

Relacionamento entre Universidades e a Rede Federal de Ensino: uma análise por Redes Complexas

*Relationship between Universities and the Federal Education Network:
an analysis using Complex Networks*

Recebido: 10/10/2022 | **Revisado:**
29/09/2024 | **Aceito:** 03/10/2024 |
Publicado: 18/11/2024

Rafael Verão Franço

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5839-8160>

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Mato Grosso do Sul
E-mail: rafael.francozo@ifms.edu.br

Níssia Carvalho Rosa Bergiante

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5131-1253>

Universidade Federal Fluminense
E-mail: nissiabergiante@id.uff.br

Mischel Carmen Neyra Belderrain

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5582-4977>

Instituto Tecnológico de Aeronáutica
E-mail: carmen@ita.br

Como citar: FRANCOZO, R. V.;
BERGIANTE, N. C. R.; BELDERRAIN, M. C.
N. Relacionamento entre Universidades e a
Rede Federal de Ensino: uma análise por
Redes Complexas. **Revista Brasileira da
Educação Profissional e Tecnológica**,
[S.l.], v. 3, n. 24, p.1-20 e14356, nov. 2024.
ISSN 2447-1801. Disponível em: <Endereço
eletronico>.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 Unported License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Resumo

Este estudo analisa a influência das Instituições de Ensino Superior (IES) na Rede Federal de Ensino, considerando os docentes como intermediadores. Foram aplicados conceitos de redes complexas, utilizando docentes, IES de formação e as unidades de ensino onde atuam como vértices. Redes de cada estado brasileiro foram modeladas, e as propriedades de centralidade de grau e PageRank foram avaliadas. Os resultados indicam que as universidades públicas, especialmente federais, são as principais formadoras de docentes para a rede federal. Também se destaca a crescente relevância dos Institutos Federais na formação de professores. O estudo conclui que há uma padronização na distribuição de docentes na rede federal.

Palavras-chave: Educação Profissional; Redes complexas; Instituições de Ensino Superior; Rede Federal de Ensino.

Abstract

This study analyzes the influence of Higher Education Institutions (HEIs) on the Federal Education Network, considering teachers as intermediaries. Concepts from complex networks were applied, using teachers, their HEIs, and the teaching units as vertices. Networks from each Brazilian state were modeled, and degree centrality and PageRank properties were evaluated. Results indicate that public universities, especially federal ones, are the main trainers of teachers for the federal network. The growing relevance of Federal Institutes in teacher training is also highlighted. The study concludes that there is a standardized distribution of teachers within the federal network.

Keywords: Education; Professional; Complex networks; Higher Education Institutions; Federal Education Network.

1 INTRODUÇÃO

No sistema educacional brasileiro existem instituições de ensino privadas e públicas, estas com competências divididas entre o governo federal e os governos estaduais, municipais e do Distrito Federal (MEC, 2018a). A Rede Federal de Ensino (RFE) passou por um período de expansão no início do século XXI, em 2002 haviam 140 unidades e em 2018 eram 659 unidades em todo o país (MEC, 2018b). A expansão da RFE visa a integração do ensino regular ao tecnológico de modo a atender necessidades formativas demandadas ao desenvolvimento social e econômico do país (RIOS, 2021).

A RFE capta, para composição de seu corpo de professores, profissionais docentes com diversas formações, especialmente por não exigir que o docente possua graduação em licenciatura, como é comum em outras dependências administrativas (notadamente estadual e municipal). Tal característica implica uma grande diversidade de docentes com as mais diversas formações e oriundos de diversas Instituições de Ensino Superior (IES). A análise da relação entre a IES de formação dos docentes e a unidade da rede federal em que ele atua é uma tarefa árdua dado o volume de dados.

Esta tarefa, entretanto, pode ser viabilizada com a aplicação dos conceitos advindos da teoria de redes. A análise de estruturas por redes complexas permite uma melhor compreensão das características de um sistema é capaz de investigar redes com grande volume de dados (SITZENFREI *et al.*, 2020). Redes complexas refere-se a um grafo que apresenta uma estrutura topográfica não trivial, composto por um conjunto de vértices (nós) que são interligados por meio de arestas (BARABÁSI, 2003). Redes complexas são utilizadas em inúmeras aplicações. Como exemplo, pode-se citar sua utilização para análise de interações sociais (RECUERO, 2009); colaboração científica (BORDIN *et al.*, 2014); análise de vulnerabilidades em redes de transporte aéreo no Brasil (PEREIRA, 2017); disseminação de dados (COSTA *et al.*, 2019) entre outros.

Considerando os mais diversos usos de redes mencionados, este estudo tem por objetivo analisar a relação das IES na rede federal de ensino considerando o docente como agente intermediador. Para este fim, foram modeladas redes complexas tendo com os docentes, as IES de sua formação e as unidades da RFE onde atuam como vértices. O relacionamento é dado entre o docente e sua IES de formação e o docente e a unidade em que atua. Foram modeladas redes para cada estado brasileiro e analisadas as propriedades de centralidade de grau e o *pagerank* de cada rede com auxílio do pacote *igraph* para a linguagem de programação matemática R. Adicionalmente é apresentado uma relação com as três IES com maior grau de centralidade nas escolas da RFE de cada estado.

A continuidade deste artigo está estruturada da seguinte maneira: a seção a seguir apresenta a Rede Federal de Ensino, a seção 3 faz uma breve descrição de redes complexas e suas aplicações. A seção 4 fornece a contextualização sobre o domínio do problema em estudo e os procedimentos metodológicos adotados. Os resultados da modelagem e da análise das centralidades de redes são apresentados na seção 5 e por fim, na seção 6, as conclusões obtidas e direcionamentos para estudos futuros.

2 REDE FEDERAL DE ENSINO

A Rede Federal de Educação foi criada em 2008 pela Lei nº 11.892, Profissional, Científica e Tecnológica (BRASIL, 2008), constituiu-se em um marco na ampliação, interiorização e diversificação da educação profissional e tecnológica no país (MEC, 2018b). Atualmente a rede federal é composta pelo Colégio Pedro II, 38 Institutos Federais, 02 Centros Federais de Educação Tecnológica (CEFET), a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) e outras 22 escolas técnicas vinculadas às universidades federais.

Considerando os respectivos campi associados a estas instituições federais, tem-se ao todo 659 unidades distribuídas entre as 27 Unidades Federadas (UF) do país (MEC, 2018b). Além dessas instituições da Rede Federal de ensino, há ainda o Sistema Colégio Militar do Brasil com 14 unidades que oferecem o ensino fundamental e médio. Esses estabelecimentos de ensino, localizados em vários Estados do Brasil, que se subordina às normas e prescrições do Sistema de Ensino do Exército e, ao mesmo tempo, obedecem à Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (BRASIL, 1996; EB, 2021).

Neste estudo são consideradas todas as unidades da RFE que possuem estudantes matriculados em etapas de ensino da educação básica (ensino fundamental e ensino médio). Conforme dados do Censo Escolar, em 2020 haviam 700 unidades da rede federal de ensino em atividade, distribuídas em 572 municípios, com 404.080 estudantes matriculados¹ e 37.919 docentes² (INEP, 2020).

Os docentes da RFE possuem formação em distintas universidades e programas de formação trazem consigo variados repertórios de saberes, práticas pedagógicas, valores acadêmicos e metodologias de ensino. Esse fenômeno de transferência de conhecimentos entre instituições pode ser um vetor de inovação e enriquecimento do ambiente educacional, ao promover o intercâmbio de abordagens que podem potencializar a formação dos alunos e a produção acadêmica.

Lave e Wenger (1991) argumentam que o conhecimento é inseparável do contexto em que é aprendido. Assim, o professor não apenas transfere o conteúdo técnico, mas também as práticas culturais e os modos de pensar que aprendeu em sua formação. Pacheco (2008) em "*Transferência de Conhecimento e Práticas na Formação de Professores*" identifica que os professores tendem a incorporar os métodos e técnicas que aprenderam durante a formação inicial, mas que também existe um processo de adaptação às demandas da nova instituição de ensino, indicando uma dinâmica de transferência e transformação de conhecimento.

Embora a temática da influência das universidades na formação dos docentes da RFE seja um tema relevante considerando o recente fenômeno de expansão das escolas técnicas federais, pouco é observado na literatura correlata a respeito do tema (PASQUALLI *et al*, 2015). Desse modo, este estudo visa contribuir com a lacuna identificada ao realizar uma análise do relacionamento entre

¹ 36.387 na região Centro-Oeste; 135.958 na região Nordeste; 41.943 na região Norte; 70.109 na região Sul e; 119.683 na região Sudeste.

² 3.761 na região Centro-Oeste; 11.959 na região Nordeste; 4.003 na região Norte; 6.417 na região Sul e; 11.779 na região Sudeste.

universidades e as escolas técnicas federais por meio da formação dos docentes da RFE.

3 ANÁLISE POR REDES COMPLEXAS

Redes complexas representam um conceito abstrato de relações entre estruturas (denominados vértices) que possuem um relacionamento entre si, tal relacionamento é chamado link, aresta ou ligação (ESTRADA e KNIGHT; 2015). Redes complexas podem ser formalmente definidas como: Uma rede, G , é um par (V, E) em que V é o conjunto de vértices de G e E o conjunto de arestas de G (ESTRADA e KNIGHT; 2015). Através da análise da estrutura e das propriedades das redes é possível gerar uma melhor compreensão de um sistema (BARABÁSI, 2003).

Uma rede complexa possui diversas propriedades que podem ser analisadas. Tais propriedades contribuem para o entendimento e comparação entre diferentes tipos de rede, o que permite a compreensão das ligações existentes (RONQUI, 2014). Uma das análises mais relevantes em uma rede é calcular a importância relativa dos seus vértices (JUNKER e SCHREIBER, 2011). Este estudo concentra-se em duas propriedades estruturais para avaliação dos vértices das redes elaboradas: Grau e *PageRank*.

3.1 CENTRALIDADE DE GRAU

A centralidade de grau foi proposta por Freeman (1979). O grau de um vértice é a sua propriedade estrutural mais básica, é a soma do número das suas arestas adjacentes. A centralidade de grau corresponde ao grau que mede a capacidade de um nó de se comunicar diretamente com os outros. O grau de um nó i em uma rede G é definido usando sua matriz de adjacência, A , como na expressão (1):

$$k_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} = (e^T A)_i = (Ae)_i \quad (1)$$

Assim, com a centralidade de grau, i é mais central do que j se $>$. Em uma rede direcionada, onde o grau de entrada e saída podem ser diferentes, podemos utilizar grau para obter duas medidas de centralidade (ESTRADA e KNIGHT, 2015). Centralidade de graus em redes complexas é uma das medidas mais frequentemente utilizadas em estudos relacionados e o seu valor máximo varia de acordo com o tamanho da rede (ZHAN e GLUO, 2017).

A análise por centralidade em redes sociais complexas é diversificada na literatura como avaliação de transporte aéreo em Bergiante *et al.* (2011); A centralidade em camadas por Brandão *et al.* (2016); As análises de vulnerabilidade na rede de transporte aéreo brasileira utilizando redes complexas por Pereira (2016)

e; Estudo de Centralidades para Unidades Portuárias Brasileiras por Brandão, Del-Vecchio e Raposo (2020).

3.2 PAGERANK

O algoritmo pagerank foi patenteado pela Universidade de Stanford e foi desenvolvido pelos fundadores do site de buscas Google (PAGE *et al.*, 1998; BRIN e PAGE, 1999). Trata-se de um algoritmo de métrica de ordenação inicialmente utilizado para classificar os sites da rede mundial de computadores e que pode ser aplicado na análise de redes complexas (O'BRIEN e GLEESON, 2021).

O PageRank está intimamente relacionado à centralidade do autovetor e mede explicitamente a importância de um vértice de uma rede por meio da importância de outros vértices da própria rede apontando para ele. (PAGE *et al.*, 1998; BRIN e PAGE, 1999). Uma versão simplificada do algoritmo *pagerank* é apresentada na expressão (2):

$$R(u) = c \sum_{v \in B_u} \frac{R(v)}{N(v)} \quad (2)$$

Em c é uma constante para normalização, $R(u)$ o ranking de um web site u , B_u o conjunto de web sites que apontam para u e $N(u)$ o total de ligações (grau) de u (PAGE *et al.*, 1998, p. 3). O objetivo geral do pagerank é classificar um vértice em função do grau dos vértices que se conectam a ela. Desse modo o pagerank mede a qualidade de um determinado web site (tratado como um vértice da rede) que pode ser definido com resultado mais relevante de uma busca.

Para além da classificação de sites da internet o pagerank foi utilizado em aplicações diversas como: análise do empreendedorismo étnico e da inovação (WU e CHEN, 2017); detecção de homologia remota de proteínas (LIU *et al.*, 2018); validação de modelo de classificação de atletas de Taekwondo (KIM, 2018); classificação de jogadores de Snooker (O'BRIEN e GLEESON, 2021); entre outros.

3.3 MICRODADOS DO CENSO ESCOLAR

Os microdados do censo escolar são disponibilizados anualmente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP) e possuem informações detalhadas sobre matrículas, escolas, professores, gestores e turmas na educação básica no Brasil (INEP, 2021). Entre os anos de 2007 e 2020 os microdados do censo escolar eram fornecidos com nível de desagregação por estudante e ou professor. A partir de 2021 os dados são fornecidos apenas com os totais e um conjunto muito menor de informações.

Os microdados do censo escolar podem ser manipulados na linguagem de programação matemática R por meio do pacote ffbase (de JONGE *et al.*, 2021). Neste estudo os microdados do censo escolar fornecem as informações necessárias para a geração das redes e análise das suas propriedades. As redes e as métricas foram geradas utilizando o pacote Igraph (CSARDI e NEPUSZ, 2006) também para a linguagem de programação matemática R.

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O desenvolvimento deste estudo foi realizado em 4 etapas principais: 1 – Extração dos dados; 2 – Seleção das variáveis de interesse; 3 – Geração das redes; 4 – Análise dos resultados. Embora todas as etapas tenham sido elaboradas com a linguagem R, procedimentos e recursos específicos foram adotados em cada uma. Tais procedimentos são detalhados a seguir.

4.1 EXTRAÇÃO DOS DADOS

Os dados necessários para o desenvolvimento deste estudo foram extraídos da base de docentes dos Microdados do Censo Escolar do ano de 2020 – o mais recente disponível durante o desenvolvimento deste estudo. Esses dados são agrupados em arquivos por regiões geográficas: Centro-Oeste, Nordeste, Norte, Sudeste e Sul. Os arquivos para cada região foram abertos com auxílio da função `read.csv.ffdf` fornecida no pacote `ffbase`.

4.1 SELEÇÃO DAS VARIÁVEIS DE INTERESSE

Um dicionário de dados é fornecido juntamente com os Microdados do Censo Escolar. Esse dicionário contém informações detalhadas sobre todas as variáveis (ou campos) de cada base de dados disponível. Para a base de docentes do ano de 2020 existem 138 variáveis com detalhes do profissional escolar em sala de aula, das turmas em que leciona e da escola em que atua. Neste estudo foram consideradas as variáveis descritas na Tabela 1.

Tabela 1: Nome das variáveis com suas descrições.

Nome da Variável	Descrição
ID_DOCENTE	Código do Profissional Escolar
CO_IES_1	Código da Instituição do curso superior 1
CO_IES_2	Código da Instituição do curso superior 2
CO_IES_3	Código da Instituição do curso superior 3

CO_UF	Código da UF da escola
CO_ENTIDADE	Código da Escola
TP_DEPENDENCIA	Dependência Administrativa (Escola)

Fonte: Elaborado pelos Autores.

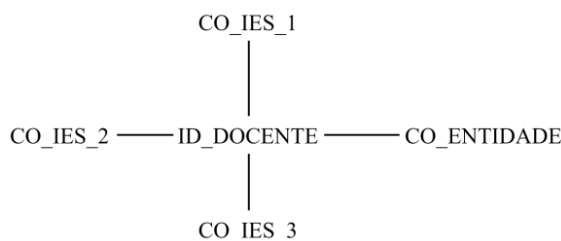
A variável ID_DOCENTE contém um código único que representa o docente, as variáveis CO_IES_1, CO_IES_2 e CO_IES_3 contém o código da IES em que esse docente se formou. As variáveis CO_IES_2 e CO_IES_3 recebem o valor nulo caso o docente não possua uma segunda ou terceira graduação respectivamente. A variável CO_UF contém o código da unidade federativa onde a escola que o docente atua está sediada e a variável CO_ENTIDADE contém o código dessa escola. A variável TP_DEPENDENCIA possui valor que varia de acordo com a dependência administrativa da escola que o docente atua e pode ser: 1 – Federal, 2 – Estadual, 3 – Municipal e 4 – Privada.

Para este estudo foram selecionados dados dos docentes que atuam apenas em escolas federais (TP_DEPENDENCIA = 1) de forma separada para cada UF. Tal seleção foi realizada utilizando a função ffwhich do pacote ffbase.

4.3 GERAÇÃO DAS REDES

De posse das informações necessárias, as redes foram modeladas individualmente para cada unidade federativa tomando os códigos dos docentes, os códigos das universidades e os códigos das escolas como vértices. Os vértices correspondentes aos docentes possuem relacionamento com as escolas em que eles atuam e as universidades em que se formaram como apresentado na Figura 1.

Figura 1: Modelo de Relacionamento das Redes Construídas



Fonte: elaboração própria.

Os relacionamentos ID_DOCENTE – CO_IES_2 e ID_DOCENTE – CO_IES_3 são gerados se e somente se o docente possuir uma segunda ou terceira formação acadêmica. Relacionamentos duplicados foram descartados, por exemplo um docente pode ter duas formações na mesma universidade ou duas turmas na mesma escola. Sem esse descarte ocorreriam situações em que dois vértices teriam duas ou mais aresta conectando-os.

O resultado da consulta para cada UF é armazenado em uma lista de arestas e por meio dessa lista é gerada a rede a UF respectiva. A rede é gerada de forma não direcionada, isto é, sem um sentido de orientação determinado. A geração é feita com auxílio da função `graph.data.frame` disponível no pacote `igraph`.

4.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A última etapa deste estudo foi a análise estrutural das redes geradas como quantidade de vértices/aresta e diâmetro. Com relação a centralidade de graus foram analisados os vértices com menor e maior grau assim como a média geral e o desvio-padrão para avaliar a uniformidade do conjunto. As mesmas informações foram extraídas para o PageRank das redes.

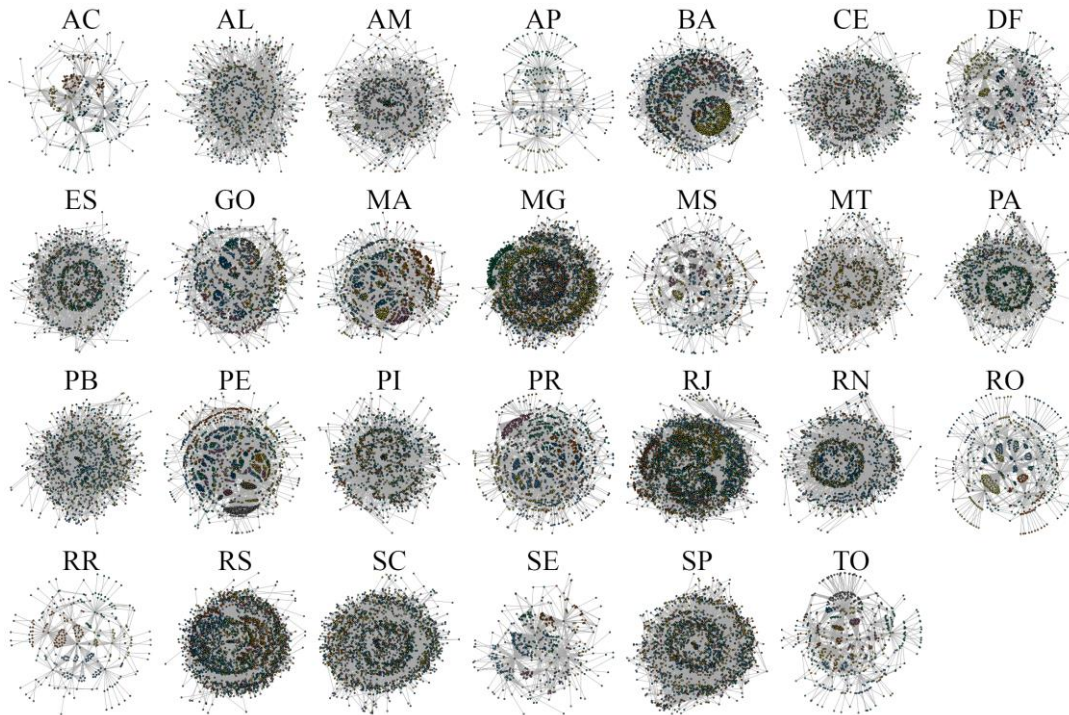
Com relação ao vértice com maior grau em cada rede, esta análise teve como objetivo identificar os vértices com maior relevância em cada rede assim como a proporção de vértices a ele conectados. Esta análise permite identificar instituições de ensino superior que são muito relevantes na formação de docentes da rede federal de cada estado. Adicionalmente foram identificados os três vértices que representam instituições de ensino superior (variáveis `CO_IES_1`, `CO_IES_2` ou `CO_IES_3`) com maior grau em cada rede.

Todas essas análises foram realizadas por meio de funções diversas para análise de redes disponíveis no pacote `igraph`.

5 RESULTADOS

A partir da geração das redes nota-se a diferença na quantidade de vértices o que evidencia a diferença na quantidade de docentes e escolas em cada UF. A Figura 2 ilustra as 27 redes geradas.

Figura 2: Representação Gráfica das Redes Geradas

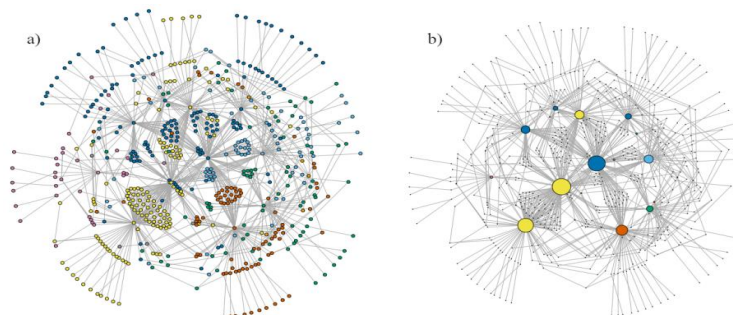


Fonte: elaboração própria.

As redes da Figura 2 foram agrupadas em comunidades utilizando o algoritmo fastgreedy disponível no pacote Igraph e plotadas no layout kamada kawai dado que esse layout tem uma velocidade de processamento mais rápida.

Nas redes da Figura 2 é possível notar algum nível de agrupamento entre os vértices assim como perceber que alguns vértices concentram a maior parte das ligações. A Figura 3 destaca, a título de exemplo, a rede para o estado de Rondônia, localizado na região Norte do país, permitindo uma melhor visualização do que a Figura 2.

Figura 3: Redes para o Estado de Rondônia



Fonte: elaboração própria.

Na Figura 3a é possível notar vários agrupamentos que indicam grupos de docentes com IES de formação ou unidade de atuação em comum. Na Figura 3b o tamanho dos vértices é definido em função da quantidade ligações que ele possui, em outras palavras pelo valor do seu grau. Nota-se que, embora a rede possua um expressivo conjunto de vértices, apenas alguns deles (11 neste exemplo) possuem grau relevante. Esses vértices possivelmente representam IES com grande volume de docentes formados ou escolas que possuem volume considerável de docentes em seu quadro.

Os resultados das propriedades estruturais (quantidade de vértices, arestas, diâmetro, grau e pagerank) para todas as redes geradas é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Vértices, Arestas, Diâmetro, Centralidade de Grau e PageRank.

UF	Vértices	Links	V/L	Dia.	Centralidade de grau				Pagerank			
					Min	Máx	Med	Sd	PGMin	PGMáx	PGMed	PGSd
AC	358	602	0,035	8	1	141	3,363	10,442	0,001	0,099	0,003	0,007
AL	992	1759	0,037	8	1	357	3,546	15,571	0,000	0,088	0,001	0,004
AM	1000	1715	0,034	8	1	378	3,430	14,826	0,000	0,094	0,001	0,004
AP	311	469	0,037	8	1	88	3,016	7,356	0,001	0,083	0,003	0,007
BA	2405	4292	0,035	8	1	689	3,569	18,825	0,000	0,069	0,000	0,002
CE	1518	2768	0,041	8	1	435	3,647	15,643	0,000	0,069	0,001	0,002
DF	886	1457	0,036	8	1	192	3,289	11,628	0,000	0,058	0,001	0,003
ES	1440	2538	0,035	8	1	542	3,525	17,475	0,000	0,092	0,001	0,003
GO	1651	2907	0,035	8	1	429	3,522	15,371	0,000	0,064	0,001	0,002
MA	1632	2968	0,039	8	1	388	3,637	15,464	0,000	0,057	0,001	0,002
MG	4924	9041	0,039	12	1	630	3,672	17,259	0,000	0,031	0,000	0,001
MS	766	1266	0,037	8	1	175	3,305	9,974	0,000	0,058	0,001	0,003
MT	1133	1906	0,035	8	1	314	3,365	13,156	0,000	0,070	0,001	0,003
PA	1568	2839	0,036	8	1	620	3,621	19,596	0,000	0,095	0,001	0,003
PB	1343	2425	0,038	8	1	410	3,611	16,432	0,000	0,074	0,001	0,003

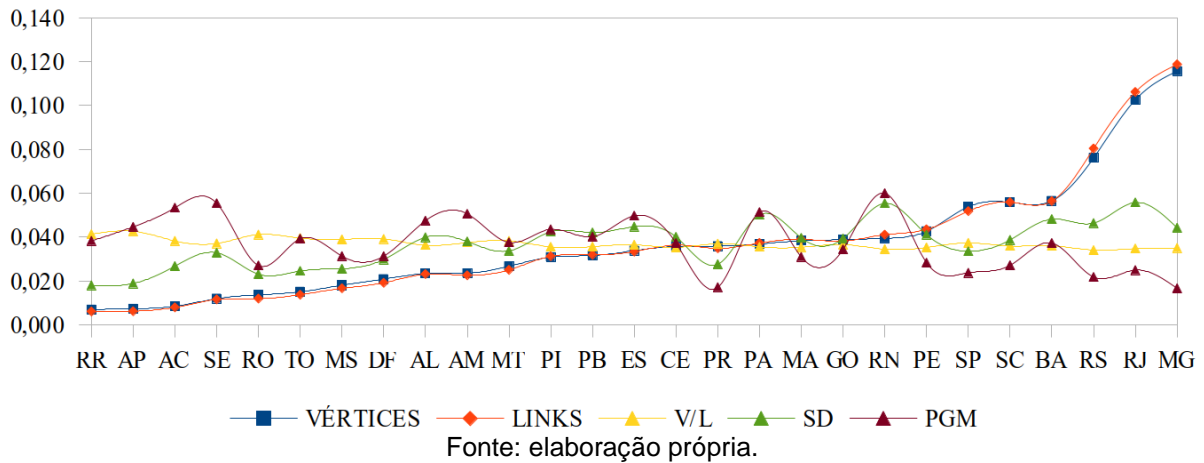
PE	1815	3312	0,041	8	1	396	3,650	16,046	0,000	0,052	0,001	0,002
PI	1313	2378	0,040	9	1	437	3,622	16,555	0,000	0,081	0,001	0,003
PR	1526	2653	0,036	10	1	195	3,477	10,769	0,000	0,032	0,001	0,002
RJ	4367	8082	0,036	10	1	849	3,701	21,775	0,000	0,046	0,000	0,001
RN	1676	3127	0,043	8	1	783	3,732	21,622	0,000	0,111	0,001	0,003
RO	580	907	0,036	8	1	111	3,128	9,008	0,001	0,050	0,002	0,004
RR	294	458	0,036	8	1	78	3,116	7,025	0,001	0,071	0,003	0,007
RS	3239	6119	0,037	10	1	553	3,778	18,109	0,000	0,040	0,000	0,001
SC	2377	4257	0,036	8	1	496	3,582	15,118	0,000	0,050	0,000	0,002
SE	507	879	0,038	8	1	210	3,467	12,817	0,001	0,103	0,002	0,006
SP	2292	3945	0,037	8	1	405	3,442	13,074	0,000	0,044	0,000	0,001
TO	641	1043	0,034	8	1	170	3,254	9,579	0,001	0,073	0,002	0,004

Fonte: Elaboração própria.

Os dados da Tabela 2 foram ordenados pelo código da UF de cada rede. A análise dos resultados revelam que, entre as redes há pouca variação quanto a proporção entre vértices e arestas (V/L), quanto ao grau médio (Med) dos vértices da rede e o diâmetro das redes (Dia.). Do mesmo modo o grau mínimo (Min) observado para todas as redes foi 1 e os valores de pagerank mínimo (PGMin), médio (PGMed) e desvio-padrão (PGSd) apresentaram valores sempre próximos a 0.

A Tabela 2 são apresentados em forma de gráfico nas Figuras 4, ordenados pela quantidade de vértices das redes e, na Figura 5, ordenados pelo PageRank máximo de cada rede.

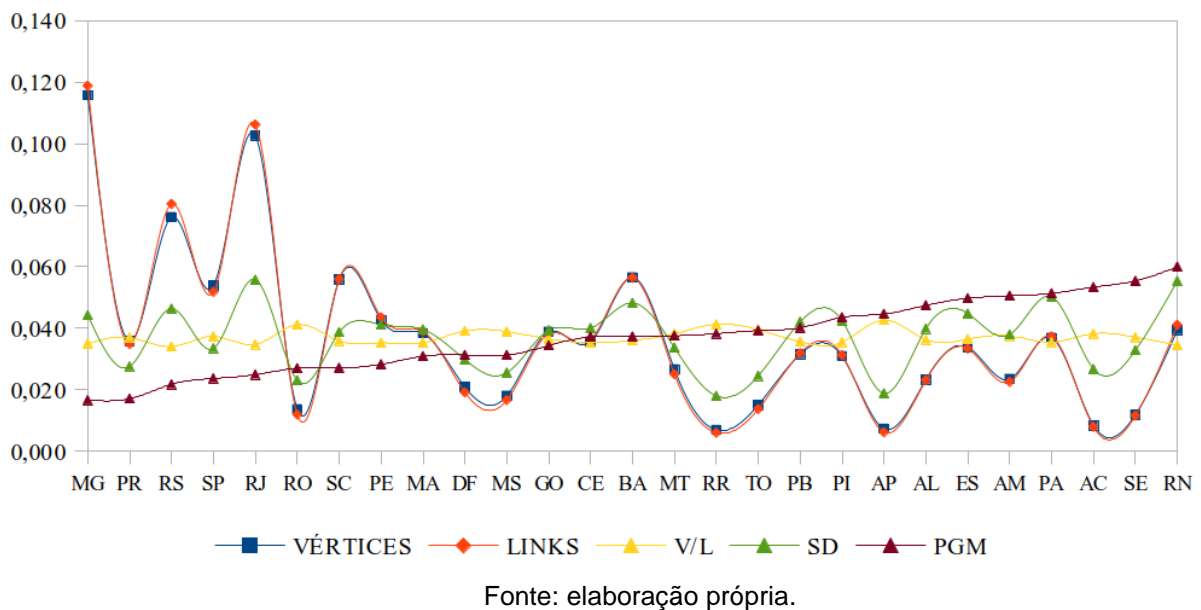
Figura 4: Propriedades das Redes ordenadas pelo Grau dos vértices



Para geração do gráfico da Figura 4 os dados da Tabela 2 foram normalizados pela divisão de cada valor pela soma do total da coluna correspondente. Essa normalização permite que os dados sejam comparados em uma mesma escala. Os resultados da Figura 4 reforçam que, embora a quantidade de vértices seja variável entre as UF's, a quantidade de arestas é proporcional, ao contrário do desvio-padrão e do PageRank máximo que não possuem uma uniformidade.

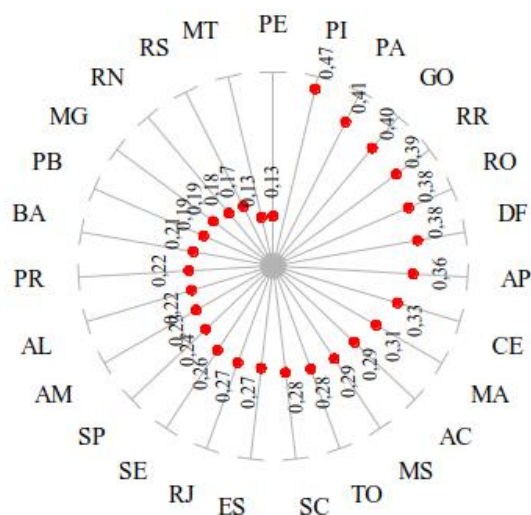
O gráfico da Figura 5, ordenado pelo valor máximo do pagerank de cada rede, endossa a ausência de sua correlação com a quantidade de vértices ou arestas da rede. Entretanto revela que, a partir de um determinado limiar PGM = 0,38, os valores das demais propriedades tendem a ser inferior ao PGM.

Figura 5: Propriedades das Redes ordenadas pelo *PageRank* dos vértices.



Outra análise relevante neste estudo consiste em comparar o vértice de maior grau com o total de vértices da rede. Essa relação pode indicar a existência de uma IES que forma a maioria dos docentes de uma escola ou, menos provável, uma escola que engloba a maioria dos docentes de um estado. O gráfico da Figura 6 apresenta esta relação.

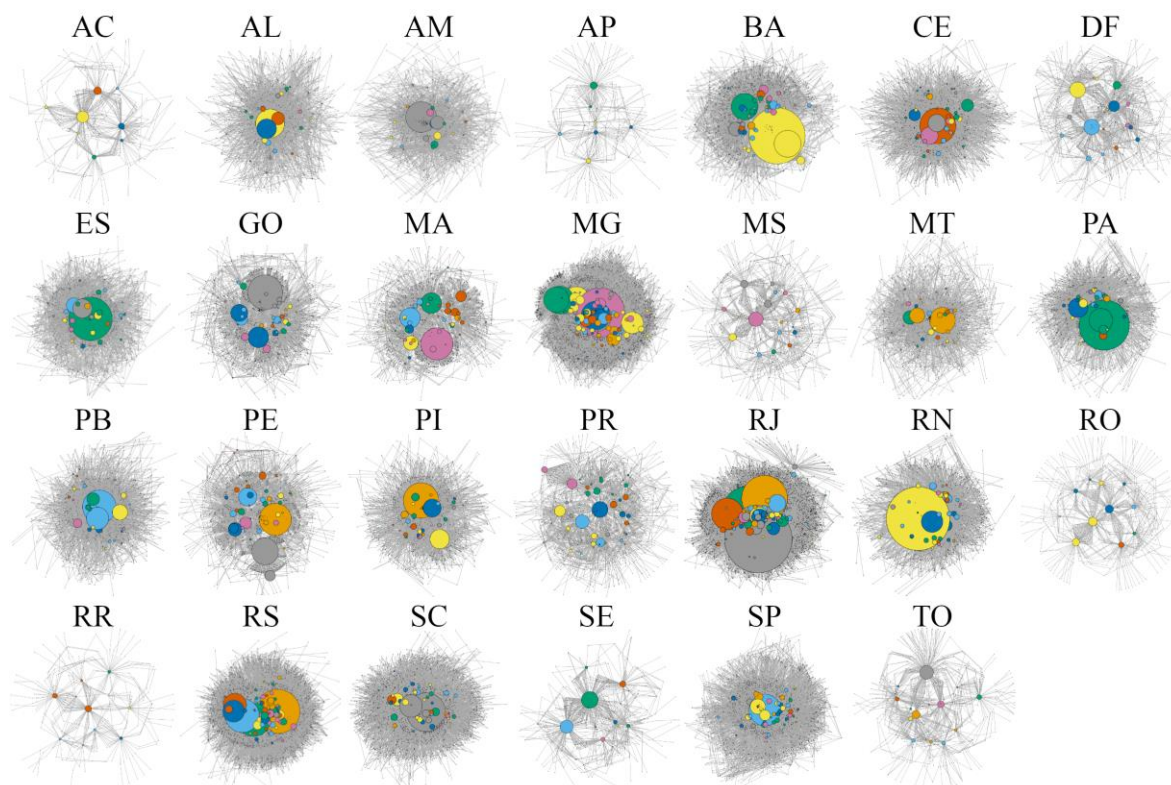
Figura 6: Gráfico com vértices de maior grau por UF.



Fonte: elaboração própria.

O gráfico da Figura 6 relewa que o vértice de maior grau das redes de 6 UF (PE e MT = 0,13; RS = 0,17; RN = 0,18; MG e PB = 0,19) estão relacionadas com menos de 20% dos vértices totais da rede. No outro extremo, em 3 UFs (GO = 0,40; PA = 0,41 e PI = 0,47) o vértice de maior grau possui relacionamento para pelo menos 40% de todos os vértices da rede. A Figura 7 apresenta essa relação no tamanho dos vértices das redes geradas.

Figura 7: Representação das redes com o tamanho do vértice em função de seu grau.



Fonte: elaboração própria.

O gráfico das Figura 6 e 7 revelam que, em alguns estados, há a ocorrência de vértices com alto grau de conectividade e que estes vértices podem representar IES. Já os dados da Tabela 3 apresentam os 3 vértices, que representam IES, com maior grau em cada rede e o seu respectivo pagerank.

Tabela 3: Top 3 Universidades por Estados e suas Centralidades de Grau e PageRank(P_RANK).

ESTADOS	GRAU	P_RANK	ESTADOS	GRAU	P_RANK
ACRE (AC)			PARAÍBA (PB)		
Univ. Federal do AC	141	0,099	Univ. Federal da PB	410	0,074
Faculdade Barão do Rio Branco	11	0,008	Univ. Fed. de Campina Grande	155	0,028
Univ. Federal do AM	7	0,006	Univ. Estadual da PB	106	0,019
ALAGOAS (AL)			PARANÁ (PR)		
Univ. Federal de AL	357	0,088	Univ. Federal do PR	167	0,027
Univ. Federal de PE	43	0,011	Univ. Estadual de Maringá	84	0,014
Centro Universitário CESMAC	32	0,008	Univ. Estadual de Londrina	81	0,013
AMAPÁ (AP)			PERNAMBUCO (PE)		
Univ. Federal do PA	31	0,027	Univ. Federal de PE	396	0,052

Univ. Federal do AP	30	0,027	Univ. Federal Rural de PE	168	0,022
Univ. do Estado do AP	11	0,010	Univ. de PE	147	0,020
AMAZONAS (AM)			PIAUI (PI)		
Univ. Federal do AM	378	0,094	Univ. Federal do PI	437	0,081
Centro Universitário do Norte	19	0,005	Univ. Estadual do PI	239	0,044
Univ. Federal do PA	16	0,004	Instituto Federal do PI	97	0,018
BAHIA (BA)			RIO DE JANEIRO (RJ)		
Univ. Federal da BA	328	0,034	Univ. Federal do RJ	849	0,046
Univ. do Estado da BA	170	0,018	Univ. do Estado do RJ	630	0,034
Univ. Estadual de Santa Cruz	114	0,012	Univ. Federal Fluminense	397	0,021
CEARÁ (CE)			RIO GRANDE DO NORTE (RN)		
Univ. Federal do CE	435	0,069	Univ. Federal do RN	783	0,111
Univ. Estadual do CE	209	0,033	Univ. do Estado do RN	98	0,014
Instituto Federal do CE	140	0,022	Instituto Federal do RN	65	0,009
DISTRITO FEDERAL (DF)			RIO GRANDE DO SUL (RS)		
Univ. de Brasília	191	0,055	Univ. Federal de Santa Maria	553	0,040
Centro Universitário de Brasília	38	0,011	Univ. Federal do RS	419	0,030
Univ. Católica de Brasília	29	0,009	Univ. Federal de Pelotas	292	0,021
ESPÍRITO SANTO (ES)			RONDÔNIA (RO)		
Univ. Federal do ES	542	0,092	Univ. Nilton Lins	111	0,050
Univ. Federal de Viçosa	96	0,016	Centro. Univ. Lut. de Ji-Paraná	11	0,005
Instituto Federal do ES	27	0,004	Univ. Federal de MT	11	0,005
GOIÁS (GO)			RORAIMA (RR)		
Univ. Federal de GO	429	0,064	Univ. Federal de RR	78	0,071
Univ. Estadual de GO	151	0,023	Univ. Estadual de RR	15	0,014
Pontifícia Univ. Católica de GO	92	0,014	Instituto Federal de RR	14	0,013
MARANHÃO (MA)			SANTA CATARINA (SC)		
Univ. Federal do MA	388	0,057	Univ. Federal de SC	496	0,050
Univ. Estadual do MA	246	0,037	Univ. do Estado de SC	156	0,015
Univ. Federal do PI	128	0,019	Univ. Federal de Santa Maria	115	0,011
MINAS GERAIS (MG)			SÃO PAULO (SP)		
Univ. Federal de MG	376	0,018	Univ. Est. Paulista J. De M. Filho	260	0,028
Univ. Federal de Viçosa	366	0,017	Universidade de SP	194	0,021
CEFET – MG	359	0,016	Univ. Estadual de Campinas	105	0,011
MATO GROSSO DO SUL (MS)			SERGIPE (SE)		
Univ. Federal de MS	175	0,058	Univ. Federal de SE	210	0,103
Univ. Estadual de MS	48	0,016	Univ. Tiradentes	54	0,027
Univ. Est. Paulista J. de M. Filho	38	0,012	Univ. Federal da PB	16	0,008
MATO GROSSO (MT)			TOCANTINS (TO)		
Univ. Federal de MT	314	0,070	Univ. Federal do TO	83	0,033

Univ. do Estado de MT	74	0,017	C. Univ. Luterano de Palmas	24	0,010
Univ. de Cuiabá	21	0,005	Univ. Federal de Goiás	23	0,009
PARÁ (PA)					
Univ. Federal do PA	620	0,095			
Univ. do Estado do PA	98	0,015			
Univ. Federal Rural da AM	60	0,009			

Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 3 mostra em 12 Estados figuram entre as top 3 pelo menos uma universidade que não sediada no próprio estado. No Estado do Acre a Faculdade Barão do Rio Branco, no Amazonas o Centro Universitário do Norte, no Distrito Federal a Universidade Católica de Brasília, em Goiás a Universidade Católica de Goiás, em Rondônia a Universidade Nilton Lins e o Centro Universitário Luterano de Ji-Paraná e no estado de Tocantins o Centro Universitário Luterano de Palmas são IES de instituições privadas que estão entre as três universidades que apresentam maior rede em seus estados, sendo a maioria situada na Região Norte do Brasil.

Nota-se também alguns agrupamentos, a Universidade Federal do Amazonas aparece com maior grau para o estado do Amazonas e terceiro maior para o estado do Acre. A Universidade Federal do Pará é a que possui maior grau para o estado do Pará e do Amapá, além de ser o terceiro com maior grau no Amazonas. Em todos os casos são estados e IES da região Norte do Brasil.

Na região Nordeste tal agrupamento é verificado para a Universidade Federal de Pernambuco que possui maior grau para o estado de Pernambuco e segundo maior para o estado de Alagoas e; a Universidade Federal do Piauí possui maior grau para seu estado e terceiro maior para o estado do Maranhão. Ainda na região Nordeste a Universidade Federal da Paraíba é a terceira com maior grau para o estado de Sergipe além de ter maior grau para seu próprio estado.

Na região Sul a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) é a mais relevante no Rio Grande do Sul – único caso em que a IES mais relevante não é sediada na capital do estado. A UFSM é também a terceira mais relevante no estado de Santa Catarina. Na mesma direção, a Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, é a com maior grau para o estado de São Paulo (Sudeste) e terceiro no Estado de Mato Grosso do Sul (Centro-Oeste), no único agrupamento inter-regional verificado.

A rede federal de ensino, conforme mencionado anteriormente, oferece cursos em todas as modalidades de ensino incluindo a graduação. Nesse sentido, a Tabela 3 revela que em 6 UFs (Ceará, Espírito Santo, Piauí, Rio Grande do Norte e Roraima) a terceira IES de maior relevância é um dos institutos federais criados a partir de 2008. No estado de Minas Gerais, a terceira IES mais relevante também é uma unidade da rede federal de ensino, o Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) fundado em 1910.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo analisou a influência das Universidades na Rede Federal de ensino do Brasil, por meio das medidas de centralidades das redes complexas. Foram estudadas as medidas de centralidade: as centralidades de grau e PageRank, nas quais foram obtidas as redes entre os professores e universidades e entre os professores e escolas federais.

Os resultados informaram que, mesmo com os diferentes contextos estaduais e para um país com dimensões continentais como o Brasil, as distribuições das redes possuem certa uniformidade dos dados o que pode indicar que há uma padronização na distribuição das unidades da rede federal de ensino e na formação de seus professores. Destaca-se também que, embora o estado de São Paulo seja o estado mais populoso e rico do Brasil, sua rede possui menos vértices que outros 5 estados sendo um deles consideravelmente menor: o estado de Santa Catarina.

Os dados indicam ainda que em alguns estados, determinadas IES são muito importantes na formação de docentes para a rede federal de ensino como é o caso da Universidade Federal do Piauí para o estado homônimo. O vértice que representa esta IES na rede do PI possui conexões para quase 50% dos demais o que leva a conclusão que a maioria dos docentes da rede federal do PI são formados nesta IES.

Adicionalmente os dados relevam que quase a totalidade das universidades que figuram entre as três IES com maior grau de centralidade das redes e maiores PageRank são IES Públicas (Federais ou Estaduais). Ou seja, as universidades que mais formam docentes para a rede federal de ensino são as universidades públicas. Os dados expressos na Tabela endossam essa conclusão e revelam ainda que em várias UFs pelo menos uma das 3 IES mais relevantes não são sediadas na própria UF.

Outro resultado, surpreendente, deste estudo está na ocorrência de 6 Institutos Federais (IFs) entre as três IES mais relevantes na formação de docentes da rede federal de ensino. É um resultado surpreendente dado que tais institutos foram criados há pouco tempo e indica que a rede federal está formando seu próprio corpo docente em cursos de graduação.

Como limitação, este estudo estruturou redes dos docentes que atuam na educação básica da rede federal de ensino. Docentes que atuam exclusivamente em cursos de graduação e pós-graduação não possuem registro na base dos microdados do censo escolar utilizados e por essa razão ficaram fora da análise. Essa limitação pode ser superada em estudos futuros combinando os microdados da educação básica com do ensino superior. Esta indicação é bastante relevante uma vez que os resultados aqui obtidos apresentaram uma significativa relevância dos IFs na formação de docentes.

Estudos futuros podem indicar ainda, se a relevância dos IFs vai aumentar, estagnar ou reduzir com relação a formação de docentes para a rede federal. Outras direções para estudos futuros incluem a utilização de dados referentes as outras dependências administrativas da educação básica: estaduais, municipais e privadas e comparar com os resultados obtidos neste estudo. Outra sugestão, analisar pela formação dos professores e dependência administrativa dos estados. Ou até mesmo utilizar outras medidas de centralidade para análise das redes aqui estudadas.

REFERÊNCIAS

- BARABÁSI, Albert-László. **Linked: The New Science of Networks**. Cambridge, Massachusetts: Perseus Publishing, 2003.
- BERGIANTE, Nissia Carvalho Rosa; MELLO, João Carlos Correia Baptista Soares de; NUNES, Mariana Vieira Rangel Nunes; PASCHOALINO, Fernanda Fidelis Paschoalino. Aplicação de uma proposta de medida de centralidade para avaliação de malha aérea de uma empresa do setor de transporte aéreo brasileiro. **Journal of Transport Literature**, v. 5, n. 4, p. 119-135, 2011.
- BORDIN, Andréa Sabedra; GONÇALVES, Alexandre Leopoldo; TODESCO, José Leomar. Análise da colaboração científica departamental através de redes de coautoria. **Perspectivas em Ciência da Informação**. v. 19, n. 2. p. 37-52. 2014.
- BRANDÃO, Luana Carneiro; DEL-VECCHIO, Renata Raposo; MELLO, João Carlos Correia Baptista Soares de; FRANCISCO, Cristiane Nunes. Evaluating the importance of Brazilian ports using graph centrality measures. **Pesquisa Operacional**. v. 40, n. e193663. p. 1-17. 2020.
- BRANDÃO, Luana Carneiro; DEL-VECCHIO, Renata Raposo; MELLO, João Carlos Correia Baptista Soares de. Estudos sobre nova medida de centralidade em grafos: A centralidade em camadas. In: XVIII Simpósio de Pesquisa Operacional & Logística da Marinha, 2, 2016, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. São Paulo: Blucher, 2016. p. 640-653.
- BRASIL. **Lei nº 11.892, de 29 de dezembro de 2008**. Institui a Rede Federal de Educação Profissional, Científica e Tecnológica, cria os Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia, e dá outras providências. Brasília, DF Presidência da República, [2008]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/lei/11892.htm. Acesso em: 22 fev. 2021.
- BRASIL. **Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996**. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. Brasília, DF: Presidência da República, [1996]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9394.htm. Acesso em: 12 de fev. 2021.
- BRIN, Sergey; PAGE, Lawrence. The anatomy of a large-scale hypertextual Web search engine. **Computer Networks and ISDN Systems**, v. 30, n. 1-7, p. 107-117, 1999.
- COSTA, Joahannes Bruno Dias da; ROSÁRIO, Denis Lima; CERQUEIRA, Eduardo Coelho. Disseminação de Dados Baseada em Métricas de Redes Complexas Para Sistemas de Transporte Inteligentes. In: CONCURSO DE TESES E DISSERTAÇÕES - SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDES DE COMPUTADORES E SISTEMAS DISTRIBUÍDOS (SBRC), 2., 2019, Gramado. **Anais [...]**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2019 . p. 121-128.
- CSARDI, Gabor; NEPUSZ, Tamas. The igraph software package for complex network research. **InterJournal, Complex Systems**, v. 1695, n. 5, p. 1-9, 2006.
- de JONGE, Edwin; WIJFFELS, Jan; VAN DER LAAN, Jan. **ffbase: Basic Statistical Functions for Package 'ff'**. R package version 0.13.3. 2021. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=ffbase>. Acesso em: 10 fev. 2021.

- EB. **Colégios Militares**. (2021). Disponível em: http://www.eb.mil.br/web/ingresso/colegios-militares/-/asset_publisher/8E9mFznTIAQW/content/ensino-fundamental-e-medio?doAsUserId=ELaKQUVM4wU%3D&inheritRedirect=false. Acesso em: 15 de mai. de 2021.
- ESTRADA, Ernesto; KNIGHT, Philip A. **A first course in network theory**. Oxford: University Press, USA, 2015.
- FREEMAN, Linton C.; ROEDER, Douglas; MULHOLLAND, Robert R. Centrality in social networks: II. Experimental results. **Social networks**, v. 2, n. 2, p. 119-141, 1979.
- INEP. **Microdados do Censo Escolar da Educação Básica**. Ministério da Educação - Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/inep/pt-br/aceso-a-informacao/dados-abertos/microdados/centso-escolar>. Acesso em: 10 mar. 2021.
- JUNKER, Björn H.; SCHREIBER, Falk. **Analysis of Biological Networks**. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2011.
- KIM, Bong-Seok. Development of Taekwondo Ranking Model Based on Google PageRank Algorithm. **International Journal of Pure and Applied Mathematics**. v. 118, n. 19, p. 1267-1278, 2018.
- LAVE, Jean; WENGER, Étienne. **Situated learning: legitimate peripheral participation**. Cambridge: Cambridge University Press, 1991. 138p.
- LIU, Bin; JIANG, Shuangyan; ZOU, Quan. HITS-PR-HHblits: protein remote homology detection by combining PageRank and Hyperlink-Induced Topic Search. **Briefings in Bioinformatics**. v. 21, n. 1, p. 298-308, 2018.
- MEC. Expansão da Rede Federal. **Ministério da Educação**. 2018b. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/setec-programas-e-acoos/expansao-da-rede-federal>. Acesso em: 12 fev. 2021.
- MEC. Homologação de Estudos e Títulos. **Ministério da Educação**. 2018a. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/component/content/article?id=62851>. Acesso em: 12 fev. 2021.
- O'BRIEN, Joseph D.; GLEESON, James P. A complex networks approach to ranking professional Snooker players. **Journal of Complex Networks**, v. 8, n. 6, p. 1-16, 2021.
- PACHECO, José Augusto. **Transferência de conhecimento e práticas na formação de professores**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008.
- PAGE, Lawrence; BRIN, Sergey; MOTWANI, Rajeev; WINOGRAD, Terry. **The PageRank Citation Ranking: Bringing Order to the Web**. 1998. Technical Report. Disponível em: <http://ilpubs.stanford.edu:8090/422/1/1999-66.pdf>, Acesso em: 16 de mar. de 2021.
- PASQUALLI, Roberta; VIEIRA, Josimar de Aparecido; MASCARELLO VIEIRA, Marilandi Maria. Formação de Professores para a Educação Profissional e Tecnológica a Distância da Rede Federal de Educação Brasileira: Análise das Produções acadêmicas. **Revista Brasileira da Educação Profissional e**

Tecnológica, [S. l.], v. 2, n. 9, p. 22–31, 2015. DOI: 10.15628/rbept.2015.3558. Disponível em: <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/RBEPT/article/view/3558>. Acesso em: 29 set. 2024.

PEREIRA, Rafael Rodrigues Dias. **Método de Análise de Vulnerabilidade Utilizando Redes Complexas: Aplicação na Rede de Transporte Aéreo Brasileira**. 2016. Dissertação (Mestrado em Transportes) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

RECUERO, Raquel. **Redes sociais na internet**. Porto Alegre: Sulina, 2009.

RIOS, Elane Nardotto. História, perspectivas e contradições no Ensino Médio Integrado na rede federal de Educação Profissional. **Revista Brasileira da Educação Profissional e Tecnológica**, v. 1, n. 20, p. 7389, 2021.

RONQUI, José Ricardo Furlan. **Medidas de centralidade em redes complexas: correlações, efetividade e caracterização de sistemas**. 2014. Dissertação (Mestrado em Física). Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

SITZENFREI, Robert; WANG, Qi; KAPELAN, Zoran; SAVIĆ, Dragan. Using Complex Network Analysis for Optimization of Water Distribution Networks. **Water Resources Research**, v. 56, n. 8, p. 1-17. 2020.

WU, Tao; CHEN, Xi. PageRank-based analysis and visualization of ethnic entrepreneurship and innovation. 2017, 2nd International Conference on Image, **Anais [...]**, Vision and Computing (ICIVC), 2017, pp. 724-728, doi: 10.1109/ICIVC.2017.7984651.

ZHANG, Junlong; LUO, Yu. Degree centrality, betweenness centrality, and closeness centrality in social network. *In*: International Conference on Modelling, Simulation and Applied Mathematics (MSAM2017), 2017. Bangkok. **Anais [...]**, Advances in Intelligent Systems Research: Atlantis Press, p. 300-303, 2017.