), 2012.

RODRIGUES, Emami Vassoler; CAMILETTI, Giuseppi Gava . Análise estrutural de redes semânticas: um estudo exploratório das relações entre representações proposicionais e evolução conceitual em um tópico da física. **Investigações em ensino de ciências (online)** , v. 23, p. 211-227, 2018.

RIBEIRO, Mauricio Aparecido et al. A rede social complexa de O Senhor dos Anéis. **Rev. Bras. Ensino Fís.**, São Paulo , v. 38, n. 1, 1304, 2016.

ROSA, M. G.; FADIGAS, I.; MIRANDA, J. G. V.; CUNHA, M. V.; MONTEIRO, R.L.S.; PEREIRA, H. B. B. Robustness in semantic networks based on cliques. **Physica. A** (Print), v. 472, p. 94-102, 2017.

REDNER, S. How popular is your paper? an empirical study of the citation distribution. **Eur. Phys. J. B**, 4:131–134, 1998.

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, 1992.

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, 1996.

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.

STERNBERG, R.J. **Psicologia cognitiva**. Porto Alegre: Artes Médicas Sul, 2000.

STEYVERS, M., TENENBAUM. J.B. The large-scale structure of semantic networks: statistical analyses and a model of semantic growth. **Cogn. Sci.**, 29 (1) pp. 41-78. 2005.

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

SILVA, B. et al. Statistical characterization of an ensemble of functional neural networks. **European Physical Journal B**, v. 392, p. 85-358, 2012.

SANTORO, N. On the temporal analysis of scientific network evolution. In: CASoN. p. 169-174, 2011.

SHANNON, C. E. A Mathematical Theory of Communication. The Bell System Technical Journal. v. 27, n. 3, p. 379-423, 623–656, 1948.

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.

WASSERMAN, S., FAUST, K. Social Network Analysis: Methods and Applications. **Cambridge University Press**, Cambridge, 1994.

WATTS, Duncan J.; STROGATZ, Steven H. Collective dynamics of ‘small-world’ networks. **Nature**, v. 393, n. 6684, p. 440-442, 1998