



ANÁLISE LOCAL, PENSAMENTO GLOBAL: ESTRUTURA E DINÂMICA DE RELAÇÕES COLABORATIVAS NA PESQUISA EM ENSINO DE CIÊNCIAS

Local analysis, global thinking: structure and dynamics of collaborative relations in science education research

Daniel Trugillo Martins Fontes [daniel.fontes@usp.br]

Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências – PIEC USP

Universidade de São Paulo

Rua do Matão, n. 1371, Cidade Universitária, São Paulo, Brasil

André Machado Rodrigues [rodrigues.am@usp.br]

Departamento de Física Aplicada – IFUSP

Universidade de São Paulo

Rua do Matão, 1370, Cidade Universitária, São Paulo, Brasil

Resumo

Este artigo se fundamenta na perspectiva estrutural de redes sociais para explicitamente endereçar lacunas na pesquisa em Ensino de Ciências. Primeiro, avalia-se a estrutura e a evolução da rede de coautoria na pesquisa em Ensino de Ciências em espaços não formais em 40 anos de investigação. Destaca-se a fragmentação e a propriedade de um modelo de mundo-pequeno, com pesquisadores que criam novos laços de coautoria formando agrupamentos localmente conectados, e pesquisadores que cruzam fronteiras. As implicações dessas constatações para a atividade de pesquisa na área são então discutidas. Com isso, é ampliada a discussão para outras temáticas na área de pesquisa em Ensino de Ciências, sugerindo que a múltipla atuação em diferentes temáticas é um eixo organizador das relações de colaboração que resultam em coautoria. Empiricamente, constata-se que os trabalhos com dois ou três autores e altos índices de fragmentação constituem o padrão nas temáticas da área. Além disso, há indicativos que a especificidade de um tema na área de pesquisa em Ensino de Ciências não o torna mais colaborativo. Por fim, discutimos as limitações e propomos encaminhamentos para futuros trabalhos. Conclui-se que a superação de desafios metodológicos na construção de um banco de dados consolidado é mais um passo importante na maturidade da área de pesquisa em Ensino de Ciências.

Palavras-Chave: Sociologia do conhecimento científico; Ensino não formal; Coautoria; Redes sociais; Ciência Aberta.

Abstract

This article is grounded in the structural perspective of social networks to explicitly address gaps in Science Education research. First, it assesses the structure and evolution of the coauthorship network in Science Education research within non-formal education over 40 years of investigation. The analysis underscores the fragmentation and the emergence of a small-world model, with researchers forming locally connected clusters through the establishment of new coauthorship ties, as well as researchers crossing boundaries. The implications of these findings for research activities are discussed. The discussion is then extended to other specialties in the field of Science Education research, suggesting that engaging in multiple specialties serves as an organizing axis for collaboration relationships resulting in coauthorship. Empirically, it is observed that works with two or three authors and high fragmentation indices constitute the norm in specialty areas of the Science Education research field. Furthermore, there are indications that the specialty area in Science Education research does not necessarily make it more collaborative. Finally, limitations are discussed, and suggestions for future research directions are proposed. In conclusion, overcoming methodological challenges in constructing a consolidated database is identified as another crucial step in advancing the maturity of the Science Education research field.

Keywords: Sociology of scientific knowledge; Non-Formal Education; Coauthorship; Social network analysis; Open Science.

APRESENTAÇÃO

Este trabalho está dividido em três seções principais. A primeira seção consiste em um processo dialógico de caráter teórico e reflexivo no qual são apresentados os conceitos que fundamentam essa pesquisa. Sem prejuízo da discussão, optamos por traduzir os conceitos da análise de redes para uma linguagem acessível ao público não especializado, reservando detalhes algébricos para as referências indicadas. Na segunda seção apresentamos alguns resultados que moldam a rede de pesquisa em Ensino de Ciências em espaços não formais (PEC-ENF) em 40 anos de história, com especial atenção a partir de 2008. Na última seção, discutimos as implicações dos resultados encontrados para a PEC-ENF, abordando aproximações e distanciamentos em relação a outras temáticas.

SITUANDO A PESQUISA

Podemos considerar que apesar da área de pesquisa em Ensino de Ciências¹ no Brasil (PEC) ser relativamente recente, ela já passou por muitas das etapas institucionais da consolidação de uma área madura, tais como a criação de associações científicas, publicações especializadas, realização periódica de eventos científicos, consolidação de programas de pós-graduação e linhas de pesquisa, em um processo não livre de disputas políticas (Agostini & Massi, 2023; Nardi, 2005). Ramos e Silva (2014) apontam que a área de Ensino de Ciências e Matemática surge inicialmente enquanto uma anomalia da área de Educação, e posteriormente se constitui como um paradigma próprio. No que diz respeito à produção bibliográfica, a PEC também demonstra sua maturidade através da diversificação metodológica (Santos & Greca, 2013).

Ao considerar os diversos tipos de pesquisas na PEC, destacamos aquelas que compartilham o objetivo de compreender a própria área. Sabe-se que há múltiplas formas e ferramentas de se estudar uma área de pesquisa, e como nos lembra Latour (2012, p. 208) “*ferramentas nunca são meras ‘ferramentas’ a serem aplicadas: sempre modificam os objetivos que se tem em mente*”. Salvaguardada as nuances e complexidades de cada ênfase, as pesquisas que têm a PEC como alvo de estudo podem ser agrupadas em esferas suficientemente distintas em termos de objetos, procedimentos, e formas com as quais interpretam evidências em conclusões (Bridges, 2006). Concordamos, por exemplo, com todas as características elencadas por Megid Neto (2000, p. 11) “*a forma de ler e interpretar os documentos, de tratar os dados, de fazer cruzamentos, identificar contribuições e lacunas*” que além de variar segundo pesquisadores particulares, também variam entre as esferas. Embora haja alguma sobreposição e complementaridade, em grande parte, as pesquisas apresentam uma ênfase dominante de forma a garantir suas identidades. A Figura 1 é uma representação esquemática desse cenário.

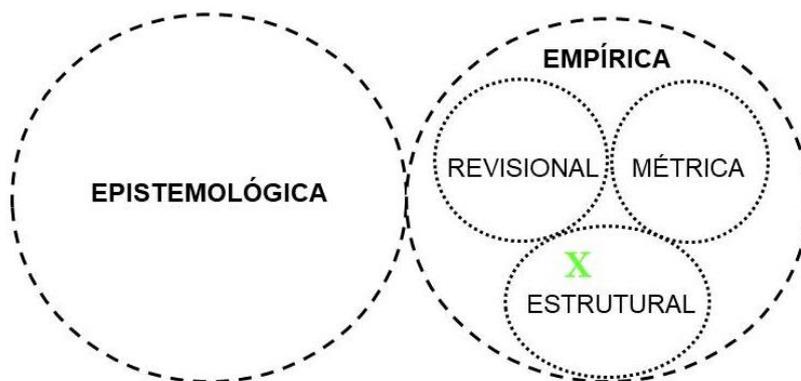


Figura 1 – Principais esferas de estudos que almejam compreender a área de pesquisa em Ensino de Ciências. Os perímetros estão tracejados para aludir de que suas fronteiras não são estritamente definidas. A marcação “X” localiza o presente trabalho.

Entendemos os estudos na esfera *epistemológica* como aqueles que “*voltam-se diretamente para as abstrações do pensamento já sistematizadas a respeito de dado objeto ou fenômeno; por conseguinte, o pesquisador estabelece uma relação indireta com o objeto sensível, ora representado conceitualmente*” (Martins & Lavoura, 2018, p. 235). Esses estudos têm como foco a compreensão dos significados da PEC, suas idiossincrasias e sua constituição como área de pesquisa, bem como suas disputas políticas externas

¹Utilizamos o termo “Ensino de Ciências” como sinônimo de “Educação em Ciências”.

e internas. Sua característica marcante é a discussão predominantemente conceitual e de natureza reflexiva, podendo ou não envolver a análise de documentos. De forma geral, esses estudos contribuem para a construção de uma imagem de nós mesmos e da comunidade de pesquisa em Ensino de Ciências em relação a ela e ao mundo. Nas últimas duas décadas destacam-se, nessa esfera, trabalhos realizados no início dos anos 2000 (e.g., Delizoicov, 2004; Nardi & Almeida, 2004; Moreira, 2002), e, mais recentemente, observa-se um renovado interesse, pelo menos por parte de alguns pesquisadores. Periódicos e eventos tradicionais têm registrado publicações nessa esfera nos últimos anos, como evidenciado no *Investigações em Ensino de Ciências* (e.g., Agostini & Massi, 2023), *Ciência & Educação* (e.g., Nascimento, Agostini, & Massi, 2022), *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências* (e.g., Ribeiro, Santos, & Genovese, 2017), *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* (e.g., Nascimento, 2023), e *Encontro de Pesquisa em Ensino de Física* (e.g., Cordeiro & Soares, 2020).

Nossa adoção de *empírico* acompanha certo entendimento da literatura na pesquisa em Ensino de Ciências, particularmente quando das metapesquisas. Por exemplo, tem-se Mega *et al.* (2020, p. 6) “[pesquisas empíricas] *apresentam questões de pesquisa, metodologia de pesquisa, análise e resultados baseados em dados empíricos*”. Consideramos que há entendimento tácito sobre o assunto, de tal modo que é possível se referir a “*artigos tipicamente empíricos*” conforme feito por Santos e Greca (2013, p. 18). De todo modo, reforçamos nosso entendimento que estudos empíricos são conduzidos com alguma epistemologia em mente, mesmo que não explicitamente declarada. Assim, concordamos com a reflexão mais geral de Tight (2004, p. 399, tradução nossa) sobre o uso de teoria na pesquisa social “*o que estamos realmente olhando é o grau com a qual a teoria é ou não explicitada*”. Atualmente, há três grandes esferas no âmbito das pesquisas empíricas que estudam a PEC ou suas temáticas: *revisional*, *métrica* e *estrutural*.

A esfera *revisional* abrange estudos que incluem tanto revisões da literatura quanto estudos do tipo estado da arte, considerando todas as polissemias dos conceitos (Salem, 2012). Mesmo reconhecendo as particularidades de ambos, conforme recém-assinalado por Teixeira (2023), sugerimos que esses estudos estão suficientemente mais próximos entre si do que dos estudos que compõem as outras esferas da Figura 1. Suas metodologias são elaboradas de forma a sumarizar, organizar, analisar e/ou determinar lacunas, tendências e influências almejando a sistematização do conhecimento a partir da produção já existente através de métodos de caráter inventariante e descritivo (Ferreira, 2002; Gil, 2012). O aumento vertiginoso de trabalhos publicados na PEC ao longo dos anos não apenas resultou em um aumento considerável no número de estudos de revisões da literatura e estado da arte, mas também a um novo estilo de pesquisa: a “*revisão de revisões*” (e.g., Alexandrino & Queiroz, 2020; Fernandes & Megid Neto, 2007; Fontes & Rodrigues, 2022), como uma forma de apreender essa área cada vez mais complexa. Entre todas as esferas, a *revisional* é a que engloba a maior quantidade de trabalhos, sendo continuamente registrada em muitos espaços de divulgação.

Na esfera *métrica* são englobados os estudos da bibliometria, informetria, cienciometria e webometria. Apesar de suas origens históricas e particularidades (ver, por exemplo, Araújo, 2006; Barros, 2020; Spinak, 1996), reconhecemos que, no contexto da PEC, tais trabalhos geralmente apresentam estudos métricos a partir da produção científica, variando um pouco conforme interesses de investigações particulares (e.g., Jesus, Razera, & Teixeira, 2022). O mais importante é considerar que, embora a definição de bibliometria varie, ela mantém “*um núcleo duro que, em síntese, envolve os estudos quantitativos de documentos e de padrões de publicação*” (Jesus & Razera, 2020, p. 364). De forma geral, os estudos métricos compartilham o tratamento e a análise quantitativa da produção científica, e muitas vezes utilizam de indicadores próprios para quantificar e qualificar tal produção (Hayashi, 2004; Mugnaini, Jannuzzi, & Quoniam, 2004), sustentando conceitos como impacto, produtividade, entre outros (Rosas *et al.*, 2011; Spinak, 1998). Nesse contexto, os trabalhos na PEC que se propõem a investigar a área a partir de uma análise métrica geralmente apresentam um conjunto de procedimentos, indicadores, e métricas (e.g., lei de Zipf, lei de Lotka, lei de Bradford) que marcam suas identidades.

Por fim, englobamos na esfera *estrutural* os estudos que utilizam os quadros teórico-metodológicos da *análise de redes sociais* (ARS). A ARS tornou-se popular, diversificou-se e complexificou-se muito nos últimos 50 anos, sendo amplamente utilizada para fundamentar pesquisas em todas as grandes áreas do conhecimento (Freeman, 2004; Scott, 2012). No recorte específico dos estudos que buscam compreender a PEC, a ARS ganhou tração na literatura apenas recentemente, principalmente devido ao núcleo de trabalho e pesquisa do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca - CEFET/RJ (ver, por exemplo, Carvalho *et al.*, 2021; Freitas *et al.*, 2019; Lima *et al.*, 2018; Melo *et al.*, 2021). Reconhecendo que essa perspectiva ainda é incipiente na PEC, retomamos suas premissas e conceitos em seção específica. No entanto, já vale notar que a principal diferença entre as esferas *revisional* e *métrica*, e a esfera *estrutural*

é que nesta última a análise preocupa-se mais com a forma da estrutura que emerge da conectividade entre os sujeitos de interesse da pesquisa. Assim, trabalhos na esfera *estrutural* formulam perguntas de pesquisa essencialmente distintas, possuem diferentes unidades de análise, e estão interessados em diferentes fenômenos da pesquisa científica. Na prática, em geral, os trabalhos nesta esfera também apresentam alguns parâmetros métricos básicos.

Em suma, o conhecimento sobre a PEC tem evoluído e solidificado graças ao trabalho de uma comunidade que emprega diversas ferramentas analíticas e metodológicas. Os estudos na esfera empírica compartilham do princípio que mudanças no corpo existente de conhecimento estão sujeitos à publicação de novos trabalhos científicos, justificando uma contínua realização dessas pesquisas. Em última análise, a existência e a combinação dessas esferas enriquecem a compreensão e oferecem um mosaico rico da PEC com objetivo de tornar sua comunidade cada vez mais autoconsciente de seu repertório e identidade.

PROBLEMA DE PESQUISA

O amadurecimento da PEC ocorre no contexto da colaboração científica. A colaboração científica, particularmente a coautoria, é um fenômeno ubíquo da pesquisa tanto a nível nacional quanto internacional, abrangendo diversas áreas do conhecimento (Thelwall & Maflahi, 2022), incluindo as Ciências Sociais (Levitt, 2015) e o Ensino de Ciências (ver Figura 8 adiante). Diante disso, nosso objetivo é discutir criticamente o fenômeno da coautoria e seu impacto na estrutura e na dinâmica da PEC, com o auxílio de uma temática de investigação específica. Para os propósitos deste trabalho, é suficiente adotar “temática” em referência ao conceito de *foco temático* (Megid Neto, 1999). Portanto, “recursos didáticos”, “currículos”, “ensino não formal”, e “formação de professores” são exemplos de temáticas de investigação, enquanto “Ensino de Ciências”, “Sociologia”, e “Matemática” são exemplos de áreas de pesquisa. Utilizaremos a expressão genérica “campo do saber” quando a distinção entre tema e área for indiferente.

Para atingir o objetivo, será adotado o quadro teórico-metodológico de análise de redes sociais, principal referência que oferece instrumentos para conduzir investigação em coautoria. A primeira pergunta de pesquisa é: **qual é a estrutura e a dinâmica da rede de coautoria na pesquisa em Ensino de Ciências em espaços não formais (PEC-ENF)?** Em outras palavras, investigaremos i) se o crescimento e ampliação da PEC-ENF está associado à formação de um grande cluster de pesquisadores, e ii) as características da difusão do conhecimento produzido por essa comunidade. Assim posto, a formulação do problema científico surge do embate teórico entre o conhecimento já adquirido acerca do fenômeno social da coautoria e das lacunas que persistem sobre o conhecimento da PEC.

Para investigar empiricamente a estrutura e a dinâmica da rede de coautoria na PEC-ENF, realizamos um tratamento de parte dos dados da tese doutoral de Barros (2020) e divulgados em artigo subsequente em Barros e Langhi (2023). Brevemente, as justificativas para utilização desse material são: i) apresenta uma cuidadosa e detalhada descrição metodológica; ii) é um levantamento relativamente recente e extenso da temática de interesse; iii) está publicamente disponibilizado para que possa fundamentar futuras pesquisas e ampliação do diálogo. Em uma perspectiva mais ampla, nos inserimos no movimento da Ciência Aberta, que está ganhando atenção na comunidade de pesquisa em Ensino de Ciências, e possui a reutilização de dados entre seus pilares (Mendonça & Franco, 2021)².

A segunda pergunta de pesquisa é: **haveria diferenças entre os resultados encontrados para outras temáticas pesquisadas no ensino de ciências e os espaços não formais (PEC-ENF)?** Essa pergunta foi formulada por Barros (2020, p. 101) e está transcrita *ipsis litteris*. Recentemente, ao investigarem a colaboração da PEC-ENF, Barros e Langhi (2023, p. 51) concluíram: “*nota-se que o grau de colaboração entre os autores é alto. Em geral, publicam aos pares ou trios*”. Para sustentar a ideia de “*alto grau de colaboração*” os autores contabilizaram a proporção de artigos coautorados. No entanto, ao não compararem esse resultado com outras temáticas da PEC, a atribuição de um grau “alto” de colaboração à PEC-ENF torna-se relativamente frágil. Sugerimos que a PEC-ENF possa ser melhor caracterizada por meio de uma perspectiva mais contextual, justificando a pertinência da segunda pergunta de pesquisa.

²Nós, os autores do presente trabalho, não temos relação pessoal ou institucional com Barros, Langhi, ou seu(s) grupo(s) de pesquisa. É importante destacar esse ponto pois ele explicita a independência da presente investigação.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

De maneira geral, a difusão de conhecimento científico se estrutura em dois grandes modos. O primeiro faz referência ao que acontece após a publicação de um trabalho científico, quando há a apropriação do material em sua forma acabada e pública. O segundo faz referência ao que acontece durante a elaboração do trabalho, quando há interação, mediação e compartilhamento de conhecimento entre os pesquisadores que estão envolvidos na sua produção (Star, 1989; Star & Griesemer, 1989). Note, portanto, que a expressão *conhecimento científico* é entendida em sentido amplo, que se refere tanto ao produto (e.g., conteúdo do material científico, como o texto de um trabalho, com todos seus jargões, metáforas, e códigos de linguagem), quanto ao *modus operandi* (e.g., interpretações, intuições e ações próprias e particulares de cada pesquisador frente a um problema, ideia ou conceito, a escolha do local para submissão, negociação com editores e árbitros etc.). Assim, o conhecimento científico refere-se tanto ao “saber-o quê” quanto ao “saber-como” da atividade de pesquisa científica, dos seus conteúdos, instrumentos, comunidades, regras, e objetos (Engeström, 2001; Laudel, 2001; Zuckerman, 2018). É nesse sentido que podemos dizer que a difusão ou compartilhamento de conhecimento científico depende da forma como os indivíduos estão conectados local e globalmente nas redes sociais em que pertencem (Moody, 2004). Conforme explicitou Vera e Schupp (2004, p. 413, tradução nossa) “*de fato, todo fluxo de informação em um espaço físico ou social ocorre por meio de redes concretas, e as características dessas redes afetam o próprio fluxo de informação*”. Nesse contexto, diversos autores (e.g., Glückler *et al.*, 2017) defendem que há uma relação direta entre conhecimento e redes sociais, uma vez que o primeiro é construído socialmente, difundido nas relações entre indivíduos, e depende da estrutura da rede na qual os indivíduos estão imersos.

No contexto específico deste trabalho, estamos interessados na difusão do conhecimento científico a partir do segundo modo. Para isso, nossa unidade de análise será a relação social de coautoria em publicações científicas. A produção de um trabalho em coautoria envolve diversas negociações, mediações, criação e utilização de objetos de fronteira (*boundary objects*) (Star & Griesemer, 1989). Os objetos de fronteira são “*suficientemente maleáveis para se adaptar às necessidades locais e às restrições das diversas partes que os empregam, mas também são robustos o bastante para manter uma identidade comum em vários contextos*” (Star & Griesemer, 1989, p. 393, tradução nossa). Nesse quadro conceitual, o termo *objeto* representa aquilo no qual indivíduos agem, sua materialidade decorre da ação, não no sentido de algo pré-fabricado (Star, 2010). Rodrigues (2013, p. 172) contribui para compreender o conceito: “[o objeto de fronteira] *deve ser entendido como sinônimo de artefato cultural, em termos de uma forma reificada, tornada coisa, da atividade humana*”. Já o termo *fronteira* não está vinculado à divisão ou margem, mas sim a uma noção de “espaço compartilhado” no qual os indivíduos atuam (Star, 2010). Desse modo, os objetos de fronteira materializam e habilitam ações, sendo sujeitos de flexibilidade interpretativa para permitir que indivíduos de diferentes espaços sociais trabalhem em conjunto sem a necessidade de um consenso (Star & Griesemer, 1989; Star, 2010). Exemplos de objetos de fronteira na PEC podem ser mapas, diagramas, figuras, listas, desenhos, modelos, museus, formulários, entre outros. Além de objetos, indivíduos também podem pertencer e dialogar com diferentes espaços sociais, atuando como cruzadores de fronteiras (*boundary crossers*) (Akkerman & Bakker, 2011), no sentido que fazem parte de múltiplas comunidades e identidades de pesquisa (Wenger, 1998).

Formalmente, a coautoria consiste na presença de mais de um autor por trabalho. Esse entendimento permite a operacionalização empírica de dados em coautoria, levando ao consenso que a atividade de colaboração científica engloba a atividade de coautoria. Nessa direção, vários trabalhos têm modelado a coautoria com a ideia metafórica de rede e a operacionalizam com ajuda da análise de redes sociais (ARS). De forma geral, a ARS é construída a partir de quatro proposições teóricas: i) atores são interdependentes, não independentes; ii) as relações entre atores são canais para a transferências de recursos materiais e imateriais; iii) a estrutura das relações entre atores oferece tanto oportunidades quanto impõem limitações às ações; iv) o padrão de relações entre atores define estruturas sociais (Wasserman & Faust, 1994). Nesse contexto, estrutura social é a configuração que as relações entre os atores assume. No presente trabalho, os *atores* são os indivíduos autores das publicações científicas. Scott (2012) oferece uma descrição sintética desse quadro teórico-metodológico

“A análise de redes sociais é um conjunto de conceitos, medidas e técnicas para análise relacional. É uma abordagem projetada especificamente para capturar as características mais importantes das estruturas sociais e é insuperável nessa tarefa. Pode ser utilizada para explorar as relações sociais em si e também as

estruturas culturais de normas e ideias que ajudam a organizar essas relações em conjunto com circunstâncias materiais [...] Assim, a análise de redes sociais está intimamente ligada às teorias estruturais e, como tal, compõe um elemento em um quadro mais abrangente de análise sociológica. Teorias de ação e teorias culturais, com seus métodos associados, são complementares dentro desse quadro [...] A análise de redes sociais não envolve fazer uma afirmação essencial e absoluta sobre o que a relação 'realmente' significa para os indivíduos. O uso de seus procedimentos é uma tentativa de encontrar uma maneira plausível e defensável de transcender a subjetividade individual e tirar algumas conclusões gerais” (Scott, 2012, p. 85-86/94, tradução nossa).

Isto posto, a ARS oferece subsídios analíticos, atribuindo sentidos específicos a conceitos de “posição”, “influência”, “conexão”, “fragmentação”, desenvolvendo formas de compreender as relações sociais³. A Figura 2 ajuda a explicitar o problema de pesquisa nessa perspectiva teórica.

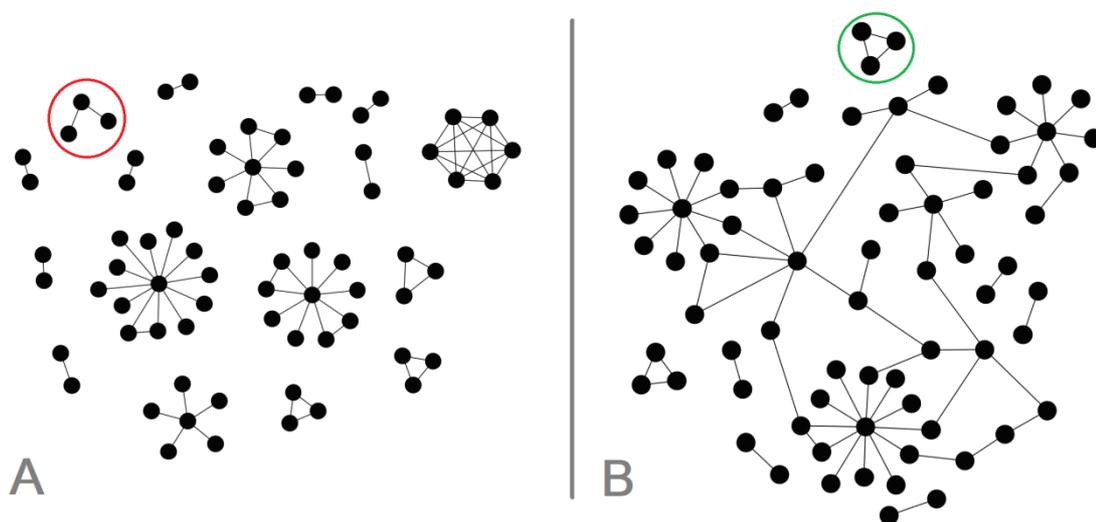


Figura 2 – Ilustração de dois cenários distintos e possíveis da organização de uma rede de coautoria em um campo do saber.

Considere que a Figura 2 representa um campo do saber Z. Cada ponto representa um pesquisador, e cada linha representa uma relação de coautoria. As marcações coloridas serão explicadas mais adiante. Ambos cenários, A e B, apresentam o mesmo número de pesquisadores e relações de coautoria. No entanto, cada cenário oferece um panorama de pesquisa diferente. Se for o caso de A, então Z é estruturalmente caracterizado por muitos grupos de pesquisadores desconectados entre si. Epistemicamente, a fragmentação da rede de coautoria pode ser um indicativo de várias escolas de pensamento ou especializações (Guimerà *et al.*, 2005). Se for o caso de B, então Z tem uma estrutura conectada, apresentando um núcleo que engloba mais da metade dos pesquisadores. Epistemicamente, tal estrutura sugere uma comunidade fortemente agregada, possivelmente devido ao compartilhamento de um mesmo guarda-chuva teórico ou interesses de pesquisa comum. Papéis sociais como indivíduos em posição privilegiada de intermediação de informação e recursos, característica que impacta diretamente na dinâmica de criação e difusão do conhecimento científico, também são diferentes para ambos cenários. Independentemente do cenário, entendemos que na atividade de pesquisa científica “*não há uma estação central de transmissão de informação simultânea para os cientistas. Pelo contrário, a informação é transmitida por partes, de lugar a lugar (quando é transmitida)*” (Star, 1989, p. 45, tradução nossa).

Em suma, reconhecemos uma conexão direta entre padrões de relações sociais com a estrutura de ideias, conceitos e conhecimento de forma que as redes de coautoria afetam a própria atividade de pesquisa. A compreensão da estrutura e dinâmica dessas redes torna-se fundamental para um entendimento mais profundo de como o conhecimento científico é gerado, disseminado e, em última instância, enriquecido por meio das interações dos indivíduos.

³ A rigor, os sentidos específicos e as formas pelas quais tais conceitos devem ser operacionalizados também são objetos de disputa entre teóricos de redes sociais. Isso, contudo, não invalida a posição de que a ARS consegue atribuir sentidos específicos a conceitos geralmente utilizados de forma metafórica em outras pesquisas.

Conceitos que operacionalizam a análise de rede

Formalmente, as redes sociais costumam ser estudadas a partir dos *grafos* (Freitas, 2010). Nos grafos, há vértices (pontos ou nós) que se conectam através de linhas (arestas ou arcos). Em uma rede de coautoria, as linhas não possuem um sentido privilegiado entre os pontos e são dicotômicas, isto é, ou existem ou não existem entre pares de pontos (Wasserman & Faust, 1994). Neste trabalho, representamos múltiplas coautorias entre os mesmos pesquisadores por linhas mais grossas. As métricas utilizadas ao longo deste trabalho são assim conceituadas:

Centralidade de grau médio. A centralidade de grau de um vértice contabiliza o total de conexões que o vértice possui. Por exemplo, se um determinado pesquisador P possui trabalhos em coautoria com cinco pesquisadores distintos, então P possui centralidade de grau igual a 5. Note que essa medida independe da quantidade de trabalhos. O autor P pode ter publicado um único trabalho com cinco coautores ou ter publicado cinco trabalhos com diferentes coautores que sua centralidade de grau é a mesma. No conjunto de toda rede, tem-se a *centralidade de grau médio*, que é a média de todas as centralidades de grau e caracteriza a interconexão da rede (Barabási *et al.*, 2002).

Menor caminho médio (MCM). Quando dois vértices são alcançáveis por meio de um número finito de caminhos, então dizemos que há uma distância entre eles. Essa distância é igual ao número de linhas que conectam os vértices. Note que numa rede podem existir múltiplas maneiras de sair de um vértice e chegar a outro. Portanto, o *menor caminho médio* da rede será a média dos menores caminhos entre todos os pares de vértices. Em uma rede de coautoria, essa medida explicita a possibilidade de comunicação rápida e direta entre pesquisadores.

Coefficiente de clusterização médio (CCM). O coeficiente de clusterização médio, aqui entendido como transitividade, é uma métrica que reflete o quanto vértices estão imersos em suas vizinhanças. Conforme explicou Newman (2001), seu cálculo leva em conta o número de triângulos, i.e., conjunto de três vértices, sendo cada vértice conectado com os outros dois (representado pelo círculo verde na Figura 2), e o número de triplos conectados, i.e., um vértice conectado a outros dois vértices (representado pelo círculo vermelho na Figura 2). A relação matemática é expressa por

$$CCM = \frac{3 \times \text{número de triângulos na rede}}{\text{número de triplos conectados}}$$

Em uma rede de coautoria, alto CCM indica que se ambos os pesquisadores L e M têm trabalhos em coautoria com pesquisador K, então é provável que L e M também tenham, eles próprios, trabalhos em coautoria.

Maior componente conectado (MCC). Redes de coautoria apresentam, na maioria das vezes, muitos grupos de pesquisadores que colaboram entre si mas não colaboram com o restante da rede. Isto é, não há um caminho que conecta esses grupos de pesquisadores. Portanto, cada um desses grupos é chamado de componente conectado. O componente que engloba o maior número de pesquisadores é chamado de *maior componente conectado*. Geralmente, o pesquisador isolado, i.e., sem relação de coautoria, também é contabilizado como componente conectado (no caso, de tamanho 1). Essa escolha pode-se basear tanto no entendimento das redes em uma perspectiva nominalista na qual redes podem ser desconexas (Borgatti & Lopez-Kidwell, 2011) quanto na tarefa prática de suprimir vértices sem conexões durante a análise.

Diâmetro. O diâmetro de uma rede é a maior distância entre os menores caminhos que conecta dois vértices. Ou seja, o diâmetro indica o quão distante estão os dois vértices mais distantes, considerando o menor caminho entre eles. Na rede de coautoria, menor diâmetro indica uma troca de informação mais direta entre os membros da rede. Por exemplo, na Figura 2, o cenário A possui diâmetro igual a 2, enquanto no cenário B o diâmetro é 10.

Por último, também consideramos o *coeficiente de colaboração*. O coeficiente de colaboração (CC) não é propriamente uma métrica de rede, mas é importante para a discussão pois oferece uma perspectiva integrada da relação de coautoria. Ele foi proposto por Ajiferuke, Burrell e Tague (1998) e parte da premissa de que cada artigo possui uma unidade de crédito que é igualmente dividida entre os autores. Assim, ele se constitui em uma única métrica que leva em consideração a quantidade de artigos em coautoria (f_j), o maior número de autores por artigo (k), e o número total de artigos publicados em determinado período (N) tal como indicado na expressão a seguir

$$CC = 1 - \frac{\sum_{j=1}^k \left(\frac{1}{j}\right) f_j}{N}$$

Na prática, o CC indica o quão colaborativo, em termos de coautoria, está uma determinada área de pesquisa em um determinado período de tempo (Savanur & Srikanth, 2010) indicando maior probabilidade de trabalhos em coautoria quanto mais alto for o coeficiente (Garg & Padhi, 2001).

ESCLARECIMENTO ACERCA DOS DADOS

A descrição metodológica detalhada está disponível em Barros (2020). Aqui, recuperamos apenas alguns aspectos para situar o leitor. Primeiro, a coleta de dados considerou todos os periódicos Qualis A1 e A2 na área de Ensino (avaliação de 2013-2016) mais a Revista Latino-americana de Educação em Astronomia, totalizando 97 periódicos. O autor também considerou quatro eventos tradicionais da área: Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF); Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (EPEF); Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC); Simpósio Nacional de Educação em Astronomia (SNEA). Em seguida, com a intenção de selecionar trabalhos relacionados a espaços não formais na PEC, foi feita a “*leitura título a título dos trabalhos publicados nos números dos periódicos [e nos eventos], entre 2008 e 2019*” (Barros, 2020, p. 110). Ao final, a amostra do autor contou com 184 artigos em periódicos e 420 trabalhos em eventos. Não conseguimos recuperar os dados de autoria de quatro trabalhos em eventos. Portanto, nosso *corpus* é composto pelos mesmos 184 artigos em periódicos e 416 trabalhos em eventos, representando 99% da amostra de Barros (2020).

Não encontramos menção explícita na tese (Barros, 2020) ou no artigo (Barros & Langhi, 2023) acerca do processo de desambiguação dos nomes dos indivíduos que constituem a amostra. Basicamente, o processo de desambiguação de nomes está relacionado à identificação das *homonímias* (diferentes indivíduos com o mesmo nome) e das *polissemias* (o mesmo indivíduo é nomeado de diferentes maneiras). Na prática, verifica-se se um determinado indivíduo “Fulano Santos Silva” autor no trabalho W, corresponde ao mesmo indivíduo “Fulano Santos Silva” autor no trabalho X, e ao indivíduo “Fulano S. Silva” autor no trabalho Y, etc. Ambos problemas são conhecidos e tão difíceis de serem resolvidos adequadamente que alguns trabalhos simplesmente o aceitam como uma limitação (e.g., Heffer, Thijs & Glänzel, 2013) ou criam critérios de exclusão baseado em países que culturalmente possuem pouca variedade de nomes (e.g., Maltseva & Batagelj, 2022).

No nosso caso, após a coleta de todos os autores dos artigos e dos trabalhos em eventos nos apêndices F e G de Barros (2020), realizamos um procedimento manual para diminuir erros decorrentes da padronização dos nomes. Porém, não verificamos todas as homonímias, o que implica que possivelmente diferentes indivíduos com o mesmo sobrenome e iniciais do nome foram considerados como o mesmo indivíduo. Antes de finalizar a padronização definitiva dos dados, foi conduzido um último procedimento de limpeza, que consistiu escolher aleatoriamente 5% de todas as entradas para verificar possíveis inconsistências, seguindo procedimentos de atuais estudos em colaboração científica (e.g., Yang, Oldac, & Nkansah, 2023). Felizmente, estima-se que os erros na padronização de nomes sejam percentualmente pequenos e que não impactem significativamente as discussões, mantendo os resultados qualitativos válidos (Vanz & Stumpf, 2010; Velden, Haque, & Lagoze, 2010)⁴. Feito o esclarecimento, justifica-se a pequena variação na contabilização da quantidade de autores.

Por fim, ao contrário de Barros (2020) e Barros e Langhi (2023), nós tratamos os dados de coautoria em conjunto, independentemente de o indivíduo publicar artigo, trabalho em evento ou ambos. Essa abordagem foi escolhida por duas razões: i) permite uma clara expansão e novas perspectivas dos resultados, visto que nos trabalhos mencionados os dados foram contabilizados e interpretados separadamente; ii) está alinhada com a pergunta de pesquisa sobre a PEC-ENF em sua forma mais ampla, que abrange ambos os tipos de comunicações científicas. Além disso, quando Barros (2020, p. 151) analisou “*a evolução temporal da colaboração entre os autores*”, o fez diferenciando entre “*autores*

⁴O problema da padronização dos nomes é mais significativo no contexto de uma ampla base de dados em contexto internacional, no qual esteja presente em quantidade indivíduos que possuam majoritariamente apenas o primeiro e o último nome e/ou que possuem pouca variação do sobrenome (ver, por exemplo, Barbastefano, 2013; Harzing, 2015). Esse problema é consideravelmente menor na amostra de Barros (2020), pois ela é predominantemente composta por autores brasileiros que apresentam múltiplos sobrenomes, com razoável diversidade.

principais” e *coautores*”. Em nossa investigação, todos os autores de um mesmo trabalho são considerados coautores entre si, sem a distinção de autores principais. A criação e avaliação das métricas de rede foram realizadas no *software* Gephi versão 0.9.7 (Bastian, Heymann, & Jacomy, 2009).

RESULTADOS DA REDE DE PESQUISA EM ENSINO DE CIÊNCIAS EM ESPAÇOS NÃO FORMAIS

Primeiros anos (1979-2007)

A maior parte dos dados que fundamentam a presente pesquisa tem início em 2008. No entanto, para compreender os principais elementos da estrutura da rede PEC-ENF em seu nascedouro, recorreremos ao levantamento realizado por Alves, Passos e Arruda (2010). Nesse estudo, foram analisados artigos em alguns periódicos tradicionais do Ensino de Ciências ao longo de quase três décadas, a partir de 1979. Os autores, mesmo reconhecendo a limitação do escopo, destacam: “*assume-se ainda que este acervo pode ter materializado em seus artigos uma parte representativa das pesquisas que se desenvolve a respeito da Educação não formal no Brasil*” (Alves, Passos, & Arruda, 2010, p. 18). Dentro desse recorte, abrangendo o período de 1979 a 2007, os autores encontraram 35 artigos, os quais utilizamos para construir a rede de coautoria com 90 vértices e 234 linhas, conforme ilustrado pela Figura 3.

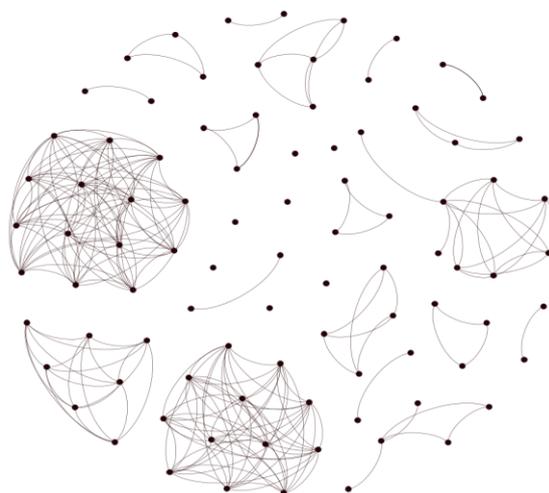


Figura 3 – Rede de coautoria na pesquisa em ensino em Ensino de Ciências em espaços não formais entre 1979 e 2007.

O ponto crucial a ser observado é que antes de 2008, a PEC-ENF apresentava quantidade diminuta de artigos (aproximadamente 9%) que correspondia a mais de um terço dos pesquisadores da rede, um fenômeno que não se repetiu mais desde então⁵. Além disso, nesse período, a rede de coautoria da PEC-ENF era trivialmente formada por pesquisadores sem necessidade de intermediação. Em outras palavras, 98% dos vértices estavam diretamente conectados devido à relação de coautoria no *mesmo* trabalho ou eram autores solitários (pesquisadores sem conexões na Figura 3), deixando apenas 2% dos vértices na posição de intermediários entre pesquisadores. Esse é o valor mais baixo registrado para a PEC-ENF, mesmo se comparado com a rede formada apenas pelos artigos em periódicos⁶. Nesse contexto, podemos dizer que parte da difusão de conhecimento científico na PEC-ENF era trivial, surgindo localmente e ficando restrito a seus colaboradores conforme trabalhos publicados reificavam a relação de colaboração. Desde então a PEC-ENF cresceu em números de trabalhos e em quantidade de pesquisadores, devido a fatores tanto institucionais, como a criação de linhas de pesquisa específicas, quanto culturais, como o surgimento

⁵Não sobreposemos os dados de Alves, Passos e Arruda (2010) com os dados de Barros (2020) pois há importantes diferenças epistêmicas e metodológicas na coleta de dados em ambos os trabalhos que trariam inconsistências para análise. Pontuamos apenas que 17 dos 90 pesquisadores encontrados na amostra de Alves, Passos e Arruda (2010) também aparecem na amostra de Barros (2020).

⁶A rede formada apenas pelos artigos em periódicos entre 2008 e 2019 tem aproximadamente 12% dos vértices intermediando conexões entre pesquisadores.

de novos museus e centros de ciências no país (Barros, 2020). Esses processos contribuíram para alterar a dinâmica de difusão do conhecimento científico dessa rede, conforme discutido adiante.

Anos recentes (2008-2019)

A partir deste ponto, os resultados referem-se à amostra disponibilizada por Barros (2020). O resultado do total de trabalhos publicados e do coeficiente de colaboração (CC) é apresentado na Figura 4.

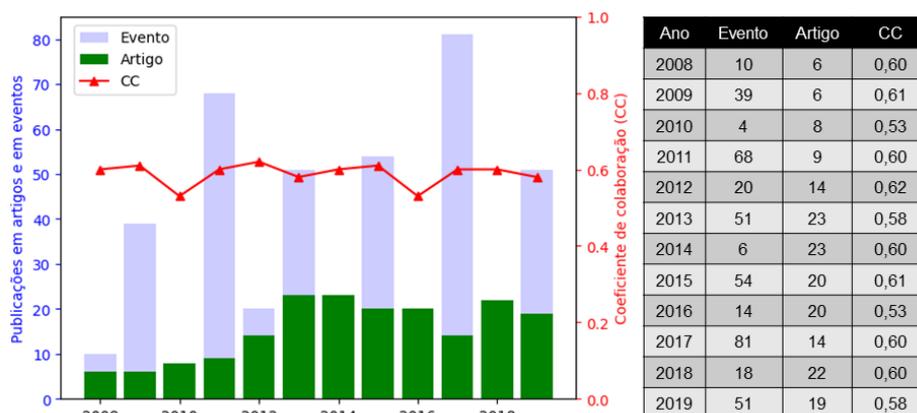


Figura 4 – Coeficiente de colaboração e quantidade de produção acadêmica na pesquisa em Ensino de Ciências em espaços não formais entre 2008 e 2019.

Dos 600 trabalhos, 33 (5,5%) são de autoria única, 261 (43,5%) têm dois autores, 157 (26,2%) têm três autores, 53 (8,8%) têm quatro autores. O restante dos trabalhos têm entre 5 e 13 autores. O coeficiente de colaboração variou entre 0,53 e 0,61, com uma média de aproximadamente 0,59. A rede dos pesquisadores que compõem a PEC-ENF é reproduzida na Figura 5, com 2528 relações de coautoria únicas entre 1235 pesquisadores.

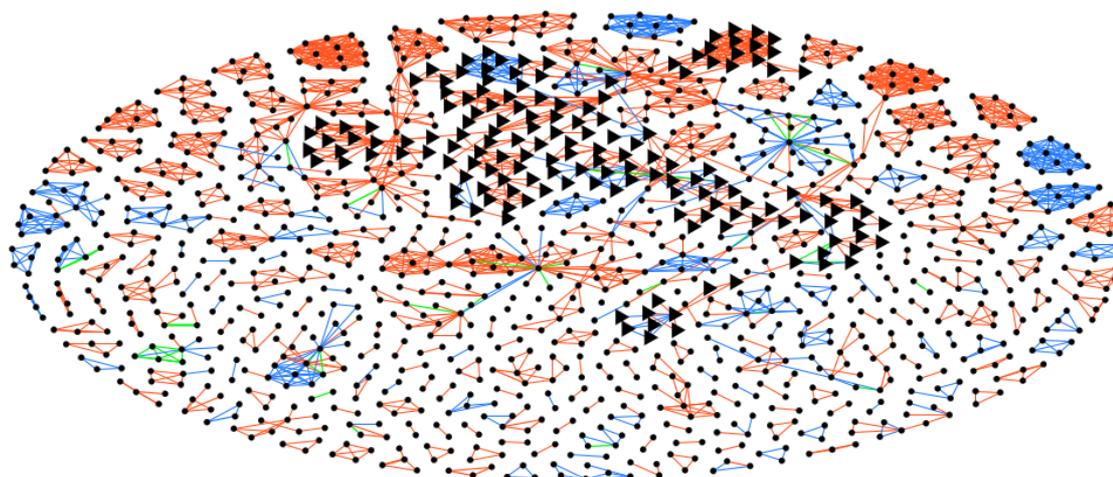


Figura 5 – Rede de coautoria na pesquisa em Ensino de Ciências em espaços não formais entre 2008 e 2019. A linha que une cada par de pesquisadores é vermelha se há somente coautoria em eventos; azul se há somente coautoria em artigos; e verde se há coautoria em eventos e em artigos. Vértices triangulares destacam os membros do maior componente conectado.

Na Figura 5, destaca-se a predominância de colaborações em eventos tanto na rede quanto no maior componente conectado. No total da rede, 1891 coautorias são em trabalhos publicados em anais de eventos, 680 coautorias são em artigos publicados em periódicos, sendo que 43 são em ambos. Na rede da PEC-ENF os 1235 pesquisadores estão assim distribuídos:

- 1 pesquisador com 28 coautores;
- 4 pesquisadores com mais de 20 coautores;

- 92 pesquisadores com 10 coautores ou mais;
- 1143 pesquisadores com menos de 10 coautores;
- 804 pesquisadores com menos de 5 coautores;
- 497 pesquisadores com menos de 3 coautores;
- 237 pesquisadores com 1 coautor;
- 15 pesquisadores sem coautores.

A maioria dos pesquisadores, aproximadamente 65%, possui menos de 5 coautores. Noutras palavras, há 804 pesquisadores com centralidade de grau inferior a 5. Ao mesmo tempo, uma parcela muito pequena de pesquisadores apresenta elevada centralidade de grau, com 20 relações de coautoria na temática da PEC-ENF. A evolução da rede pode ser observada na Figura 6.

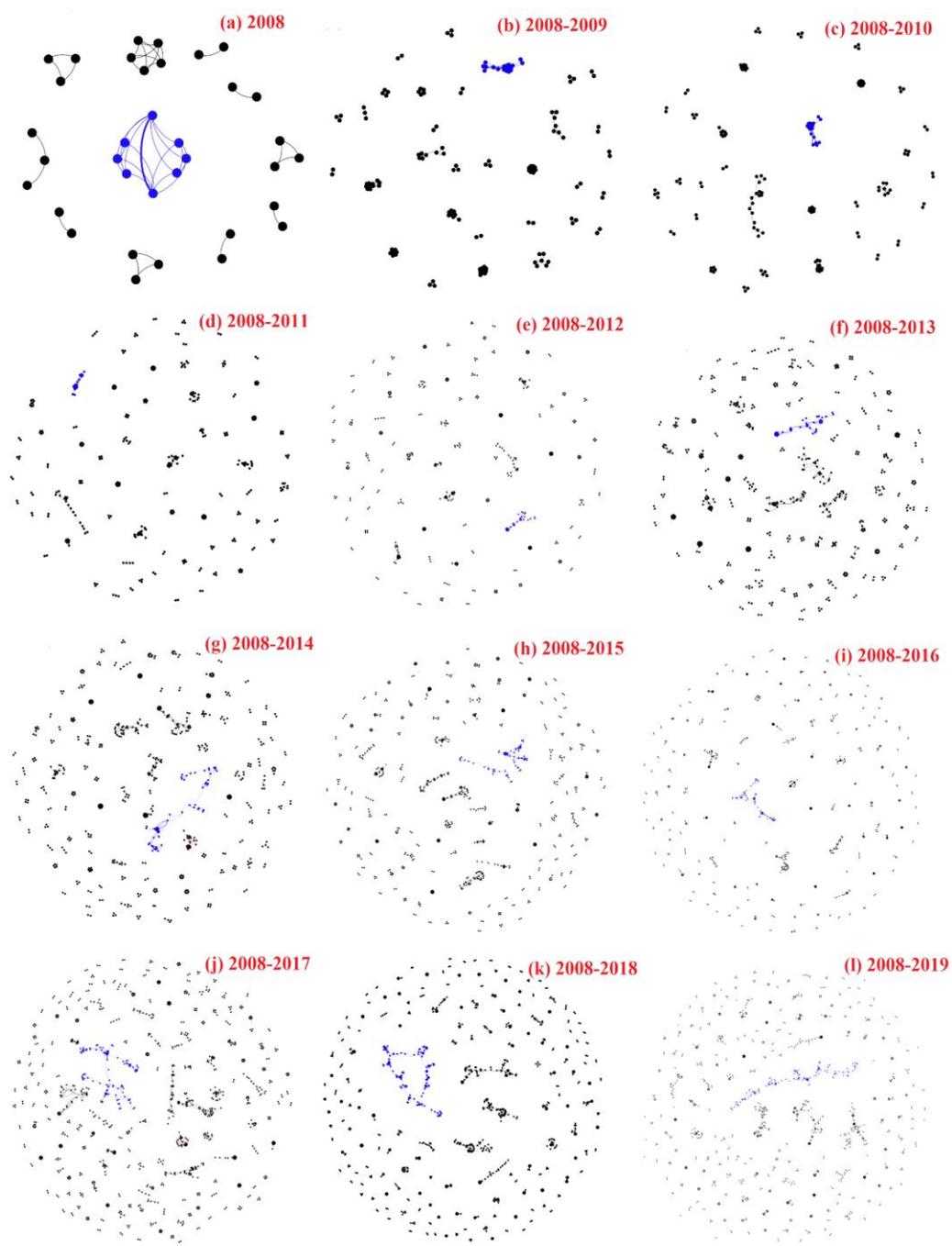


Figura 6 – Evolução diacrônica da rede de coautoria na pesquisa em Ensino de Ciências em espaços não formais entre 2008 e 2019. Destacado em azul está o maior componente conectado para cada ano.

Note que a rede apresentada na Figura 6(l) 2008-2019 é a mesma da Figura 5; a diferença entre as duas figuras reside apenas na distribuição espacial de seus componentes para facilitar a visualização. Na Figura 6(l) 2008-2019, fica mais evidente três grandes componentes conectados, além do maior componente em azul. Esses componentes têm aproximadamente o mesmo tamanho, com uma média de 68 membros cada. Considerados em conjunto, esses quatro grandes componentes abrangem aproximadamente 29% dos pesquisadores da rede. Os dados estruturais para evolução anual da rede ilustrada na Figura 5 são resumidos no Quadro 2.

Quadro 2 – Métricas da rede de coautoria da pesquisa em Ensino de Ciências em espaços não formais.

Métricas	Cumulativo anual											
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Vértices	35	146	158	363	432	571	617	771	827	1043	1099	1235
Linhas	45	345	361	784	960	1195	1272	1573	1661	2116	2277	2528
Centralidade de grau médio	2,6	4,7	4,6	4,3	4,4	4,2	4,1	4,1	4,0	4,1	4,1	4,1
Menor caminho médio (MCM)	1,32	1,82	1,82	1,96	2,59	2,67	4,94	4,89	5,01	6,42	7,50	7,47
Coeficiente de clusterização médio (CCM)	0,84	0,92	0,91	0,89	0,90	0,86	0,83	0,81	0,80	0,78	0,77	0,75
Componentes conectados	11	32	34	78	90	118	123	144	155	187	183	205
Maior componente conectado (%)	22,9	14,4	13,3	6,1	7,2	6,7	9,4	9,6	9,3	9,8	11,8	12,9
Diâmetro	2	4	7	7	7	8	12	12	12	16	20	19

DISCUSSÃO DA REDE DE PESQUISA EM ENSINO DE CIÊNCIAS EM ESPAÇOS NÃO FORMAIS

Primeira pergunta de pesquisa

Recuperamos a primeira pergunta de pesquisa: qual é a estrutura e a dinâmica da rede de coautoria na pesquisa em Ensino de Ciências em espaços não formais?

Uma rede social real

A rede de pesquisadores da PEC-ENF demonstra um fenômeno de agregação real em oposição a um fenômeno de agregação aleatório, como evidenciado por suas métricas. Essa observação era esperada, uma vez que evidências empíricas indicam que as estruturas de redes de coautoria geralmente se afastam das estruturas de redes aleatórias, embora existam exceções (Stefano *et al.*, 2013).

A PEC-ENF compartilha propriedades importantes que a aproxima de muitas outras redes de coautoria em diferentes áreas e temáticas. Como discutido, a atividade de pesquisa, concebida como produto da intencionalidade humana, se traduz em uma atividade coletiva e coordenada. Nesse contexto, espera-se que as relações de colaboração que resultam em coautoria sigam alguns padrões contemporâneos de organização social. Por exemplo, em redes aleatórias, a distribuição das linhas é bastante homogênea, indicando que cada vértice tem igual probabilidade de se conectar a outros vértices. Nessa dinâmica, seria esperado que emergisse um grande componente conectado, englobando a maior parte dos vértices quando o número de relações de coautoria excedesse a metade do número de vértices (Chen, 2013), o que *não* foi observado na PEC-ENF. Retornaremos para contextualizar esse resultado ao

comparar a fragmentação da rede PEC-ENF em relação a outras temáticas. O mais importante no momento é reconhecer que apesar do número de linhas ser consideravelmente superior ao número de vértices, o maior componente conectado reúne 12,9% da rede, afastando-se de um processo em que a maioria dos pesquisadores têm a mesma chance de criar novos laços de coautoria.

Ademais, na atividade de pesquisa científica, há um considerável nível de ordem e organização hierárquica, que se desenvolvem principalmente em proximidade geográfica (Fontes *et al.*, no prelo), além do reconhecimento do acúmulo de capital científico por pesquisadores, o que faz desses indivíduos um polo de novas colaborações de maneira desproporcional a outros pesquisadores (Tomassini & Luthi, 2007). Essas propriedades da distribuição de relações constatadas para a rede da PEC-ENF caracterizam redes sociais reais. O caminho relativamente longo que conecta os indivíduos possivelmente é resultado das colaborações feitas ao longo de uma “árvore genealógica” acadêmica, na qual o pesquisador coautora com seu orientador, e depois segue caminho próprio em outra instituição, orientando e produzindo trabalhos em coautoria com novas gerações de pesquisadores. Esse processo, embora não seja o único, ajuda a entender o alto valor para o diâmetro (ver Quadro 2) em comparação com o diâmetro esperado em uma rede aleatória com o mesmo número de vértices que carece de tal dinâmica social.

Ainda em relação ao alto valor para o diâmetro, chama atenção que a PEC-ENF, embora relativamente recente e com relativos poucos trabalhos, já apresenta uma cadeia de coautoria expressiva, que a aproxima de outras áreas mais estabelecidas e tradicionais como Física, Biomedicina e Ciências da computação que têm diâmetros de 20, 24 e 31, respectivamente (Newman, 2001), e a grande área de Ciências Sociais Aplicadas, com diâmetro de 26 (Mena-Chalco *et al.*, 2014). Há um fator que pode impulsionar a formação de uma longa cadeia de coautoria na PEC-ENF, e que talvez não seja tão presente nas áreas de Física, Biomedicina, Ciência da computação, entre outras. Tal fator está associado com a atribuição do papel de coautor aos colaboradores de projetos de extensão e escolas, bem como de espaços não formais que participam e contribuem para o desenvolvimento da pesquisa naqueles ambientes. Barros (2020) de fato registrou múltiplos indicadores de afiliação institucional entre os autores. Para além de Universidades e Fundações, foram registrados colégios, secretarias estaduais e municipais, e até grupos amadores de astronomia. É razoável que esses coautores apareçam poucas vezes, contribuindo pontualmente na formação de laços na rede. Além disso, Barros (2020, p. 201), deu uma pista desse fator ao comentar em suas considerações finais que o grau de colaboração elevado da amostra é “*resultado do desenvolvimento coletivo de estudos em [...] extensão e parcerias com escolas (este último quesito foi significativo com o aparecimento de secretarias de educação e escolas da rede estadual e municipal)*”. Em uma análise exploratória dos trabalhos que fazem parte do maior componente conectado, notamos que alguns autores estão de fato afiliados institucionalmente a fundações ou museus, mas consideramos necessária uma investigação específica e aprofundada para concluir a respeito da extensão e influência desse fator na estrutura e dinâmica da rede.

Em suma, o fenômeno de produzir trabalhos em coautoria com colaboradores não associados a centros de pesquisa existe na PEC-ENF. Resta entender o quão ele é um peso relevante na constituição de novas conexões. Entender o impacto desses colaboradores na formação de novas conexões oferece *insights* valiosos sobre como a pesquisa é conduzida na interface entre academia e espaços não formais. Ao mesmo tempo, altos valores para o diâmetro, ao indicar distanciamento entre pesquisadores, também indica que recursos, no caso interpretado como conhecimento científico, não sejam facilmente movimentados entre seus membros (Bottero & Crossley, 2011). Na prática, pesquisadores separados por uma longa cadeia intermediária podem estar tão distantes que são menos propensos a produzirem trabalhos em coautoria do que dois pesquisadores que se conhecem informalmente, mas estão desconectados na rede.

Os pesquisadores da PEC-ENF estão introduzindo seus colaboradores uns aos outros, criando novas relações de colaboração que resultam em coautoria. Em outras palavras, a PEC-ENF possui um alto valor para o CCM ao longo de todo o período considerado, indicando uma colaboração científica significativa, superior a de algumas áreas como Física, Biologia e Matemática (Newman, 2004). Esse valor elevado sugere uma probabilidade considerável de coautoria entre dois indivíduos se eles já compartilham um coautor em comum. Newman (2001) explica que o alto índice desse coeficiente é uma consequência do grande número de trabalhos com três ou mais autores, pois nesses casos é trivial encontrar três pesquisadores que são coautores entre si. No entanto, essa explicação *não* é suficiente para compreender o alto valor do CCM e a estrutura da PEC-ENF, uma vez que, no *corpus* considerado, aproximadamente metade dos trabalhos possuem apenas 1 ou 2 autores. A constatação de alto valor para o CCM numa amostra com tal distribuição de coautoria reforça que a rede PEC-ENF se forma a partir das

intencionalidades de seus membros em produzir trabalhos em coautoria, distanciando-a do que seria esperado se fosse uma rede formada aleatoriamente. Nesse contexto, se valida o ditado popular “o amigo do meu amigo também é meu amigo”, destacando que o coautor do meu coautor provavelmente será meu coautor.

Por fim, ressaltamos a variação no maior componente conectado. Em 2011, ocorreu a primeira grande entrada de novos pesquisadores na rede da PEC-ENF, levando a uma considerável diminuição no tamanho desse componente. Ao longo do período de 2011 a 2016, o maior componente manteve seus valores mais baixos, e a contextualização de Barros sobre esses anos auxilia na compreensão desse resultado:

“esse período [2011-2016] é especialmente fecundo para a pesquisa em ensino de ciências e educação em museus, como reflexo das políticas públicas de popularização científica, abertura de novos museus e centros de ciências, constituição de linhas de pesquisa voltadas para a divulgação científica e educação não formal em PPGs da área de Educação e Ensino e, conseqüentemente, formação de grupos de pesquisa e pesquisadores a nível de mestrado e doutorado nas áreas de educação não formal e divulgação científica” (Barros, 2020, p. 116).

Em outras palavras, as diversas ações culturais e institucionais que impactam diretamente a temática do ensino não formal levaram a rede de coautoria da PEC-ENF a expandir-se proporcionalmente mais do que a entrada de novos pesquisadores conectados aos pesquisadores existentes no maior componente. Desde então, o maior componente tem aumentado seu tamanho, e no último ano registrado, era responsável por abranger aproximadamente 13% dos pesquisadores da rede.

É interessante notar que, desde 2013 até o último ano registrado, existem pelo menos outros três componentes conectados que abrangem uma quantidade significativa de membros, mas que não estabeleceram laços de coautoria entre eles (ver Figura 6). Sabe-se que esses pesquisadores são, em sua esmagadora maioria, brasileiros, devido ao recorte metodológico de Barros (2020). Portanto, os fatores de barreira linguística e relações internacionais, conhecidos por dificultar a formação de laços de coautoria (Luukkonen, Persson, & Siversten, 1992), são virtualmente inexistentes. Mesmo assim, há múltiplos outros fatores que contribuem para explicar a ausência de coautoria entre os membros dos quatro maiores componentes.

Primeiro, é possível que a fragmentação da rede nesses quatro grandes componentes seja um reflexo da multiplicidade de temas presentes na PEC-ENF. O crescimento da produção científica da PEC-ENF na década de 2010 pode não ter ocorrido de maneira a agregar substancialmente seus subtemas, considerando que a fragmentação em uma rede de coautoria está associada a diferentes especializações e grupos de pesquisa (Guimerà *et al.*, 2005; Mena-Chalco *et al.*, 2014). Conforme apontado por Barros e Langhi (2023, p. 44) “à medida que cresce a temática do Ensino de Ciências em espaços não formais, as produções vão se diversificando quanto ao foco de estudo, ao uso de materiais e metodologias e ao estabelecimento de bases teóricas”.

Por exemplo, em se tratando do subtema específico da educação em museus, observa-se que ele se expandiu significativamente no final do século XX (Barros, 2020). Paralelamente, na década de 2000, há um aumento nas pesquisas sobre clube de ciências (De Prá & Tomio, 2014), ao mesmo tempo em que surgem as primeiras dissertações e teses sobre formação de professores de ciências em espaços não formais (Coelho, Oliveira, & Almeida, 2021) e sobre trilhas ecológicas como espaços para o ensino de ciências (Pin *et al.*, 2018). Também, além da investigação direcionada aos espaços físicos, diversos enfoques epistêmicos, como o estudo das características da atividade de ensino em espaços não formais, têm sido explorados. Essa possibilidade está alinhada tanto com Barros (2020, p. 158), que, ao refletir sobre o *corpus*, pontuou que ele “*revela a presença de grupos de pesquisa que desenvolvem estudos a partir de referenciais teóricos e referências específicas, que também banalizam os trabalhos de mestrado e doutorado dos integrantes do grupo*”, quanto com os resultados de revisões recentes da literatura em educação não formal que encontram um número significativo de trabalhos em diferentes categorias epistêmicas (e.g., Porto & Silva, 2023). Os diferentes focos de investigação ou agendas de pesquisa entre esses grupos de pesquisadores levam a identidades e práticas de pesquisa próprias, criando, conseqüentemente, fronteiras entre eles (Wenger, 1998, 2000). Assim, esse primeiro fator resume-se à possibilidade de que tais comunidades de pesquisadores tenham dinâmicas próprias, operando com

diferentes agendas de pesquisa e objetos de fronteira. Embora essas dinâmicas sejam suficientes para conectar seus membros localmente em um trabalho comum, elas não agregam essas diferentes comunidades nos termos da coautoria.

Em segundo lugar, a PEC-ENF é abrangente o suficiente para incluir pesquisadores das subáreas da PEC (pesquisa em Ensino de Física, pesquisa em Ensino de Biologia, pesquisa em Ensino de Química)⁷ e da Pedagogia (Ovigli, 2015). Assim, é possível que esse fator atue como um impedimento à produção de trabalhos em coautoria por pesquisadores de diferentes subáreas, mesmo compartilhando a temática em espaços não formais. Uma análise exploratória da amostra revela que há a presença de pesquisadores de subáreas da PEC, além da Educação. Em trabalho anterior, com outro escopo e a partir de dezenas de *redes egocêntricas*⁸, constatamos a presença desse mesmo fator na dinâmica de coautoria entre pesquisadores de diferentes subáreas da PEC (ver Fontes & Rodrigues, 2023).

Terceiro, os pesquisadores que fazem parte de diferentes clusters na rede da PEC-ENF podem não compartilhar o mesmo espaço físico (departamentos, instituições ou estados), considerando que, em geral, a relação de coautoria é inversamente proporcional à distância geográfica (Carvalho *et al.*, 2021; Fontes *et al.*, no prelo). Empiricamente, Barros (2020) registrou afiliações institucionais de pelo menos 24 estados brasileiros, além de universidades no exterior.

Por último, mesmo que a colaboração científica seja, de forma geral, vista como uma prática saudável (Vanz & Stumpf, 2010), ela também envolve custos. Publicar um trabalho em coautoria é um processo que exige confiança, custos de organização, comunicação, e negociação de significado em torno de um objetivo comum. Esses são fatores específicos que influenciam a decisão e a dinâmica de grupos e de indivíduos de diferentes maneiras. Pode ser que os membros de cada grande componente tenham atingido certo grau de organização localmente, e o custo-benefício de criar ou estreitar laços sociais com outros pesquisadores, a ponto de resultar em coautoria, não valha a pena no momento. Grupos de pesquisadores estabelecem, mesmo de forma implícita, fronteiras que precisam ser superadas para que ocorra compartilhamento de conhecimento e aprendizado (Akkerman & Bakker, 2011), eventualmente resultando em relações de coautoria entre indivíduos de fronteiras distintas.

Em suma, a dinâmica e a estrutura das relações sociais em um campo do saber interagem de maneira complexa, tornando difícil desentrelaçar os impactos de cada aspecto. Além disso, o fator temporal precisa ser considerado. Grupos de pesquisa atualmente desconectados podem estar desenvolvendo trabalhos em coautoria, mas essas colaborações não foram registradas até o encerramento da coleta de dados.

Uma rede de mundo-pequeno

Até o momento argumentamos que a PEC-ENF não exhibe propriedades de um modelo de rede aleatória. Diante disso, surge a questão: há algum modelo empírico que possa ser útil para interpretá-la? Esse questionamento, em sua forma mais ampla, tem levado a uma expressiva quantidade de pesquisas, com proposições de modelos teóricos e empíricos na tentativa de identificar e interpretar agrupamentos sociais de indivíduos (e.g., Fortunato, 2010; Moody, 2004). No nosso caso, comparamos a rede PEC-ENF com a estrutura esperada de um mundo-pequeno (Watts, 1999), popularmente conhecido como *small-world* ou *seis graus de separação* (Milgram, 1967), e observamos que tal caracterização se aplica a essa rede.

Watts (1999) formaliza o modelo de mundo-pequeno definindo-o como um grafo com grande número de vértices (n), espaçadamente conectado, e descentralizado ($n \gg k_{\text{máximo}} \gg 1$) que exhibe menor caminho médio próximo a um grafo aleatório ($MCM_{\text{rede}} \sim MCM_{\text{aleatório}}$), mas com coeficiente de clusterização médio muito maior do que encontrado no grafo aleatório ($CCM_{\text{rede}} \gg CCM_{\text{aleatório}}$). Sendo $k_{\text{máximo}}$ o maior grau de vértice no grafo, isto é, a quantidade de outros vértices conectados ao vértice mais conectado. Como não existem fórmulas precisas para determinar o valor de $MCM_{\text{aleatório}}$ e $CCM_{\text{aleatório}}$, na prática, a literatura tem gerado redes aleatórias segundo algum modelo, como no modelo Erdős-Renyi, para então determinar essas métricas (e.g., Ansell, Lundin, & Öberg, 2013; Ebadi & Schiffauerova, 2015). Com isso, alguns parâmetros foram estabelecidos para determinar se uma rede específica pode ser interpretada segundo o modelo de mundo-pequeno. O *coeficiente de mundo-pequeno* (Q_{mp}) é esse parâmetro, e expresso por:

⁷A amostra de Barros (2020) não considerou trabalhos voltados para a educação ambiental ou as geociências.

⁸Redes egocêntricas são redes formadas a partir de um (ou mais) indivíduo chamado *ego* e suas conexões com outros indivíduos.

$$Q_{mp} = \frac{CCM_{rede}}{MCM_{rede}} \times \frac{MCM_{aleatório}}{CCM_{aleatório}}$$

Define-se que a rede será mundo-pequeno quando $Q_{mp} > 1$. Em geral, entende-se o Q_{mp} em uma escala, de modo que quanto maior Q_{mp} , mais a rede se caracteriza por um mundo-pequeno. Isso significa dizer que os laços entre clusters aumentam em frequência, o que leva a uma rede mais conectada entre seus diferentes clusters (Uzzi & Spiro, 2005).

Portanto, para avaliar a adequação da PEC-ENF ao modelo de mundo-pequeno, utilizamos as métricas CCM e MCM obtidas para o maior componente conectado (0,69 e 7,47, respectivamente) e as comparamos com os valores em um grafo aleatório de iguais proporções de vértices e linhas ($CCM_{aleatório} = 0,03$ e $MCM_{aleatório} = 3,21$). Como resultado, constatamos que o Q_{mp} da rede PEC-ENF é aproximadamente 10, valor que a caracteriza como mundo-pequeno (Watts, 1999; Humphries & Gurney, 2008; Cainelli *et al.*, 2015).

Conceitualmente, ao modelar a PEC-ENF como mundo-pequeno, estamos identificando indivíduos que atuam como cruzadores de fronteiras (Akkerman & Bakker, 2011), conectando pesquisadores e seus grupos locais que são relativamente distantes na atividade de pesquisa. Nesses casos, podemos considerar que a rede PEC-ENF como um todo se beneficia, pois há um aumento no acesso ao conhecimento científico, o que, por sua vez, pode resultar na elaboração de estratégias mais eficazes para abordar problemas específicos relacionados à atividade de pesquisa científica (Goldstein, 2009). Essa comunicação entre pesquisadores de agrupamentos distintos reduz a distância social entre eles, fazendo com que a difusão de conhecimento científico (*produtos e modus operandi*) seja mais provável e direta. A Figura 7 ajuda a ilustrar a rede segundo esse modelo.

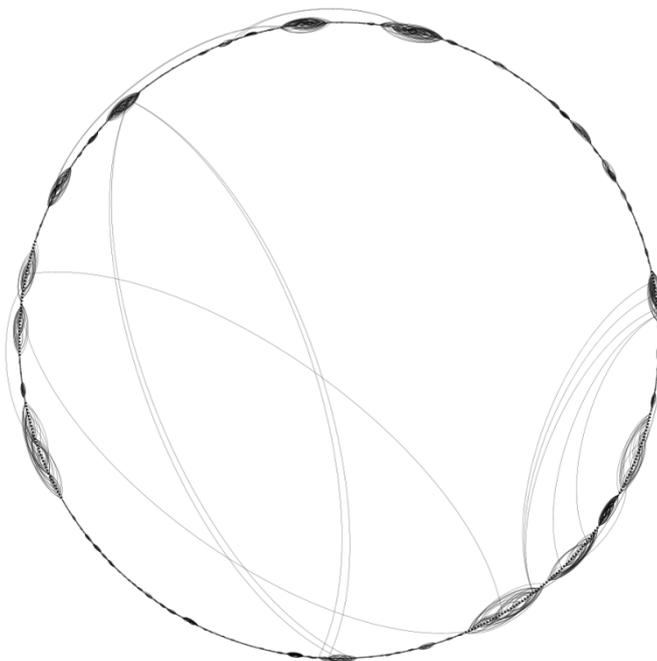


Figura 7 – Ilustração da rede de pesquisa em Ensino de Ciências em espaços não formais destacando a propriedade de comunicação entre pesquisadores de diferentes clusters.

Note que a Figura 7 é exatamente a mesma da Figura 5; no entanto, reorganizamos os vértices localmente conectados para facilitar a visualização das conexões entre clusters⁹. Assim, a Figura 7 ilustra o

⁹Utilizamos a métrica de modularidade para determinar os vértices localmente conectados. Em poucas palavras, modularidade é a proporção da quantidade de conexões dentro dos clusters pela quantidade de conexões entre clusters. Vértices com a mesma modularidade estão mais conectados entre si do que com o restante da rede. Note que um mesmo componente conectado por ter vários clusters ou agrupamentos. Foi utilizado o algoritmo de Louvain para o seu cálculo (Blondel *et al.*, 2008).

que foi determinado empiricamente: embora a maioria das conexões ocorra localmente (entre pontos adjacentes na Figura), há conexões que ocorrem entre pesquisadores de diferentes clusters, provavelmente representando grupos de pesquisas, afiliações institucionais, e/ou mundos sociais distintos (Star & Griesemer, 1989). Essas relações de coautoria são responsáveis por uma redução significativa no menor caminho médio da rede, sem comprometer o coeficiente de clusterização, caracterizando efetivamente o modelo de mundo-pequeno.

Há dois aspectos importantes em uma rede de coautoria caracterizada por esse modelo. Por um lado, a existência de densos agrupamentos locais é essencial, pois promove um senso de acolhimento, confiança, e comunidade entre seus membros, impactando positivamente na criação de conhecimento científico. Por outro lado, esses agrupamentos também possuem muita informação redundante e que pode levar a um confinamento do conhecimento, processos e técnicas ali produzido. A existência de pontes entre esses agrupamentos permite a disseminação de ideias, recombinação de conhecimento, conexão com outros especialistas, avanços teóricos, e elaboração de novos objetos de fronteira (Ebadi & Schiffauerova, 2015; Moody, 2004; Vlegels & Huisman, 2021). Do ponto de vista mais individual, os indivíduos que fazem parte de agrupamentos com membros que atuam como cruzadores de fronteira estão em uma posição privilegiada na estrutura da PEC-ENF. Isto pois a posição de ponte pode influenciar as preferências e interesses do indivíduo, impulsionando-o a buscar novas informações para se manter na pesquisa científica (Burt, 2004; Granovetter, 1983).

Em um contexto mais amplo da pesquisa científica como uma atividade social e colaborativa, a presença de ambas as características não se anulam. Por um lado, alta clusterização local pode ser interpretada como um fortalecimento dos vínculos entre os pesquisadores, possivelmente facilitando um aprofundamento teórico e metodológico na pesquisa, resultando, talvez, em especialização da investigação. Por outro lado, há nuances no conhecimento desenvolvido e compartilhado que ficam restritas aos clusters. Uma possibilidade de lidar com essa restrição de circulação do conhecimento científico é o contínuo oferecimento de cursos, escolas, encontros, oficinas, eventos, incluindo normas institucionais como a obrigatoriedade de inclusão de membros de banca externos como requisito de algumas Universidades ou Programas de Pós-graduação em Ensino de Ciências na defesa de dissertações e teses. Essas ações, mais ou menos institucionalizadas, refletem tentativas da comunidade da PEC em conectar indivíduos, grupos de pesquisa e instituições para troca e recombinação de seus respectivos conhecimentos científicos, em explícita ação de criar oportunidades de cruzar fronteiras. Nesse processo, os indivíduos retornam aos seus colegas e grupos do qual pertencem, compartilham a experiência vivenciada, as tensões e contradições, e na tentativa de explicar o aprendizado, contribui-se para expandir os horizontes das suas comunidades locais (Wenger, 1998), eventualmente operando com novos objetos de fronteira a fim de dar sentido coletivo a essa experiência (Star & Greisemer, 1989). Pelo prisma da coautoria, sugerimos que os pesquisadores na PEC-ENF formam um coletivo no qual vivencia essas dinâmicas.

Segunda pergunta de pesquisa

Recuperamos a segunda pergunta de pesquisa: haveria diferenças entre os resultados encontrados para outras temáticas pesquisadas no ensino de ciências e os espaços não formais?

Na perspectiva da colaboração

É conhecido que os índices de coautoria variam significativamente ao longo do tempo, tanto nas grandes áreas do conhecimento quanto em áreas mais específicas (Mena-Chalco *et al.*, 2014; Thelwall & Maflahi, 2022). Nas Ciências Sociais, a proporção de artigos coautorados ultrapassou os 70% em 2010, em uma tendência de alta (Ossenblok, Verleysen, & Engels, 2014), e resultado semelhante é encontrado para a área de Educação (Henriksen, 2016). No caso da PEC, a proporção de artigos coautorados é ainda maior, variando de aproximadamente 80% a 95%. De todo modo, o mais importante é notar que a proporção de 92% artigos em coautoria para a PEC-ENF encontrado por Barros e Langhi (2023) não a coloca como um ponto fora da curva. O mesmo pode ser dito em relação à proporção de artigos com dois ou três autores, conforme ilustrado pela Figura 8.

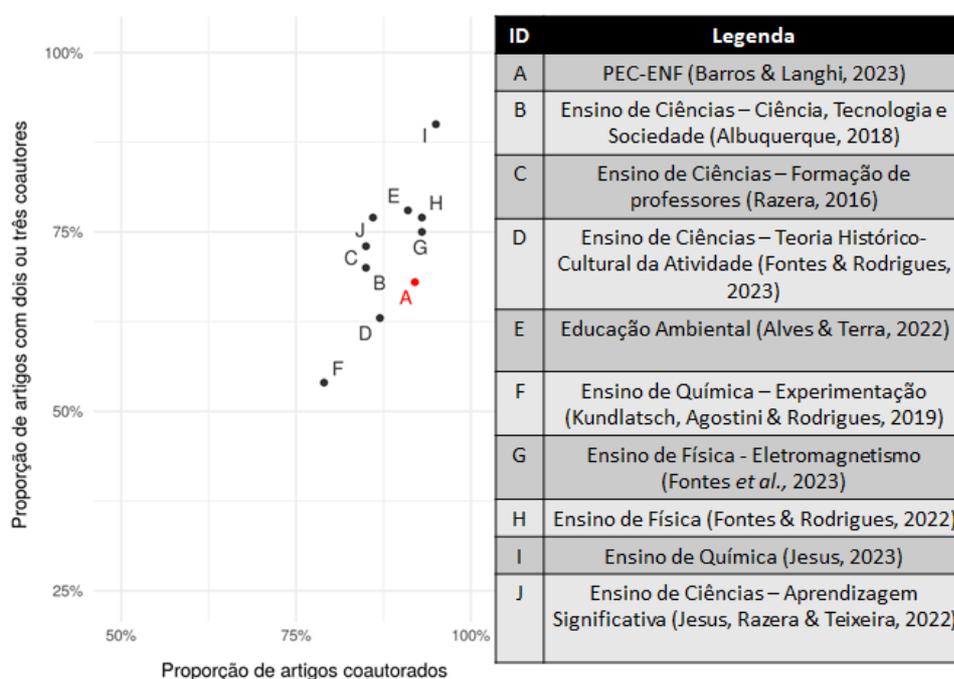


Figura 8 – Distribuição de métricas de coautoria em artigos na área de pesquisa em Ensino de Ciências e em algumas de suas temáticas. A pesquisa em Ensino de Ciências em espaços não formais é o ponto “A” vermelho.

A Figura 8 sugere um resultado importante: a especificidade de um tema dentro da pesquisa em Ensino de Ciências *não* torna mais coautorado do que outros temas ou mesmo a área de Ensino de Ciências como um todo. Embora essa observação possa parecer esperada, considerando os diversos fatores intrínsecos à atividade de pesquisa e às preferências individuais que influenciam a realização de trabalhos em coautoria, ela não é universal para todas as áreas e temas nas Ciências Humanas e Sociais. Moody (2004), por exemplo, analisou 36 diferentes temáticas (*especialidades*, na terminologia do autor) na área de Sociologia e demonstrou uma variação de 45% na proporção de artigos coautorados. De acordo com o autor, tamanha disparidade está muito relacionada à adoção de métodos quantitativos por algumas temáticas na pesquisa sociológica. Até onde sabemos a literatura ainda não forneceu uma conclusão empírica robusta sobre como as especificidades do conhecimento por temática nas Ciências Humanas e Sociais, o que inclui a PEC, atuam como organizadoras de coautoria. Até o momento, sabe-se que algumas características, como trabalhos com métodos estatísticos, aumentam a probabilidade de coautoria, mas falta um panorama integrado dos mecanismos e de seus pesos na determinação dessa atividade social.

Por fim, é válido refletir sobre o que torna um campo do saber mais colaborativo ao longo do tempo: apresentar mais coautores por artigos ou possuir mais artigos em coautoria? Essa ambiguidade é o que motiva a utilização de uma única métrica, o *coeficiente de colaboração*, que abarca ambas as interpretações em seu cálculo. Em geral, estudos na PEC, como os representados na Figura 8, não apresentam esse parâmetro, o que prejudica uma comparação mais direta. Contudo, a Figura 4 mostra que o coeficiente de colaboração da PEC-ENF permaneceu razoavelmente estável ao longo dos anos investigados, com uma média aproximada de 0,59. Os resultados do coeficiente de colaboração apresentados neste estudo sugerem considerável probabilidade de artigos em coautoria, situando-se próximo a outros valores relatados na literatura em diferentes temáticas (ver Garg & Padhi, 2001; Maia & Caregnato, 2008). O mais importante é que esse coeficiente possa servir como um parâmetro comparativo para futuras investigações na PEC.

Na perspectiva da fragmentação

A análise da fragmentação da rede é uma componente essencial para complementar o estudo de sua estrutura, e existem diversas abordagens para avaliá-la. A forma mais comum é considerar a proporção de vértices que pertencem ao maior componente conectado (MCC). O Quadro 3 apresenta essa métrica para diferentes redes na área de pesquisa em Ensino de Ciências e na pesquisa em Educação. É importante ressaltar que os trabalhos listados no Quadro 3 seguiram metodologias semelhantes para coleta de dados, construção e avaliação das redes.

Quadro 3 – Fragmentação em redes de coautoria em diferentes temáticas da pesquisa educacional

Temáticas na pesquisa em Ensino de Ciências	Maior componente conectado (MCC)*	Referência
Eletromagnetismo	4,1%	Fontes <i>et al.</i> (2023)
Ciência, Tecnologia e Sociedade	7,2%	Albuquerque (2018)
Espaços não formais	12,9%	Presente trabalho
Temáticas na pesquisa em Educação		
Educação à distância	2,6%	Gomes e Barbosa (2018)
Educação Tecnológica e Sociedade	11,6%	Zervas <i>et al.</i> (2014)

*Valores aproximados para o primeiro algarismo após a vírgula.

Na Figura 9, os pontos em “A” representam os trabalhos destacados no Quadro 3, além das análises da rede de coautoria na pesquisa em Ensino de Física Quântica (Bitzenbauer, 2021) e na temática das representações sociais no Ensino de Ciências (Freitas *et al.*, 2019). Esses dois últimos trabalhos não foram incluídos no Quadro 3 pois os autores não forneceram o MCC, embora tenham apontado a fragmentação de suas respectivas redes. O ponto em “B” representa o resultado da fragmentação no nível da subárea da pesquisa em Ensino de Física, conforme relatado por Anderson, Crespi e Sayre (2017), com MCC de aproximadamente 68%. Este é o único trabalho que conhecemos que apresenta dados sobre a fragmentação da rede de coautoria na área ou subáreas da pesquisa em Ensino de Ciências sem nenhum recorte temático.

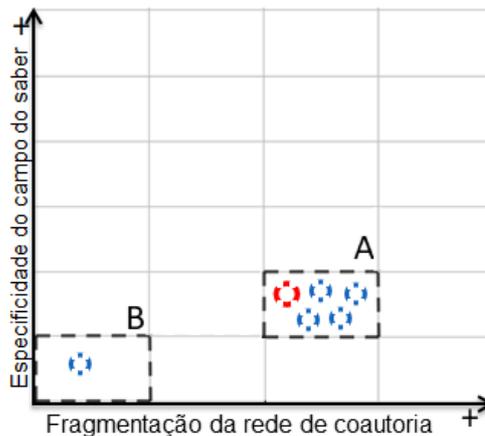


Figura 9 – Ilustração da fragmentação das redes de coautoria na pesquisa em Ensino de Ciências. O retângulo “A” engloba temáticas na pesquisa em Ensino de Ciências, e o retângulo “B” engloba a área de pesquisa em Ensino de Ciências e suas subáreas. Os retângulos e pontos estão tracejados para aludir que suas fronteiras não são bem definidas. O ponto em vermelho representa o presente estudo sobre a pesquisa em Ensino de Ciências em espaços não formais.

Duas perspectivas podem ser exploradas para discutir a fragmentação da PEC-ENF. A primeira perspectiva compara a PEC-ENF com outras temáticas da PEC, indagando por que ela é *relativamente menos* fragmentada em relação a essas temáticas. Ao utilizar a Figura 9 como suporte visual, esse ponto de vista busca identificar razões e características que posicionam a PEC-ENF mais à esquerda dos outros pontos no retângulo “A”, ao qual ela também pertence. Uma discussão aprofundada deste ponto de vista exige conhecimento detalhado da dinâmica da atividade de pesquisa em cada uma das diferentes temáticas, bem como o conhecimento das métricas de suas respectivas estruturas de rede. A ausência desses fatores nos impede de realizar uma análise significativa no momento. De qualquer forma, sugerimos

que a observação da relativamente menor fragmentação da PEC-ENF seja um elemento empírico. Não argumentamos por um elemento conceitual que torne a PEC-ENF (um pouco) menos fragmentada do que outras temáticas do Quadro 3.

A segunda perspectiva compara a PEC-ENF com a *área* (PEC) e subáreas (pesquisa em Ensino de Física, pesquisa em Ensino de Biologia, pesquisa em Ensino de Química), questionando por que a PEC-ENF é *relativamente mais* fragmentada. Na Figura 9, esse ponto de vista questiona por que os pontos no retângulo “A” estão significativamente mais distantes do retângulo “B” ao longo do eixo horizontal. Para avaliar essa perspectiva, utilizamos o estudo de Anderson, Crespi e Sayre (2017) como referência, o qual analisou a rede de coautoria na pesquisa em Ensino de Física. Embora este seja um único estudo, é razoável inferir que as redes de coautoria nesse nível de análise tendem a ser consideravelmente menos fragmentadas do que aquelas focadas em temáticas específicas. Isso se deve ao fato de que, ao analisar uma área ou subárea, são consideradas virtualmente todas as publicações de um pesquisador, independentemente da temática específica na qual publicou ao longo dos anos.

Alguns elementos empíricos do *corpus* corroboram essa perspectiva. No *corpus*, encontramos trabalhos de pesquisadores como João Caluzi, Ivã Gurgel, e Jorge Megid Neto. Cada um desses pesquisadores contribui somente com uma ou duas publicações, e uma conexão de coautoria para a PEC-ENF. Na rede da PEC-ENF eles *não* se conectam, nem integram algum dos quatro maiores componentes conectados. Contudo, esses pesquisadores compartilham da subárea de pesquisa em Ensino de Física, contribuindo com dezenas de trabalhos, com diferentes coautores, considerando todas as publicações em Ensino de Física e Ensino de Ciências. Além disso, a PEC-ENF *não* é destacada como um de seus principais interesses de pesquisa em seus respectivos currículos Lattes¹⁰. Em suma, João Caluzi, Ivã Gurgel e Jorge Megid Neto são exemplos de pesquisadores que aparecem em trabalhos com escopo em “B” e em “A”. Contudo, em “B” eles contribuem com virtualmente todos os seus trabalhos já publicados e suas relações de coautoria, enquanto em “A” eles aparecem apenas pontualmente na temática da PEC-ENF, bem como devem aparecer pontualmente em trabalhos que avaliem outros recortes temáticos que não sejam seus principais interesses de pesquisa. Portanto, a depender do recorte temático, eles contribuirão com mais ou menos conectividade para a rede. Sugerimos que esses casos não sejam isolados, mas estejam presentes e influenciem na fragmentação das redes na PEC, sendo o reflexo das múltiplas comunidades e identidade abrangidas por essa área de pesquisa.

Portanto, sugerimos que as redes de coautoria que tiverem escopos na PEC ou suas subáreas tendem a ser menos fragmentadas do que aquelas com escopos em temáticas da PEC, devido à forma como a atividade de pesquisa em Ensino de Ciências está organizada. Essa hipótese reflete conceitualmente a estrutura das relações de coautoria na PEC, levando em consideração suas diversas comunidades e a possibilidade de múltiplas participações.

LIMITAÇÕES E PESQUISAS FUTURAS

Este trabalho apresenta algumas limitações que merecem consideração quando da interpretação dos resultados. No aspecto metodológico, a delimitação do *corpus* reflete as próprias limitações de Barros (2020), com a adição da complexidade associada à desambiguação de nomes, na qual reconhecemos nossa imperfeição nesse processo. Das limitações conceituais destacamos que a análise empírica realizada neste estudo considerou a PEC-ENF como uma temática. Embora esse entendimento seja relevante para fornecer uma visão geral, reconhecemos que a PEC-ENF abrange diferentes referenciais e ênfases de investigação. Futuros trabalhos podem explorar esses aspectos para obter resultados mais granulados.

Assim como qualquer estudo que investiga empiricamente organizações de relações sociais, nossa pesquisa também apresenta uma limitação temporal dos dados. Embora tenhamos argumentado que muitas das conclusões, como os índices de colaboração, provavelmente permanecerão válidas por um longo período; outras, como a fragmentação, estão mais sujeitas a mudanças abruptas. Vale ressaltar que pesquisadores que estreitaram relações de colaboração nos anos mais recentes da amostra podem ainda não ter tido tempo suficiente para apresentar trabalhos publicados em coautoria.

A coautoria, sendo uma forma de colaboração científica que reifica a relação de colaboração em um objeto material, mereceu atenção especial nesta pesquisa. No entanto, é importante reconhecer que há

¹⁰Consulta realizada em outubro de 2023 na seção “Resumo” a partir do “Texto informado pelo autor”.

muitas outras formas de colaboração científica. Em futuros trabalhos, planejamos estabelecer contato com alguns pesquisadores que se destacam na rede, desempenhando papéis cruciais na conexão entre agrupamentos. Buscaremos obter suas percepções sobre a estrutura e a dinâmica da PEC-ENF, com a expectativa de que seus comentários enriqueçam o entendimento sobre as redes colaborativas na PEC, especialmente no contexto do ensino não formal.

Na discussão sobre a fragmentação da PEC-ENF, sugerimos que redes temáticas tendem a ser mais fragmentadas do que a rede da PEC e suas subáreas. Essa inferência é fundamentada no processo social de pertencimento a múltiplas comunidades ou identidades de pesquisa, característica da PEC. No entanto, essa é uma posição que, a nosso ver, pode ser enriquecida em mais resultados empíricos. Além disso, a dinâmica da atividade de pesquisa levanta questionamentos sobre a existência de temáticas que possam servir como elementos aglutinadores de diversas comunidades, por exemplo. Em outras palavras, é interessante identificar se e quais temáticas são amplas o suficiente para abranger pesquisadores com diferentes identidades de pesquisa, mas ao mesmo tempo são estreitas o suficiente para manter uma identidade própria. Uma das implicações desse entendimento sobre a estrutura da PEC é a orientação das novas gerações de pesquisadores, que podem optar por se aprofundar em temáticas mais amplas e colaborativas visando uma interação mais rica com pares de diferentes identidades de pesquisa, ou preferir investigar temáticas mais afuniladas, nas quais podem acumular autoridade científica com possivelmente menos disputa.

O quadro teórico-metodológico utilizado também tem suas limitações. A ARS restringe o escopo de análise para as estrutura das relações, não conseguindo lidar com toda a complexidade das relações que culminam na coautoria. O trabalho aqui apresentado pode ser enriquecido com diálogo a outros aportes teóricos, seja no aspecto do aprendizado coletivo por uma comunidade (e.g., Etienne Wenger), ou de relações de poder e de estrutura entre os agentes (e.g., Pierre Bourdieu; Michael Foucault). Teóricos que contribuíram para o estudo da sociologia da ciência (e.g., Ludwik Fleck) também podem ser adotados com uma lente analítica para a interpretação dos dados. Além disso, a análise da estrutura da rede de coautoria pode ser enriquecida com dados adicionais que contribuem para a triangulação, correlação e inferência, a exemplo de dados históricos, sociais e institucionais.

Enfatizamos que algumas das questões em aberto demandam não apenas uma reflexão teórica-conceitual, mas também a superação de um desafio empírico-metodológico. No momento, não existe um banco de dados único e abrangente da produção da PEC ou de suas subáreas, no qual os pesquisadores possam acessar seus conteúdos de maneira razoavelmente eficiente. Na esteira do movimento Ciência Aberta, indagamos até quando indivíduos e grupos de pesquisadores continuarão a dedicar meses (ou anos) de trabalho mecânico à coleta e ao tratamento de dados, muitas vezes repetindo esforços semelhantes entre seus pares. O tempo investido na coleta e tratamento de dados em várias bases, periódicos, anais de eventos, etc., poderia, a nosso ver, ser empregado na discussão crítica dos resultados. Embora seja importante aprender a coletar dados para a formação de pesquisadores, podemos progredir ainda mais na difícil tarefa da interpretação dos dados em relação às bases teóricas. Como comunidade científica, é imperativo enfrentarmos essa questão com dedicação, para que as atuais e as novas gerações de pesquisadores possam começar em um terreno ainda mais organizado. Essa ação, que só se concretizará com ampla colaboração entre os pares, contribuirá de maneira inestimável para a maturidade da PEC, endereçando limitações de muitos trabalhos já realizados pela literatura e deve constituir pesquisas futuras. A comunidade de pesquisa em Ensino de Ciências entende essa questão como uma demanda legítima? Em caso afirmativo, como colocá-la em prática?

CONSIDERAÇÕES FINAIS

À guisa de conclusão, este estudo ressalta que entender a complexidade organizacional de uma temática específica da pesquisa em Ensino de Ciências passa pelo conhecimento de sua estrutura e dinâmica de colaboração. Os resultados obtidos são especialmente relevantes para a avaliação da coautoria em artigos e trabalhos em eventos, essencial para compreender a atividade de pesquisa na área. Retomando a primeira pergunta deste trabalho, **qual é a estrutura e a dinâmica da rede de coautoria na pesquisa em Ensino de Ciências em espaços não formais?**, concluímos que a rede PEC-ENF se distancia de uma rede aleatória, e é formada por grupos de pesquisadores que se apresentam mutuamente, resultando em relações de coautoria. Essa dinâmica, aliada à presença de pesquisadores que cruzam fronteiras, caracteriza a PEC-ENF como uma rede de mundo-pequeno.

Em relação à segunda questão, **haveria diferenças entre os resultados encontrados para outras temáticas pesquisadas no ensino de ciências e os espaços não formais?**, observamos que a PEC-ENF é relativamente menos fragmentada em comparação com outras temáticas, embora seus índices de fragmentação e colaboração estejam em conformidade com as expectativas em uma perspectiva mais abrangente da área. As fronteiras entre os agrupamentos não devem ser consideradas apenas como barreiras entre grupos de pesquisadores, mas também como oportunidades para formar novas relações e aprendizados.

Finalmente, destacamos que a interpretação abrangente dos resultados só foi viabilizada pela contínua interlocução com trabalhos anteriores, que não apenas propuseram questionamentos relevantes, mas também compartilharam seus dados¹¹. Essa interlocução possibilitou não apenas uma compreensão local da PEC-ENF, mas também uma visão mais abrangente da PEC, endereçando questões em aberto e delineando novas hipóteses. Ressaltamos a importância da análise dialogada, realizada de maneira independente, que contribui para a construção de um panorama mais estruturado e pode instigar pesquisas futuras neste formato. Ovigli (2015, p. 592), ao encerrar seu artigo sobre o panorama das pesquisas brasileiras sobre educação em museus de ciências, explicitamente destacou o desafio de produzir “*estudos comparativos tanto qualitativos como quantitativos, de modo que o incentivo à realização de pesquisas em rede possa configurar-se como caminho*”. Esperamos que a presente pesquisa tenha contribuído para atender a essa demanda e que possa servir como um guia para ainda mais caminhos.

REFERÊNCIAS

- Agostini, G., & Massi, L. (2023). A área 46 na CAPES: origem, mudanças e consolidação como “ensino” no campo acadêmico-científico. *Investigações em Ensino de Ciências*, 28(2), 65-91. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2023v28n2p65>
- Ajiferuke, I., Burell, Q., & Tague, J. (1988). Collaborative coefficient: A single measure of the degree of collaboration in research. *Scientometrics*, 14(5), 421-433. <https://doi.org/10.1007/bf02017100>
- Akbaritabar, A., & Barbato, G. (2021). An internationalised Europe and regionally focused Americas: A network analysis of higher education studies. *European Journal of Education*, 56(2), 219-234. <https://doi.org/10.1111/ejed.12446>
- Akkerman, S. F., & Bakker, A. (2011). Boundary crossing and boundary objects. *Review of educational research*, 81(2), 132-169. <https://doi.org/10.3102/0034654311404435>
- Albuquerque, M. B. (2018). O perfil dos estudos brasileiros sobre ciência, tecnologia e sociedade baseado nas publicações nacionais da área de ensino de ciências. (Tese de doutorado). Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Rio de Janeiro, RJ..
- Alexandrino, D. M., & Queiroz, S. L. (2020). Pesquisas do tipo estado arte sobre o Ensino de Química no Brasil (2000-2016). *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 19(3), 638-655. https://reec.uvigo.es/volumenes/volumen19/REEC_19_3_7_ex1703_335.pdf
- Alves, D. A. R. S., Passos, M. M., & Arruda, S. M. (2010). A educação não formal em periódicos da área de ensino de ciências no Brasil (1979-2008). *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia*, 3(1). <https://doi.org/10.3895/S1982-873X2010000100002>
- Alves, G. D. C. R., & Terra, B. T. (2022). Educação Ambiental na educação formal brasileira: uma análise da produção científica. *Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)*, 17(4), 1-16. <https://doi.org/10.34024/revbea.2022.v17.13590>
- Anderson, K. A., Crespi, M., & Sayre, E. C. (2017). Linking behavior in the physics education research coauthorship network. *Physical Review Physics Education Research*, 13(1), 010121. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.010121>

¹¹Os dados da presente pesquisa também estão disponíveis para compartilhamento mediante contato com o primeiro autor.

- Ansell, C., Lundin, M., & Öberg, P. O. (2017). Learning networks among Swedish municipalities: Is Sweden a small world? In J. Glückler, E. Lazega, & I. Hammer (Eds.). *Knowledge and Networks* (pp. 315-336). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-45023-0_15
- Araújo, C. A. (2006). Bibliometria: evolução histórica e questões atuais. *Em Questão*, 12(1), 11-32.
- Barabási, A. L., Jeong, H., Néda, Z., Ravasz, E., Schubert, A., & Vicsek, T. (2002). Evolution of the social network of scientific collaborations. *Physica A: Statistical mechanics and its applications*, 311(3-4), 590-614. [https://doi.org/10.1016/S0378-4371\(02\)00736-7](https://doi.org/10.1016/S0378-4371(02)00736-7)
- Barbastefano, R. G., Souza, C., Costa, J. de S., & Teixeira, P. M. (2013). Impactos dos nomes nas propriedades de redes sociais: Um estudo em rede de coautoria sobre sustentabilidade. *Perspectivas em Ciências da Informação*, 18(3), 78-95. Recuperado de <http://portaldeperiodicos.eci.ufmg.br/index.php/pci/article/download/1773/1194>
- Barros, L. G. (2020). *Uma análise cienciométrica da produção acadêmica sobre ensino de Ciências em espaços não formais em periódicos e eventos da área (2008–2019)*. (Tese de doutorado). Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Bauru, SP. Recuperado de <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/194481>
- Barros, L. G., & Langhi, R. (2023). Um estudo cienciométrico da pesquisa em ensino de ciências em espaços não formais em periódicos nacionais da área de ensino (2008-2019). *Investigações em Ensino de Ciências*, 28(2), 36-64. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2023v28n2p36>
- Bastian, M., Heymann, S., & Jacomy, M. (2009). Gephi: an open source software for exploring and manipulating networks. *Icwsn*, 8, 361-362.
- Bitzenbauer, P. (2021). Quantum physics education research over the last two decades: a bibliometric analysis. *Education Sciences*, 11(11), 699-719. <https://doi.org/10.3390/educsci11110699>
- Blondel, V. D., Guillaume, J. L., Lambiotte, R., & Lefebvre, E. (2008). Fast unfolding of communities in large networks. *Journal of statistical mechanics: theory and experiment*, 2008(10), P10008. <https://doi.org/10.1088/1742-5468/2008/10/P10008>
- Borgatti, S. P., Lopez-Kidwell, V. (2011). Network theory. In J. Scott, & P. J. Carrington (Eds.). *The SAGE Handbook of Social Network Analysis*. SAGE Publications.
- Bottero, W., & Crossley, N. (2011). Worlds, fields and networks: Becker, Bourdieu and the structures of social relations. *Cultural Sociology*, 5(1), 99-119. <https://doi.org/10.1177/1749975510389726>
- Bridges, D. (2006). The disciplines and discipline of educational research. *Journal of Philosophy of Education*, 40(2), 259-272. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9752.2006.00503.x>
- Burt, R. S. (2004). Structural holes and good ideas. *American Journal of Sociology*, 110(2), 349-399. <https://doi.org/10.1086/421787>
- Cainelli, G., Maggioni, M. A., Uberti, T. E., & Felice, A. (2015). The strength of strong ties: How co-authorship affect productivity of academic economists?. *Scientometrics*, 102, 673–699. <https://doi.org/10.1007/s11192-014-1421-5>
- Campbell S. E., & Simberloff, D. (2022). Forty years of invasion research: more papers, more collaboration... bigger impact? *NeoBiota*, 75, 57–77. <https://doi.org/10.3897/neobiota.75.86949>
- Carvalho, T. A., Dias, K. M. P., Russo, A. L. R. G., Braga, E. D. S. O., dos Santos, A. R., dos Santos, T. C., & Crispino, Á. (2021). A contextualização no ensino CTS: uma análise das redes sociais. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia*, 14(1), 238-260. <https://revistas.utfpr.edu.br/rbect/article/view/12594>

- Chen, C. (2013). *Mapping Scientific Frontiers: the quest for knowledge visualization* (2a ed.). London, England: Springer.
- Coelho, Y. C. M., Oliveira, E. M., & Almeida, A. C. P. C. (2021). Discussões e tendências das teses e dissertações sobre formação de professores de ciências em espaços não formais: uma revisão bibliográfica sistemática. *Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)*, 23(e19989), 1-18. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21172021230103>
- Cordeiro, M. D., & Soares, R. G. (2020). Um significado epistemológico para as pesquisas interpretativas de campo e seu papel nas investigações em ensino de física. In *Anais do XVIII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*. Florianópolis, Santa Catarina, SC.
- De Prá, G., & Tomio, D. (2014). Clube de Ciências: condições de produção da pesquisa em educação científica no Brasil. *Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, 7(1), 179-207. Recuperado de <https://periodicos.ufsc.br/index.php/alexandria/article/view/38208>
- Delizoicov, D. (2004). Pesquisa em ensino de ciências como ciências humanas aplicadas. *Caderno Brasileiro de ensino de Física*, 21(2), 145-175. Recuperado de <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6430>
- Ebadi, A., & Schifauerova, A. (2015). On the relation between the small world structure and scientific activities. *PLoS One*, 10(3), e0121129–e0121129. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0121129>
- Engeström, Y. (2001). Expansive learning at work: Toward an activity theoretical reconceptualization. *Journal of education and work*, 14(1), 133-156. <https://doi.org/10.1080/13639080020028747>
- Ferreira, N. S. D. A. (2002). As pesquisas denominadas "estado da arte". *Educação & Sociedade*, 23(79), 257-272. <https://doi.org/10.1590/S0101-73302002000300013>
- Fontes, D. T. M., & Rodrigues, A. M. (2022). Tendencias de investigación en la enseñanza de la física en revistas académicas iberoamericanas. *Revista de Enseñanza de la Física*, 34(2), 33–45. <https://doi.org/10.55767/2451.6007.v34.n2.39481>
- Fontes, D. T. M., Bueno, R., Ghuron, E., & Rodrigues, A. M. (2023). Redes de coautoría en la investigación en educación en electromagnetismo. *Revista de Enseñanza de la Física*, 35, 123–130. Recuperado de <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/43286>
- Fontes, D. T. M., & Rodrigues, A. M. (2023). Science education collaboration network: the case of the Cultural-Historical Activity Theory. *Science & Education*, 32, 1-21. <https://doi.org/10.1007/s11191-023-00479-8>
- Fontes, D. T. M., Viggiano, E., Rodrigues, A. M., & Mattos, C. (no prelo). Studying relationships of technology in curriculum research: a network approach to connections and collaborations. *Revista e-Curriculum*.
- Fortunato, S. (2010). Community detection in graphs. *Physics reports*, 486(3-5), 75-174. <https://doi.org/10.1016/j.physrep.2009.11.002>
- Fernandes, R. C. A., & Megid Neto, J. (2007). Pesquisas sobre o estado da arte em educação em ciências: uma revisão em periódicos científicos brasileiros. In *Anais do VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*. Florianópolis, Santa Catarina, SC.
- Freeman, L. C. (2004). *The development of social network analysis: a study in the sociology of science*. Canada: Empirical Press.
- Freitas, L. Q. (2010). *Medidas de Centralidade em Grafos*. Dissertação. (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ. Recuperado de http://obidig.ufri.br/60/teses/coppe_m/LeandroQuintanilhaDeFreitas.pdf

- Freitas, T. S., Vittorazzi, D. L., Gouveia, D. D. S. M., Fejolo, T. B., & da Silva, A. M. T. B. (2019). Pesquisas em representações sociais: uma análise em rede da produção bibliográfica em periódicos nacionais avaliados na área de ensino. *Investigações em Ensino de Ciências*, 24(2), 1-16. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2019v24n2p01>
- Garg, K. C., & Padhi, P. (2001). A study of collaboration in laser science and technology. *Scientometrics*, 51(2), 415-427. <https://doi.org/10.1023/A:1012709919544>
- Gil, A. C. (2012). *Métodos e técnicas de Pesquisa Social* (6a ed). São Paulo, SP: Atlas.
- Glückler, J., Lazega, E., & Hammer, I. (2017). Exploring the interaction of space and networks in the creation of knowledge: An introduction. In J. Glückler, E. Lazega, & I. Hammer (Eds.), *Knowledge and Networks* (pp. 1–21). Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-45023-0_1
- Goldstein, D. G. (2009). Social Cogs and wheels: Heuristics. In P. Hedström, P. Bearman (Eds.). *The Oxford handbook of analytical sociology*. United States of America: Oxford University Press.
- Gomes, R. R., & Barbosa, M. W. (2018). An analysis of the structure and evolution of the distance education research area community in terms of coauthorships. *International Journal of Distance Education Technologies*, 16(2), 65-79. <https://doi.org/10.4018/IJDET.2018040105>
- Granovetter, M. (1983). The strength of weak ties: a network theory revisited, *Sociological Theory*, 1, 201–233. <https://doi.org/10.2307/202051>
- Guimerà, R., Uzzi, B., Spiro, J., & Amaral, L. A. N. (2005). Team Assembly Mechanisms Determine Collaboration Network Structure and Team Performance. *Science*, 308, 697-702. <https://doi.org/10.1126/science.1106340>
- Harzing, A-W. (2015). Health warning: might contain multiple personalities: the problem of homonyms in Thomson Reuters Essential Science Indicators. *Scientometrics*, 105, 2259-2270. <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1699-y>
- Hayashi, C. R. M. (2004). *Presença da Educação brasileira na base de dados Francis: uma abordagem bibliométrica*. (Dissertação de mestrado). Programa de pós-graduação em Educação. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP. Recuperado de <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/2487>
- Heffer, S., Thijs, B., & Glänzel, W. (2013). Are registered authors more productive?. *Proceedings of ISSI*, 2, 1864-1867.
- Henriksen, D. (2016). The rise in co-authorship in the social sciences (1980–2013). *Scientometrics*, 107, 455–476. <https://doi.org/10.1007/s11192-016-1849-x>
- Humphries, M. D., & Gurney, K. (2008). Network ‘small-world-ness’: A quantitative method for determining canonical network equivalence. *PLoS One*, 3(4), e0002051. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0002051>
- Jesus, A. M. P., & Razera, J. C. C. (2020). Paulo Freire em artigos sobre formação de professores na área brasileira de educação em ciências [1996-2018]: uma análise de citações. *Investigações em Ensino de Ciências*, 25(3), 361-378. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2020v25n3p361>
- Jesus, A. M. P., Razera, J. C. C., & Teixeira, P. M. M. (2022). Artigos publicados na área brasileira de educação em ciências sobre aprendizagem significativa: um estudo métrico (1996-2018). *Investigações em Ensino de Ciências*, 27(3), 219-238. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2022v27n3p219>
- Jesus, A. M. P. (2023). A inserção do ensino de química na área brasileira de educação em ciências: considerações baseadas em um perfil métrico (1996-2018). *Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, 16(1), 31-62. <https://doi.org/10.5007/1982-5153.2023.e85988>
- Katz, J. S., & Martin, B. R. (1997). What is research collaboration?. *Research policy*, 26(1), 1-18. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(96\)00917-1](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(96)00917-1)

- Kundlatsch, A., Agostini, G., & Rodrigues, G. L. (2019). Um estudo com bases cienciométricas sobre experimentação na revista Química Nova na Escola. *Scientia Naturalis*, 1(3), 265-278. <https://periodicos.ufac.br/index.php/SciNat/article/view/2566>
- Latour, B. (2012). *Reagregando o social: uma introdução à teoria do Ator-Rede*. Salvador: BA: Edufba; Bauru, SP:Edusc.
- Laudel, G. (2001). Collaboration, creativity and rewards: why and how scientists collaborate. *International Journal Technology Management*, 22(7-8), 762-781. <https://doi.org/10.1504/IJTM.2001.002990>
- Levitt, J. M. (2015). What is the optimal number of researchers for social science research? *Scientometrics*, 102, 213-225. <https://doi.org/10.1007/s11192-014-1441-1>
- Lima, L. F., dos Santos, A. G. F., d'Escoffier, L. N., dos Santos, T. C., & Chrispino, A. (2018). A interdisciplinaridade em CTS: um estudo da produção científica voltada para o ensino de ciências com análise bibliométrica e de redes. *Revista Eletrônica Debates em Educação Científica e Tecnológica*, 8(01), 20-54. <https://doi.org/10.36524/dect.v8i01.1050>
- Luukkonen, T., Persson, O., & Siversten, G. (1992). Understanding patterns of international scientific collaboration. *Science, Technology & Human Values*, 17(1), 101-126. <https://doi.org/10.1177/016224399201700106>
- Maia, M. F. S., & Caregnato, S. E. (2008). Co-autoria como indicador de redes de colaboração científica. *Perspectivas em Ciência da Informação*, 13(2), 18-31. <https://doi.org/10.1590/S1413-99362008000200003>
- Maltseva, D., & Batagelj, V. (2022). Collaboration between authors in the field of social network analysis. *Scientometrics*, 127(6), 3437-3470. <https://doi.org/10.1007/s11192-022-04364-z>
- Martins, L. M., & Lavoura, T. N. (2018). Materialismo histórico-dialético: contributos para a investigação em educação. *Educar em Revista*, 34, 223-239. <https://doi.org/10.1590/0104-4060.59428>
- Mega, D. F., Souza, D. G., Vera-rey, E. A., & Veit, E. A. (2020). Comunidades de prática no ensino de ciências: uma revisão da literatura de 1991 a 2018. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 42(e20190264). <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2019-0264>
- Megid Neto, J. (1999). *Tendências da pesquisa acadêmica sobre o ensino de Ciências no nível fundamental*. (Tese de doutorado). Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12733/1587834>
- Megid Neto, J. (2000). Sobre as pesquisas em ensino de física nos podemos saber; mas... como socializar conhecimentos elaborados nessas pesquisas. In *Anais do VII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*. Florianópolis, Santa Catarina, SC.
- Melo, T. B., Aquino, D. F., Dionysio, L. G. M., Lima, N. L. A., Vidal, C. S., & Chrispino, A. (2021). Um olhar sobre controvérsias nas publicações nacionais de ensino CTS pela análise de redes sociais. *Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, 14(2), 357-381. <http://dx.doi.org/10.5007/1982-5153.2021.e76883>
- Mena-Chalco, J. P., Digiampietri, L. A., Lopes, F. M., & Cesar, R. M. (2014). Brazilian bibliometric coauthorship networks. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 65(7), 1424-1445. <https://doi.org/10.1002/asi.23010>
- Mendonça, P. C. C., & Franco, L. G. (2021). A ciência aberta e a área de educação em ciências: perspectivas e diálogos. *Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências* (Belo Horizonte), 23(e29175). <https://doi.org/10.1590/1983-21172021230102>
- Milgram, S. (1967). The small world problem. *Psychology Today*, 2(1), 60-67.

- Moody, J. (2004). The structure of a social science collaboration network: Disciplinary cohesion from 1963 to 1999. *American sociological review*, 69(2), 213-238. <https://doi.org/10.1177/000312240406900204>
- Moreira, M. A. (2002). A área de ensino de ciências e matemática na Capes: panorama 2001/2002 e critérios de qualidade. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 2(1), 36-59. Recuperado de <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4149>
- Mugnaini, R., Jannuzzi, P. M., & Quoniam, L. (2004). Indicadores bibliométricos da produção científica brasileira: uma análise a partir da base Pascal. *Ciência da Informação*, 33(2), 123-131. <https://doi.org/10.1590/S0100-19652004000200013>
- Nardi, R. (2005). *A área de ensino de ciências no Brasil: fatores que determinaram sua constituição e suas características, segundo pesquisadores brasileiros*. (Tese de livre docência). Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista, Bauru, SP. Recuperado de https://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/setembro2013/quimica_artigos/area_ensin_brasil_tese_livre_docenc_nardi.pdf
- Nardi, R., & Almeida, M. J. P. M. (2004). Formação da área de ensino de ciências: memórias de pesquisadores no Brasil. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 4(11), 90-100. Recuperado de <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4098>
- Nascimento, M. M. (2023). Pesquisa em Ensino de Física ou Ensino de Ciências: lutas concorrenciais por uma autonomia científica. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 40(1), 1-7. Recuperado de <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/93701/52919>
- Nascimento, M. M., Agostini, G., & Massi, L. (2022). Testando as fronteiras do Ensino: análise da taxa de aderência à área dos seus bolsistas de produtividade. *Ciência & Educação (Bauru)*, 28, e22011. <https://doi.org/10.1590/1516-731320220011>
- Newman, M. E. (2001). The structure of scientific collaboration networks. *Proceedings of the national academy of sciences*, 98(2), 404-409. <https://doi.org/10.1073/pnas.98.2.404>
- Newman, M. E. (2004). Co-authorship networks and patterns of scientific collaboration. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(1), 5200–5205. <https://doi.org/10.1073/pnas.0307545100>
- Ossenblok, T. L., Verleysen, F. T., & Engels, T. C. (2014). Coauthorship of journal articles and book chapters in the social sciences and humanities (2000–2010). *Journal of the association for information science and technology*, 65(5), 882-897. <https://doi.org/10.1002/asi.23015>
- Ovigli, D. F. B. (2015). Panorama das pesquisas brasileiras sobre educação em museus de ciências. *Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos*, 96(244), 577-595. <https://doi.org/10.1590/S2176-6681/33891329>
- Pin, J. R., Rocha, M., Rodrigues, L., & Góes, Y. (2018). As trilhas ecológicas como espaços para o ensino de ciências: levantamento de dissertações e teses brasileiras. *Revista de Educação, Ciências e Matemática*, 8(2), 125-139. Recuperado de <https://publicacoes.unigranrio.edu.br/index.php/recm/article/view/4415>
- Porto, I. C. S., & Silva, A. L. F. (2023). Educação não formal: uma revisão de literatura em periódicos científicos no portal da CAPES no período de 2012 a 2021. *Revista Educar Mais*, 7, 144-162. <https://doi.org/10.15536/reducarmais.7.2023.3085>
- Ramos, C., & Silva, J. A. (2014). A emergência da área de Ensino de Ciências e Matemática da CAPES enquanto comunidade científica: um estudo documental. *Investigações em Ensino de Ciências*, 19(2), 363-380. Recuperado de <https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/84>
- Razera, J. C. C. (2016). A formação de professores em artigos da revista *Ciência & Educação* (1998-2014): uma revisão cienciométrica. *Ciência & Educação (Bauru)*, 22(3), 561-583. <https://doi.org/10.1590/1516-731320160030002>

- Ribeiro, T. V., Santos, A. T., & Genovese, L. G. R. (2017). A História Dominante do Movimento CTS e o seu Papel no Subcampo Brasileiro de Pesquisa em Ensino de Ciências CTS. *Revista Brasileira De Pesquisa em Educação em Ciências*, 17(1), 13–43. <https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec201717113>
- Rodrigues, A. M. (2013). *Movimento e contradição: a disciplina de práticas em ensino de física e a formação inicial de professores de física sob uma perspectiva histórico-cultural*. (Tese de doutorado). Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP. Recuperado de https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/81/81131/tde-25072014-171649/publico/Andre_Machado_Rodrigues.pdf
- Rosas, S. R., Kagan, J. M., Schouten, J. T., Slack, P. A., & Trochim, W. M. K. (2011). Evaluating research and impact: a bibliometric analysis of research by the NIH/NIAID HIV/AIDS clinical trials networks. *PLoS ONE*, 6(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0017428>
- Salem, S. (2012). *Perfil, evolução e perspectivas da pesquisa em ensino de física no Brasil*. (Tese de doutorado). Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.
- Santos, F. M. T., & Greca, I. M. (2013). Metodologias de pesquisa no ensino de ciências na América Latina: como pesquisamos na década de 2000. *Ciência & Educação (Bauru)*, 19(1), 15-33. <https://doi.org/10.1590/S1516-73132013000100003>
- Savanur, K., & Srikanth, R. (2010). Modified collaborative coefficient: a new measure for quantifying the degree of research collaboration. *Scientometrics*, 84(2), 365-371. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0100-4>
- Scott, J. (2012). *What is social network analysis?* New York, United States of America: Bloomsbury Academic.
- Souza, C. G. D., Barbastefano, R. G., & Lima, L. S. D. (2012). Redes de colaboração científica na área de química no Brasil: um estudo baseado nas coautorias dos artigos da revista Química Nova. *Química Nova*, 35(4), 671-676. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422012000400003>
- Spinak, E. (1996). *Dicionário enciclopédico de bibliometria, cienciometria e informetria*. Caracas: UNESCO.
- Spinak, E. (1998). Indicadores Cienciométricos. *Ciência da Informação*, 27(2), 141–148.
- Star, S. L. (2010). This is not a boundary object: Reflections on the origin of a concept. *Science, Technology, & Human values*, 35(5), 601-617. <https://doi.org/10.1177/0162243910377624>
- Star, S. L. (1989). The structure of ill-structured solutions: Boundary objects and heterogeneous distributed problem solving. In L. Gasser, & M. N. Huhns (Eds.), *Distributed artificial intelligence* (pp. 37-54). Morgan Kaufmann.
- Star, S. L., & Griesemer, J. R. (1989). Institutional ecology, translations' and boundary objects: Amateurs and professionals in Berkeley's Museum of Vertebrate Zoology, 1907-39. *Social Studies of Science*, 19(3), 387-420. <https://doi.org/10.1177/030631289019003001>
- Stefano, D., Fuccella, V., Vitale, M. P., & Zaccarin, S. (2013). The use of different data sources in the analysis of co-authorship networks and scientific performance. *Social Networks*, 35(3), 370-381. <https://doi.org/10.1016/j.socnet.2013.04.004>
- Teixeira, P. M. M. (2023). Estados da arte: aparando arestas na compreensão dessa modalidade de pesquisa. *Ciência & Educação (Bauru)*, 29(e23034). <https://doi.org/10.1590/1516-731320230034>
- Thelwall, M., & Maflahi, N. (2022). Research coauthorship 1900–2020: continuous, universal, and ongoing expansion. *Quantitative Science Studies*, 3(2), 331–344. https://doi.org/10.1162/qss_a_00188

- Tight, M. (2004). Research into higher education: an a-theoretical community of practice? *Higher Education Research & Development*, 23(4), 395-411. <https://doi.org/10.1080/0729436042000276431>
- Tomassini, M., & Luthi, L. (2007). Empirical analysis of the evolution of a scientific collaboration network. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 385(2), 750-764. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2007.07.028>
- Uzzi, B., & Spiro, J. (2005). Collaboration and creativity: The small world problem. *American Journal of Sociology*, 111(2), 447-504. <https://doi.org/10.1086/432782>
- Vanz, S. A. S., & Stumpf, I. R. C. (2010). Colaboração científica: revisão teórico-conceitual. *Perspectivas em Ciência da Informação*, 15(2), 42-55. <https://doi.org/10.1590/S1413-99362010000200004>
- Velden, T., Haque, A., & Lagoze, C. (2010). A new approach to analyzing patterns of collaboration in co-authorship networks: mesoscopic analysis and interpretation. *Scientometrics*, 85(1), 219-242. <https://doi.org/10.1007/s11192-010-0224-6>
- Vera, E. R., & Schupp, T. (2006). Network analysis in comparative social sciences. *Comparative Education*, 42(3), 405-429. <https://doi.org/10.1080/03050060600876723>
- Vlegels, J., & Huisman, J. (2021). The emergence of the higher education research field (1976-2018): Preferential attachment, smallworldness and fragmentation in its collaboration networks. *Higher Education*, 81(5), 1079-1095. <https://doi.org/10.1007/s10734-020-00600-8>
- Wasserman, S., & Faust, K. (1994). *Social network analysis: Methods and applications*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.
- Watts, D. J. (1999). Networks, dynamics, and the small-world phenomenon. *American Journal of Sociology*, 105(2), 493-527. <https://doi.org/10.1086/210318>
- Wenger, E. (1998). *Communities of practice, learning, meaning and identity*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.
- Wenger, E. (2000). Communities of practice and social learning systems. *Organization*, 7(2), 225-246. <https://doi.org/10.1177/135050840072002>
- White, D. R., & Harary, F. (2001). The cohesiveness of blocks in social networks: Node connectivity and conditional density. *Sociological Methodology*, 31(1), 305-359. <https://doi.org/10.1111/0081-1750.00098>
- Yang, L., Oldac, Y. I., & Nkansah, J. O. (2023). What makes scientists collaborate? International collaboration between scientists in traditionally non-central science systems. *Higher Education Research & Development*, 43(1), 243-259. <https://doi.org/10.1080/07294360.2023.2218803>
- Zervas, P., Tsitmidelli, A., Sampson, D. G., & Chen, N. S. (2014). Studying research collaboration via coauthorship analysis in the field of TeL: The case of Educational Technology & Society Journal. In *Anais do IEEE 14th International Conference on Advanced Learning Technologies*. <https://doi.org/10.1109/ICALT.2014.112>
- Zuckerman, H. (2018). The sociology of science and the Garfield effect: Happy accidents, unanticipated developments and unexploited potentials. *Frontiers in Research Metrics and Analytics*, 3(20), 1-19. <https://doi.org/10.3389/frma.2018.00020>

Recebido em: 06.12.2023

Aceito em: 23.04.2024