

## **O Papel do Laboratório na Conexão das Redes de Colaboração Científica e Tecnológica dos Pesquisadores**

### **Autoria**

Alexandre Aparecido Dias - alexandredias\_usp@yahoo.com.br

Prog de Pós-Grad em Admin de Organizações - PPGA/O/FEA-RP/USP - Facul de Economia, Admin e Contab de Ribeirão Preto/Univ de São Paulo

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais

Sérgio Kannebley Júnior - skj@usp.br

Prog de Pós-Grad em Admin de Organizações - PPGA/O/FEA-RP/USP - Facul de Economia, Admin e Contab de Ribeirão Preto/Univ de São Paulo

### **Resumo**

Este estudo tem como objetivo analisar como a participação em diferentes tipos de laboratórios nos quais os pesquisadores trabalham determina a importância que eles possuem nas suas redes de colaboração científica e tecnológica e o papel do laboratório na conexão entre elas. Utilizamos uma base de dados para 1.756 laboratórios de pesquisa brasileiros e após detectarmos 455 inventores de patentes, construímos duas redes sociais para representar suas relações de colaboração científica e tecnológica. Em seguida, adotamos um modelo multinomial e estimamos como diferentes tipos de laboratórios determinam a importância dos inventores em ambas redes. Verificamos que os inventores que participam dos laboratórios de média escala, orientados para as atividades de ensino, pesquisa e desenvolvimento tecnológico estão associados a uma maior importância tanto na rede de colaboração científica quanto tecnológica, indicando que os efeitos de complementariedade entre ciência e tecnologia (C&T) também são capturados pela organização social da pesquisa.

## O Papel do Laboratório na Conexão das Redes de Colaboração Científica e Tecnológica dos Pesquisadores

### Resumo

Este estudo tem como objetivo analisar como a participação em diferentes tipos de laboratórios nos quais os pesquisadores trabalham determina a importância que eles possuem nas suas redes de colaboração científica e tecnológica e o papel do laboratório na conexão entre elas. Utilizamos uma base de dados para 1.756 laboratórios de pesquisa brasileiros e após detectarmos 455 inventores de patentes, construímos duas redes sociais para representar suas relações de colaboração científica e tecnológica. Em seguida, adotamos um modelo multinomial e estimamos como diferentes tipos de laboratórios determinam a importância dos inventores em ambas redes. Verificamos que os inventores que participam dos laboratórios de média escala, orientados para as atividades de ensino, pesquisa e desenvolvimento tecnológico estão associados a uma maior importância tanto na rede de colaboração científica quanto tecnológica, indicando que os efeitos de complementariedade entre ciência e tecnologia (C&T) também são capturados pela organização social da pesquisa.

**Palavras-chave:** redes de colaboração; ciência e tecnologia; laboratórios de pesquisa; análise de redes sociais; economia da ciência.

### 1 Introdução

A ciência moderna está fortemente apoiada em uma estrutura de produção na qual o trabalho em equipe, a colaboração e a interdisciplinaridade são algumas de suas principais características (REY-ROCHA; MARTÍN-SEMPERE; GARZÓN-GARCÍA, 2002). Isto tem despertado um interesse crescente da academia em melhor compreender a organização social da pesquisa e a estrutura dos relacionamentos sobre a qual a sua produção se apoia.

Neste contexto, a análise de redes sociais tem sido utilizada para entender a relação entre as redes de colaboração científica e tecnológica, com destaque para os trabalhos de Breschi e Catalini (2010), Wang e Guan (2011) e De Stefano e Zaccarin (2013). Entretanto, a literatura ainda não considerou o contexto no qual os pesquisadores estão inseridos: o laboratório. De acordo com Stephan (2012), o laboratório é geralmente o local no qual os pesquisadores trabalham de forma colaborativa para realizar as atividades de pesquisa, desenvolvendo projetos, ou manuseando equipamentos, materiais ou animais específicos. Assim, adicionamos a nossa contribuição à literatura ao analisar como a participação em diferentes tipos de laboratórios nos quais os pesquisadores trabalham determina a importância que eles possuem nas suas redes de colaboração científica e tecnológica e o papel do laboratório na conexão entre as redes de colaboração científica e tecnológica.

Este artigo está organizado em cinco seções, incluindo a seção introdutória. Na seção 2, apresentamos uma revisão da literatura sobre redes de colaboração científica e tecnológica. A terceira seção apresenta a base de dados e a proposta metodológica do artigo. Na quarta seção apresentamos os resultados dos modelos econométricos. Finalmente, a última seção sumariza as considerações finais do artigo.

### 2 Revisão da literatura

A rede de um cientista é fundamental para reforçar suas próprias capacidades e contribuir com sua produtividade científica e tecnológica. Para isso, a rede deve fornecer ao indivíduo acesso a uma ampla gama de recursos. Caso contrário, ela pode ter uma influência negativa ou até mesmo restringir o desempenho do pesquisador devido a um efeito negativo na conectividade entre os seus elos ou à má qualidade ou redundância dos recursos fornecidos através dela (VILLANUEVA-FELLEZ; MOLAS-GALLART; ESCRIBÁ-ESTEVE, 2013).

Especificamente, as evidências empíricas sugerem que as redes de coautoria tendem a possuir uma estrutura associada ao modelo *small world*, cuja configuração apresenta alta conectividade dos nós e, ao mesmo tempo, uma pequena distância média entre as regiões da rede (DE STEFANO et al., 2013). Assim, a presença simultânea de densos agrupamentos (*clusters*) caracterizados por pequenas distâncias entre eles indica um mecanismo pelo qual o conhecimento flui entre os nós. Já as redes de colaboração tecnológica são impactadas fortemente pela proximidade geográfica e mais do que isso, os inventores tendem a investir em laços sociais com indivíduos de sua localidade anterior. Breschi e Lissoni (2004) verificaram que dois inventores que trabalharam juntos em pelo menos uma patente estão predispostos a manter-se em contato depois disso, ou serão capazes de entrar em contato novamente para trocar informações ou compartilhar ativos de conhecimento. Dessa forma, as redes de coautoria tendem a ser fragmentadas com uma grande quantidade de pequenos componentes desconectados (BRESCHI; CATALINI, 2010), já que as invenções são feitas por grupos mais herméticos comparativamente aos artigos (DE STEFANO; ZACCARIN, 2013).

A literatura geralmente associa o desempenho em pesquisa à posição que um pesquisador ocupa na rede. Diversas evidências reunidas por Bordons et al. (2015) sugerem que os cientistas com maior número de interações (*degree centrality*) ou aqueles que estão perto de todos os outros na rede (*closeness centrality*) são susceptíveis de obter melhor desempenho nos níveis e na qualidade da produção científica. O mesmo acontece com os pesquisadores que possuem laços fortes, ou seja, aqueles que mantêm repetidas relações de coautoria (LIU, 2015). Gonzalez-Brambila, Veloso e Krackhardt (2013), por exemplo, constataram que os trabalhos dos cientistas que estabelecem mais vínculos estão propensos a ter mais impacto, ou seja, tendem a receber mais citações. Segundo os autores, este resultado sugere que a amplitude e a profundidade dos relacionamentos que os pesquisadores estabelecem entre si podem proporcionar uma diversidade de ideias promissoras, resultando em publicações de maior qualidade.

Em termos das áreas de conhecimento, Jansen, Gortz e Heidler (2010) concluíram que em áreas paradigmáticas os conhecimentos tendem a ser semelhantes, o que beneficia a conectividade das redes de colaboração. Já em áreas emergentes o desempenho é afetado pela presença de buracos estruturais nas redes, portanto, os cientistas cujo papel é articular diferentes conhecimentos são muito mais determinantes. Características de redes de pesquisa bem conectadas foram encontradas nas áreas de Estatística e Astrofísica, enquanto nas áreas de Farmacologia e Nanociência as redes apresentaram um perfil mais fragmentado.

Para De Stefano e Zaccarin (2013), a produção de conhecimento científico e tecnológico implica na participação coletiva de pesquisadores com múltiplas habilidades e competências. Essa intersecção foi capturada pela rede dos autores que colaboraram para o desenvolvimento de patentes e artigos, simultaneamente. As evidências sugerem que a formação desse tipo de conexão se beneficia principalmente da complementariedade e não da redundância das competências técnicas e científicas. Além disso, os pesquisadores não consideram apenas as suas próprias possibilidades de troca, mas também o potencial de troca dos parceiros, o que envolve o compartilhamento de uma base similar de recursos. Breschi e Catalini (2010) concluíram que os autores-inventores ocupam posições proeminentes nas redes científicas e tecnológicas, cumprindo a função crucial de intermediários de conhecimento entre os dois mundos. Entretanto, as evidências sugerem que manter uma posição central na rede científica ocorre às custas da capacidade de assegurar a mesma importância na rede tecnológica (e vice-versa).

Ao analisarem a interação entre a atividade científica e os outputs tecnológicos na área de nanotecnologia na China, Wang e Guan (2011) verificaram que tanto a rede de colaboração científica quanto tecnológica mostraram-se fragmentadas. Entretanto, ao combiná-las em uma única rede a extensão da conectividade aumentou não apenas entre os inventores, mas também

entre os autores. Observou-se que a maioria dos inventores mais prolíficos e dos autores mais citados pertence ao grupo dos autores-inventores, o que sugere efeitos de complementariedade entre o patenteamento e a publicação. Posto isto, é possível afirmar que a relação entre C&T é complexa, dinâmica e não linear. Ao compreender como esses domínios interagem é preciso explicitar a complexidade que regem as relações desses atores. De acordo com Fenwick e Edwards (2014), a intenção humana que rege as interações é apenas uma dimensão das redes de colaboração, cujo sucesso também depende da conexão de um conjunto de recursos que permitem que essas associações se formem. Analisaremos o papel do laboratório nesse processo.

### 3 Os dados e a metodologia proposta

Este estudo é baseado em uma amostra de 1.756 laboratórios de pesquisa públicos brasileiros. Os dados primários foram coletados por meio da administração de um questionário aos coordenadores dos laboratórios e tendo 2012 como ano base. Esta base de dados resultou do esforço combinado de várias agências públicas brasileiras<sup>1</sup> e foi operacionalizada pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). A amostra foi definida com base nas áreas científicas priorizadas pela Estratégia de Ciência, Tecnologia e Inovação para o período de 3 anos de 2012 a 2015, formulado pelo MCTI. Aproximadamente 4.500 laboratórios foram identificados, ligados a aproximadamente 180 instituições científicas e tecnológicas. A pesquisa foi conduzida usando um formulário eletrônico, com uma taxa de resposta de 43%.

Os laboratórios identificados estão predominantemente localizados na região sudeste: estados de São Paulo (24%), Rio de Janeiro (19%) e Minas Gerais (13%). Suas áreas médias variam de acordo com as regiões do país em que estão localizadas. Os que estão localizados na região norte têm a maior área média (1.462 m<sup>2</sup>), seguidos pelos laboratórios das regiões nordeste (412 m<sup>2</sup>), sudeste (345 m<sup>2</sup>), sul (263 m<sup>2</sup>) e centro-oeste (228 m<sup>2</sup>). Em relação aos seus principais campos de conhecimento, os laboratórios estão focados nos campos científicos das Engenharias (28%), Ciências Exatas e da Terra (21%), Ciências Biológicas (18%), Ciências Agrárias (12%) e Ciências da Saúde (4%), e 17% realizam pesquisas multidisciplinares. Ao propor uma tipologia que combina variáveis ligadas à escala (estrutura de pessoal) e ao escopo (atividades realizadas) deste conjunto de laboratórios, Dias (2017) identificou cinco tipos de laboratórios (Tabela 1). Essa caracterização será essencial para compreender como cada tipo de laboratório pode interferir nas redes de coinvenção e coautoria dos inventores.

#### Tipo 1: Laboratórios focados em serviços tecnológicos

Este grupo inclui 74 laboratórios, a maioria dos quais são institutos de pesquisa (40,54%) e uma parcela significativa, 36,49%, são institutos técnicos. Eles se concentram nas Engenharias (41,89%) e nas Ciências Exatas e da Terra (20,27%). Este cluster tem uma estrutura média de pessoal composta por 14,82 indivíduos, predominantemente técnicos (57,4%). Esses laboratórios concentram-se predominantemente nas atividades relacionadas a serviços tecnológicos. Aproximadamente 95% dos laboratórios mantêm colaborações com outros laboratórios e/ou empresas brasileiras ou estrangeiras.

#### Tipo 2: Laboratórios de baixa escala

Este grupo inclui 465 laboratórios, dos quais 50,32% são institutos de pesquisa ou técnicos. Eles são predominantemente focados nas Engenharia (34,41%) e Ciências Exatas e da Terra (21,72%). Possuem uma estrutura de pessoal menor (média de 7,81 indivíduos), predominantemente composta por pesquisadores permanentes (61,57%) e técnicos (25,45%). As atividades de pesquisa são realizadas continuamente por apenas 41,72% desses laboratórios. Além disso, este grupo tem proporcionalmente o maior número de laboratórios cujos pesquisadores não estão envolvidos em atividades de colaboração (30,11%).

#### Tipo 3: Laboratórios universitários focados em ensino e pesquisa

Este grupo inclui 788 laboratórios que operam predominantemente nas Ciências Biológicas (26,02%), com menor parcela ligada às Engenharias (22,21%) e às Ciências Exatas e da Terra (22,08%). Estão principalmente ligados

<sup>1</sup> Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP).

a universidades (83,63%) e, em média, possuem uma estrutura de pessoal de 14,93 indivíduos. A porcentagem de pesquisadores permanentes com doutorado é alta (94,76%), a equipe permanente seja pequena (35%). Além disso, os estudantes de pós-graduação representam 54,6% da equipe desses laboratórios. Os laboratórios deste grupo estão mais envolvidos em atividades de pesquisa (96,95%) e ensino (43,15%).

#### Tipo 4: Laboratórios universitários de média escala

Este grupo inclui 313 laboratórios, dos quais 69,65% estão ligados a universidades. Embora as Engenharia e as Ciências Exatas e da Terra sejam as áreas predominantes neste cluster (26,84% e 17,57%, respectivamente), uma parcela significativa desses laboratórios atua nas Ciências Agrárias (17,25%). A equipe consta de 22,83 indivíduos, em média, dos quais apenas 33,85% são pesquisadores permanentes. No entanto, 83,2% possuem doutorado. Os alunos de pós-graduação representam a maior parte da estrutura da equipe (43,98%). Este grupo está fortemente associado a atividades de pesquisa (99,36%), desenvolvimento tecnológico (68,69%) e ensino (59,11%) e proporcionalmente tem o segundo maior número de laboratórios que mantêm relações colaborativas (98,4%).

#### Tipo 5: Laboratórios de larga escala e escopo multidisciplinar

Este grupo inclui 116 laboratórios, dos quais 68,10% estão vinculados a universidades, operando predominantemente em múltiplas áreas do conhecimento (31,89%) e nas Engenharias (30,17%). Eles possuem a maior estrutura média de pessoal (31,14 indivíduos). As características que se destacam são a participação dos estudantes de pós-graduação (39,71%) e técnicos (31,92%). Este cluster possui uma alta porcentagem de laboratórios que realizam continuamente várias atividades, incluindo ensino, pesquisa, desenvolvimento tecnológico, serviços tecnológicos e extensão tecnológica. Além disso, todos os laboratórios relataram manter colaborações.

Fonte: Dias (2017, p. 60).

**Tabela 1** – Tipologia dos laboratórios brasileiros

Um total de 5.200 pesquisadores permanentes<sup>2</sup> foram identificados na base de dados, a partir dos quais detectamos que 455 são inventores doutores de 629 depósitos de pedidos de patentes no período de 2009 a 2013. Os dados sobre a produção tecnológica dos inventores foram obtidos com base em uma ampla consulta no website do INPI e no Thomson Innovation. A fim de compreender a relação entre as redes de colaboração científica e tecnológica dos inventores, mapeamos um total de 8.787 artigos publicados por eles na Plataforma Lattes do CNPq no mesmo período. Em uma rede social as pessoas ou grupos são denominados de “atores” ou “nós” e as conexões são chamadas de “laços” que expressam as relações entre eles (ABBASI et al., 2011). Assim, similar a Breschi e Catalini (2010) adotamos que existe uma ligação de coautoria quando dois atores compartilham a autoria de um artigo e uma ligação de coinvenção quando dois atores compartilham a invenção de uma patente. A partir dessas relações, construímos duas redes sociais utilizando o Gephi: uma que incluiu os laços de coinvenção e outra que incluiu os laços de coautoria dos inventores, constituídas por 1.917 e 22.020 nós, respectivamente.

Como estamos interessados em compreender como a participação em diferentes tipos de laboratórios determina a importância que os inventores possuem em suas redes de coautoria e coinvenção, adotamos como medidas de importância dos nós das redes as centralidades de intermediação e proximidade, similar a Breschi e Catalini (2010), e a centralidade de autovetor, também adotada por Cimenler, Reeves e Skvoretz (2014). Os índices, padronizados entre 0 e 1, representam o seguinte:

1. Centralidade de intermediação: indica quanto um nó faz papel de conector e expressa o controle que um nó exerce sobre o fluxo de informação e outros recursos (NEWMAN, 2008). É determinada por:

$$Ce_i^B(g) = \sum_{k \neq j: i \in \{k, j\}} \frac{P_i(kj) / P(kj)}{(n-1)(n-2)/2} \quad (1)$$

<sup>2</sup> Similar a Carayol e Matt (2004), os pesquisadores permanentes foram definidos como aqueles com contrato de trabalho ou funcionários públicos com mestrado ou doutorado.

onde  $P_i(kj)$  representa o número de geodésicas (caminhos mais curtos) que conectam os nós  $k$  e  $j$  entre os quais se encontra  $i$  e  $P(kj)$  refere-se ao número total de geodésicas entre  $k$  e  $j$  e  $n$  corresponde ao número de nós (JACKSON, 2008).

2. Centralidade de autovetor: considera não apenas a conectividade ou a densidade das ligações de um nó, mas também a importância dos nós vizinhos. A relevância atribuída a um determinado nó é determinada tanto pelo número de conexões, como pela proporção com a qual ele se relaciona com nós influentes (CHERVEN, 2015). Ela é expressa por:

$$\lambda Ci^e(g) = \sum_j g_{ij} Ci^e(g), \quad (2)$$

onde a centralidade do nó é proporcional à soma da centralidade dos vizinhos e  $\lambda$  é o fator de proporcionalidade, também denominado *eigenvalue*. O elemento da equação da rede ( $g$ ) denominado *eigenvector* é representado por  $Ci^e(g)$  (JACKSON, 2008).

3. Centralidade de proximidade: expressa o quanto um determinado nó se encontra próximo dos outros e pode ser interpretada como uma medida de quanto tempo leva para a informação se espalhar na rede (BRESCHI; CATALINI, 2010). Formalmente, a medida de proximidade é apenas o inverso da distância média entre  $i$  e qualquer outro nó  $j$ :  $(n - 1) / \sum_{j \neq i} \ell(i, j)$ , onde  $\ell(i, j)$  é o número de ligações no caminho mais curto entre  $i$  e  $j$  (JACKSON, 2008). No Gephi, um nó com forte centralidade de proximidade representa que ele possui caminhos mais curtos para alcançar os outros nós dentro da rede. Como estamos falando sobre quantos passos é necessário para um nó alcançar todos os outros, quanto menor esse indicador maior será a sua importância em termos da proximidade com os demais (CHERVEN, 2015).

Para estimar como a participação em diferentes tipos de laboratórios nos quais os inventores trabalham determina a importância que eles possuem em suas redes de coinvenção e coautoria, adotamos um modelo multinomial logit com resultados ordenados para estimar como uma variável latente,  $y^*$ , atravessa limites progressivamente mais elevados de um conjunto de categorias das distribuições das centralidades de intermediação, autovetor e proximidade dos nós de ambas as redes. Dessa forma, podemos detectar a associação entre as variáveis independentes do modelo e a probabilidade dos inventores pertencerem a diferentes categorias dessas distribuições. O modelo é especificado da seguinte forma:

$$y_i^* = x'_i \beta + u_i, \quad (3)$$

Nessa formulação, o vetor  $x$  é composto por variáveis *dummies* que vinculam os indivíduos aos clusters discriminados por Dias (2017), além das variáveis de controle de senioridade, gênero e áreas do conhecimento dos pesquisadores. A categoria de referência são os indivíduos que pertencem a mais de um laboratório (multilabs<sup>3</sup>). As áreas de atuação dos inventores foram extraídas na Plataforma Lattes do CNPq (Ciências Agrárias; Ciências Biológicas; Engenharias; Ciências Exatas e da Terra; Ciências da Saúde; e uma denominada Outras para a combinação de duas ou mais dessas áreas). A variável de senioridade representa a diferença entre 2013 e o ano de obtenção do título de doutorado dos inventores.

Dadas as distribuições empíricas das medidas de centralidade adotadas, consideramos três categorias (baixa, média e alta) na modelagem econométrica, tanto para os indicadores reportados na rede de coinvenção quanto na rede de coautoria dos inventores. De acordo com Cameron e Trivedi (2009), para um modelo ordenado de  $m$  categorias define-se que

$$y_i = j \text{ se } \alpha_{j-1} < y_i^* < \alpha_j, \quad j = 1, \dots, m \quad (4)$$

onde  $\alpha_0 = -\infty$  e  $\alpha_m = \infty$ , logo:

$$\begin{aligned} \Pr(y_i = j) &= \Pr(\alpha_{j-1} < y_i^* \leq \alpha_j) \\ &= \Pr(\alpha_{j-1} < x'_i \beta + u_i \leq \alpha_j) \\ &= \Pr(\alpha_{j-1} - x'_i \beta < u_i \leq \alpha_j - x'_i \beta) \end{aligned} \quad (5)$$

<sup>3</sup> Detectamos que 47 inventores estão vinculados a mais de um tipo de laboratório.

$$= F(\alpha_j - x'_i \beta) - F(\alpha_{j-1} - x'_i \beta)$$

em que  $F$  é a função de distribuição cumulativa de  $u_i$  e  $u$  é distribuído logisticamente com  $F(z) = e^z / (1 + e^z)$ .

Já o efeito marginal na probabilidade de o indivíduo se encontrar em uma categoria  $j$  quando o regressor  $x_i$  muda é dado por

$$\frac{\partial \Pr(y_i = j)}{\partial x_{ri}} = \{F'(\alpha_{j-1} - x'_i \beta) - F'(\alpha_j - x'_i \beta)\} \beta_r \quad (6)$$

#### 4 Resultados

Os resultados dos efeitos marginais das regressões em que as variáveis dependentes são as centralidades de intermediação, autovetor e proximidade obtidas na rede de coinvenção dos inventores estão apresentados na Tabela 3. O grupo de referência para o tipo de laboratório é o multilabs e para a área de atuação é a Engenharias. De um modo geral, podemos verificar que os inventores dos laboratórios dos tipos 1, 2 e 5 apresentam diferenciais inferiores nas probabilidades nas categorias que representam fortes centralidades, indicando que tendem a ser menos importantes comparados ao grupo de referência em pelo menos uma das medidas de centralidade adotadas. Em relação à centralidade de intermediação, os inventores dos laboratórios 1 e 5 possuem probabilidades 19,23% e 13,26% maiores de pertencerem à faixa mais baixa da distribuição e diminuem quando a variável latente cruza as categorias média e alta. Por exemplo, os inventores destes laboratórios possuem uma probabilidade 6,07% e 4,57% menor de pertencerem a categoria alta da distribuição da centralidade de intermediação, respectivamente.

Os inventores dos laboratórios do tipo 2 estão associados a uma probabilidade 26,84% maior de pertencerem à categoria baixa da distribuição da centralidade de autovetor, enquanto as probabilidades são 20,27% e 6,46% menores para as categorias média e alta. Ao analisar os resultados para a centralidade de proximidade é importante reforçar que quanto maior a medida que um nó possui, mais distante ele está dos demais dentro da rede. Assim, podemos verificar que os inventores dos laboratórios do tipo 2 tendem a estar mais distantes dos outros nós na rede de coinvenção. Os resultados reportados apontam que eles possuem probabilidades 5,43% e 13,98% menor de ocuparem as categorias baixa e média da distribuição, respectivamente. Por outro lado, estão associados a uma probabilidade 19,41% maior de ocuparem a categoria alta, o que significa que é mais provável que eles se encontrem mais distantes dos demais nós da rede e, portanto, possuem uma fraca centralidade de proximidade comparativamente ao grupo de referência.

Em termos das áreas de atuação, podemos destacar que os inventores das áreas de Ciências Biológicas, Ciências Exatas e da Terra e os que atuam em mais de uma área estão associados a um aumento da probabilidade de pertencerem às categorias mais elevadas da distribuição da centralidade de autovetor. Já os inventores das Ciências da Saúde, embora possuam probabilidades estatisticamente semelhantes às do grupo de referência na categoria alta das diferentes medidas de centralidade, são menos prováveis de ocuparem a categoria baixa das centralidades de intermediação (-29,25%) e autovetor (-23,43%) e mais prováveis de ocuparem a categoria média dessas medidas, com probabilidades 13,46% e 11,31% maiores. Podemos destacar ainda que os inventores que trabalham em mais de uma área são os únicos que tendem a possuir uma forte centralidade de proximidade. Ou seja, possuem probabilidade 5,52% maior de se encontrarem mais próximos e 15,53% menor de se encontrarem mais distantes dos demais nós da rede de coinvenção.

Por fim, não encontramos significância estatística para o gênero, enquanto a senioridade parece determinar a importância dos inventores quando ela é ponderada pelas centralidades de autovetor e proximidade. O aumento da experiência em pesquisa, entretanto, parece estar

negativamente associado à importância que os inventores possuem na rede de coinvenção. Um ano adicional na senioridade significa uma probabilidade 0,58% maior de pertencer à categoria baixa, 0,39% menor de pertencer à categoria média e 0,19% menor de pertencer à categoria alta da centralidade de autovetor. Já para a centralidade de proximidade as probabilidades são 0,44% menor, 0,85% menor e 1,29% maior de pertencer às categorias baixa, média e alta, respectivamente.

Variáveis	Centralidade de intermediação			Centralidade de autovetor			Centralidade de proximidade		
	Baixa	Média	Alta	Baixa	Média	Alta	Baixa	Média	Alta
Labs_1	0.1923** (0.0941)	-0.1316* (0.0696)	-0.0607** (0.0260)	0.0012 (0.1473)	-0.0008 (0.0989)	-0.0004 (0.0483)	0.0059 (0.0526)	0.0112 (0.0971)	-0.0171 (0.1497)
Labs_2	0.0711 (0.0973)	-0.0461 (0.0653)	-0.0251 (0.0323)	0.2684** (0.1064)	-0.2037** (0.0879)	-0.0646*** (0.0206)	-0.0543** (0.0229)	-0.1398* (0.0730)	0.1941** (0.0945)
Labs_3	0.0997 (0.0722)	-0.0630 (0.0463)	-0.0367 (0.0265)	-0.0769 (0.0839)	0.0506 (0.0546)	0.0262 (0.0298)	0.0207 (0.0285)	0.0394 (0.0522)	-0.0601 (0.0805)
Labs_4	0.0403 (0.0752)	-0.0254 (0.0480)	-0.0149 (0.0273)	-0.0783 (0.0874)	0.0508 (0.0550)	0.0275 (0.0329)	0.0161 (0.0302)	0.0303 (0.0543)	-0.0465 (0.0844)
Labs_5	0.1326* (0.0710)	-0.0869* (0.0489)	-0.0457** (0.0231)	-0.0813 (0.0928)	0.0518 (0.0558)	0.0295 (0.0373)	-0.0290 (0.0260)	-0.0635 (0.0630)	0.0925 (0.0885)
Agrar.	-0.0136 (0.1144)	0.0084 (0.0702)	0.0052 (0.0442)	-0.1166 (0.1230)	0.07001 (0.0638)	0.0466 (0.0598)	-0.0152 (0.0392)	-0.0324 (0.0901)	0.0477 (0.1292)
Biol.	0.1169 (0.0721)	-0.0764 (0.0493)	-0.0405* (0.0235)	-0.2549*** (0.0697)	0.1331*** (0.0275)	0.1218** (0.0491)	0.0195 (0.0320)	0.0353 (0.0536)	-0.0548 (0.0854)
Exatas	-0.0576 (0.0790)	0.0349 (0.0464)	0.0227 (0.0327)	-0.1718** (0.0757)	0.1002*** (0.0373)	0.0717* (0.0406)	0.0491 (0.0376)	0.0788 (0.0485)	-0.1279 (0.0853)
Saude	-0.2925** (0.1337)	0.1346*** (0.0351)	0.1579 (0.1040)	-0.2343** (0.1105)	0.1131*** (0.0270)	0.1211 (0.0897)	0.0792 (0.0839)	0.1038 (0.0679)	-0.1830 (0.1506)
Outras	-0.0713 (0.0585)	0.0441 (0.0359)	0.0273 (0.0230)	-0.1890*** (0.0611)	0.1216*** (0.0389)	0.0674*** (0.0249)	0.0552** (0.0244)	0.1001** (0.0404)	-0.1553** (0.0633)
Gênero	-0.0340 (0.0496)	0.0214 (0.0316)	0.0126 (0.0182)	-0.0731 (0.0526)	0.0501 (0.0370)	0.0230 (0.0160)	0.0003 (0.0174)	0.0007 (0.0342)	-0.0010 (0.0516)
Senior.	-0.0017 (0.0028)	0.0011 (0.0017)	0.0006 (0.0010)	0.0058* (0.0030)	-0.0039** (0.0019)	-0.0019* (0.0010)	-0.0044*** (0.0011)	-0.0085*** (0.0022)	0.0129*** (0.0032)

\*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1

**Tabela 3** – Efeitos marginais das categorias dos índices de centralidade contra os tipos de laboratório, as áreas de atuação dos inventores, o gênero e a senioridade – rede de coinvenção

Os resultados dos efeitos marginais das regressões em que as variáveis dependentes são as centralidades de intermediação, autovetor e proximidade obtidas na rede de coautoria dos inventores estão apresentados na Tabela 4. Assim como na rede de coinvenção, verificamos que os inventores dos laboratórios dos tipos 1, 2 e 5 também apresentam probabilidades estatisticamente diferentes em relação ao grupo de referência em pelo menos uma das medidas de importância adotadas. Os inventores dos laboratórios do tipo 1 estão associados a uma redução na probabilidade de pertencerem às categorias mais elevadas da distribuição da centralidade de intermediação, que são 25,09% e 5,57% menores nas categorias média e alta, respectivamente. Estes inventores também possuem probabilidades 9,81% menor de pertencerem à categoria alta da distribuição da centralidade de autovetor e 14,04% menor de pertencerem à categoria baixa da distribuição da centralidade de proximidade. Assim, seja qual for a ponderação da importância dos nós utilizada, os inventores dos laboratórios do tipo 1 são menos prováveis de ocuparem posições centrais na rede de coautoria.

Encontramos evidências que os inventores dos laboratórios do tipo 2 tendem a ocupar posições menos centrais na rede de coautoria quando a importância é ponderada pelas

centralidades de intermediação e autovetor. No primeiro caso, eles estão associados a probabilidades 25,89% maior, 20,83% menor e 5,06% menor de pertencerem às categorias baixa, média e alta. Ao considerar a centralidade de autovetor, eles possuem probabilidades 21,45% maior e 12,38% menor de pertencerem às categorias baixa e alta, respectivamente.

Os inventores dos laboratórios do tipo 5 também são menos prováveis de ocupar posições centrais em termos da centralidade de intermediação. À medida que a distribuição desse indicador alcança as categorias média e alta, as probabilidades de pertencerem a elas passam a ser 14,21% e 4,10% menores. Por sua vez, os inventores dos laboratórios do tipo 5, assim como os do 3, tendem a possuir uma centralidade de proximidade mais forte comparativamente ao grupo de referência. Nesses dois tipos de laboratórios, encontramos probabilidades maiores de os inventores participarem da categoria baixa e probabilidades menores de pertencerem às categorias média e alta, indicando que eles possuem caminhos mais curtos para alcançar os outros nós dentro da rede. Os inventores dos laboratórios do tipo 5, entretanto, estão associados a melhores probabilidades de ocupar posições centrais, que são 19,12% maior na categoria baixa, 13,94% menor na categoria média e 5,18% menor na categoria alta.

No que se refere às áreas de atuação dos inventores, encontramos que, basicamente, os inventores da área de Engenharias tendem a ocupar posições menos centrais na rede de coautoria. Particularmente, os inventores de todas as demais áreas ocupam posições mais centrais quando a importância dos nós é ponderada pelas centralidades de intermediação e autovetor. Neste caso, destacam-se os inventores da área de Ciências da Saúde, com probabilidades 19,22% e 66,36% maiores de pertencerem à categoria alta da distribuição das centralidades de intermediação e autovetor, respectivamente. Quanto à centralidade de proximidade, os inventores das Ciências Biológicas, Ciências Exatas e da Terra e os que atuam em mais de uma área estão susceptíveis a se encontrarem mais distantes dos demais nós da rede.

Na rede de coautoria, ainda verificamos que a senioridade é ainda mais determinante para a importância dos atores do que na rede de coinvenção. Neste caso, encontramos uma relação de determinação com significância estatística de 1% sobre todas as medidas de centralidade em praticamente todas as categorias das distribuições. Os resultados também reportaram significância ao nível de 10% para o gênero sobre a centralidade de intermediação, sugerindo que os homens possuem, comparativamente às mulheres, probabilidades 8,99% menor e 2,28% maior de pertencerem às categorias baixa e alta da distribuição desse indicador. Isso pode indicar que pelo menos na rede de coautoria os homens exerceriam maior controle sobre o fluxo de informação e outros recursos.

Variáveis	Centralidade de intermediação			Centralidade de autovetor			Centralidade de proximidade		
	Baixa	Média	Alta	Baixa	Média	Alta	Baixa	Média	Alta
Labs_1	0.3066** (0.1233)	-0.2509** (0.1087)	-0.0557*** (0.0171)	0.1536 (0.1395)	-0.0555 (0.0832)	-0.0981* (0.0577)	-0.1404** (0.0602)	0.0252 (0.0437)	0.1152 (0.0998)
Labs_2	0.2589** (0.1032)	-0.2083** (0.0891)	-0.0506*** (0.0164)	0.2145* (0.1161)	-0.0907 (0.0787)	-0.1238*** (0.0402)	-0.0158 (0.0904)	0.0091 (0.0498)	0.0067 (0.0407)
Labs_3	0.1317 (0.0810)	-0.0979 (0.0613)	-0.0339* (0.0205)	0.0373 (0.0541)	-0.0016 (0.0058)	-0.0357 (0.0499)	0.1213* (0.0687)	-0.0771* (0.0469)	-0.0442* (0.0234)
Labs_4	0.1227 (0.0847)	-0.0925 (0.0657)	-0.0303 (0.0197)	0.0328 (0.0574)	-0.0021 (0.0075)	-0.0307 (0.0508)	0.0941 (0.0741)	-0.0615 (0.0525)	-0.0326 (0.0224)
Labs_5	0.1830** (0.0871)	-0.1421** (0.0712)	-0.0410** (0.0172)	0.0507 (0.0656)	-0.0063 (0.0159)	-0.0444 (0.0507)	0.1912** (0.0899)	-0.1394* (0.0742)	-0.0518*** (0.0180)
Agrar.	-0.3448*** (0.0716)	0.1388*** (0.0343)	0.2060** (0.0930)	-0.1716*** (0.0243)	-0.2482*** (0.0943)	0.4198*** (0.1104)	0.0405 (0.0988)	-0.0263 (0.0684)	-0.0142 (0.0305)
Biol.	-0.3635*** (0.0597)	0.1783*** (0.0267)	0.1852*** (0.0576)	-0.2482*** (0.0243)	-0.3465*** (0.0575)	0.5947*** (0.0630)	-0.2114*** (0.0319)	0.0104 (0.0415)	0.2010*** (0.0616)

Exatas	-0.2318*** (0.0739)	0.1426*** (0.0367)	0.0892** (0.0415)	-0.2095*** (0.0243)	-0.2405*** (0.0633)	0.4500*** (0.0750)	-0.1636*** (0.0377)	0.0415* (0.0238)	0.1221** (0.0504)
Saude	-0.3298*** (0.0893)	0.1376*** (0.0339)	0.1922* (0.1114)	-0.2002*** (0.0207)	-0.4634*** (0.0786)	0.6636*** (0.0824)	-0.1089 (0.0694)	0.0359** (0.0150)	0.0730 (0.0771)
Outras	-0.2638*** (0.0623)	0.1827*** (0.0428)	0.0810*** (0.0240)	-0.2282*** (0.0360)	-0.0361 (0.0277)	0.2643*** (0.0460)	-0.1316*** (0.0441)	0.0726*** (0.0252)	0.0591*** (0.0228)
Gênero	-0.0899* (0.0541)	0.0671 (0.0414)	0.0228* (0.0133)	0.0015 (0.0335)	-8.41e-06 (0.0002)	-0.0015 (0.0334)	0.0170 (0.0392)	-0.0099 (0.0226)	-0.0070 (0.0167)
Senior.	-0.0232*** (0.0033)	0.0170*** (0.0028)	0.0062*** (0.0011)	-0.0108*** (0.0020)	0.0001 (0.0012)	0.0107*** (0.0020)	-0.0096*** (.0023)	0.0058*** (0.0017)	0.0039*** (0.0010)

\*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1

**Tabela 4** – Efeitos marginais das categorias dos índices de centralidade contra os tipos de laboratório, as áreas de atuação dos inventores, o gênero e a senioridade – rede de coautoria

Em suma, as evidências que produzimos apontam para a existência de uma relação entre as características dos laboratórios nos quais os inventores trabalham e a importância que eles possuem nas redes de coinvenção e coautoria. Os nossos resultados indicam claramente que os laboratórios com escopo especializado em serviços tecnológicos (Labs\_1) ou de baixa escala (Labs\_2), ou mesmo laboratórios de grande escala e escopo altamente diversificado (Labs\_5) parecem não possibilitar que seus inventores possuam um nível de importância comparado aos inventores dos laboratórios de escala média engajados nas atividades ensino e pesquisa (Labs\_3) e ensino, pesquisa e desenvolvimento tecnológico (Labs\_4), tanto na rede de coinvenção quanto na rede de coautoria.

## 5 Discussão e conclusão

Neste artigo buscamos analisar como a participação em diferentes tipos de laboratórios nos quais os pesquisadores trabalham determina a importância que eles possuem nas suas redes de colaboração científica e tecnológica e o papel do laboratório na conexão entre as redes de ciência e tecnologia. Verificamos que os inventores que participam dos laboratórios dos tipos 1 (laboratórios focados em serviços tecnológicos), 2 (laboratórios de baixa escala) e 5 (laboratórios de larga escala e escopo multidisciplinar) são menos susceptíveis de serem considerados importantes atores nas suas redes de coinvenção e coautoria em pelo menos alguma das medidas de centralidade adotadas. Ao estabelecer uma relação entre as características destes laboratórios e como elas poderiam refletir na importância dos inventores em suas redes de colaboração, constatamos que os laboratórios do tipo 1, por exemplo, tem o seu escopo especializado na prestação de serviços tecnológicos, o que pode explicar porque seus inventores são menos prováveis de ocuparem posições centrais na rede de coautoria. Entretanto, ainda que estes inventores consigam viabilizar algum nível de produção tecnológica, a estrutura de pessoal dos laboratórios constituída predominantemente por técnicos parece prejudicar a centralidade de intermediação dos inventores.

O escopo pouco orientado para as atividades de tecnologia nos laboratórios do tipo 2 explicaria porque estes inventores tendem a ocupar posições menos centrais na rede de coinvenção. Neste caso, a baixíssima escala em termos do tamanho da estrutura organizacional desses laboratórios estaria associada com menores indicadores de centralidade de autovetor obtidos pelos inventores, o que também é observado na rede de coautoria. Ou seja, ao pertencer a um laboratório de escala muito baixa, os inventores não apenas teriam menos vínculos, como também isso limitaria conexões com atores mais influentes. Na rede de coautoria, tais características ainda estariam associadas a centralidades de intermediação mais modestas, que seriam reforçadas por uma fraca intensidade na realização da atividade de pesquisa por esses laboratórios.

Já uma escala muito grande como a observada nos laboratórios do tipo 5 parece tornar os caminhos mais curtos para alcançar os outros nós dentro da rede de coautoria. Isso implicaria em menor dependência de atores intermediários, o que segundo Brandes, Borgatti e Freeman (2016) resultaria em menos transmissão de informação e conhecimento e em conexões mais redundantes. Se os caminhos ficam mais curtos para alcançar os outros nós da rede podemos esperar uma limitação do papel de conector com outros nós da rede, o que explicaria o motivo pelo qual os inventores dos laboratórios do tipo 5 tendem a ocupar posições menos centrais quando a importância é ponderada pela centralidade de intermediação tanto na rede de coautoria quanto na rede de coautoria. Este efeito também é sentido pelos inventores dos laboratórios do tipo 3 (laboratórios universitários focados em ensino e pesquisa), que tendem a possuir forte centralidade de proximidade e uma redução da probabilidade de pertencerem à categoria elevada da centralidade de intermediação. Ou seja, uma forte centralidade de proximidade parece ocorrer às custas da centralidade de intermediação.

Embora Dias (2017) tenha encontrado diferenciais de produtividade científica e tecnológica superiores para os laboratórios 3 e 1, respectivamente, isso não representa, necessariamente, que os pesquisadores possuam plena importância em suas redes de coautoria e coautoria. O tipo de importância parece apresentar uma forte relação com as características dos laboratórios nos quais os pesquisadores trabalham. No que se refere à conexão entre as redes de colaboração científica e tecnológica, os nossos resultados mostraram que os inventores dos laboratórios dos tipos 4 (laboratórios universitários de média escala) e os que participam em mais de um laboratório estão susceptíveis a ocupar posições mais importantes nas redes de coautoria e coautoria ao ponderar a importância pelas centralidades de intermediação e autovetor. Portanto, estão mais susceptíveis não apenas a exercer maior controle sobre o fluxo de conhecimento científico e tecnológico, como estabelecem mais vínculos e conexões com colaboradores influentes em ambas as redes. Os inventores dos laboratórios do tipo 3 tendem a articular suas redes de coautoria e coautoria mediante forte centralidade de autovetor. Isso demonstra uma clara interação entre as atividades de ensino, pesquisa e desenvolvimento tecnológico e cuja importância dos inventores também seria influenciada por laboratórios universitários com escala média e a participação dos alunos de pós-graduação na composição da estrutura organizacional.

## Referências

- ABBASI, A.; HOSSAIN, L. Evolutionary dynamics of scientific collaboration networks: multi-levels and cross-time analysis. **Scientometrics**, v. 89, p. 687-710, 2011.
- BORDONS, M.; APARICIO, J.; GONZÁLEZ-ALBO, B.; DÍAZ-FAES, A. A. The relationship between the research performance of scientists and their position in co-authorship networks in three fields. **Journal of Informetrics**, v. 9, p. 135-144, 2015.
- BRANDES, U.; BORGATTI, S. P.; FREEMAN, L. C. Maintaining the duality of closeness and betweenness centrality. **Social Networks**, v. 44, p. 153-159, 2016.
- BRESCHI, S.; LISSONI, F. Knowledge networks from patent data. In: HENK, F. M.; GLÄNZEL, W.; SCHMOCH, U. **Handbook of quantitative science and technology research: the use of publication and patent statistics in studies of S&T systems**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2004. 799 p.
- BRESCHI, S.; CATALINI, C. Tracing the links between science and technology: an exploratory analysis of scientists' and inventors' networks. **Research Policy**, v. 39, p. 14-26, 2010.
- CAMERON, A. C.; TRIVEDI, P. K. **Microeconometrics using Stata**. College Station: Stata Press, 2009. 692 p.
- CHERVEN, K. **Mastering Gephi network visualization**. Birmingham: Packt Publishing, 2015. 357 p.

- CIMENLER, O.; REEVES, K. A.; SKVORETZ, J. A regression analysis of researcher's social network metrics on their citation performance in a college of engineering. **Journal of Informetrics**, v. 8, p. 667-682, 2014.
- DE STEFANO, D. D.; FUCCELLA, V.; VITALE, M. P.; ZACCARIN, S. The use of different data sources in the analysis of co-authorship networks and scientific performance. **Social Networks**, v. 35, p. 370-381, 2013.
- DE STEFANO, D. D.; ZACCARIN, S. Modelling multiple interactions in science and technology networks. **Industry and Innovation**, v. 20, p. 221-240, 2013.
- DIAS, A. A. **Produtividade científica e tecnológica nas infraestruturas de pesquisa brasileiras: uma abordagem baseada na interface entre C&T**. 2017. 193 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2017.
- FENWICK, T.; EDWARDS, R. Networks of knowledge, matters of learning, and criticality in higher education. **Higher Education**, v. 67, p. 35-50, 2014.
- GONZALEZ-BRAMBILA, C. N.; VELOSO, F. M.; KRACKHARDT, D. The impact of network embeddedness on research output. **Research Policy**, v. 42, p. 1555-1567, 2013.
- JACKSON, M. O. **Social and economic networks**. New Jersey: Princeton University Press, 2008. 504 p.
- JANSEN, D.; GÖRTZ, R.; HEIDLER, R. Knowledge production and the structure of collaboration networks in two scientific fields. **Scientometrics**, v. 83, p. 219-241, 2010.
- LIU, C. S. Network position and cooperation partners selection strategies for research productivity. **Management Decision**, v. 53, p. 494-511, 2015.
- REY-ROCHA, J.; MARTÍN-SEMPERE, M.; GARZÓN-GARCÍA, B. Research productivity of scientists in consolidated vs. non-consolidated teams: the case of Spanish university geologists. **Scientometrics**, v. 55, p. 137-156, 2002.
- STEPHAN, P. E. **How economics shapes science**. Cambridge: Harvard University Press, 2012. 367 p.
- VILLANUEVA-FELLEZ, A.; MOLAS-GALLART, J.; ESCRIBÁ-ESTEVE, A. Measuring personal networks and their relationship with scientific production. **Minerva**, v. 51, p. 465-483, 2013.
- WANG, G.; GUAN, J. Measuring science-technology interactions using patente citations and author-inventor links: an exploration analysis from Chinese nanotechnology. **Journal of Nanoparticle Research**, v. 13, p. 6245-6262, 2011.