

Redes de pesquisa e sua articulação sistêmica - notas para discussão

EDES GARCIA DA COSTA FILHO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS (UFMG)

ALLAN CLAUDIUS QUEIROZ BARBOSA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS (UFMG)

Agradecimento à órgão de fomento:

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro.

REDES DE PESQUISA E SUA ARTICULAÇÃO SISTÊMICA - NOTAS PARA DISCUSSÃO

1. Introdução

Este artigo pretende articular o debate entre a teoria de sistemas e redes de pesquisa que fomentam o processo de inovação por meio de canais formais de transferência tecnológica para empresas. Com efeito, os resultados de uma rede de pesquisa são gerados a partir de atividades realizadas pelos atores envolvidos na estrutura da rede. Para entender como as redes operam e como seus resultados são gerados, faz-se necessário investigar as redes sob uma perspectiva sistêmica, que leva em consideração, não apenas a sua estrutura, mas também os processos realizados pelos seus atores para atender aos objetivos da rede.

Uma rede de pesquisa é criada para atender objetivos que envolvem, por exemplo, a coautoria de artigos e patentes, compartilhamento de recursos, colaboração em projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e participação em editais. Independentemente do seu objetivo, as redes de pesquisa fomentam o processo de inovação de forma direta e indireta. Atores como empresas e indústrias podem absorver os resultados gerados pelas redes de pesquisa por meio da transferência de conhecimento e tecnologia. Esse processo de interação universidade-empresa pode ser realizado por canais formais ou informais de transferência. A transferência formal de tecnologia envolve uma relação contratual, enquanto a informal envolve interações não contratuais entre universidades e empresas.

Redes de pesquisa envolvidas formalmente em um processo de inovação interagem com empresas e indústrias por meio de canais formais de transferência tecnológica. Essa relação explícita caracteriza uma rede de pesquisa que participa de uma rede de inovação. Por exemplo, essa interação formal entre redes de pesquisa e empresas tem sido incentivada por meio de diferentes iniciativas do Governo Federal. Uma delas é o Programa de Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCT), lançado em 2008 com o propósito de criar redes de pesquisa para incentivar a inovação por meio do desenvolvimento científico e tecnológico. Segundo o CNPq (2016), já foram investidos cerca de R\$ 1,5 bilhão nos INCTs e estes já realizaram 515 cooperações com empresas nacionais e 139 com empresas estrangeiras. Outra iniciativa é a EMBRAPPII (Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial), que é uma organização social que apoia instituições de pesquisa para atender demandas empresariais. Em 2020, 11 novos grupos de pesquisa de universidades federais foram credenciados pela EMBRAPPII para receber aproximadamente R\$ 30 milhões e investir em projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação para solucionar problemas da indústria (MEC, 2020).

Apesar de seu crescimento e importância, os processos que materializam os resultados das redes de pesquisa não são discutidos de forma recorrente na literatura. No contexto das universidades, as redes de pesquisa constituem um importante ator no processo de criação e disseminação de conhecimento para fomentar o processo de inovação. A organização de redes de pesquisa em universidades é uma tendência e a sua proliferação é exponencial, tanto a nível local como nacional (Takayanagui, 2018). Diferentes autores enxergam as redes de pesquisa como um caminho para a troca de conhecimento entre universidades e empresas e criação de ambientes baseados no uso intensivo de tecnologia (Pinho, 2012).

Estudos sobre redes de pesquisa se concentram na avaliação dos resultados da rede e na sua estrutura. Medem-se os produtos, mas os processos que os geram permanecem desconhecidos (Leite *et al.*, 2014). Há pouca discussão sobre como as redes de pesquisa formais operam e a maioria das avaliações não fornecem orientações sobre o valor das atividades de

P&D em rede (Wixted e Holbrook, 2012). Pesquisadores confiam quase que exclusivamente em um modelo avaliativo que reduz uma rede de pesquisa a suas entradas e saídas e essa abordagem desconsidera a ideia de que uma rede é tanto um processo quanto uma estrutura formal (Cressman *et al.*, 2009).

À luz deste debate, a estrutura deste artigo apresenta três seções, além desta introdução. A seção dois apresenta uma revisão da literatura sobre redes de pesquisa e redes de inovação. Na seção três é apresentada a discussão entre redes de pesquisa e a teoria de sistemas. Por fim, a seção quatro expõe as reflexões e conclusões sobre a discussão proposta.

2. Situando as Redes

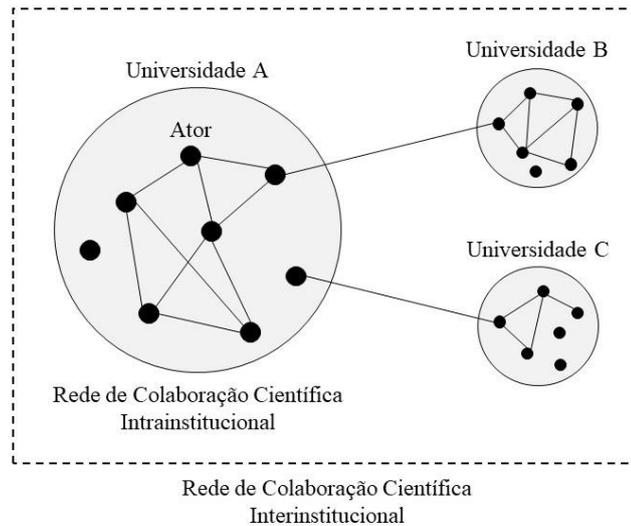
A colaboração pode ser definida como a capacidade de combinar ideias e esforços para criar resultados por meio do trabalho coletivo (Spitzer, 2018). Redes entre indivíduos e organizações são criadas com intuito de compartilhar recursos e esforços para atendimento de um objetivo comum. Os desafios impostos pela complexidade cada vez maior dos problemas e ritmo de mudanças têm estimulado diferentes organizações a criar redes para colaborar e inovar. A universidade se enquadra nesse contexto. As universidades estão em processo de transformação e a organização de redes é uma tendência pronunciada e vital em seu contexto (Takayanagui, 2018). Ruffoni *et al.* (2017) observam que a universidade está assumindo uma postura empreendedora, buscando interagir com outros atores sociais, como governo e indústria, contribuindo no processo de inovação e desenvolvimento econômico. Nesta perspectiva, as redes de pesquisa aparecem como estratégia eficiente para produzir mais conhecimento no âmbito da inovação (Lima e Leite, 2012).

As redes de pesquisa são espaços sociais nos quais ocorrem processos relacionados ao conhecimento, impulsionados por forças de colaboração e competição (Leite e Pinho, 2017). Esse tipo de rede envolve dois ou mais pesquisadores trabalhando juntos em um projeto, compartilhando recursos intelectuais, econômicos e físicos (Vanz e Stumpf, 2010). Para Katz e Martin (1997), os atores de uma rede de pesquisa podem ser descritos como pesquisadores que trabalham juntos em um projeto de pesquisa durante toda a sua duração ou em grande parte dele. Nesse contexto, uma rede de pesquisa pode ser caracterizada como um conjunto de pesquisadores que colaboram para atingir um objetivo comum.

Uma rede de pesquisa pode ser formada por atores de uma única instituição ou de diferentes instituições. Assim, uma rede de pesquisa pode ser classificada como interinstitucional e intrainstitucional. A colaboração interinstitucional envolve atores de diferentes organizações, enquanto a colaboração intrainstitucional envolve atores de uma única organização (Katz e Martin, 1997). Um exemplo notório de uma rede de pesquisa interinstitucional foi o Projeto Genoma, que envolveu uma grande quantidade de diferentes instituições, laboratórios e cientistas para sequenciar o genoma humano. Contudo, poucas colaborações de pesquisa ocorrem nessa escala e a maioria está relacionada a assuntos de escala menor, envolvendo apenas alguns atores (Royal Society, 2011). A Figura 1 apresenta um exemplo de estrutura de redes de colaboração científica nos níveis interinstitucional e intrainstitucional.

Uma rede é uma coleção de atores que pode ser representada como um conjunto de pontos (nós) que denotam atores, unidos em pares por linhas (arestas) que denotam conhecimento (Newman, 2001). Na Figura 1, os nós representam os pesquisadores, que podem fazer parte de uma rede colaboração científica intrainstitucional ou interinstitucional, enquanto as linhas mostram as conexões pelas quais a troca de conhecimento é realizada.

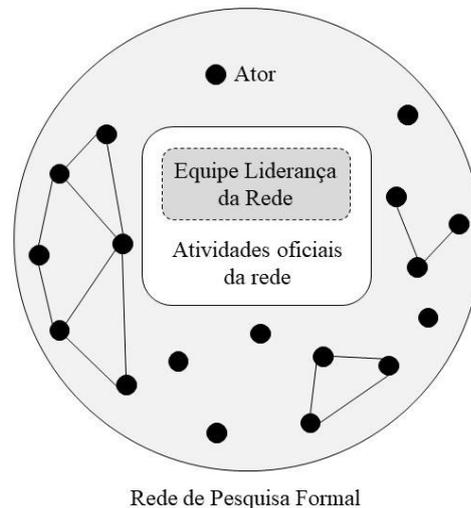
Figura 1 – Estrutura das redes de colaboração científica



Fonte: Elaborada pelos autores a partir de Newman (2001)

Além da categorização contextual, uma rede de pesquisa ser classificada de acordo com sua formalidade. O que caracteriza uma rede de pesquisa formal é o estabelecimento de uma estrutura de gerenciamento explícita para a administração da rede (Wixted e Holbrook, 2008). No centro de uma rede formal está a equipe de liderança, composta pelos principais pesquisadores e estudantes da rede e que estão envolvidos em atividades de administração e gestão da rede (Cressman *et al.*, 2009). A Figura 2 apresenta a estrutura de uma rede de pesquisa formal.

Figura 2 – Estrutura de uma rede de pesquisa formal



Fonte: Elaborada pelos autores a partir de Wixted e Holbrook (2008)

As atividades oficiais de gestão e administração da rede de pesquisa são realizadas por pesquisadores e estudantes, esses últimos geralmente de pós-graduação. As atividades da equipe de liderança podem envolver desde atividades de suporte para pesquisadores da rede, como atividades primárias, relacionadas ao conhecimento e pesquisa.

As redes de pesquisa podem passar por diferentes etapas, que vão desde início da rede até o seu término. As etapas de evolução de uma rede de pesquisa formam o seu ciclo de vida. Para Leite *et al.* (2018a) o ciclo de vida de uma rede de pesquisa é formado pelas seguintes etapas: formação; crescimento; sustentabilidade; crise; transformação; morte. Nem todas as redes de pesquisa criadas passam por todas etapas do ciclo de vida, pois a transição entre etapas depende de diferentes fatores, que vão desde atendimento dos objetivos da rede, envolvimento de seus atores e financiamento. Ferreira (2018) afirma que o principal problema enfrentado pelos INCTs investigados em seu trabalho são recursos financeiros insuficientes e o cancelamento da manutenção do projeto pela agência de fomento.

No âmbito da formação, as redes de pesquisa são criadas com diferentes objetivos. Para Leite *et al.* (2018b), pesquisadores formam redes para escrever artigos e livros, compartilhar recursos e elaborar um projeto para um edital. O acesso a equipamentos, instalações, financiamentos e aumento da produtividade estão entre os fatores mais citados na literatura que motivam a formação de redes de pesquisa (Adam, 2012; Vanz e Stumpf, 2010). Outro fator motivador é a possibilidade dos cientistas melhorarem a qualidade de seu trabalho e aumentar a eficácia de suas pesquisas (Royal Society, 2011).

Diferentes estudos se concentram nos resultados gerados por redes de pesquisa formadas com objetivo de gerar artigos em coautoria. Estudos sobre redes de pesquisa usualmente fazem uso da identificação e contabilização de coautorias entre os pesquisadores (Sidone *et al.*, 2016). Vanz e Stumpf (2010) observam que um trabalho publicado em coautoria apresenta maior probabilidade de aceitação e maior número de citações, quando comparado a trabalhos publicados individualmente. Contudo, a coautoria é apenas um indicador parcial da colaboração em pesquisa, pois existem muitos casos de colaboração que não são consumados em um artigo de coautoria (Katz e Martin, 1997). A coautoria de artigos científicos é apenas um dos resultados possíveis de qualquer colaboração em pesquisa e, portanto, é apenas uma das formas pelas quais a colaboração pode ser expressa (Finardi e Buratti, 2016).

O uso da coautoria em artigos como indicador de produção de uma rede de pesquisa possibilita a avaliação da colaboração dos atores da rede apenas de uma forma homogênea, no que se refere aos atores envolvidos, pois a coautoria se caracteriza por uma colaboração pesquisador-pesquisador. Contudo, as redes de pesquisa podem ser envolvidas com atores externos ao mundo acadêmico, como agências de fomento, indústria, empresas e sociedade. Para Etzkowitz e Zhou (2008), a universidade possui três missões diferentes: a universidade de ensino que é baseada na educação; a universidade de pesquisa que se dedica à produção de conhecimento e ao ensino; a universidade empreendedora que engloba ensino, pesquisa e serviço à sociedade.

Pinho (2012) ressalta que a missão empreendedora envolve atividades de comercialização do conhecimento acadêmico, veiculada pela colaboração com indústria. Nesse contexto, a coautoria em patentes também se mostra um possível indicador da colaboração de uma rede de pesquisa. As colaborações geralmente buscam o desenvolvimento de tecnologia, software ou patentes e podem não ter objetivo de publicação a qualquer momento (Bozeman *et al.*, 2012). Contudo, é importante ressaltar que o patenteamento tende a estar inversamente relacionado à busca de uma parceria de pesquisa com a indústria (Leydesdorff e Meyer, 2006). Nesse sentido, o uso da coautoria em patentes como indicador de produção de uma rede de pesquisa pode resultar na avaliação da rede por uma perspectiva homogênea, como no caso da coautoria em artigos.

Em uma rede de pesquisa a colaboração pode ocorrer com agentes externos e heterogêneos. Em um contexto em constante mudança, empresas têm buscado colaborar com

diferentes atores para inovar e obter vantagem competitiva. O envolvimento de atores heterogêneos é uma característica do processo de inovação. Inovação é um processo incerto e coletivo, caracterizado por interações de atores independentes e heterogêneos, com diferentes capacidades, objetivos e estratégias (Kudic, 2015). A pesquisa é apenas uma atividade que compõe um conjunto maior de determinantes da inovação, no qual se destacam as interações e interfaces entre vários atores e instituições (Viotti, 2003). Ao colaborar com empresas com intuito de inovar, uma rede de pesquisa começa a fazer parte de um arranjo maior, com atores heterogêneos que compartilham o objetivo comum de gerar inovação, formando uma relação pesquisadores-empresa. Esse arranjo pode ser chamado de uma rede de inovação.

Imai e Baba (1989, apud Freeman, 1991) descrevem uma rede de inovação como um arranjo institucional formado por organizações fracamente acopladas para lidar com a inovação sistêmica. As universidades são envolvidas em uma rede de inovação durante o desenvolvimento inicial de uma tecnologia, para desenvolvimento de soluções tecnológicas, enquanto outros atores, como fornecedores e clientes, são envolvidos em um segundo momento, para explorar a tecnologia (Chesbrough e Prencipe, 2008). Bentivegna (2014) apresenta uma visão genérica da estrutura de uma rede de inovação, que compreende os seguintes atores: Empresas; Universidades e Centros de Pesquisa; Fornecedores; Governo; Consultores; Clientes; Distribuidores; Concorrentes. A relação de troca de conhecimento e tecnologia entre uma rede de pesquisa, isto é, universidade, e uma empresa é conhecida como transferência tecnológica.

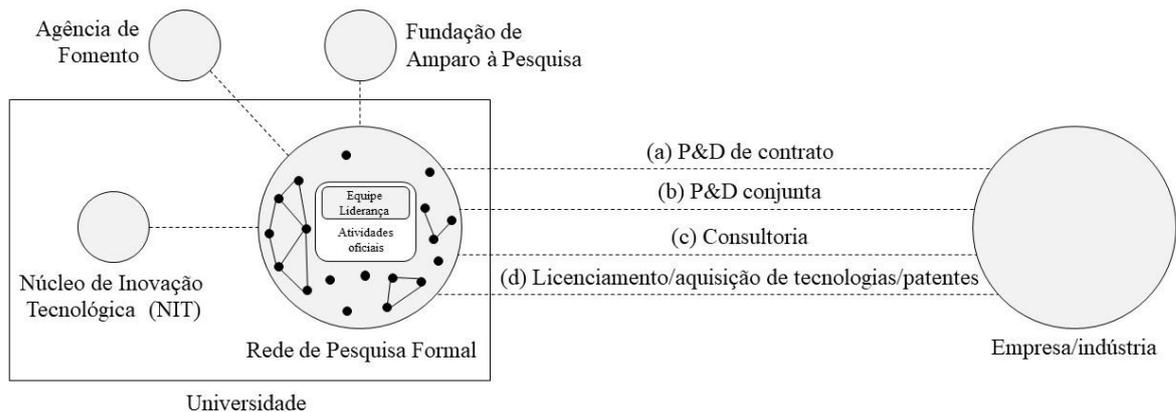
A transferência tecnológica pode acontecer por meio de diferentes canais. Dentre os principais canais estão: publicações; conferências; consultorias; patente; tecnologia licenciada; pessoas da academia contratadas; cooperação em P&D; spin-off acadêmica (Grimpe e Hussinger, 2013; Reynolds e De Negri, 2019). De Fuentes e Dutrénitc (2012) organizam os principais canais de transferência tecnológica universidade-empresa em quatro categorias: Canal de informação (publicações, conferências, informação informal e treinamento); Canal de projetos (P&D de contrato, P&D conjunta e consultoria); Canal de direito de propriedade intelectual (Licenças de tecnologia e Patentes); Canal de recursos humanos (contratação de recém-formados).

Os canais de transferência tecnológica podem ser classificados de acordo com seu grau de formalidade. As relações formais entre universidade-empresa assumem a forma de arranjos contratuais, ao mesmo tempo que as ligações informais surgem espontaneamente (Leisyte, 2011). A transferência formal de tecnologia envolve, normalmente, um contrato legal sobre uma patente, tecnologia ou atividades de pesquisa, enquanto os canais informais são caracterizados por interações não contratuais entre a universidade e empresa (Grimpe e Hussinger, 2013). Para Cassiman *et al.* (2010), um projeto de P&D em colaboração pode ser desenvolvido por meio de um contrato ou cooperação formal, onde a contratação implica que um parceiro se compromete a fornecer uma saída contratualmente especificada, enquanto na cooperação ambas as partes são solidariamente responsáveis pelo resultado final do projeto. Neste trabalho são considerados canais formais de transferência tecnológica: (1) P&D de contrato; (2) P&D conjunta; (3) consultoria; (4) licenciamento/aquisição de tecnologias e patentes desenvolvidas nas universidades. A Figura 3 apresenta a estrutura de uma rede de pesquisa formal envolvida em uma rede de inovação por meio de canais formais de transferência tecnológica.

A Figura 3 mostra o esboço de uma rede de pesquisa que interage com empresas para fomentar o processo de inovação. A interação explícita com uma empresa é realizada por meio dos canais formais de transferência tecnológica, representados pelas linhas tracejadas a, b, c e

d. Agências fomento, Fundações de Amparo à Pesquisa e os Núcleos de Inovação Tecnológica (NITs) são atores que estão normalmente envolvidos nesse tipo de rede de inovação, devido ao seus papéis de apoio as redes de pesquisa. As agências de fomento podem dar suporte financeiro para uma rede de pesquisa, enquanto o papel do NIT está relacionado a gestão e negociação da propriedade intelectual das tecnologias e patentes desenvolvidas pela rede de pesquisa em uma relação com uma empresa. Outros atores como sociedade, parceiros e fornecedores, não indicados na Figura 3, também podem integrar a rede de inovação.

Figura 3 – Rede de pesquisa formal envolvida em uma rede de inovação



Fonte: Elaborada pelos autores, a partir de Wixted e Holbrook (2008)

Ao observar o arranjo da Figura 3 sob a perspectiva da teoria das redes, a estrutura do arranjo ganha importância. Questões como características dos atores, sua organização, distribuição geográfica, motivação e barreiras para colaboração são discutidas na literatura levando em consideração os conceitos de redes.

Contudo, em uma rede, os resultados são gerados a partir de processos, isto é, atividades realizadas pelos atores envolvidos na rede. Para entender como as redes operam e como seus resultados são gerados, faz-se necessário investigar as redes sob uma perspectiva sistêmica, que leva em consideração os processos realizados pelos seus atores.

3. Redes e Sistemas

Para Koliba *et al.* (2010), existe sobreposição entre teoria e conceitos de redes e sistemas. É possível observar essa sobreposição considerando a definição de redes de inovação e sistemas de inovação. A teoria de sistemas de inovação foi influenciada por diferentes perspectivas coexistentes (Edquist, 1997). Hekkert *et al.* (2007) observam que o conceito de sistema de inovação pode tomar como ponto de referência uma área geográfica (sistemas nacionais ou regionais de inovação), um setor industrial (sistemas setoriais de inovação) ou uma tecnologia. Uma definição de sistemas de inovação que adota uma perspectiva tecnológica é a de Carlsson e Stankiewicz (1991), que definem um sistema tecnológico como uma rede dinâmica de agentes que interagem em uma área econômica/industrial específica sob uma infraestrutura institucional específica e envolvidos na geração, difusão e utilização da tecnologia. Embora os sistemas de inovação possam ser definidos como nacionais, regionais, setoriais ou tecnológicos, todos eles envolvem a criação, difusão e uso do conhecimento (Carlsson *et al.*, 2002). Ao comparar a definição de redes de Imai e Baba (1989, apud Freeman, 1991) e a definição de sistema de inovação com enfoque tecnológico de Carlsson e Stankiewicz (1991), observa-se que ambas envolvem agentes ou organizações que interagem para gerar

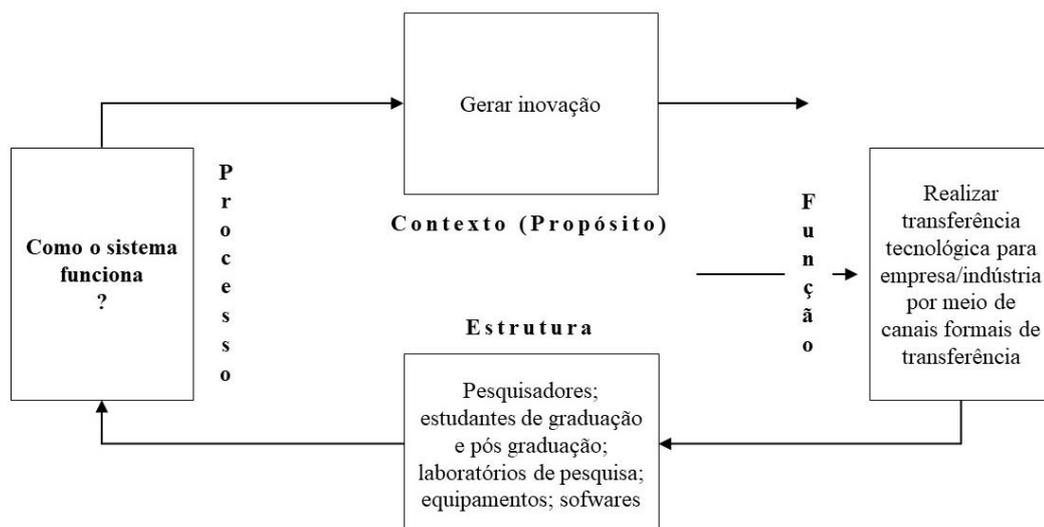
inovação. Carlsson e Stankiewicz (1991) e Imai e Baba (1989, apud Freeman, 1991) ainda cintam o termo redes e a expressão “inovação sistêmica” nas suas respectivas definições.

Fora de um contexto específico, em sua essência, um sistema pode ser definido como um conjunto interconectado de elementos que é coerentemente organizado para atingir um objetivo (Meadows, 2008). Para INCOSE (2015), além dos elementos integrados para atender a um objetivo, um sistema também é formado por subsistemas. Os subsistemas podem ser identificados individualmente e exibir todas as propriedades de um sistema (Giachetti, 2010). Não há sistemas separados, o limite em torno de um sistema depende do objetivo da discussão (Meadows, 2008). O conceito de fronteira é central para o pensamento sistêmico, pois ele não marca simplesmente o que está incluído nele, mas também o que é excluído (Midgley, 2000). O enfoque deste trabalho está nas redes de pesquisa envolvidas em redes de inovação. Segundo Weinberg (2011) um sistema é um ponto de vista ou uma maneira de ver o mundo. À vista disso, uma rede de pesquisa pode ser examinada sob uma perspectiva sistêmica. Nessa perspectiva, a rede de pesquisa é considerada um subsistema, parte de um sistema maior, e seus componentes têm como objetivo realizar a transferência tecnológica para empresas por meio de canais formais de transferência.

Ao investigar uma rede de pesquisa a partir de uma perspectiva sistêmica, faz-se necessário considerar os elementos que compõem um sistema. Um sistema possui um conjunto de elementos que incluem produtos, processos, pessoas, informações, instalações, serviços e outros elementos de suporte (INCOSE, 2015). O elemento processo viabiliza uma análise dinâmica das redes. Processo é um sequenciamento de atividades que transformam entradas em saídas (Baldam *et al.*, 2007). Uma visão de sistema nos leva do pensamento de redes como uma configuração de nós e arestas, a eventos e processos que se materializam como resultado de interações em rede (Koliba *et al.*, 2010).

Contudo, outros elementos estruturarias como pessoas e instalações também são considerados em uma perspectiva sistêmica. Para Gharajedaghi (2011) o pensamento sistêmico busca sintetizar descobertas separadas em um todo coerente. O autor propõe um método interativo de síntese que se baseia nos aspectos de estrutura, função, processo e contexto para compreensão de um sistema como um todo. A Figura 4 apresenta o método de Gharajedaghi (2011) aplicado a uma rede de pesquisa envolvida em uma rede de inovação.

Figura 4 – Rede de pesquisa como um sistema



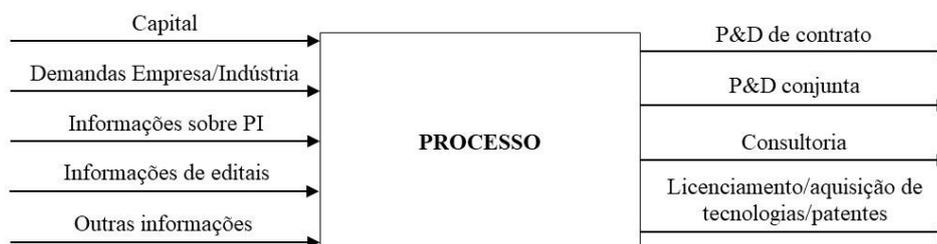
Fonte: Elaborado pelos autores a partir de Gharajedaghi (2011)

Partindo da função, que mostra o que o sistema faz, constata-se que a saída do sistema é a transferência tecnológica. A estrutura do sistema, que descreve os componentes do sistema, consiste em pesquisadores, estudantes de graduação e pós graduação, laboratórios de pesquisa, equipamentos e softwares. O processo deve explicar como a estrutura produz a sua função (Gharajedaghi, 2011). Esse é o aspecto de sistema discutido neste trabalho. Considerando que poucos trabalhos sobre redes de pesquisa discutem o seu funcionamento, isto é, sua operacionalização, o olhar sistêmico desse tipo de organização poderia trazer luz a esse aspecto das redes de pesquisa.

O sistema (rede de pesquisa) está no centro de um contexto maior, em um sistema de inovação. A partir dos aspectos de função, estrutura, processo em um contexto, é possível entender as partes do sistema de forma articulada. Mais iterações seriam necessárias para entender os sistemas maiores em que uma rede de pesquisa está envolvida. As iterações sucessivas produziriam um entendimento maior e aproximariam mais a natureza do todo (Gharajedaghi, 2011). Capra (1996) também enfatiza as propriedades de um todo coerente e do contexto dos sistemas. Para o autor, em todo o mundo, encontramos sistemas aninhados em outros sistemas e as características essenciais desses sistemas são propriedade do todo, que nenhuma das partes possui.

Outro aspecto importante de um sistema está relacionado a sua interação no contexto do seu ambiente. Bertalanffy (1950) afirma que sistemas vivos são sistemas abertos que mantêm a troca de materiais com seu meio ambiente. Para Katz e Kahn (1970), a teoria do sistema aberto enfatiza a estreita relação entre uma estrutura e seu ambiente, onde o sistema, a partir de entradas, produz algum resultado que é então usado por um grupo ou sistema externo. Essa forma de caracterizar um sistema é conhecida como *Input-Process-Output* (IPO). Capra (1996) destaca o pensamento processual como um aspecto importante do pensamento sistêmico. O autor afirma que o pensamento sistêmico é sempre um pensamento processual. Visualizar uma organização como um sistema aberto nos leva a considerar uma empresa como um grande processo que converte insumos em resultados (Giachetti, 2010). As entradas podem ser materiais, energia, informações, capital, conhecimento, entre outras. Os resultados, ou saídas, podem ser produtos, serviços, informações, dinheiro, resíduos, entre outros. As entradas e saídas dependem do contexto do sistema. A Figura 5 apresenta a perspectiva processual de uma rede de pesquisa envolvida em uma rede de inovação.

Figura 5 – Perspectiva processual de uma rede de pesquisa em um contexto de inovação



Fonte: Elaborada pelos autores

Ao investigar uma rede de pesquisa como um sistema em um contexto de inovação, consideramos a rede como um grande processo que transforma entradas em saídas que serão consumidas por empresas e indústrias que também fazem parte do sistema de inovação no qual a rede de pesquisa está inserida. Nesse contexto específico de inovação, as principais entradas que o processo da rede de pesquisa consome envolvem o capital investido nas redes pelas

empresas e agências de fomento, demandas das empresas/indústrias, informações sobre propriedade intelectual dos NITs e informações de outros atores do sistema. A rede transforma essas entradas em saídas que envolvem a transferência de tecnologia entre universidade-empresa. A interação explícita com uma empresa é realizada por meio dos canais formais de transferência tecnológica que representam as principais saídas das redes em um contexto formal de inovação. Não é objetivo deste trabalho criar uma lista exaustiva de todas as possíveis entradas e saídas que uma rede de pesquisa pode transformar em um contexto de inovação, aqui são apresentadas apenas as entradas e saídas básicas.

Para permanecer viável, os sistemas abertos participam de uma troca aberta com o mundo, usando o que existe para o seu próprio crescimento (Wheatley, 2006). A teoria do sistema aberto enfatiza a estreita relação entre uma estrutura e seu ambiente (Katz e Kahn, 1970). O conceito de *feedback*, que é crítico na teoria de sistemas, trata da relação do sistema com seu ambiente por meio de mensagens e um centro de controle. Bertalanffy (1968) descreve o esquema de *feedback* compreendendo um receptor ou órgão dos sentidos, que recebe mensagens do ambiente, um centro de controle, que recombina as mensagens recebidas e as transmite para um atuador, que responde à mensagem recebida de tal forma que exista uma saída. Capra (1996) destaca o aspecto circular dos *feedbacks* em um sistema, descrevendo um *loop* de *feedback* como um arranjo circular de elementos conectados causalmente, nos quais uma causa inicial se propaga em torno dos links do *loop*, de modo que cada elemento tenha um efeito no próximo, até que o último retorne o efeito ao primeiro elemento do ciclo. Nesse contexto, a entrada (*input*) do primeiro elemento é afetada pela saída (*output*) do último elemento, resultando em um *loop* de *feedback*. O esquema de *loop feedback* permite que o sistema controle e regule suas atividades por meio de um receptor, um centro de controle e um efetuator. O objetivo do controle é reduzir o desvio entre o estado desejado do sistema e o estado real do sistema (Giachetti, 2010).

O *feedback* que atua em um sistema pode ser classificado como negativo ou positivo. Para Wheatley (2006), o *feedback* negativo ou regulatório ajuda a manter o sistema nos trilhos assim que o curso é estabelecido, enquanto o positivo ou amplificador sinaliza a necessidade de mudança. Capra (1996) distingue o *feedback* negativo como de auto-equilíbrio e o positivo como de auto-reforço. O *feedback* negativo atua de forma a ajudar o sistema a não se desviar de seu plano. O *feedback* positivo indica necessidade de desvio do plano. O *feedback* positivo é essencial para a capacidade da vida de se adaptar, pois a partir dele, um sistema, incapaz de lidar com informações novas, está sendo solicitado a mudar (Wheatley, 2006).

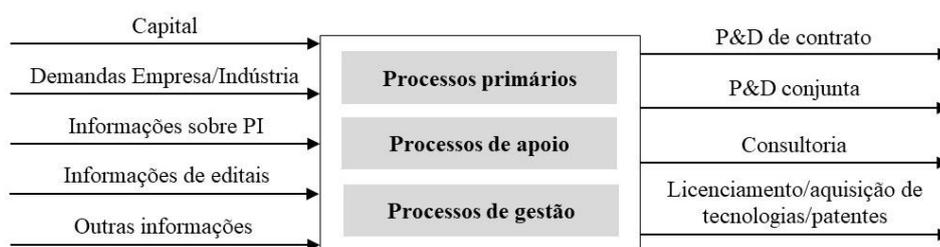
Em uma rede de pesquisa formal, o centro de controle, que recebe as mensagens e regula as atividades do sistema, pode ser representado pela estrutura de gerenciamento explícita de administração da rede, isto é pela equipe de liderança, composta pelos principais pesquisadores e estudantes que estão envolvidos em atividades de gestão da rede. Giachetti (2010) observa que o controle corporativo é realizado pela estrutura de gerenciamento, cuja função principal é controlar os sistemas pelos quais eles são responsáveis. No caso das redes, um parâmetro de controle poderia estar associado ao desempenho da rede com relação a transferência de tecnologia para empresas. Os processos de elaboração, planejamento e execução da estratégia da rede de pesquisa estão associados ao centro de controle, pois o planejamento estratégico se desdobra em planos, objetivos e metas tangíveis que são utilizados para avaliar o desempenho da rede. A comparação dos objetivos e metas da rede com as mensagens de *feedback* recebidas de outros elementos do ambiente, permite que o centro de controle tome decisões para corrigir ou mudar os planos da rede.

A teoria dos sistemas tem sido utilizada para investigar e resolver problemas organizacionais. Organizações são sistemas e, para compreender como elas funcionam, é necessário entender como elas atuam como sistemas, não apenas como coleções de pessoas (Hoverstadt, 2008). Destacando a relação entre o pensamento sistêmico e o pensamento processual, Katz e Kahn (1970) afirmam que todos os sistemas sociais, incluindo organizações, consistem em atividades padronizadas de um número de indivíduos. Nesse contexto, embora seja possível caracterizar um sistema com um grande processo que transforma entradas em saídas e interage com seu contexto por meio de *feedback*, uma organização, como uma rede de pesquisa, por exemplo, não é composta por apenas um grande processo. Toda organização é uma coleção de processos realizados para projetar, produzir, vender, entregar e suportar seus produtos (Porter, 1985).

Uma rede de pesquisa envolvida em um contexto de inovação, realiza diferentes processos para conseguir realizar a transferência tecnológica para empresas. Porter (1985) classifica os processos organizacionais em processos primários, que envolvem atividades relacionadas a criação e entrega de um produto ou serviço, e processos de apoio, que envolvem atividades de suporte as atividades primárias. Como terceira categoria, outros autores adicionam esse conjunto de duas categorias com processos de gerenciamento, que abordam por exemplo, atividades relacionadas ao planejamento estratégico organizacional (Dumas *et al.*, 2018).

A aplicação da teoria de sistemas nesse tipo de rede de pesquisa pode apoiar a identificação e entendimento dos processos-chave que envolvem a transferência tecnológica para empresas, bem como os processos de apoio e de gerenciamento da rede. Segundo Hoverstadt (2008), essa é uma questão crítica, pois para investigar uma organização é necessário avaliá-la como um sistema e entender a sua estrutura de atividades. A visão sistêmica possibilitaria investigar e estruturar os processos das grandes redes de pesquisa envolvidas formalmente em processos de inovação. A Figura 6 apresenta um exemplo de classificação dos processos de uma rede de pesquisa envolvida em uma rede de inovação.

Figura 6 – Macroprocessos de uma rede de pesquisa em um contexto de inovação



Fonte: Elaborada pelos autores

Os processos primários de uma rede de pesquisa envolvem atividades que afetam diretamente as empresas que irão absorver o conhecimento transferido pelos diferentes canais de interação universidade-empresa. Essas atividades estão relacionadas diretamente as atividades de geração de conhecimento e tecnologia, ou seja, atividades de pesquisa e desenvolvimento. Os processos de apoio são processos secundários que fazem com que os outros processos da rede funcionem. Um exemplo de processo de apoio é o de aquisição de recursos e insumos para as pesquisas da rede. Finalmente, os processos de gestão estão relacionados ao planejamento e alinhamento da rede para atender aos seus objetivos. Esses

processos envolvem atividades de formulação e implementação das estratégias da rede e de sua avaliação de desempenho.

A perspectiva sistêmica permite avaliar uma rede de pesquisa com enfoque não somente na sua estrutura, mas também no seu funcionamento. Investigar uma rede de pesquisa sob o enfoque sistêmico implica em olhar para a rede como uma estrutura, que tem uma função e que realiza um conjunto de processos para atingir um propósito maior, que está associado ao seu contexto. Esse tipo de investigação pode trazer diferentes benefícios para a discussão das redes de pesquisas e redes de inovação.

4. Considerações Finais: em direção à sua aplicabilidade

Este trabalho apresentou como uma rede de pesquisa envolvida em uma rede de inovação pode ser avaliada a partir da teoria de sistemas. Apesar das limitações dessa discussão, este trabalho apresenta contribuições que podem ser úteis na configuração aplicada destes conceitos. A articulação apresentada evidenciou que o uso da teoria de sistemas pode auxiliar na identificação e entendimento dos processos de uma rede de pesquisa. A relação direta entre o pensamento sistêmico e o processual possibilita avaliar como uma rede de pesquisa transforma suas entradas em saídas, o que não pode ser investigado apenas por meio dos nós e arestas da rede. Por consequência, o entendimento dos processos das redes viabiliza a melhoria da sua eficiência e eficácia.

Ainda, a teoria de sistemas considera o contexto do sistema no qual ele está inserido, e assim, essa articulação não se limita ao âmbito das redes de pesquisa envolvidas formalmente em processos de inovação. A aplicação dos conceitos de sistemas poderia beneficiar redes de pesquisa criadas com outros objetivos. Contudo, o contexto e objetivo irão afetar diretamente a forma de operação das redes. Redes envolvidas formalmente com inovação vão funcionar de forma diferente de redes criadas, por exemplo, com o objetivo de gerar artigos científicos. Investigar uma rede de pesquisa sem considerar seu ambiente e objetivo pode afetar o entendimento de como ela opera.

Outra possível contribuição está relacionada ao mecanismo de controle e regulação de uma rede de pesquisa. Uma rede de pesquisa envolvida em uma rede de inovação representa um sistema dentro do outro. A rede de pesquisa está em um contexto de inovação e interage com outros atores, recebendo *feedback*. O aspecto do contexto e *feedback* destacados pela visão sistêmica podem ajudar a entender como uma rede de pesquisa formal toma decisões e se regula a partir do *feedback* recebido de outros elementos do sistema, como empresas, agências de fomento e fundações de amparo. Uma rede de pesquisa é um sistema aberto que é influenciado por outros sistemas.

Algumas possíveis contribuições que surgem da aplicação da visão sistêmica a uma rede de pesquisa estão relacionadas ao ambiente de inovação, isto é, ao sistema de inovação no qual a rede de pesquisa está inserida. A rede de pesquisa interage com outros componentes do sistema de inovação. A análise da operação das redes de pesquisa pode ajudar a entender melhor as interações entre os componentes do sistema de inovação e, conseqüentemente, promover e melhorar a mobilidade de recursos de capital, conhecimento e propriedade intelectual entre eles.

O sistema de inovação também pode se beneficiar do melhor alinhamento que a rede de pesquisa terá com outros componentes do sistema. O mecanismo de *feedback* permite que uma rede de pesquisa esteja mais alinhada com os interesses de outros atores participantes do sistema de inovação. A colaboração em projetos de inovação vai além do compartilhamento de recursos, passando por uma dependência de alinhamento de objetivos.

Finalmente, o pensamento sistêmico aplicado a uma rede de pesquisa pode ajudar a melhorar a sua operação e dar mais credibilidade ao seu papel no processo de inovação e desenvolvimento regional e nacional. O aumento da credibilidade pode afetar positivamente os vínculos entre as empresas e redes de pesquisa. Em um cenário de dependência de investimento do governo para pesquisa, desenvolvimento e inovação, parcerias com empresas podem representar uma alternativa de capital para redes de pesquisa envolvidas com inovação.

O pensamento sistêmico tem influenciado diferentes áreas e disciplinas. A teoria de redes e a teoria de sistemas possuem semelhanças, contudo ao investigar um objeto sob a perspectiva sistêmica, deve-se ser capaz de entender as propriedades do sistema, ou seja, aquelas que são possuídas pelo sistema, e não por suas partes. Para entender essas propriedades, é necessário harmonizar descobertas separadas em um todo coerente. Para isso, devemos considerar não apenas a estrutura do sistema, mas também sua função e seus processos, que transformam entradas em saídas. A estrutura das redes de pesquisa e seus resultados são objetos de diferentes estudos na literatura. Contudo, a literatura é escassa quando o assunto é a forma de operação das redes de pesquisa. O ponto de vista sistêmico traz outros fatores para a discussão das redes de pesquisa, o que pode impactar positivamente no entendimento do seu funcionamento e tomada de decisão.

Concluindo, este debate conceitual proposto permite que grandes redes de pesquisa, como os INCTs, avaliem a sua capacidade de realizar a transferência de conhecimento e tecnológica para empresa. A capacidade está relacionada aos recursos e processos de uma organização. Entender os processos de um INCT é primordial para avaliar a sua capacidade de colaboração com empresas. O processo explica como a estrutura produz a sua função, ou seja, o *know-how*. Em ambientes que fomentam a inovação, a capacidade de transferência tecnológica de uma grande rede de pesquisa pode ser um indicador útil para outros atores do sistema.

Por fim, no domínio do funcionamento de um INCT, macroprocessos e processos-chave identificados, a partir da aplicação da visão sistêmica, podem servir de referência para organização de novos INCTs ou grandes redes de pesquisa envolvidas em processos formais de inovação com empresas. Embora cada rede tenha suas particularidades em decorrência de seus contextos e objetivos, muitos processos de gestão e de apoio podem ser comuns às redes. Processos de apoio como o de aquisição de recursos e insumos e controle de bolsas, além de processos de gestão relacionados ao planejamento estratégico da rede, são exemplos de processos que podem ser realizados por diferentes redes de pesquisa.

5. Referências Bibliográficas

Adams, J. Collaborations: The rise of research networks. **Nature**, v. 490, p. 335-336. 2012.

Baldam, R. L. *et al.* **Gerenciamento de processos de negócios (BPM - Business Process Management)**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2007. 240 p.

Bentivegna, T. **Innovation Network Functionality: The Identification and Categorization of Multiple Innovation Networks**. Springer Science & Business Media, 2014. 166 p.

Bertalanffy, L. **General System Theory: Foundations, Development, Applications**. New York: George Braziller Inc., 1968. 290 p.

Bertalanffy, V. L. The theory of open systems in physics and biology. **Science**, v. 111, p. 23-29. 1950.

- Bozeman, B.; Fay, D.; Slade, C. P. Research collaboration in universities and academic entrepreneurship: The-state-of-the-art. **Journal of Technology Transfer**, v. 38, p. 1-67. 2012.
- Capra, F. **The web of life: A new scientific understanding of living systems**. New York: Anchor, 1996. 347 p.
- Carlsson, B. *et al.* Innovation systems: analytical and methodological issues. **Research Policy**, v. 31, p. 233-245. 2002.
- Carlsson, B.; Stankiewicz, R. On the nature, function and composition of technological systems. **Journal of Evolutionary Economics**, v. 1, p. 93-118. 1991.
- Cassiman, B.; Di Guardo, M. C.; Valentini, G. Organizing links with science: Cooperate or contract?: A project-level analysis. **Research Policy**, n. 39, p. 882-892. 2010.
- Chesbrough, H. W.; Prencipe, A. Networks of innovation and modularity: a dynamic perspective. **International Journal of Technology Management**, v. 42, n. 4, p. 414-425. 2008.
- Chesbrough, H. W.; Prencipe, A. Networks of innovation and modularity: a dynamic perspective. **International Journal of Technology Management**, v. 42, n. 4, p. 414-425. 2008.
- CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. **Resultados e impactos do programa Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia**. Brasília, DF: CNPq, 2016. Disponível em: <http://confap.org.br/news/wp-content/uploads/2016/06/panorama-INCT-CONFAP-Maranh%C3%A3o-1.pdf>. Acesso em: 20 mar 2020.
- Cressman, D. *et al.* **Capturing the outcomes and impacts of publicly funded research: a framework for evaluating formal research networks**. Vancouver: CPROST, 2009. 38 p.
- De Fuentes, C.; Dutrénit, G. Best channels of academia-industry interaction for long-term benefit. **Research Policy**, v. 41, p. 1666-1682. 2012.
- Dumas, M. *et al.* **Fundamentals of business process management**. 2 ed. Berlin: Springer. 2018. 527 p.
- Edquist, C. **Systems of innovation: technologies, institutions, and organizations**. London: Routledge, 1997. 432 p.
- Etzkowitz, H.; Zhou, C. Introduction to special issue Building the entrepreneurial university: a global perspective. **Science and Public Policy**, v. 35, n. 9, 627-635. 2008.
- Ferreira, V. **E-science e políticas públicas para ciência, tecnologia e inovação no Brasil**. Salvador: EDUFBA. 2018.
- Finardi, U.; Buratti, A. Scientific collaboration framework of BRICS countries: An analysis of international coauthorship. **Scientometrics**, v. 109, n. 1, p. 433-446. 2016.
- Freeman, C. Networks of innovators: A synthesis of research issues. **Research Policy**, v. 20, p. 499-514. 1991.
- Gharajedaghi, J. **Systems thinking: Managing chaos and complexity: A platform for designing business architecture**. 3 ed. Elsevier, 2011. 351 p.
- Giachetti, R. **Design of enterprise systems: Theory, architecture, and methods**. CRC Press, 2010. 429 p.

- Grimpe, C.; Hussinger, K. Formal and informal knowledge and technology transfer from academia to industry: complementarity effects and innovation performance. **Industry and Innovation**, v. 20, n. 8, p. 683-700. 2013.
- Hekkert, M. *et al.* Functions of innovation systems: A new approach for analysing technological change. **Technological forecasting and social change**, v. 74, n. 4, p. 413-432. 2007.
- Hoverstadt, P. **The fractal organization: Creating sustainable organizations with the viable system model**. John Wiley & Sons, 2008. 368 p.
- INCOSE - International Council on Systems Engineering. **Systems engineering handbook: A guide for system life cycle processes and activities**. 4 ed. New Jersey: Wiley, 2015. 290 p.
- Katz, D.; Khan, R. L. **Psicologia social das organizações**. 1. ed. São Paulo: Atlas, 1970.
- Katz, J. S.; Martin, B. R. What is research collaboration? **Research Policy**, v. 26, p. 1-18. 1997.
- Koliba, C.; Meek, J.; Zia, A. **Governance networks in public administration and public policy**. CRC Press, 2010. 349 p.
- Kudic, M. Introduction. *In*: Kudic, M. **Innovation networks in the German laser industry**. Springer, 2015. p. 3-17.
- Leisyte, L. University commercialization policies and their implementation in the Netherlands and the United States. **Science and Public Policy**, v. 38, p. 437-448. 2011.
- Leite, D. Caregnato, C.; Miorando, B. A pesquisa interinstitucional e internacional sobre avaliação e redes de pesquisa. *In*: Leite, D. *et al.* **Redes de pesquisa e colaboração. Conhecimento, avaliação e o controle nacional da ciência**. Porto Alegre: Sulina, 2018b. p. 21-50.
- Leite, D. Caregnato, C.; Miorando, B. Redes e colaboração: um mundo de interconexões e conhecimentos. *In*: Leite, D. *et al.* **Redes de pesquisa e colaboração. Conhecimento, avaliação e o controle nacional da ciência**. Porto Alegre: Sulina, 2018a. p. 151-182.
- Leite, D., Pinho, I. **Evaluating collaboration networks in higher education research: Drivers of excellence**. Palgrave Macmillan, 2017. 129 p.
- Leite, D. *et al.* Avaliação de redes de pesquisa e colaboração. **Avaliação**, Campinas, Sorocaba, v. 19, p. 291-312. 2014.
- Leydesdorff, L.; Meyer, M. Triple Helix indicators of knowledge-based innovation systems: Introduction to the special issue. **Research policy**, v. 35, n. 10, p. 1441-1449. 2006.
- Lima, E.; Leite D. Influências da avaliação no conhecimento produzido pelos pesquisadores em redes de pesquisa. *In* Leite, D.; Lima, E. **Conhecimento, avaliação e redes de colaboração. Produção e produtividade na universidade**. Porto Alegre: Sulina, 2012. p. 121-161.
- Meadows, D. **Thinking in systems: A primer**. Chelsea green publishing, 2008. 240 p.
- MEC - Ministério da Educação. **Com apoio do MEC, Embrapii credencia 11 grupos de pesquisas de universidades federais como unidades de inovação**. Brasília, DF: MEC, 2020 Disponível em: http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=90471. Acesso em: 15 jul 2020.
- Midgley, G. **Systemic intervention: Philosophy, methodology, and practice**. New York: Springer Science & Business Media, 2000. 447 p.

- Newman, M. E. The structure of scientific collaboration networks. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 98, n. 2, p. 404-409. 2001.
- Pinho, I. Governança e gestão do conhecimento científico no contexto acadêmico: o estado da arte. In Leite, D.; Lima, E. **Conhecimento, avaliação e redes de colaboração**. Produção e produtividade na universidade. Porto Alegre: Sulina, 2012. p. 121-161.
- Porter, M. **Competitive Advantage: Creating and sustaining superior performance**. New York: Free Press, 1985. 557 p.
- Reynolds, E.; De Negri, F. Universities as engines of innovation: the context for tech transfer in case studies from Brazil and the U.S. In: Reynolds, E.; Schneider, B.; Zylberberg, E. **Innovation in Brazil: Advancing Development in the 21st Century**. New York: Routledge, 2019, p. 144-167.
- Royal Society. Knowledge, networks and nations: **Global scientific collaboration in the 21st century**. London: Royal Society, 2011. 113 p. Disponível em: <https://royalsociety.org/topics-policy/projects/knowledge-networks-nations/report>. Data de acesso: 24 jun. 2020.
- Ruffoni, J.; Melo, A. Spricigo, G. Universidade: surgimento e trajetória na geração de conhecimento e inovação. In: Rapini, M.; Silva, L.; Albuquerque, E. **Economia da Ciência, Tecnologia e Inovação**. Curitiba: Prismas, 2017. p. 169-197.
- Sidone, O.; Haddad, E.; Mena-Chalco, J. A ciência nas regiões brasileiras: evolução da produção e das redes de colaboração científica. **TransInformação**, v. 28, n. 1, p. 15-31. 2016.
- Spitzer, T. S. **The Power of Collaboration**. New Jersey: Career Press, 2018. 224 p.
- Takayanagui, A. D. Redes de pesquisa e colaboração, produção científica, avaliação e o controle internacional da ciência. In: Leite, D. *et al.* **Redes de pesquisa e colaboração. Conhecimento, avaliação e o controle nacional da ciência**. Porto Alegre: Sulina, 2018. p. 17-20.
- Vanz, S.; Stumpf, I. Colaboração Científica: revisão teórico-conceitual. **Perspectivas em Ciência da Informação**, Belo Horizonte, v. 15, n. 2, p. 42- 55. 2010.
- Viotti, E. Fundamentos e evolução dos indicadores de CT&I. In: Viotti, E.; Macedo, M. **Indicadores de Ciência, Tecnologia e Inovação no Brasil**. Unicamp, 2003. p. 41-87.
- Weinberg, G. **An introduction to general systems thinking**. Weinberg & Weinberg, 2011. 320 p.
- Wheatley, M. **Leadership and the new science: Learning about organization from an orderly universe**. 3 ed. San Francisco: Berrett-Koehler Publishers, 2006. 217 p.
- Wixted, B.; Holbrook, A. **Conceptual Issues in the Evaluation of Formal Research Networks**. Vancouver: CPROST, Simon Fraser University, 2008.
- Wixted, B.; Holbrook, A. Environmental complexity and stakeholder theory in formal research network evaluation. **Prometheus**, v. 30, n. 3, p. 291-314. 2012.