



# **ANÁLISE DE ESTRUTURA DE REDES DE INOVAÇÃO: O CASO DO PROGRAMA DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA (INOVAFIT)**

**STRUCTURE ANALYSIS OF INNOVATION NETWORKS: THE CASE  
OF THE TECHNOLOGICAL INNOVATION PROGRAM (INOVAFIT)**

# ANÁLISE DE ESTRUTURA DE REDES DE INOVAÇÃO: O CASO DO PROGRAMA DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA (INOVAFIT)

## STRUCTURE ANALYSIS OF INNOVATION NETWORKS: THE CASE OF THE TECHNOLOGICAL INNOVATION PROGRAM (INOVAFIT)

Francisco Wellington Ribeiro<sup>1</sup> | Jose Carlos Lazaro da Silva Filho<sup>2</sup>  
Diego de Queiroz Machado<sup>3</sup>

Recebimento: 10/07/2020  
Aceite: 12/07/2023

<sup>1</sup> Doutorando em Administração e Controladoria (UFC).  
Fortaleza – CE, Brasil.  
E-mail: fwribeiro@hotmail.com

<sup>3</sup> Doutorado em Administração de Empresas (UNIFOR).  
Docente na Universidade Federal do Ceará.  
Fortaleza – CE, Brasil.  
E-mail: diegomachado@ufc.br

<sup>2</sup> Doutor em Planejamento Ambiental (TU- BERLIN /IMUP).  
Docente na Universidade Federal do Ceará.  
Fortaleza – CE, Brasil.  
E-mail: lazaro@ufc.br

## RESUMO

Dentro de um contexto de fomento à inovação em Pequenas e Médias Empresas (PMEs), esta pesquisa teve como objetivo revelar características estruturais, assim como suas implicações, de uma rede de inovação baseada em projetos de inovação de empresas fomentados por programa de agência governamental. Para tanto, procedeu-se à análise de redes usando como base interações Empresa-Universidade-Instituto de Pesquisa (EUI) sob a perspectiva da Hélice Tríplice. Os resultados apontam para uma configuração de estrutura livre de escala, com alguns *hubs* concentrando fortemente as conexões. Além disso, mostrar elevado agrupamento e reduzida distância conectiva entre os atores, o que indica alto aproveitamento das relações de vizinhança e a necessidade de um pequeno esforço para se alcançar outros atores na rede, respectivamente. Outro relevante resultado sugere que existe um apego preferencial das empresas a alguns poucos *hubs*, representados por universidades que exibem forte poder de centralidade na rede. Essa estrutura pode levar a uma maior redundância de conhecimento, bem como a uma maior velocidade de difusão e uma maior distribuição do conhecimento na rede, mesmo que redundante. Algumas das contribuições centrais do trabalho está no desmembramento de universidades e institutos de pesquisa para análise do papel de cada ator institucional, além da realização de estudo empírico de rede local de projetos empreendidos por PMEs, bem como na oferta de *insights* que podem ajudar as ações da agência de fomento.

**Palavras-chave:** Redes de Inovação. Hélice Tríplice. Análise de Redes Sociais. Projetos de Inovação. Programa de Subvenção.

## ABSTRACT

In a context of fostering innovation in Small and Medium Enterprises (SMEs), this research aimed to reveal structural characteristics, as well as their implications, of an innovation network based on innovation projects of companies promoted by a government agency program. To this end, we developed a network analysis using as a basis the interactions among Company-University-Research Centers (EUI) from the perspective of the Triple Helix. The results present a scale-free structure configuration, with some hubs strongly concentrating connections. In addition, show high clustering and reduced connective distance among the actors, which indicates a high use of neighborhood relations and the need for a small effort to reach other actors in the network, respectively. Another relevant result suggests that there is a companies' preferential attachment to connecting with few hubs, represented by universities exhibiting strong centrality power in the network. This resulting structure used to lead to a greater redundancy of knowledge, as well as a greater speed of diffusion and a greater distribution of knowledge on the network, even though redundant. Some of the main contributions of the work are the break up of universities and research institutes to analyze the role of each institutional actor, in addition to conducting an empirical study of the local network of projects undertaken by SMEs, as well as offering insights that can help actions the funding agency.

**Keywords:** Innovation Network. Triple Helix. Social Network Analysis. Subvention Programs. Innovation Programs

## INTRODUÇÃO

A inovação consiste, frequentemente, em um processo dinâmico e interativo entre diversos atores, muitas vezes figurando na forma de rede de inovação, que agiliza e amplifica o seu desenvolvimento (Debresson; Amesse, 1991; Etzkowitz, 2002; Faccin; Balestrin; Bortolaso, 2016). A complexidade inerente a esse processo exerce influência sobre as mudanças na economia, moldando seus mecanismos e estruturas e proporcionando o desenvolvimento econômico (Nelson; Nelson, 2002). Nessa perspectiva, a abordagem das dinâmicas relacionais entre as empresas e os diversos atores do ambiente de inovação ganha força frente à abordagem da inovação como um processo restrito à organização internamente, como ação essencialmente isolada. Mesmo porque, como já é amplamente aceito, isoladamente as empresas encontram maiores dificuldades para alcançar resultados satisfatórios de desempenho inovativo do que quando envolvidas em um ambiente cooperativo de inovação (Barrie; Zawdie; João, 2019; Brem; Radziwon, 2017; Debresson; Amesse, 1991; Faccin; Balestrin; Bortolaso, 2016).



Se empreender isoladamente processos de inovação parece não ser uma opção promissora, então o contexto e as relações importam. Diferentes regiões têm diferentes níveis de desenvolvimento regional, onde regiões menos desenvolvidas dispõem de uma estrutura e dinâmica produtiva mais dependente de setores menos inovadores (Cardozo; Martins, 2020; Pinheiro *et al.*, 2022). Particularmente em países e regiões menos desenvolvidas, a inovação depende bastante de incentivos políticos para promover o ambiente inovador (Ndabeni, Rogerson & Booyens, 2016).

Dessa forma, a constituição de redes de inovação que articulam Empresas-Universidades-Institutos de Pesquisa (EUI) se apresenta com importante contributo para o desenvolvimento de processos inovativos. Ademais, como atores estimulantes desse processo, as agências governamentais de fomento à Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I) se destacam por exercerem um papel fundamental quanto à política de incentivos à inovação via redes de interações entre diversos autores (Brem; Radziwon, 2017). Assim sendo, dada a comprovada influência positiva das redes de cooperação em inovação (Angelini *et al.*, 2017; Debresson; Amesse, 1991; Faccin; Balestrin; Bortolaso, 2016; Franco; Câmara; Parente, 2017) e a importância das ações de estímulo advindas de políticas governamentais de fomento (Brem; Radziwon, 2017; Edler; Fagerberg, 2017; Mazzucato; Semieniuk, 2017), principalmente em economias emergentes, aponta-se como relevante lacuna o estudo das interações entre os atores em uma rede de inovação no âmbito da submissão de projetos em um programa de fomento de agência governamental.

A partir dessa discussão, a seguinte questão de pesquisa é definida: Quais as características estruturais de uma rede de inovação constituída a partir de projetos de inovação de empresas subsidiados por agência governamental? Para tanto, pretende-se conhecer como se estrutura uma rede de projetos de Pequenas e Média Empresas (PMEs) em nível local e o papel desempenhado por cada categoria de ator institucional. É utilizado um caso de programa governamental de fomento à inovação no estado do Ceará, no Nordeste brasileiro, uma região com pouco desenvolvimento. Particularmente no Ceará, algumas políticas mais recentes têm adotado uma perspectiva de criar um melhor ambiente para a inovação, sendo implementado desde 2015, por meio de sua agência de fomento ao desenvolvimento científico e tecnológico, um programa sistemático de financiamento de projetos de inovação de Pequenas e Médias Empresas (PMEs) locais em colaboração com Instituições



Científicas e Tecnológicas (ICTs). Assim, o estudo da rede incentivada pode produzir *insights* sobre as interações entre PMEs e ICTs, com potencial para melhor o ambiente de inovação, com efeitos sobre o nível de desenvolvimento regional.

Essa abordagem é importante porque são os projetos de inovação desenvolvidos por empresas, no âmbito de interações EUI, que podem concretizar a inovação em uma economia (Zhao; Li, 2022). Além do mais, muitos estudos focam em nível nacional/regional, em detrimento de projetos em nível local, conforme Brem e Radziwon (2017) e muitas vezes as universidades são colocadas como atores centrais nesse processo (Etzkowitz, 2002; Etzkowitz; Leydesdorff, 2000), enquanto os institutos de pesquisa também podem desempenhar papel mais relevante no sistema, conforme Chen *et al.* (2020) e Zhang, Chen e Fu (2019). Por fim, são combinadas a abordagem baseada na Hélice Tríplice com a Análise de Redes Sociais, visto que são poucos os estudos com essa perspectiva no campo da inovação, como apontam Barrie, Zawdie e João (2019) e Chen e Lin (2017), especialmente em regiões em desenvolvimento, ou mesmo, pouco desenvolvidas.

Com isso, pretende-se contribuir com o preenchimento dessas lacunas existentes nesse campo de pesquisa, analisando a atuação desses atores institucionais, em termos de centralidade, e as características estruturais da rede constituída em nível local.

## REDES DE INOVAÇÃO E DESENVOLVIMENTO REGIONAL

A abordagem Hélice Tríplice é utilizada para compreender as redes de inovação. Esta abordagem consiste em um modelo teórico que descreve os fundamentos das redes de inovação a partir da relação Universidade-Indústria-Governo (UIG), com atribuição de destaque para a universidade que é dotada de potencial função-chave em economias baseadas no conhecimento (Etzkowitz, 2002; Etzkowitz; Leydesdorff, 2000). A teoria da Hélice Tríplice pode ser considerada uma abordagem genérica e flexível para investigar relações não lineares ou sinergias de promoção da inovação (Galvao *et al.*, 2019; Zhang; Chen; Fu, 2019). O foco inicial dessa teoria é a relação UIG, no entanto, suas derivações (Galvao *et al.*, 2019) e sua utilização para fundamentar pesquisas envolvendo interações EUI, nos campos da inovação (Barrie; Zawdie; João, 2019; Chen; Lin, 2017) e da colaboração científica (Chen *et al.*, 2020; Zhang; Chen; Fu, 2019), combinada com a análise de



redes, possibilita a compreensão das interações EUI em projetos de inovação.

Frente uma literatura sobre a necessidade de política de fomento às empresas para se incentivar processos de inovação (Angelini *et al.*, 2017; Edler; Fagerberg, 2017; Mazzucato; Semieniuk, 2017; Faccin; Balestrin; Bortolaso, 2016;), cresce a importância da rede de inovação. Angelini *et al.* (2017) consideram a presença das redes um dos elementos chave do desempenho positivo da política de subvenção, principalmente pelos efeitos de transbordamento devido à estrutura de rede.

A estrutura de rede, portanto, fornece elementos que contribuem para melhor interpretação das relações estabelecidas entre atores, oferecendo informações úteis para pesquisa, política, bem como, para os próprios atores. Ademais, como evidenciado por diferentes autores (Awasthy *et al.*, 2020; Pereira *et al.*, 2018; Franco; Câmara; Parente, 2017), consiste em uma boa estratégia para projetos de inovação o estabelecimento de parcerias entre EUI. Com efeito, elabora-se o seguinte pressuposto: a política de fomento de agência governamental a projetos de inovação ajuda a estruturar redes de inovação com interações EUI. Esse pressuposto tem fundamento teórico em autores como Brem e Radziwon (2017), Edler e Fagerberg (2017), Mahmoudzadeh e Alborzi (2017) e Mazzucato e Semieniuk (2017), cujas pesquisas evidenciam a importância do fomento público à inovação como mecanismo de incentivo à constituição de redes de cooperação em processos de inovação envolvendo empresas e Instituições Científicas e Tecnológicas (ICTs).

Além da política ser capaz de incentivar redes de inovação, em especial as redes colaborativas EUI, ela também é uma promotora, via essas próprias redes, de processos de desenvolvimento regional. A política governamental deve apoiar, de forma combinada, a inovação e a construção e incentivo de redes, visto que essa combinação ajuda a promover o desenvolvimento regional (Min; Kim; Sawng, 2020; Zhao; Li, 2022). Além disso, em regiões menos desenvolvidas, a presença da política de incentivo à inovação deve ser uma prática contínua (Ndabeni; Rogerson; Booyens, 2016), de modo a incentivar de forma sistemática projetos colaborativos de empresas locais com a academia, em uma perspectiva de redes.

Nesta perspectiva, apesar do apoio da política ainda estar sendo incrementado nos países menos desenvolvidos, e nas regiões mais pobres dentro desses países, a exemplo do Brasil (Albuquerque *et al.*, 2015, Caliari; Rapini; Chiarini, 2020), o financiamento público é mais importante



nesses países, ao contrário do que ocorre nos países desenvolvidos, onde o financiamento privado é muito mais relevante (Edquist, 2011, Ndabeni; Rogerson; Booyens, 2016). Sendo imprescindível, além do apoio político com financiamento, o incentivo às interações entre os atores envolvidos.

O modelo de Hélice Tríplice dar suporte à construção de relacionamentos no sistema, que são o foco estratégico para promover o desenvolvimento (Leydesdorff, 2012, Li *et al.*, 2018). Algumas das principais atividades do sistema de inovação é estimular as interações das empresas inovadoras com outros atores do sistema, como ICTs, integrando conhecimentos, além de instituir uma política de apoio, a qual inclui o financiamento aos processos de inovação (Edquist, 2011). Na abordagem do desenvolvimento regional, as interações na perspectiva desse modelo parecem gerar mais benefícios para as PMEs em suas interações localmente (Li *et al.*, 2018).

As interações EUI em projetos de inovação fomentados pela política regional possibilitam muitos benefícios, os quais podem impactar positivamente o processo de desenvolvimento regional, em especial de regiões menos desenvolvidas e com escassez de recursos. Algumas das vantagens gerais são a melhoria das capacidades das equipes e a ampliação do acesso aos recursos – humanos, financeiros e infraestrutura (Faccin; Balestrin; Bortolaso, 2016; Parolin *et al.*, 2020), inclusive com disponibilidade de capital de risco (Rojas; Huergo, 2016), além de possibilitar a interação entre as empresas e a academia (Bellucci; Pennacchio; Zazzaro, 2019).

Tanto as empresas como as ICTs obtêm benefícios. As empresas, em particular, aproveitam o acesso a pesquisadores e infraestrutura de pesquisa e o respaldo científico oriundo do vínculo com as ICTs (Chen; Lin, 2017; Parolin *et al.*, 2020), enquanto as ICTs, especificamente, ganham oportunidades de mostrar seu trabalho para o mercado, para a sociedade, e a possibilidade de atração de novos recursos para projetos relacionados (Brem; Radziwon, 2017; Parolin *et al.*, 2020). Essas vantagens frutificam o ambiente para a inovação e o desenvolvimento. Mas alguns estudos também apontam controvérsias quanto aos benefícios desse tipo de política, como captura de recursos por grupos de interesse (Rojas; Huergo, 2016), problemas ligados a direitos de propriedade (Schütz *et al.*, 2018) e insignificância quanto ao impacto no desempenho das empresas (Martinez-Covarrubias; Lenihan; Hart, 2017).

Muitos dos efeitos positivos das interações EUI, estão fundamentados no apoio da política regional. O apoio das instituições regionais e locais é importante para o processo de construção de interações entre atores em um ecossistema de inovação (Leckel; Veilleux; Dana, 2020), sendo que uma das principais influências das atividades de inovação em empresas e ICTs vem dos programas governamentais, por meio de subsídios ao desenvolvimento de projetos de inovação (Edquist, 2011). São as empresas, as universidades e outras organizações de pesquisa e as relações entre si que influenciam e constroem a inovação, devendo a política ter foco não apenas nesses atores, mas nas relações estabelecidas entre eles (Edquist, 2011).

## **METODOLOGIA**

### **OBJETO DE ESTUDO**

As parcerias institucionais constituídas a partir de projetos de inovação submetidos a um programa de fomento de agência governamental no estado do Ceará: Programa de Inovação Tecnológica (Inovafit), da Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP), consistem no objeto de estudo da pesquisa. O primeiro ano do programa foi em 2015, ocorrendo desde então edições todos os anos. Este programa se destina a apoiar, via subvenção econômica, a execução de projetos de inovação de empresas com faturamento anual menor que R\$ 10 milhões (classificadas usualmente como PME), em duas fases independentes: a) Fase 1, com duração de até seis meses, para pesquisa sobre viabilidade técnica e desenvolvimento de um Produto Mínimo Viável (PMV), com contratação de projetos com valor de até R\$ 100 mil; b) Fase 2, com duração de até 24 meses, com o objetivo de desenvolver o projeto de inovação propriamente dito, partindo da apresentação de um PMV e de um plano de negócio de comercialização do novo produto, processo ou serviço, com contratação de projetos com valor de até R\$ 400 mil. Ressalta-se que as empresas participantes da Fase 2 podem ou não terem sido beneficiadas da Fase 1, além de ambas fases exigir contrapartida das empresas de, no mínimo, 10% do valor do projeto.



## COLETA DE DADOS

Os dados foram coletados a partir de pesquisa documental física junto à base de dados e arquivos da FUNCAP, realizada entre 2018 e 2019. Foram analisados os dados referentes aos projetos de inovação submetidos ao programa no período 2015-2018. A quantidade de projetos analisados por ano e fase do programa são: 139 em 2015 - Fase 1, 100 em 2016 - Fase 2, 119 em 2017 - Fase 1 e 80 em 2018 - Fase 2.

Foram consideradas duas matrizes de dados, uma que originou a rede de projetos submetidos (RPSub) e outra que originou na rede de projetos selecionados (RPSel). Os dados coletados foram: a) empresas proponentes de projetos de inovação; e, b) conjunto de atores parceiros nos projetos, divididos em universidades, institutos de pesquisa, conforme Chen *et al.* (2020) e Zhang, Chen e Fu (2019), e outras organizações, podendo ser empresas não proponentes na respectiva rede, mas com atuação em inovação, ou organizações de apoio à inovação, como definido em Edquist (2011).

As informações acerca das relações entre atores (institucionais) foram obtidas dos projetos de inovação, além de consultas à Plataforma Lattes para identificação dos vínculos dos membros das equipes. Neste último caso, atentou-se para a coincidência entre períodos de vínculo e de submissão da proposta. Com isso, pôde-se desenhar uma rede prescrita de atores institucionais participantes em projetos de inovação, de modo semelhante ao realizado em outros estudos de redes, como Franco, Câmara e Parente (2017) e Hernández e González (2017).

## ANÁLISE DE DADOS

Neste estudo, a análise de redes admitiu duas diferentes matrizes referentes aos projetos de inovação: (a) matriz RPSub, englobando todas propostas com alguma relação institucional estabelecida; e (b) matriz RPSel, focando apenas nas propostas selecionadas para fomento no programa. As relações foram consideradas como bidirecionadas e sem peso, como realizado por Mahmoudzadeh e Alborzi (2017) e Zheng e Zhao (2013). Essas escolhas devem-se tanto à premissa de que há troca entre atores (conhecimento não é direcionado em sentido único), quanto à dificuldade de se ponderar a participação dos membros das equipes dos projetos. Além disso, a escolha de analisar uma rede ampla e outra refinada, RPSub e RPSel, respectivamente, repousa na tentativa de



perceber diferenças estruturais. Dado que, a RPSub, ao apresentar projetos de inovação para concorrer ao fomento da política de inovação (especificamente, o programa Inovafit), tem um potencial de ser incentivada, em princípio. Porém, é a RPSel que efetivamente é fomentada pela política.

As matrizes relacionais foram montadas em planilhas *Excel* e analisadas com o *software Gephi* para obtenção das estatísticas e grafos de redes. As redes de conexão obtidas são definidas como uma rede inteira (Wasserman; Faust, 1994), por exibir configurações relacionais dentre de um grupo limitado – projetos propostos no programa de fomento, neste caso. Para analisar esse tipo de rede, de acordo com Hâncean, Molina e Lubbers (2016), pode-se fazer uso de métricas de propriedades de toda a rede (nível da rede), de posições estruturais de cada ator na rede (nível do ator) e de grupos de atores (nível meso).

Assim, foram calculadas métricas do nível estrutural da rede (Cherven, 2015; Wasserman; Faust, 1994): (a) densidade, indicando a intensidade de ligações entre os atores; (b) grau médio, expressando a média de ligações por ator; (c) diâmetro, representando o tamanho linear da rede; e (d) comprimento médio de caminho, definindo o caminho médio mais curto entre dois atores da rede. Também foram aferidas métricas de posicionamento dos atores quanto à centralidade (Freeman, 1979): (a) grau, fornecendo o número de ligações de cada ator; (b) intermediação, representando os elos na conexão entre diferentes pares de atores; e (c) proximidade, medindo a distância média de um ator específico em relação aos demais. Tais métricas foram escolhidas porque, conforme Muller e Peres (2019), são comumente usadas em estudos no campo da inovação e resumem o quão central pode ser um ator. Por fim, foram utilizadas métricas associadas aos grupos (Cherven, 2015; Wasserman; Faust, 1994): (a) componentes conectados, indicando a existência de grupos separados fisicamente; (b) modularidade, refletindo a união de um conjunto de atores com base em características compartilhadas; e (c) coeficiente médio de agrupamento, representando a probabilidade de um par de atores ligados a um terceiro ator também estarem conectados. Tais métricas de grupo, conforme Cherven (2015), sintetizam os dois primeiros níveis de medidas ao procurarem entender como os atores em grupos trabalham para modelar a estrutura interna da rede.



## ANÁLISE DE REDES EM PROJETOS DE INOVAÇÃO COM INTERAÇÕES EUI

Nesta seção, procede-se à análise das redes tendo como base métricas calculadas e grafos construídos para o período considerado (2015-2018). Busca-se compreender o papel de atores e das categorias de atores nas interações EUI dentro da estrutura Hélice Tríplice.

### MÉTRICAS DE ESTRUTURA DE REDES DAS INTERAÇÕES EUI

Inicialmente, nota-se que em todo o período analisado, a RPSel tem menor número de atores e ligações que a RPSub, justamente por aquela ser formada apenas por projetos selecionados para fomento. Além disso, tem-se que as redes formadas em 2015 e 2017 contam com mais atores e ligações, provavelmente por se referirem à Fase 1 do programa que, comparativamente à Fase 2, tem maior número de empresas proponentes, menor valor do projeto (consequentemente uma contrapartida inferior) e não exige PMV.

Conforme resultados observados na Tabela 1, a RPSel, sendo uma rede menor, é também menos dispersa, apresentando maior densidade (aproximadamente três vezes maior que na RPSub), chegando em torno de 10% e 11% em 2016 e 2018, respectivamente. Esses valores de densidade podem ser admitidos como medianos ao considerar outros estudos de redes de inovação, sendo próximos aos encontrados por Franco, Câmara e Parente (2017) e Hernández e González (2017), mais bem superiores à densidade de 0,002 (Pereira *et al.*, 2018) e bem inferiores aos valores da ordem de 30% (Barrie; Zawdie; João, 2019; Machado; Ipiranga, 2013). Tal indicativo é importante pois as taxas de transferência e de difusão de recursos, como o conhecimento, são incrementadas em redes mais densas, no caso, a RPSel, sobretudo na Fase 2 do programa. Entretanto, como apontam Zhao e Li (2022), a densidade deve ter um intervalo razoável, pois redes muito densas não são almejadas, devido os atores, sobretudo as empresas, terem um limite para estabelecer interações, não devendo buscar cegamente parcerias para seus projetos de inovação.



**Tabela 1** | Métricas de estrutura de rede extraídas das redes de projetos submetidos (RPSub) e selecionados (RPSel) de 2015 a 2018

Métricas	2015 - Fase 1		2016 - Fase 2		2017 - Fase 1		2018 - Fase 2	
	RPSub	RPSel	RPSub	RPSel	RPSub	RPSel	RPSub	RPSel
Atores	218	105	186	77	216	79	155	60
Ligações	640	359	631	279	627	226	421	199
Densidade	0,027	0,066	0,037	0,095	0,027	0,073	0,035	0,112
Grau médio	5,872	6,838	6,785	7,247	5,806	5,722	5,432	6,633
Diâmetro de rede	6	5	5	4	5	4	5	3
Comp. médio de caminho	2,505	2,250	2,483	2,141	2,482	2,234	2,351	2,102
Componentes	4	1	1	1	3	2	6	1
Modularidade <sup>1</sup>	0,475	0,428	0,488	0,428	0,505	0,451	0,493	0,414
Nº de comunidades <sup>1</sup>	11	8	11	7	11	8	13	5
Coef. médio de agrupamento	0,790	0,768	0,785	0,773	0,839	0,781	0,856	0,805

Fonte: elaborada pelos autores. Nota: <sup>1</sup>No *Gephi* foi utilizado o algoritmo padrão de detecção de modularidade com resolução 1,0 para geração de nem muitas comunidades com poucos atores, nem poucas com muitos atores.

Já os valores de grau médio são geralmente maiores na RPSel, ocorrendo em todo período uma tendência crescente, bem como dentro de cada ciclo (Fase 1 - Fase 2). Os valores aferidos (entre 5,432 e 7,247) são superiores aos encontrados por outros estudos (Cunha *et al.*, 2016; Pereira *et al.*, 2018), e indicam uma média relevante de conexões por ator. Existe uma relação estreita entre densidade e grau médio (Muller; Peres, 2019), sendo observada nas redes analisadas uma relação ligeiramente positiva entre ambas, sugerindo que a rede fica mais difusa ao mesmo tempo que os atores aumentam sua média de contatos. Esse movimento pode ser benéfico até certo ponto, a partir do qual, o fluxo de conhecimento pode passar a ser redundante (Mahmoudzadeh; Alborzi, 2017; Zhao; Li, 2022; Zheng; Zhao, 2013), não gerando grandes melhorias no desempenho da inovação regional.

As redes também apresentam baixo diâmetro, que indica o número de etapas necessárias para que um conhecimento possa atravessar toda a rede, sendo este sempre menor na RPSel, devido seu tamanho mais reduzido. Neste caso, os diâmetros calculados podem evidenciar uma rede não compacta (Cherven, 2015), com valores próximos e inferiores, respectivamente, aos calculados por Hernández e González (2017) e Pereira *et al.* (2018).

De modo geral, as configurações estruturais nas diversas redes não indicam elevada densidade e nem necessidade de grande travessia ao longo da rede, mas apontam para razoável média de conexões, o que contribui para que muitos atores interajam a partir de pequenos comprimentos (distâncias) médios de caminho, possibilitando que cada ator acesse outros a partir de algumas poucas etapas (variando de 2,1 a 2,5), fato que demonstra alguma eficiência de comunicação e desempenho na rede (Angelini *et al.*, 2017; Chen *et al.*, 2020; Cherven, 2015). Para Chen *et al.* (2020), quanto mais atores e quanto menor for a distância entre eles, mais benefícios são gerados na rede. Neste estudo, as distâncias aferidas são similares às encontradas por Cunha *et al.* (2016).

Quanto às medidas de agrupamento, a modularidade está relacionada diretamente com o número de comunidades, havendo forte associação positiva entre ambas. A detecção de comunidades é resultado de processo de otimização e significa tornar explícito o aparecimento de grupos de atores densamente conectados, mantendo conexões mais esparsas com atores de outros grupos (Newman, 2006). Os coeficientes de modularidade calculados indicam um número razoável de comunidades, especialmente na RPSub.

Em relação ao número de componentes, mesmo quando aparecem mais de um, sobretudo na RPSub, ocorre um cenário de um ou mais microcomponentes adjacentes (máximo de quatro atores) junto ao macro componente. A existência de poucos componentes ou de macro componente também é um indicativo de maior conectividade na rede. Pereira *et al.* (2018) encontraram centenas de componentes, enquanto Chen e Lin (2017) e Franco, Câmara e Parente (2017) encontram dezenas, como indicativo de baixa conectividade em suas pesquisas.

Para o coeficiente de agrupamento, que consiste na média dos valores individuais e indica proximidade com o potencial de relações tríades na rede, os valores apontam que os atores usufruem entre 77% e 86% das conexões disponíveis na vizinhança, ou ainda, de cada cinco triângulos possíveis na rede, quatro são formados, em média, indicando alto agrupamento. Cunha *et al.* (2016), por exemplo, calcularam valores bem menores, entre 9% e 43%. A RPSub e o segundo ciclo do programa (2017-2018) apresentam sempre maior coeficiente. Essa métrica oferece duas perspectivas de análise, conforme Muller e Peres (2019): por um lado, um maior agrupamento permite que um ator tenha maiores chances de trocar conhecimento com os demais atores do grupo, elevando o fluxo

de conhecimento; no entanto, isso pode tornar mais redundante o conhecimento trocado no grupo, devido às várias conexões de vizinhança.

Após apreciado as várias métricas estruturais, empreende-se agora à análise de métricas de centralidade dos atores institucionais e grafos de rede. Nas redes estudadas, como se verá adiante, ocorre a existência de *hubs*, o que torna as redes mais conectadas (Muller; Peres, 2019). Então, sem a presença forte desses *hubs* no programa de fomento, provavelmente várias das métricas vistas até aqui teriam menor desempenho (como densidade, grau médio e coeficiente de agrupamento menores ou diâmetro e comprimento médio do caminho maiores).

## CENTRALIDADE DE GRAU DOS ATORES INSTITUCIONAIS

Passando para a análise das métricas de centralidade de grau, é possível identificar um padrão de posicionamento de atores onde as universidades assumem os papéis mais centrais, em consonância com outros estudos de redes de inovação, como Chen e Lin (2017), Pereira *et al.* (2018), Franco, Câmara e Parente (2017) e Machado e Ipiranga (2013). Assumem destaque as quatro principais universidades do estado: Universidade Federal do Ceará (UFC), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), Universidade Estadual do Ceará (UECE) e Universidade de Fortaleza (UNIFOR). Mas, ao longo do tempo esse poder de coordenação diminui, porém ainda assim representa um nível de influência considerável em comparação aos demais atores. Esse quarteto é seguido, sobretudo, por institutos de pesquisa, como Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Instituto de Tecnologia da Informação e Comunicação (ITIC) e Centro Latino Americano para Inovação, Excelência e Qualidade (CLAEQ), e por algumas universidades secundárias, além do Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE) como organização de apoio à inovação, apontada por Edquist (2011) como organizações de consultoria em serviços de promoção do processo de inovação.

Constatou-se que, no primeiro ciclo do programa (2015-2016), nenhuma empresa aparece entre as mais conectadas, diferentemente do que ocorre no segundo ciclo (2017-2018), em que algumas empresas se destacam no top 10 dos mais centrais. Tal fato poderia ser devido a constituição de maior conectividade por parte das empresas proponentes, mas na verdade deve-se à perda de



centralidade dos atores mais centrais.

A Tabela 2 apresenta as métricas de centralidade de grau mais elevadas para o primeiro e último ano. No geral, as universidades têm desempenho mais competitivo, muito em função da ampla presença do quarteto UFC, UECE, UNIFOR e IFCE, bem como, de acordo com Chen e Lin (2017), devido a sua alta capacidade de pesquisa. Percebe-se o posicionamento firme da UFC no topo da centralidade em todo o período, exceto em 2018, na RPSel, onde UNIFOR, UECE e IFCE apresentam maior competitividade, principalmente esta última, ao assumir maior influência na rede. O comportamento dessas três universidades pode ser explicado pelos seus vínculos com empresas que conseguiram melhor desempenho no processo seletivo do programa, perdendo, relativamente, menos conexões na passagem da RPSub para a RPSel.

**Tabela 2** | Dez maiores métricas de centralidades de grau de atores das redes de projetos submetidos (RPSub) e selecionados (RPSel) de 2015 e 2018

	2015 - Fase 1		2018 - Fase 2				
	RPSub	RPSel	RPSub	RPSel			
UFC	130	UFC	76	UFC	94	IFCE	40
IFCE	67	IFCE	40	IFCE	64	UFC	37
UNIFOR	67	UNIFOR	39	UNIFOR	42	UNIFOR	27
UECE	49	UECE	31	UECE	21	UECE	17
SEBRAE <sup>(O)</sup>	20	SEBRAE <sup>(O)</sup>	16	Uni7	15	EMBRAPA <sup>(IP)</sup>	12
SENAI <sup>(IP)</sup>	20	ITIC <sup>(IP)</sup>	14	EMBRAPA <sup>(IP)</sup>	14	SEBRAE <sup>(O)</sup>	11
CENTEC	19	SENAI <sup>(IP)</sup>	14	CLAEQ <sup>(IP)</sup>	13	CEPEP	9
Uni7	19	UniEstácio	13	SEBRAE <sup>(O)</sup>	11	Fortgen <sup>(S)</sup>	9
ITIC <sup>(IP)</sup>	16	CENTEC	13	SENAI <sup>(IP)</sup>	11	CLAEQ <sup>(IP)</sup>	8
INOVAGRI <sup>(IP)</sup>	15	CLAEQ <sup>(IP)</sup>	12	UNILAB	10	USP	8

Fonte: elaborado pelos autores. Notas: Todos os atores são universidades, exceto: <sup>(IP)</sup> institutos de pesquisa, <sup>(S)</sup> empresas selecionadas e <sup>(O)</sup> outras organizações.

Vale apontar ainda alguns institutos de pesquisa – SENAI, EMBRAPA, ITIC e CLAEQ – que apresentam também aumento de competitividade da passagem da RPSub para a RPSel, ao longo do período, por estabelecerem vínculos com empresas com projetos selecionados. O SEBRAE (categoria outras organizações) também tem grande destaque ao figurar praticamente em todos os anos com importante centralidade. Em um plano secundário, de menor influência de interligação,



O número relativo de conexões estabelecidas na RPSel em comparação com a RPSub oferece uma medida do nível de competitividade das categorias de atores em termos de compor equipes de projetos selecionados. Em média, considerando todo o período, universidades e institutos de pesquisa elevam um pouco suas participações em termos relativos ao passar da RPSub para a RPSel, demonstrando maior competitividade, enquanto outras organizações apresentam pequena redução. Entretanto, observando apenas a frequência das categorias de atores na RPSel, comparando 2018 com 2015, percebe-se uma redução intensa (relativa e absoluta) da participação dos institutos de pesquisa, enquanto as universidades demonstram um leve aumento em sua frequência relativa e diminuição em número absoluto, mas em menor intensidade, sugerindo que essa redução apenas reflete a diminuição da quantidade de atores na rede (como visto na Tabela 1). Ademais, é possível apontar crescimento relativo e estabilização em termos absolutos da participação da categoria outras organizações.

Nota-se que as empresas não selecionadas são bastante frequentes na RPSel, devido às conexões com empresas selecionadas, indicando a existência de rede envolvendo parcerias entre várias empresas proponentes, o que consiste em uma característica relevante da rede. Varia entre 1/3 a 1/2 do total de empresas (selecionadas e não selecionadas) que compõem a RPSel a quantidade de empresas não selecionadas. Já entre as empresas selecionadas, cerca de 1/2 a 2/3 têm vínculo com outras empresas participantes da rede (empresas selecionadas, não selecionadas ou as que compõem a categoria outras organizações), sendo este um bom indicador, pois as redes de cooperação entre empresas também exercem influência na construção de capacidades inovativas, como sugerem estudos de redes de inovação (Franco; Câmara; Parente, 2017; Hernández; González, 2017; Zheng; Zhao, 2013).

A maior centralidade do influente quarteto de universidades indica que ele deve se ver e ser visto na rede como importantes canais no fluxo de conhecimento (Freeman, 1979), espera-se assim um processo de formação mais prático e ampliação dos vínculos fora da academia, indicando uma maior aderência universidade-mercado (Franco; Câmara; Parente, 2017), além do incremento de novas oportunidades de financiamento de pesquisa e novos relacionamentos (Brem; Radziwon, 2017), sendo esses alguns dos objetivos adjacentes de programas de fomento à inovação, como o estudado nesta pesquisa.



Também se observa que na RPSel, de todo o período, é possível verificar que todas as empresas selecionadas mantêm vínculos com universidades ou institutos de pesquisa. Logo, reforça-se a percepção de que a estratégia de construção de vínculos entre empresas e ICTs parece ter algum efeito. A análise das métricas e dos grafos de centralidade de grau das redes no âmbito do programa de fomento sugere a existência de elevada conectividade de *hubs* com um padrão semelhante à estrutura de redes livres de escala (Barabási, 2009; Barabási; Albert, 1999), em que quatro universidades apresentam enorme quantidade de conexões e um número grande de diversos atores exibem poucas ligações.

As universidades são centrais no desenvolvimento da inovação em parceria com as empresas. Posto que, os resultados das interações EUI, com os projetos de inovação, chegam mais rapidamente à sociedade, diferentemente do que em geral ocorre com a pesquisa restrita à academia, como a pesquisa básica (ZHAO; LI, 2022). Portanto, em regiões menos desenvolvidas, os efeitos podem ser amplificados com a adoção de política específica para fomentar projetos de PMEs.

## **INTERMEDIÇÃO, PROXIMIDADE E CLASSES DE MODULARIDADE**

Com relação à análise das centralidades de intermediação, ressalta-se que quanto maior o poder de uma instituição em intermediar conexões, mais importante é o seu papel na rede, exercendo maior controle (facilitando ou restringindo) dos fluxos de conhecimento na rede (Cherven, 2015; Freeman, 1979; Wasserman; Faust, 1994). A presença de um ator como intermediário é medida como a frequência com que ele aparece nos caminhos mais curtos entre outros atores da rede. As estatísticas de intermediação do primeiro e último ano estão na Tabela 3, indicando que UFC, IFCE, UNIFOR e UECE têm mais capacidade de intermediar conexões, demonstrando destaque como ponte no fluxo de conhecimento na rede.



**Tabela 3** | Dez maiores métricas de centralidades de intermediação de atores das redes de projetos submetidos (RPSub) e selecionados (RPSel) de 2015 e 2018

2015 - Fase 1				2018 - Fase 2			
RPSub		RPSel		RPSub		RPSel	
UFC	0,565	UFC	0,566	UFC	0,537	IFCE	0,400
IFCE	0,188	IFCE	0,186	IFCE	0,247	UFC	0,351
UNIFOR	0,187	UNIFOR	0,137	UNIFOR	0,144	UNIFOR	0,185
UECE	0,092	UECE	0,101	Uni7	0,059	UECE	0,081
UNILAB	0,044	CENTEC	0,041	UECE	0,044	SEBRAE <sup>(O)</sup>	0,029
Uni7	0,036	SEBRAE <sup>(O)</sup>	0,029	INOVAGRI <sup>(IP)</sup>	0,029	EMBRAPA <sup>(IP)</sup>	0,025
CENTEC	0,032	F.M <sup>(S)</sup>	0,019	CLAEQ <sup>(IP)</sup>	0,018	Rioelba <sup>(S)</sup>	0,017
SENAI <sup>(IP)</sup>	0,029	ELETROBRAS <sup>(IP)</sup>	0,019	SENAI <sup>(IP)</sup>	0,012	USP	0,007
UniFametro	0,028	SENAI <sup>(IP)</sup>	0,018	UniAteneu	0,012	SENAI <sup>(IP)</sup>	0,006
INOVAGRI <sup>(IP)</sup>	0,024	PADETEC <sup>(IP)</sup>	0,016	EMBRAPA <sup>(IP)</sup>	0,012	Nutral <sup>(NS)</sup>	0,005

Fonte: elaborado pelos autores. Notas: Todos os atores são universidades, exceto: <sup>(IP)</sup> institutos de pesquisa, <sup>(S)</sup> empresas selecionadas, <sup>(NS)</sup> empresa não selecionada e <sup>(O)</sup> outras organizações.

A UFC apresentou forte atuação em intermediar contatos nas redes, com valor da métrica três a quatro vezes superior ao segundo melhor posicionado, exceto na RPSel em 2018, onde o IFCE demonstrou grande ganho de competitividade. Diferentemente do grau, na intermediação mais empresas estão presentes no top 10, apesar de apresentarem baixo valor na estatística, ou seja, apesar da presença constante de empresas, seus coeficientes são bastante reduzidos, tornando pouco efetivo seu poder de intermediação na rede.

Em suma, as universidades figuram como aquelas que detêm maior poder de intermediação de fluxos de conhecimento entre atores nas redes estudadas, resultado evidenciado também por Barrie, Zawdie e João (2019), Chen e Lin (2017), Franco, Câmara e Parente (2017), Machado e Ipiranga (2013) e Pereira *et al.* (2018). Esses autores também encontram em empresas um papel importante em intermediar conexões, diferentemente dos resultados nesta pesquisa, apesar de algumas assumirem lugar no top 10, expressando inclusive poder de elo superior a muitas universidades e institutos de pesquisa.

Partindo para a análise das métricas de proximidade, ressalta-se que quanto mais próximo uma instituição estiver dos demais atores da rede, maior a evidência de posicionamento central e mais relevante será seu poder de alcance e seu papel no compartilhamento de conhecimento (Cherven, 2015; Freeman, 1979; Wasserman; Faust, 1994).

Os valores mais elevados de proximidade nas redes, para o primeiro e último ano, são apresentados na Tabela 4, sendo possível notar que ocorre menor amplitude entre os coeficientes dos atores, comparativamente às variações de grau e de intermediação, indicando maior equalização entre os diversos atores da rede do programa de fomento, com muitos atores de baixa relevância em conexões e intermediação apresentando nível de proximidade próximo ao aferido por atores mais estratégicos – universidades e institutos de pesquisa. As centralidades de grau e de proximidade, analisadas conjuntamente, sugerem que muitos desses atores estabelecerem poucas ligações, mas com atores relativamente muitos conectados nas redes do programa de fomento, em especial com as quatro principais universidades.

**Tabela 4** | Dez maiores centralidades de proximidade de atores das redes de projetos submetidos (RPSub) e selecionados (RPSel) de 2015 e 2018

2015 - Fase 1				2018 - Fase 2			
RPSub		RPSel		RPSub		RPSel	
UFC	0,708	UFC	0,776	UFC	0,746	IFCE	0,756
IFCE	0,575	IFCE	0,615	IFCE	0,624	UFC	0,728
UNIFOR	0,570	UNIFOR	0,612	UNIFOR	0,569	UNIFOR	0,648
UECE	0,528	UECE	0,575	UECE	0,524	UECE	0,584
SEBRAE <sup>(O)</sup>	0,492	SEBRAE <sup>(O)</sup>	0,533	CLAEQ <sup>(IP)</sup>	0,518	CEPEP	0,541
ITIC <sup>(IP)</sup>	0,490	ITIC <sup>(IP)</sup>	0,523	UniEstácio	0,504	UniEstácio	0,536
CENTEC	0,488	UniEstácio	0,520	CEPEP	0,502	CLAEQ <sup>(IP)</sup>	0,536
Uni7	0,487	CLAEQ <sup>(IP)</sup>	0,517	Rioelba <sup>(S)</sup>	0,495	SEBRAE <sup>(O)</sup>	0,532
SENAI <sup>(IP)</sup>	0,486	CENTEC	0,515	Zigtech <sup>(S)</sup>	0,492	Rioelba <sup>(S)</sup>	0,532
UniEstácio	0,486	SENAI <sup>(IP)</sup>	0,512	UFRGS	0,490	Zigtech <sup>(S)</sup>	0,522

Fonte: elaborado pelos autores. Notas: Todos os atores são universidades, exceto: <sup>(IP)</sup> institutos de pesquisa, <sup>(S)</sup> empresas selecionadas, <sup>(NS)</sup> empresa não selecionada e <sup>(O)</sup> outras organizações.

Contudo, ocorre uma consolidação das principais universidades (UFC, IFCE, UNIFOR e UECE) nas melhores posições de alcance. A UFC mantém a primeira posição em quase todo o período, perdendo essa colocação para o IFCE somente na RPSel em 2018. Entre os institutos de pesquisa, em vários anos, alguns atores apresentam presença significativa, como ITIC, CLAEQ, EMBRAPA e SENAI. Já o SEBRAE é destaque no alcance de atores na rede, repetindo o ganho de competitividade apresentado em termos de grau e intermediação na RPSel. Também é possível evidenciar que várias empresas, tanto selecionadas como não

selecionadas, detêm poder de alcance na rede equivalente, e até mesmo superior, a muitas universidades secundárias e institutos de pesquisa. Esse maior destaque em proximidade das universidades nas redes estudadas corrobora os achados em Chen e Lin (2017), Franco, Câmara e Parente (2017) e Pereira *et al.* (2018). UFC, IFCE, UNIFOR e UECE se posicionam nas redes de maneira mais estratégica, demonstrando maior frequência em se posicionar no caminho mais curto entre dois quaisquer outros atores da rede (Cherven, 2015).

No geral, as universidades foram as mais pujantes em todas as medidas de centralidade aferidas. A reputação dessa categoria de atores institucionais parece gerar um apego preferencial (Barabási, 2009; Barabási; Albert, 1999; Mahmoudzadeh; Alborzi, 2017) por parte das empresas proponentes no programa de fomento, resultando em mais laços (grau), maior controle de fluxos (intermediação) e maior alcance (proximidade) na rede exercido pelas quatro principais universidades – *hubs* da rede. De acordo com achados de Mahmoudzadeh e Alborzi (2017), na rede de nanotecnologia no Irã, esse movimento acaba levando à estrutura livre de escala. Também, conforme Cherven (2015), é possível que essa relação – grau superior, grande mediação e elevado alcance – dependa da estrutura da rede, sendo mais provável em redes com alta clusterização.

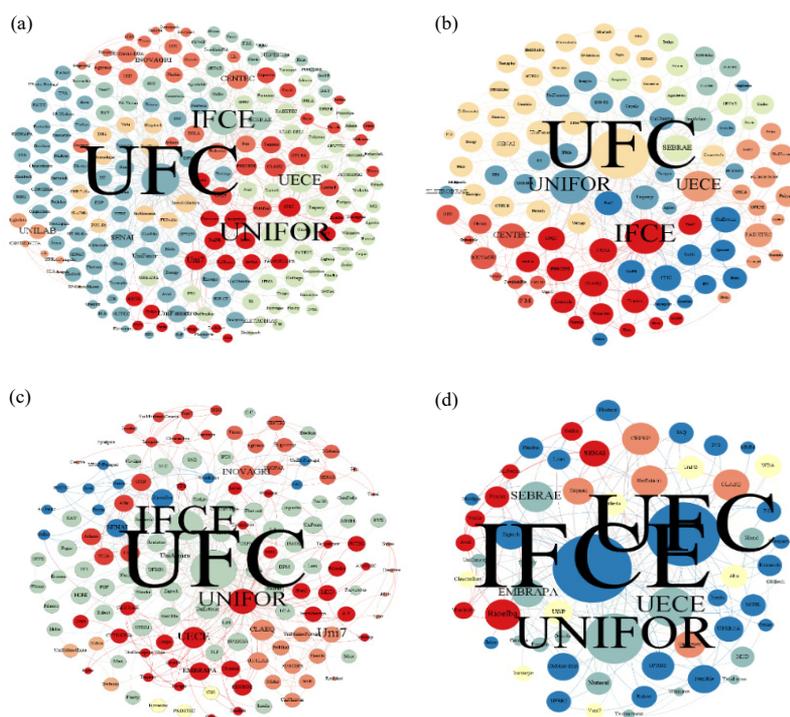
Nesta pesquisa, há evidências de que a rede formada no programa demonstra uma relação positiva entre as métricas de centralidade e um elevado coeficiente médio de agrupamento, sugerindo também uma estrutura livre de escala, pois como sugerem Barabási e Bonabeau (2003), redes com elevada clusterização pode ser indicativo desse tipo de estrutura. Portanto, pode-se considerar plausível a evidência nos achados da pesquisa que a demonstração dessa combinação torne factível a existência de redes livre de escala. Essa condição exhibe a existência de *hubs* (quatro universidades) o que torna as redes mais conectadas, como evidenciado pelo alto coeficiente de agrupamento e pequena distância média do caminho (Muller; Peres, 2019). Esse agrupamento mais denso com presença de *hubs* também pode levar a uma maior redundância de conhecimento na rede e concentrar recursos em alguns poucos atores, diminuindo a capacidade de inovação da rede (Mahmoudzadeh; Alborzi, 2017; Zheng; Zhao, 2013). No caso da rede analisada, uma maior redundância pode ser crível, mas concentração de recursos é pouco crível, pois as empresas é que são financiadas, sendo os *hubs* atores cooperativos nos projetos de inovação. A estrutura livre de escala das redes analisadas possibilita maior disseminação do conhecimento,



devido as forças de conexões dos *hubs*, podendo fornecer melhor infraestrutura de crescimento e de difusão não discriminatória do conhecimento inovador na rede (Angelin *et al.*, 2017). O mecanismo livre de escala presente na rede de interações EUI demonstra que as empresas têm especial dependência de quatro universidades, podendo implicar em alguma restrição do volume de inovação gerada, devido à redundância, porém sugere também maior distribuição e velocidade do conhecimento gerado na rede.

A Figura 2 expõe, para o primeiro e último ano, a influência em intermediar relações, a capacidade de alcance de atores e a formação de comunidades mais afins. Ao longo do período, na RPSub, UNIFOR e UECE têm maior tendência a compor a mesma comunidade, o que fica mais evidente no último ciclo (2017-2018) em que essa afinidade também ocorre na RPSel. Essa relação de semelhança pode ter origem no maior foco que ambas universidades têm na área de biotecnologia, sendo muito frequente suas participações nos projetos dessa área.

**Figura 2** | Redes de projetos submetidos (RPSub) e selecionados (RPSel), segundo classes de modularidade e centralidades de intermediação e de proximidade



Fonte: elaborada pelos autores. Notas: Cor do nó designa comunidades, tamanho do rótulo do nó designa centralidade de intermediação e tamanho do nó designa centralidade de proximidade. Redes de projetos submetidos (a) e selecionados (b) em 2015 e submetidos (c) e selecionados (d) em 2018. No *Gephi* foi utilizado o algoritmo padrão de detecção de modularidade com resolução 1,0 para geração de nem muitas comunidades com poucos atores, nem poucas com muitos atores.

Já UFC e IFCE formam comunidades diferentes em todo o período e em ambas redes, exceto em 2018. Talvez a grande diversidade de áreas de atuação da UFC (como saúde, biotecnologia, construção civil, recursos hídricos, engenharia de materiais, agronegócio, indústria alimentar e tecnologia da informação e comunicação – TIC) contraste com maior especialização do IFCE na área de TIC e eletromecânica. Todavia, no último ano, com uma rede mais reduzida, ambas formam uma comunidade consistente.

Ressalta-se ainda que essas quatro universidades agregam em seus grupos muitos institutos de pesquisa ao longo de todo o período, sendo que alguns desses chegam a formar comunidades separadas em vários momentos. Em 2015, o Instituto de Pesquisa e Inovação na Agricultura Irrigada (INOVAGRI), o CLAEQ e o ITIC formam comunidades separadas na RPSub e INOVAGRI e ITIC na RPSel, valendo destacar nesta rede um grupo formado pela SEBRAE, representante da categoria outras organizações. Em 2016 na RPSub o SENAI, o INOVAGRI, o ITIC e o Parque de Desenvolvimento Tecnológico (PADETEC) formam comunidades separadas, sendo que cada uma dessas instituições, exceto o PADETEC, tem foco em uma área específica (que vai desde eletrometalmeccânica, recursos hídricos até saúde, biotecnologia e TIC), enquanto que na RPSel o destaque fica para o PADETEC que mantém um grupo com atuação em TIC, saúde e biotecnologia e para o ITIC que junto a CLAEQ constituem um grupo maior na área de TIC. Em 2017 na RPSub o trio ITIC, SENAI e PADETEC lideram conjuntamente um grande grupo, além de INOVAGRI liderar um grupo menor, enquanto ITIC na RPSel lidera uma comunidade. Já em 2018 SENAI, CLAEQ e INOVAGRI são líderes de grupos separados, demonstrando muita consistência, tendo em vista a rede ser menor.

Como as classes modulares permitem identificar grupos de atores por compartilhamento de características conectivas na rede como um todo (Cherven, 2015), sugerindo a composição de comunidade fortemente conectada com um grupo e estabelecendo conexão mais dispersa com atores de outros grupos (Newman, 2006), muitas vezes podem ser evidenciadas comunidades mais fortes que outras justamente por agruparem atores mais centrais. Fica evidente que as quatro principais universidades lideram comunidades nas diversas redes, às vezes separadas, outras vezes em conjunto com pares, e que muitos institutos de pesquisa também formam seus grupos com maior semelhança conectiva, separado ou junto a seus pares.



No exercício de formação de classes de modularidade, o estudo dessa estrutura na rede contribui para evidenciar grupos de atores que preservam mais afinidades entre si, sendo consideradas críveis as classes definidas nesta pesquisa, mesmo que, como enuncia Newman (2006), exista a possibilidade de não haver uma boa divisão da rede pelos métodos de estrutura de comunidades. Pelos resultados já analisados, as quatro principais universidades exibem mais vigor no desempenho de papel central na rede, sendo verificado que ocorre maior afinidade entre elas quanto ao compartilhamento de características relacionais, enquanto os institutos de pesquisa têm maior tendência de formar grupos separados, sobretudo na RPSel.

Resumidamente, muito das políticas de apoio à inovação, especialmente em regiões menos desenvolvidas, tem sido implementada por programas públicos baseado no local, ficando com os governos regionais o papel central na subvenção à inovação de empresas locais (Bellucci; Pennacchio; Zazzaro, 2019). Tais programas são fundamentais para estimular o desenvolvimento ou a criação de redes de interações EUI, com repercussões sobre a inovação no nível regional pelas empresas (Min; Kim; Sawng, 2020; Ndabeni, Rogerson & Booyens, 2016; Zhao; Li, 2022). Com efeito, uma rede de inovação, como a caracterizada nesta pesquisa, a partir de interações EUI e subsidiada por programa governamental, pode contribuir para melhorar o ambiente de inovação regional, com repercussão sobre o desenvolvimento regional.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa evidenciou características e discutiu implicações obtidas a partir da análise de rede formada no âmbito de programa de fomento a projetos de inovação de PMEs ao longo de quatro anos (2015-2018). Com o uso de análise de redes sociais de interações EUI foi possível verificar a configuração de características das relações entre atores institucionais, em que métricas de estrutura de rede e de centralidade apresentaram comportamento diverso, dependendo da comparação entre as redes RPSub e RPSel e as Fases 1 e 2 do programa. Ao longo do período, foram identificados aumentos da densidade, do grau médio e do coeficiente médio de agrupamento, além de redução tênue do comprimento médio do caminho e da modularidade. Notou-se, ainda, variados números de comunidades em cada rede, uma redução do diâmetro da rede e aumento do número de componentes conectados.



Na análise obteve-se indicativos de alta centralidade das universidades, notadamente as mais importantes do estado do Ceará (UFC, IFCE, UECE e UNIFOR), as quais atuam como *hubs* na rede. Essas são mais centrais nas medidas de centralidade de grau, intermediação e proximidade. Tal categoria institucional figura como aquela que detêm mais controle, maior poder na rede de inovação, sendo seguida pelos institutos de pesquisa.

As redes constituídas no âmbito do programa da agência governamental não são aleatórias e expressam, de modo bem plausível, muitas propriedades de redes com estrutura livre de escala. As redes são altamente clusterizadas, têm grau médio com distribuição seguindo a lei de potência e demonstram a existência de *hubs* que exibem especial centralidade, denunciando assim o mecanismo livre de escala. Com efeito, esses vários indicativos sugerem que nas interações EUI as empresas são bastante dependentes dos *hubs* (quatro universidades), tendo com os institutos de pesquisa uma relação comparativamente menor. Assim, possibilitando uma concentração contínua de poder sobre controle de alguns poucos atores que desempenham a função de *hubs*, além da possibilidade de maior fluxo de conhecimento redundante, no entanto, com maior velocidade nesse fluxo e maior amplitude de acesso pelas empresas que compõem a rede. Dito isso, a partir dos achados da pesquisa, considera-se que a questão de pesquisa é respondida ao se caracterizar a estrutura de rede e o posicionamento dos atores institucionais nas redes de projetos analisadas e as implicações dessa configuração.

O programa estudado ajuda a incentivar as interações EUI e criar uma rede de inovação. O envolvimento em atividades colaborativas de inovação, a exemplo da rede EUI abordada, é um dos fatores relevantes para a promoção de atividades de inovação em empresas. Adicionalmente, a subvenção pública às inovações de empresas locais, a exemplo do caso do programa de fomento InovaFit estudado, também consiste em um fator de incentivo à inovação, especialmente em PMEs. Em uma perspectiva de desenvolvimento regional, as redes de cooperação são muitas vezes incentivadas pelo apoio da política governamental, que proporciona cooperação por meio de empreendedores das PMEs e de pesquisadores de universidade e institutos de pesquisa. Essa dinâmica ajuda a melhorar o ambiente de inovação.

As contribuições da pesquisa podem ser resumidas em três pontos. Primeiro, contribui com os escassos estudos empíricos de análise de redes em projetos de inovação propostos por PMEs e fomentados por programa governamental, focando em projetos inseridos em nível local e diferenciando a análise entre projetos submetidos (rede potencial) e projetos selecionados (rede real) pelo programa estudado. Segundo, diferencia o grau de importância de universidades e institutos de pesquisa nas redes. Terceiro, combina a abordagem fundamentada na Hélice Tríplice sob as lentes da Análise de Redes Sociais.

Junto às contribuições, também existem algumas limitações da pesquisa, como a falta de análise do direcionamento dos recursos financeiros para empresas e mercados alvo, observando também as instituições que mantêm parcerias com essas empresas beneficiadas. Além do que, devido ao fato da análise usar dados documentais, reconhece-se que a visualização de redes se dá com grupos prescritos, podendo divergir das redes de grupos emergentes durante a execução dos projetos de inovação.

Como sugestão de avanço nessa temática, pode-se indicar o estudo dos efeitos gerados pela política de fomento na rede de inovação no âmbito do programa analisado, já que esses resultados são afetados pelo tipo de estruturação da rede, onde se pode verificar pouca eficácia da política em estruturas livres de escala, com a presença *hubs*, sendo possível a geração de efeitos positivos em redes menos centralizadas. Caso futuras pesquisa indiquem ineficácia dessa política, esse seria mais um indicativo que corrobora a estrutura livre de escala apontada.

**Agradecimentos:** Os autores agradecem à FUNCAP pela disponibilização do acesso aos arquivos e apoio na pesquisa.



## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, E.; SUZIGAN, W.; KRUSS, G.; LEE, K. (Eds.). **Developing national systems of innovation: University-industry interactions in the Global South**. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2015.
- ANGELINI, P.; CERULLI, G.; CECCONI, F.; MICELI, M.-A.; POTÌ, B. R&D subsidization effect and network centralization: evidence from an agent-based micro-policy simulation. **J. of Artificial Societies and Social Simulation**, v. 20, n. 4, 2017.
- AWASTHY, R.; FLINT, S.; SANKARNARAYANA, R.; JONES, R. L. A framework to improve university-industry collaboration. **J. of Industry-University Collaboration**, v. 2, n. 1, p. 49-62, 2020.
- BARABÁSI, A.-L. Scale-free networks: a decade and beyond. **Science**, v. 325, n. 5939, p. 412-413, 2009.
- BARABÁSI, A.-L.; ALBERT, R. Emergence of scaling in random networks. **Science**, v. 286, n. 5439, p. 509-512, 1999.
- BARABÁSI, A.-L.; BONABEAU, E. Scale-free networks. **Scientific American**, v. 288, n. 5, p. 60-69, 2003.
- BARRIE, J.; ZAWDIE, G.; JOÃO, E. Assessing the role of triple helix system intermediaries in nurturing an industrial biotechnology innovation network. **J. of Cleaner Production**, v. 214, p. 209-223, 2019.
- BREM, A.; RADZIWON, A. Efficient Triple Helix collaboration fostering local niche innovation projects – A case from Denmark. **Techn. Forecasting & Social Change**, v. 123, p. 130-141, 2017.
- BELLUCCI, A.; PENNACCHIO, L.; ZAZZARO, A. Public R&D subsidies: collaborative versus individual place-based programs for SMEs. **Small Business Economics**, v. 52, n. 1, p. 213-240, 2019.
- CALIARI, T.; RAPINI, M. S.; CHIARINI, T. Research infrastructures in less developed countries: the Brazilian case. **Scientometrics**, v. 122, n. 1, p. 451-475, 2020.
- CARDOZO, S.A.; MARTINS, H. New developmentalism, public policies, and regional inequalities in Brazil: The advances and limitations of Lula's and Dilma's governments. **Latin American Perspectives**, v. 47, n. 2, p. 147-162, 2020.
- CHEN, S.-H.; LIN, W.-T. The dynamic role of universities in developing an emerging sector: a case study of the biotechnology sector. **Techn. Forecasting & Social Change**, v. 123, p. 283-297, 2017.
- CHEN, K.; ZHANG, Y.; ZHU, G.; MU, R. Do research institutes benefit from their network positions in research collaboration networks with industries or/and universities? **Technovation**, v. 94-95, 2020.
- CHERVEN, K. **Mastering Gephi network visualization: produce advanced network graphs in Gephi and gain valuable insights into your network datasets**. Birmingham: Packt Publ, 2015.
- CUNHA, F. J. A. P.; RIBEIRO, N. M.; MONTEIRO, R. L. S.; PEREIRA, H. B. B. Social network analysis as a strategy for monitoring the dissemination of information between hospitals. **TransInformação**, v. 28, n. 3, p. 309-322, 2016.
- DEBRESSON, C.; AMESSE, F. Networks of innovators: a review and introduction to the issue. **Research Policy**, v. 20, n. 5, p. 363-379, 1991.
- EDLER, J.; FAGERBERG, J. Innovation policy: what, why, and how. **Oxford Review of Economic Policy**, v. 33, n. 1, p. 2-23, 2017.
- EDQUIST, C. Design of innovation policy through diagnostic analysis: identification of systemic problems (or failures). **Industrial and Corporate Change**, v. 20, n. 6, p. 1725-1753, 2011.
- ETZKOWITZ, H. Networks of innovation: science, technology and development in the Triple Helix era. **Inter. J. of Technology Management and Sustainable Development**, v. 1, n. 1, p. 7-20, 2002.



- ETZKOWITZ, H.; LEYDESDORFF, L. The dynamics of innovation: from National Systems and “Mode 2” to a Triple Helix of university–industry–government relations. **Research Policy**, v. 29, n. 2, p. 109-123, 2000.
- ETZKOWITZ, H.; ZHOU, C. **Triple helix: university-industry-government innovation and entrepreneurship**. London: Routledge, 2018.
- FACCIN, K.; BALESTRIN, A.; BORTOLASO, I. The joint R&D project: the case of the first Brazilian microcontroller chip. **Revista de Administração**, v. 51, n. 1, p. 87-102, 2016.
- FRANCO, C.; CÂMARA, S. F.; PARENTE, R. C. Networks, R&D projects and subsidiary behavior in a host country. **Brazilian Administration Review**, v. 14, n. 1, art. 2, 2017.
- FREEMAN, L. C. Centrality in social networks: conceptual clarification. **Social Networks**, v. 1, p. 215-239, 1979.
- GALVAO, A.; MASCARENHAS, C.; MARQUES, C.; FERREIRA, J.; RATTEN, V. Triple helix and its evolution: a systematic literature review. **J. of Science and Techn. Policy Manag.**, v. 10, n. 3, p. 812-833, 2019.
- HÂNCEAN, M.-G.; MOLINA, J. J.; LUBBERS, M. J. Recent advancements, developments and applications of personal network analysis. **Inter. Review of Social Research**, v. 6, n. 4, p. 137-145, 2016.
- HERNÁNDEZ, C.; GONZÁLEZ, D. Study of the start-up ecosystem in Lima, Peru: analysis of interorganizational networks. **J. of Tech. Manag. & Innovation**, v. 12, n. 1, p. 71-83, 2017.
- LECKEL, A.; VEILLEUX, S.; DANA, L. P. Local Open Innovation: A means for public policy to increase collaboration for innovation in SMEs. **Techn. Forecasting & Social Change**, v. 153, 119891, 2020
- LEYDESDORFF, L. (2012). The triple helix, quadruple helix, ..., and an N-tuple of helices: explanatory models for analysing the knowledge-based economy? **J. of the Knowledge Economy**, v. 3, n. 1, p. 25-35, 2012.
- LI, Y.; ARORA, S.; YOUTIE, J.; SHAPIRA, P. Using web mining to explore Triple Helix influences on growing thin small and mid-size firms. **Technovation**, v. 76-77, p. 3-14, 2018.
- MACHADO, D. Q.; IPIRANGA, A. S. R. Characteristics and performance of knowledge networks in the biotechnology sector. **Revista de Administração Contemporânea**, v. 17, n. 3, art. 5, p. 350-367, 2013.
- MAHMOUDZADEH, M.; ALBORZI, M. Modeling Iranian innovation network in nanotech for policy: applying an adopted version of SKIN model. **J. of Science and Techn. Policy Manag.**, v. 8, n. 2, p. 129-145, 2017.
- MARTINEZ-COVARRUBIAS; LENIHAN; HART, M. Public support for business innovation in Mexico: A cross-sectional analysis. **Regional Studies**, v. 51, n. 12, p. 1786-1800, 2017.
- MAZZUCATO, M.; SEMIENIUK, G. Public financing of innovation: new questions. **Oxford Review of Economic Policy**, v. 33, n. 1, p. 24-48, 2017.
- MIN, S.; KIM, J.; SAWNG, T.-W. The effect of innovation network size and public R&D investment on regional innovation efficiency. **Techn. Forecasting & Social Change**, v. 155, 119998, 2020.
- MULLER, E.; PERES, R. The effect of social networks structure on innovation performance: a review and directions for research. **Inter. J. of Research in Marketing**, v. 36, n. 1, p. 3-19, 2019.
- NDABENI, L.L.; ROGERSON, C.M.; BOOYENS, I. Innovation and local economic development policy in the global south: new South African perspectives. **Local Economy**, v. 31, n. 1-2, p. 299-311, 2016.
- NELSON, R. R.; NELSON, K. Technology, institutions, and innovation systems. **Research Policy**, v. 31, n. 2, p. 265-272, 2002.



- NEWMAN, M. E. J. Modularity and community structure in networks. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 103, n. 23, p. 8577-8582, 2006.
- PAROLIN, S.R., SEGATTO, A.P., BONFIM, L.R.C., ESPINDOLA, T. Organizational culture for cooperation in technological innovation between research institutes and firms. **J. of Techn. Manag. & Innovation**, v. 15, n. 2, p. 23-40, 2020.
- PEREIRA, C. G.; SILVA, R. R.; LAVOIE, J. R.; PORTO, G. S. Technological cooperation network in biotechnology: analysis of patents with Brazil as the priority country. **Innovation & Manag. Review**, v. 15, n. 4, p. 416-434, 2018.
- PINHEIRO, F. L.; BALLAND, P.-A.; BOSCHMA, R.; HARTMANN, D. The dark side of the geography of innovation: relatedness, complexity and regional inequality in Europe. **Regional Studies**, 2022.
- ROJAS, F.; HUERGO, E. Characteristics of entrepreneurs and public support for NTBFs. **Small Business Economics**, v. 47, n. 2, p. 363-382, 2016.
- SCHÜTZ, F.; SCHROTH, F.; MUSCHNER, A.; SCHRAUDNER, M. Defining functional roles for research institutions in helix innovation networks. **J. of Techn. Manag. & Innovation**, v. 13, n. 4, p. 47-53, 2018.
- SCOTT, J. **Social network analysis**. 4. ed. London: Sage Publications, 2017.
- WASSERMAN, S.; FAUST, K. **Social network analysis: methods and applications**. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.
- WATTS, D. J.; STROGATZ, S. H. Collective dynamics of 'small-world' networks. **Nature**, v. 393, n. 4, p. 440-442, 1998.
- ZHANG, Y.; CHEN, K.; FU, X. Scientific effects of Triple Helix interactions among research institutes, industries and universities. **Technovation**, v. 86-87, p. 33-47, 2019.
- ZHAO, S.; LI, J. Impact of innovation network on regional innovation performance: do network density, network openness and network strength have any influence? **J. of Science and Techn. Policy Manag.**, 2022.
- ZHENG, X.; ZHAO, Y. The impact of alliance network structure on firm innovation capability an empirical study of ten high-tech industries in China. **J. of Science and Techn. Policy in China**, v. 4, n. 1, p. 4-19, 2013.

