
INOVAÇÃO E REDES: MÉTODO PARA IDENTIFICAR A BASE DE CONHECIMENTO DOS PARADIGMAS TECNOLÓGICOS

Carolina da Silveira Bueno, José Maria da Silveira, Antonio Marcio Buainain

*Center of Agriculture and Environmental Researcher, Institute of Economics, University of Campinas, Brazil**

Resumo

Palavras-chave:

Inovação

Redes

Paradigma tecnológico

Biocombustíveis

Conhecimento

Neste artigo, propomos uma metodologia para investigar a base de conhecimento dos paradigmas tecnológicos. Neste caso, aplicamos o método para o setor de biocombustíveis. A investigação é realizada através da análise de uma grande quantidade de artigos científicos publicados desde a década de 1970. A partir do método de agrupamento topológico, estruturamos as informações em uma rede que indica os níveis de co-autoria entre autores nacionais e internacionais, e dividimos a rede em sub-redes de colaboração entre as áreas de pesquisa. A análise do resultado dos clusters com as características de colaboração entre os países e da colaboração das áreas do conhecimento, detectou o desenvolvimento do paradigma via rede de colaboração internacional. O destaque é para a rede de colaboração entre as classes tecnológicas das patentes (IPC-*International Patent Classification*) que detectou frentes de pesquisa emergentes.

1. Introdução

A quantidade de pesquisas vem aumentando tão rapidamente que entender exatamente como as fronteiras tecnológicas vêm progredindo é um desafio. Todavia, uma característica desse século é a economia baseada em conhecimento. Quando se trata de economias baseadas em conhecimento, as propriedades da base de conhecimento estão no centro dessa discussão[1], isto porque a teoria da inovação explica o regime tecnológico que define os padrões inovativos segundo as condições de oportunidade (*opportunity*), apropriabilidade (*appropriability*) e cumulatividade (*cumulativeness*), e as propriedades ligadas à natureza e à transmissão desses conhecimentos. A dinâmica dessas propriedades se constitui de um dos aspectos fundamentais do crescimento e transformação das economias contemporâneas [2,3,4]. Nessas condições, quanto mais articulada for essas propriedades maior é a chance de crescimento e transformação nas economias, entretanto, se a situação for de desequilíbrio entre as propriedades o dinamismo e o crescimento serão baixos.

Corresponding author

E-mail addresses: nea@eco.unicamp.br

A oportunidade tecnológica é quando os novos conhecimentos, ligados às inovações, podem ser utilizados em vários processos de produção ou mesmo em diferentes mercados. A apropriabilidade é entendida pelo grau de proteção das inovações contra as imitações das concorrentes, e podem ser os direitos de propriedade, controle de ativos complementares, segredos industriais e patentes. Para a cumulatividade, esta é entendida pelos conhecimentos gerados e melhorados gradualmente, ou seja, a capacidade de inovar com base em inovações passadas. O processo de aprendizado de uma inovação cria uma margem de inovações subsequentes, que constituem melhoramentos incrementais no conhecimento original e ou geram conhecimentos que serão utilizados em outros campos do saber. No que diz respeito à natureza e transmissão do conhecimento esta é definida pelo grau de especificidade, de codificação e de complexidade. O conhecimento é dito específico na medida em que é codificado (público) e voltado às aplicações industriais. A transmissão do conhecimento pode revelar possibilidades de explorar mercados, de produzir novos produtos e de aplicar novas técnicas produtivas.

Entretanto, o problema é como investigar as propriedades da base de conhecimento de áreas emergentes? Desafios são colocados: 1) a quantidade de conhecimento vem crescendo tão rapidamente que capturar a estrutura do conhecimento é complexa, pois não se sabe como esses conhecimentos vão avançando por entre as fronteiras nacionais; 2) abordagens baseadas em opiniões de especialistas em um plano que envolve diversos países são caras e demoradas, e por muitas vezes, quase inviáveis através de pesquisas de campo.

Este artigo, através do método *scientometrics* e das Redes de colaboração (*Collaborative Networks* – CNs) [5], entende que é possível prever as propriedades da base de conhecimento de áreas emergentes, através dos seguintes indicadores: *a)* informações de artigos e patentes são utilizadas para identificar os países intensivos em ciência e patentes (cumulatividade e apropriabilidade) e, *b)* a aplicação da metodologia de redes de colaboração internacional para estudar as propriedades desse conhecimento (oportunidade, natureza e transmissão do conhecimento). Essas dimensões, em seu conjunto de análise, fornecem os elementos que caracterizam os países no paradigma tecnológico e das relações intrínsecas ligadas ao conhecimento.

As informações contidas nos documentos de artigos e patentes podem ser utilizadas como importantes insumos na investigação de fenômenos relacionados à economia da inovação. A divulgação de informações técnicas relacionadas ao conhecimento novo e o caráter cumulativo dos artigos e patentes permite que esse tipo de investigação seja realizado [6,7]. Já a colaboração científica é definida como a interação ocorrendo dentro de um contexto social entre dois ou mais cientistas, (redes) que objetivam a partilha de significado e realização de tarefas em relação a uma solução mutuamente compartilhada [8]. Em alguns trabalhos, abordagens baseadas em artigos e patentes foram usadas para descrever atividade relacionadas a economia da inovação. Em um deles, foram construídas redes baseadas em citações de IPCs relacionadas ao setor de bioenergia no período de 1976 e 2012. Os autores concluíram que diferentemente da área de plantas transgênicas, em que as trajetórias foram claramente identificadas por esse método, em bioetanol ainda não foram identificadas trajetórias tecnológicas [9]. Outro trabalho, através de abordagens *scientometrics* e de CNs, de artigos publicados em bioetanol de segunda geração, mostrou que há um número impressionante de alternativas sobre diferentes tipos de biomassa, processos e subprodutos, ou seja, uma matriz complexa de oportunidades tecnológicas e exigências que geram um incentivo claro para a colaboração internacional [10]. Este artigo, a partir da metodologia de redes e da teoria da inovação, discute as propriedades da base de conhecimento do paradigma tecnológico dos biocombustíveis a partir de informações de artigos e patentes.

Os biocombustíveis têm sido considerados promissores para a substituição dos combustíveis fósseis com impactos decisivos no controle do clima. Diferentemente do petróleo, os biocombustíveis são produzidos a partir de fontes renováveis de energia, como por exemplo, as matérias-primas agrícolas, entre elas, a cana-de-açúcar e o milho. Embora muitos tipos de materiais podem ser usados para produzir biocombustíveis, a cana-de-açúcar e o milho, respectivamente, Brasil e Estados Unidos,

foram os únicos países que conseguiram viabilizar em larga escala com o uso desses materiais, abastecendo além do mercado interno, também o mercado externo [11]. A capacidade produtiva combinada com a capacidade de especialização tornam esses países entre os poucos com aptidões para transferir conhecimentos nessa área de fronteira tecnológica, uma vez que foram os dois países que construíram o paradigma dos biocombustíveis desde meados de 1970 [1]. Atualmente, diversos países vêm acometido esforços para produzir biocombustíveis, pois que o paradigma está em sua infância, e ainda não está definida uma trajetória tecnológica [12]. Esse fato decorre do crescente debate em relação aos níveis de emissão dos gases de efeito estufa (*greenhouse gases* – GHG) combinada com os acordos internacionais dos países para reduzir a emissão de CO₂ na atmosfera [13]. É importante dizer que o Brasil é protagonista nesta discussão, dada a viabilização de 42% de sua matriz energética ser derivada de fontes renováveis de energia.

Recentemente, o foco da fronteira tecnológica têm sido os biocombustíveis chamados de 2^a e 3^a geração: segunda geração (2G) é a degradação da biomassa para converter os açúcares a etanol, e terceira geração (3G) corresponde a biocombustíveis produzidos a partir de algas marinhas [11].

2. Metodologia de Pesquisa

A proposta metodológica para a pesquisa envolve procedimentos de palavras-chave e IPCs para a coleta de informações de artigos e patentes em bases de dados especializadas. Utiliza-se de programas de computador para o tratamento e a sintetização de uma grande quantidade de dados. O programa TI (Tecnologia da Informação), “*The VantagePoint*” além de possibilitar o tratamento das informações científicas, também cria a matriz de adjacência para co-autoria e permite visualizar graficamente as redes. Para este trabalho, são construídas as seguintes redes: i) as redes de co-autoria para bioetanol de cana e milho, ambas separadamente, ii) sub-redes de colaboração entre as áreas de pesquisa, e iii) uma rede de correlação de IPCs (*International Patent Classification*). O problema foi a definição das palavras-chave das áreas de pesquisa no domínio do tema. Uma solução foi usar um programa de referência mundial em bioenergia – o BIOEN-FAPESP – que caracteriza nove áreas tecnológicas para investigação em biocombustíveis, a saber: (1) hidrólise enzimática, (2) marcadores moleculares, (3) deslignificação, (4) genótipos, (5) conversão enzimática, (6) expressão genética, (7) nitrogênio, (8) genômica da fotossíntese e (9) controle de pragas e doenças. Com a formulação de palavras-chave que representam o domínio de pesquisa dessas áreas foi possível criar um corpo de investigação.

No entanto, esse método pode fazer com que muitos documentos que não correspondam ao tema da investigação possam surgir. Para resolver esse problema, além de utilizar palavras-chave para uma ampla cobertura de investigação: “*sugarcane etanol**”, “*biofuels etanol**”, “*biomass etanol**”, foi necessário o tratamento dos dados. Na Fig. 1, (passo 1), o resultado do levantamento dos dados foram obtidos 3.021 artigos científicos da base de dados da *Web of Science* (WoS) no período de 1975 a 2014 (1^a), após o tratamento das informações (*data mining*, realizada no programa TI) foram excluídos os artigos que não correspondem ao tema, por exemplo, áreas médicas, odontológicas, entre outras, que emergiram durante a análise e, portanto, eliminar quaisquer artigos que não fazem parte do tema dessa investigação, nesse procedimento o conjunto de documentos somaram 2.997 artigos científicos (2^a). A 3^a amostra é de 2.940 artigos que formaram os grupos de subáreas de análise e excluídos os documentos repetidos. Com essa amostra foi construída a rede de colaboração internacional (passo 2) e as sub-redes por área de pesquisa (passo 3). Essas sub-redes estão divididas por subáreas, em que o algoritmo do *VantagePoint* relaciona os nós de cada cluster por link direto de relação, ou seja, de co-autoria de áreas de pesquisa, e também permite a visualização graficamente.

O mesmo procedimento foi realizado para obter informações de 263 patentes da base da Derwent para construir a rede de colaboração de IPCs (passo 4), a combinação de queries que resultou no conjunto dessas patentes foi a seguinte: ((C12P-007/06 OR C12P-007/08 OR C12P-007/10 OR C12P-007/14 C12P-019/14 OR C12P-039/00 OR C12N-001/15 OR C12N-001/16 OR C12N-001-18 OR C12N-001/19 OR C12N-001/20 OR C12N-001/21 OR C12N-001/22 OR C12N-009/02 OR C12N-

009/04 OR C12N-009/14 OR C12N-015/01 OR C12N-015/02 OR C12N-015/03 OR C12N-015/04 OR C12N-015/05 OR C12N-015/10 OR C12N-015/11) AND (sugarcane* AND (ethanol* or biofuels* or biomass or bioenergy)).

Nessa rede (passo 4), o algoritmo do Programa *Vantage Point*, além de relacionar os links diretos de agrupamento das áreas tecnológicas das patentes, usado para visualizar dinamicamente grandes redes compostas por centenas de nós e centenas de ligações, este algoritmo também se aplica para um esquema interativo orientado por uma extensão da rede, a fim de gerar coordenadas orientadas para os nós, expressando suas ligações para ser intuitivamente compreendido.

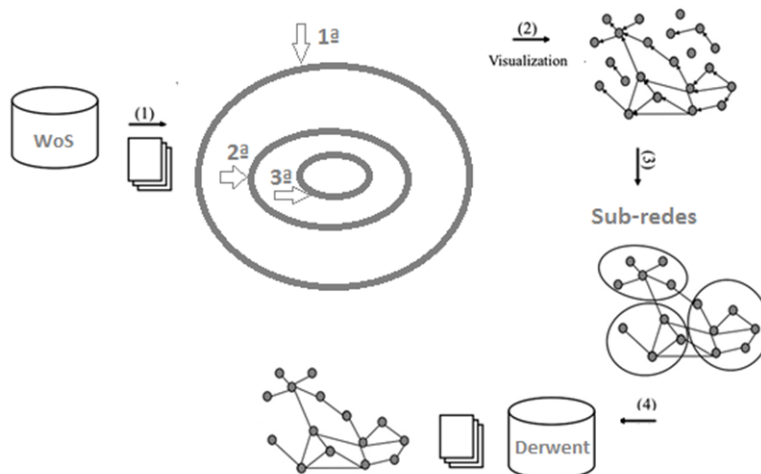


Fig. 1. Metodologia proposta

As redes são representadas por grafos, que é uma ilustração da rede representada da seguinte maneira: um grafo direcionado consiste de um conjunto V de vértices (ou nós), um conjunto E de arestas (links ou Edges), $E \rightarrow V$, onde (e) é a fonte e (v) é o alvo da aresta direcionada [14]. Então, qualquer conjunto de elementos no qual alguns deles estão conectados em pares através de links será representado. Na rede de colaboração científica, os vértices são pesquisadores e as arestas indicam algum tipo de colaboração científica, como a publicação de artigos em conjunto. Neste caso, dois vértices estão relacionados se os dois pesquisadores são coautores de, ao menos, um mesmo artigo científico. Entre as abordagens para medir as redes são os níveis de: a) centralidade (*centrality*), ou seja, quem é importante na rede; e b) *degree* ou grau – que é o nível de envolvimento ou atividade na rede (representada pela quantidade de nós e links) [15].

3. Resultados

Foram coletados artigos da base de dados da *Web of Science*, que é uma interface de usuário baseada na Web de bases de dados do ISI (*Institute for Scientific Information*), que incluem artigos publicados a partir de 1970. Foram pesquisados os documentos, usando os seguintes termos da consulta: (1) [hydrolys? AND sugarcane AND enzyme?]; (2) [“molecular mark?” AND sugarcane]; (3) [ethanol AND (Biomass OR bagasse) AND sugarcane]; (4) [genotypes AND sugarcane]; (5) [sugarcane AND conversion enzymes*]; (6) [gene expression AND sugarcane]; (7) [nitrogen AND sugarcane]; (8) [photosynthesis* AND sugarcane]; (9) [“pest control” AND sugarcane].

Foram obtidos, 3.021 artigos, e após o tratamento da informação (Fig. 1), 2.940 artigos compõe a amostra estudada para bioetanol de cana-de-açúcar. O número de publicações anuais é mostrado na Fig. 2, o agrupamento mostra uma evolução cronológica dos artigos de 1975 a 2014, e depois o agrupamento topológico dos artigos por países é mostrado na Fig. 3.

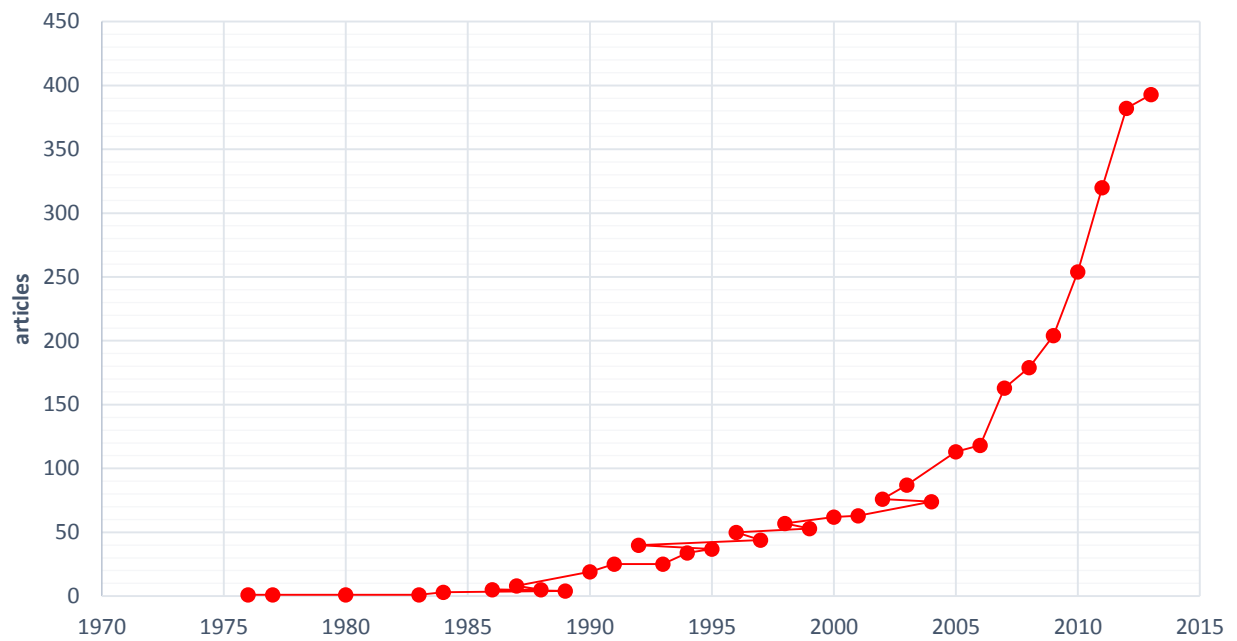


Fig. 2. Número anual de papers “cumulativeness”.

Na Figura 3 o mapa representa os agregados de cada país e indica o valor do número de artigos. Os artigos no agrupamento total (2.940 artigos), o Brasil e os Estados Unidos foram muito mais relevantes que outros países. Nota-se, que quanto mais intensa a cor, mais artigos esse país possui. O Brasil apresenta 726 artigos e os Estados Unidos 427 artigos, sendo os dois maiores produtores de conhecimento científico.

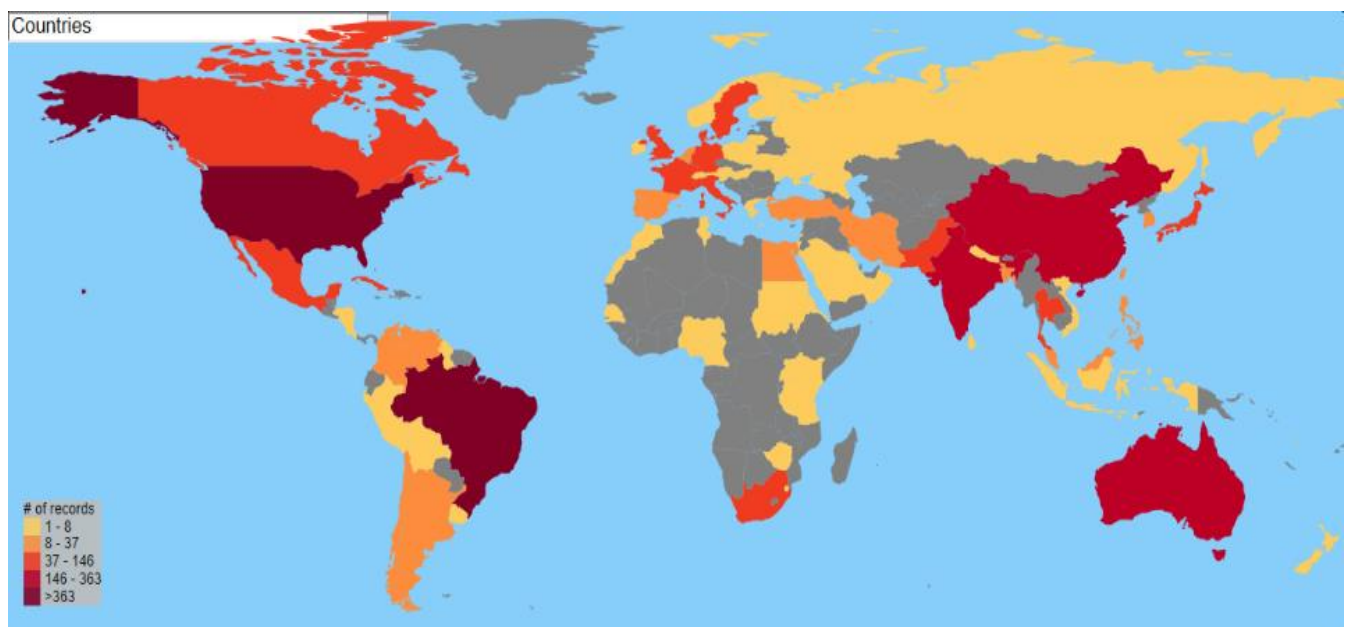


Fig. 3. Mapa mundial - Artigos, cana-de-açúcar

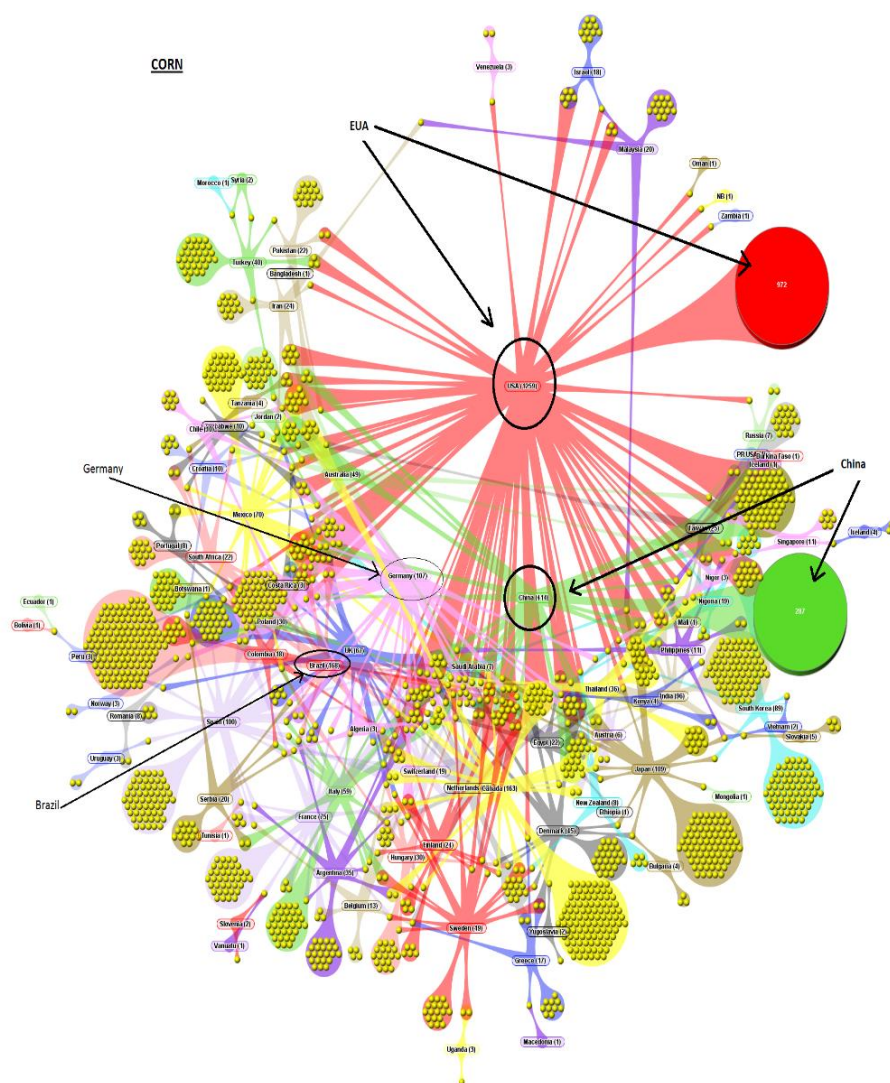
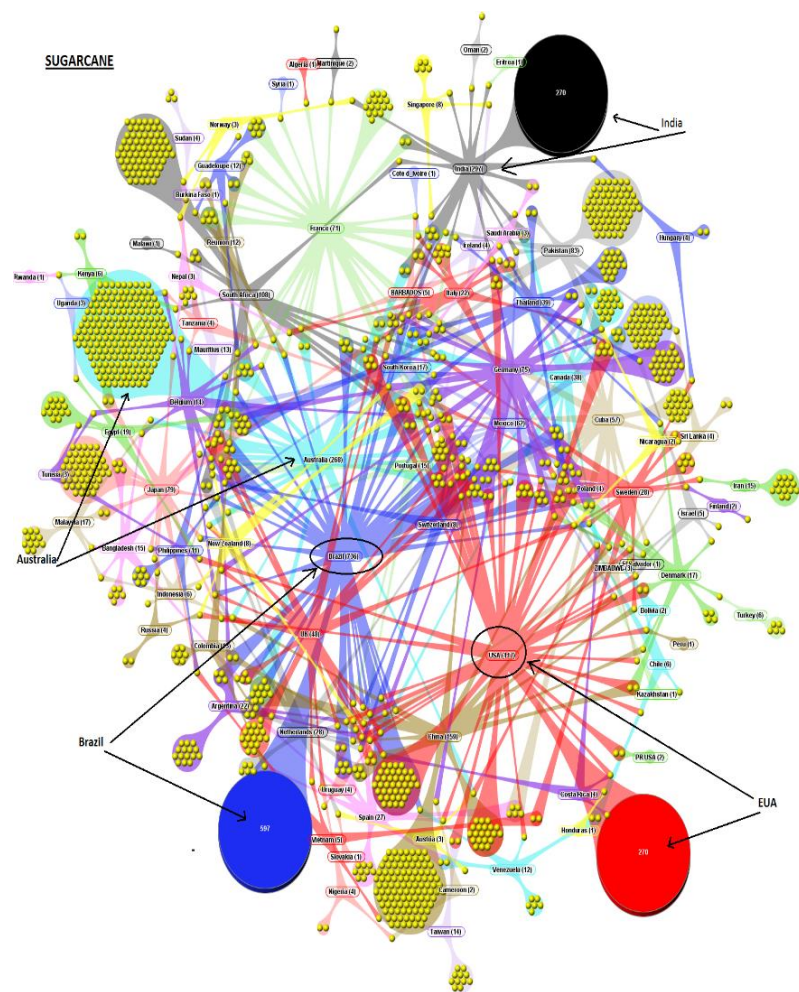


Fig. 4. Visualização da rede de colaboração internacional- desenvolvimento do paradigma.

Em relação à rede de co-autoria, Brasil e Estados Unidos, foram semelhantes, uma vez que possuem fortes relações de co-autoria e um certo grau de relação semântica em colaboração internacional. Após o agrupamento topológico, no passo (2), a rede de co-autoria é visualizada como mostrado na Fig. 4. A cor é calculada com base nos links de co-autoria entre os países, manteve-se os dados de co-autoria interna, visualizadas da mesma maneira.

Para etanol de cana-de-açúcar, o agrupamento, Brasil (verde) e Estados Unidos (azul) são altamente relacionados, enquanto que a Índia (vermelho) se insere no paradigma recentemente, também iniciando relações de co-autoria internacional. A Austrália (cinza) vem se inserindo da mesma forma que a Índia, assim como outros países. Mas, se o bioetanol de cana se desenvolve em rede de co-autoria internacional como poderíamos distingui-lo em relação ao paradigma? Deste modo é investigada a rede de co-autoria do bioetanol de milho, o mesmo procedimento foi utilizado para bioetanol de cana, apenas substituídas as palavras-chave “*sugarcane*” para “*corn or maize*”. São 4. 021 artigos, entre 1975 a 2014, em que os Estados Unidos (vermelho) e o Brasil (rosa) estão relacionados de maneira menos intensa quando comparado a rede de bioetanol de cana. Mas por outro lado, são inegáveis os aspectos de relações de co-autoria internacional, principalmente entre os Estados Unidos, China, Alemanha e Brasil, além de diversos outros países.

Fundamentada as redes de colaboração internacional, a expectativa é saber se as áreas do conhecimento também estão em colaboração. Deste modo, no passo 3, foram geradas as sub-redes, utilizando-se da mesma amostra de artigos da *Web of Science* que geraram a rede de colaboração dos países. A ideia foi saber em que medida conhecer o comportamento de uma área do conhecimento pode permitir que se conheça o comportamento das demais.

Por um lado, se as subáreas forem independentes, saber o comportamento de uma delas não auxilia na predição do comportamento das demais. Mas se, por outro lado, o comportamento de uma área for uma função do comportamento das demais, é possível prevê-lo nas redes de colaboração entre as áreas de pesquisas. Reforçando a tendência observada na Figura 4, é preciso reconhecer que existe colaboração entre os agentes e sinaliza a colaboração como um fenômeno do conhecimento neste tema. Na Fig. 5, observa-se que praticamente todas as áreas estão altamente correlacionadas em colaboração científica nas pesquisas.



Fig. 5. Visualização das sub-redes nas áreas de pesquisa.

Há também a formação de clusters menores surgindo nas sub-redes, e a evidência do comportamento de uma área como uma função do comportamento das demais. Portanto, foi possível prevê-lo. A próxima pergunta foi, como podemos identificar o cluster de IPCs combinando com os resultados acima? Diante disso, na etapa final (Fig.1, passo 4), analisamos o agrupamento da rede de 263 patentes no tema. Os termos para levantamento dos dados de patentes são apresentados na [Tabela 1](#) e a visualização do cluster é observado na [Fig. 6](#).

Tabela 1

A classificação de patentes e características dos termos na formação do cluster de IPCs.

Sub-classe de IPCs		Descrição
C12P7	06	(...) Etanol, não para bebida
C12P7	08	(...) produzido como subproduto ou a partir de substrato de resíduo ou de material celulósico
C12P7	10	(...) substrato contendo material celulósico
C12P7	14	(...) estágios múltiplos de fermentação; utilização de fermentação com diferentes tipos de micro-organismos...
C12P	19/14	(...) produzidos pela ação de carboidrase, p. ex. por alfa-amilase
C12P	39/00	(...) processos envolvendo micro-organismos de diferentes gêneros no mesmo processo, simultaneamente
C12N	1/15	(...) modificados pela introdução de material genético exógeno
C12N	1/16	(...) leveduras; seus meios de cultura
C12N	1/18	(...) levedura de pão; levedura de cerveja
C12N	1/19	(...) modificados pela introdução de material genético exógeno
C12N	1/20	(...) Bactérias; seus meios de cultura
C12N	1/21	(...) modificados pela introdução de material genético exógeno
C12N	1/22	(...) Processos que utilizaram, ou meios de cultura que contêm, celulose ou seus hidrolisados
C12N	9/02	(...) Óxidoredutases p. ex. Luciferase
C12N	9/04	(...) agindo sobre grupos CHOH como doadores, p. ex. glicose oxidase, lactato desidrogenase
C12N	9/14	(...) Hidrolases
C12N	15/1	(...) Preparação de mutantes sem introdução de materiais genéticos exógenos.
C12N	15/2	(...) Preparação de células híbridas por fusão de duas ou mais células, p. ex. fusão de protoplastos
C12N	15/3	(...) Bactérias
C12N	15/4	(...) Fungos
C12N	15/5	(...) Células vegetais
C12N	15/10	(...) Processos para o isolamento, preparação ou purificação do DNA ou RNA
C12N	15/11	(...) Fragmentos de DNA ou RNA; suas formas modificadas

O resultado do agrupamento das classes de IPCs na rede, mostram que as áreas tecnológicas estão altamente correlacionadas, ou seja, essa correlação sugere que as áreas tecnológicas interferem no desenvolvimento das demais e vice-versa. Ainda não se sabe o nível de influência, entretanto já é possível prevê-lo. Entretanto, um encontrado positivo está no esquema interativo ilustrado na rede. Nota-se que os links diretos mostrados na rede apontam para um esquema orientado de coordenadas

para os nós expressando ligações intra-clusters, intuitivamente compreendido para detectar as frentes de pesquisa emergentes que estão direcionadas para etanol 2G e 3G.

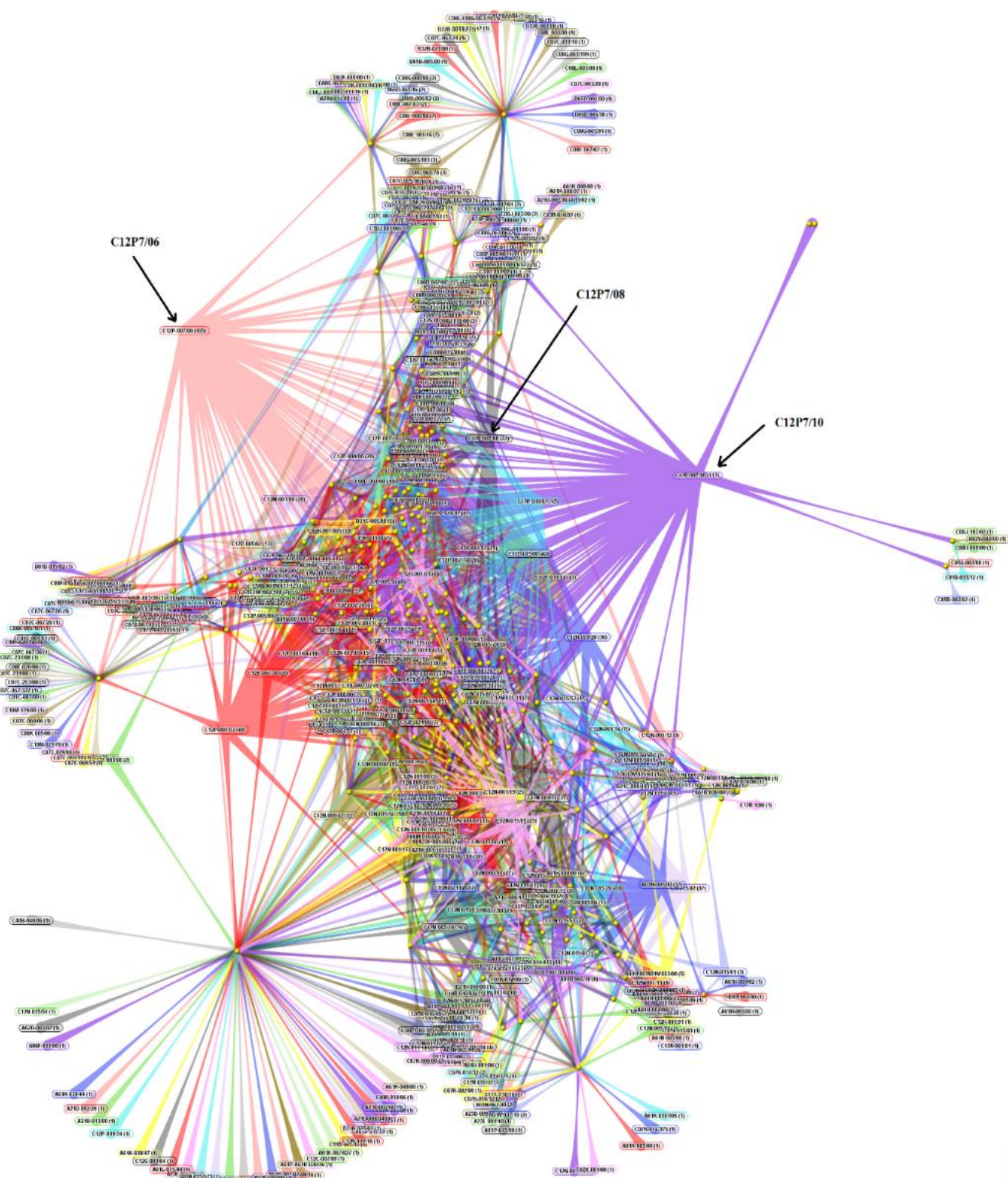


Fig. 6. Visualização da rede de IPCs das patentes

4. Discussão

Como apresentado nos resultados acima, foi realizada a análise da rede de colaboração no domínio dos biocombustíveis, respectivamente, etanol de cana-de-açúcar e etanol de milho. A ideia básica era buscar entender a base de conhecimento desta área, uma frente tecnológica ainda em sua infância. Em resultado apresentado em trabalho anterior a este, no quesito apropriabilidade, mostramos que o Brasil apresenta desarticulação entre cumulatividade e apropriabilidade, uma vez que é líder em publicação científica mas tem poucas patentes, diferentemente dos EUA, que estão com níveis elevados quando comparados ao Brasil no patenteando [16]. A partir dos resultados da cumulatividade e da apropriabilidade, avançou-se no entendimento do fluxo desse conhecimento. Ou seja, as redes de colaboração sinalizaram uma possível resposta para entender a oportunidade, natureza e transmissão do conhecimento na área dos biocombustíveis.

Buscou-se saber em que medida os dois maiores produtores de bioetanol, que possuem um histórico de décadas nos biocombustíveis, estão sinalizando a transmissão desse conhecimento. Assim, foram estudadas as redes de colaboração dos artigos científicos. Os resultados mostraram que existe um intenso fluxo de transmissão do conhecimento entre diversos países (Fig. 4). O principal fluxo é entre o Brasil e os Estados Unidos. Portanto, os maiores produtores de cumulatividade do conhecimento de bioetanol também são os que têm maior colaboração científica na rede. O *degree* (que capta a centralidade da rede) mostrou que os nós e links principais que se distribuem na rede pertence a esses dois países, em especial pelo Brasil em etanol de cana, e pelos EUA em etanol de milho (Tabela 2), sendo os principais países com nível de envolvimento e atividade na rede. Na rede de etanol de milho, a Alemanha tem atividade em rede maior que a China (com *degree* 46.000), apesar da China (com *degree* 30.000) estar em segundo no *rank* de quantidade de artigos. No caso da rede de cana de açúcar, os EUA tem maior atividade em rede, apesar do Brasil ser o líder no *rank* de artigos.

Tabela 2

betweenness centrality.

Sugarcane	Degree	Corn	Degree
Brazil	32.000	EUA	68.000
USA	40.000	China	30.000
India	19.000	Canada	34.000
Australia	28.000	Brazil	26.000
Peoples R China	16.000	Germany	46.000
South Africa	16.000	Japan	27.000
Japan	15.000	India	19.000
Germany	25.000	Spain	32.000
Pakistan	12.000	France	32.000

Com os resultados apresentados, entendemos que a natureza desta área está fortemente ligada à colaboração internacional, o que conseguimos mostrar com a rede de co-autoria, com as medidas de atividade dos países na rede, com as sub-redes de colaboração entre as áreas do conhecimento. Diante disso, o desenvolvimento do paradigma tecnológico pode ser entendido pela oportunidade originada via rede de colaboração.

Essa ideia é reforçada pela rede de IPCs de patentes, esta rede, demonstrou que as áreas tecnológicas estão altamente correlacionadas, ou seja, são clusters fortemente ligados por colaborações entre as áreas tecnológicas de conhecimento. Portanto, de caráter fortemente cumulativo e transdisciplinar. Logo, as colaborações via rede, além da função de transmissão do conhecimento, são a própria natureza inovativa do tema investigado.

Além do entendimento dessas propriedades da base de conhecimento, a rede de IPCs, em particular, também detectou a emergência das áreas tecnológicas. Observa-se na Fig. 6, que há aglomerados emergentes, representados pelos termos característicos para grupos de 2G e 3G de biocombustíveis. Isto porque, os nós centrais que conectam as tecnologias são a classe de IPC C12P7/06 “...·Etanol, i.e. não para bebida” a qual relaciona tecnologias relacionadas à etanol, e o à

direita (representada pela cor roxa) corresponde a classe de IPC C12P7/10 “...*substrato contendo material celulósico*”, e a classe C12P7/08 “...*produzido como sub produto ou a partir de substrato de resíduo ou de material celulósico*”. Essas três classes de tecnologias estão representadas pelo aglomerado de classes tecnológicas no centro do cluster. Isto quer dizer que as áreas tecnológicas que estão no centro do cluster tem forte influência na determinação do comportamento dessas áreas orientadas. Em outras palavras, o algoritmo do programa TI aplica a rede para um esquema iterativo orientada por uma árvore de extensão da rede, a fim de gerar coordenadas para os nós expressando ligações intra-clusters.

Então, isso significa que o cluster sinaliza que tecnologias de bioetanol 1G, estão direcionando tecnologias para bioetanol 2G e 3G, uma vez que a Classe C12P7/06 para etanol se conecta com C12P7/08 e C12P7/10 a qual corresponde a etanol produzido a partir da biomassa. Esta sinaliza ainda mais, essas características demonstram a cumulatividade do conhecimento (baseadas em experiências passadas) como essencial para desenvolver novas fronteiras tecnológicas, apesar de ainda não saber se em nível menor ou maior de influência. Então, essa rede pode detectar as fronteiras emergentes do paradigma tecnológico, bem como combinadas as outras redes, pode levar ao entendimento das características das propriedades da base de conhecimento dos países no paradigma.

5. Conclusão

Neste trabalho, detectamos o paradigma dos biocombustíveis através de um grande número de artigos científicos e patentes, uma área de pesquisa radicalmente inovador. Foram investigadas as redes de co-autoria e depois suas sub-redes de colaboração entre as áreas de pesquisa. Com esse método foi possível investigar as relações intrínsecas ligadas ao conhecimento e os países em direção ao paradigma dos biocombustíveis.

No mais, no caso brasileiro, apresenta articulação entre cumulatividade, oportunidade e natureza e transmissão do conhecimento, uma vez que está bem posicionado na rede de conhecimento. A natureza dessa área inovativa (ou seja, em rede de colaboração) pode levar também a mecanismos de apropriabilidade pelos agentes com maiores vantagens competitivas (e, portanto, conduzir transformações na economia). Este não raro efeito pode explicar a desarticulação entre cumulatividade e apropriabilidade para o caso brasileiro. Então, a rede de colaboração aparece como um importante mecanismo de viés de apropriabilidade, e não somente como um mecanismo central para o desenvolvimento das inovações. Verifica-se que as conexões entre agentes apontam para fortes fluxos de transmissão do conhecimento. Considerando que existe uma vinculação estreita entre conhecimento científico e tecnológico, há o permanente risco de que a transmissão de conhecimentos reforce os polos mais próximos do desenvolvimento tecnológico, intensificando, portanto, assimetrias entre países e agentes.

Todavia, se a natureza dessa área do conhecimento é a rede de colaboração, a qual tem na sua propriedade o fluxo e a transmissão do conhecimento, em que o nível de apropriabilidade dos agentes pode estar relacionado com um sistema sistêmico de inovação, então, pergunta-se: o que explica a priori esses determinantes?

A tentativa de explicar esses determinantes é o que chamamos de *movimento inverso da inovação*. “*Movimento*” está ligado diretamente ao processo de desenvolvimento da inovação, que ocorre antes mesmo dela se tornar um produto final aceito pelo mercado. Por exemplo, não é difícil imaginar que o conhecimento (em redes) ainda em fase de experimentação seja transmitido de um agente para o outro, e assim por diante, na rede. Até mesmo nos congressos, universidades, laboratórios etc., a transmissão do conhecimento ocorre porque as ideias são colocadas, discutidas, divulgadas etc. Essa transmissão do conhecimento acentua-se sobremaneira quando ocorre a coautoria entre os agentes. A acentuação decorre do fato de um agente ligar suas pesquisas diretamente ou indiretamente a outro agente na rede, e nesse movimento, que é inevitável, um ou outro pode apropriar-se das ideias. A diferença é que essa apropriabilidade não está ligada diretamente à cópia e à posse da invenção, mas sim, durante o estágio pré-paradigmático, como base

para desenvolver novas possibilidades inovativas sobre a ideia já existente, ou seja, uma nova versão de produto, processo etc., e tal propriedade abre espaço para emergir distintas trajetórias tecnológicas. Uma vez que em pesquisas, normalmente, não é claro desde o início se o objetivo pode ser alcançado ou qual a melhor maneira de alcançar. Tentativa e erro são partes integrantes do processo de desenvolvimento de pesquisas.

Um agente pode se apropriar da cumulatividade e das experiências de outros agentes durante o estágio pré-paradigmático pela simples observação. Por exemplo, um estrangeiro em colaboração em outro país, somente pelo contato com a inovação, pode se apropriar do invento e “matar” a inovação do outro agente, por meio de uma nova ideia sobre a ideia observada. Isso porque o conhecimento pode ser transmitido desde vias intangíveis, como a observação, até as vias tangíveis, ou chamadas de codificadas, como os acordos de coautoria, as colaborações entre países e instituições e pelas vias de publicações de artigos e patentes.

Apesar disso, o movimento da inovação não se torna um problema, uma vez que a construção do conhecimento tecnológico é resultado da interação entre ciência, tecnologia e experiências, e o conhecimento é cumulativo e, em algum nível, transmissível. Acadêmicos, pesquisadores, estudiosos etc., para desenvolver tecnologias, precisam do acúmulo e das experiências que foram realizadas anteriormente por terceiros. Quando o conhecimento é constituído em redes de colaboração, esse nível de transmissão de conhecimento entre os agentes se acentua para um objetivo específico. Portanto, o conhecimento é uma construção complexa, que resulta de um longo processo constituído ao longo do tempo, por diversos atores, países etc.

Já o sentido de “*inverso*” significa o efeito de causa contrária a algo que era para se alcançar durante o movimento da inovação. Ou seja, quando um agente entra na rede de inovação, ele entra para ganhar, para obter as vantagens da inovação. Mas, nessa dinâmica, alguém vai perder, logo, perder é o mesmo que receber o *movimento inverso*, aquilo que ele não queria alcançar. Isso ocorre porque, ao mesmo tempo que o agente transmite conhecimento na rede, também o absorve. Esse movimento cria as possibilidades da inovação, ao mesmo tempo que os agentes mais articulados vão se apropriando desses conhecimentos gerados.

Se a rede de colaboração possui um fluxo de conhecimento, e esse fluxo de conhecimento caminha nos canais de transmissão da rede, por meio da qual, em alguma medida, os agentes têm acesso a essas informações, esses canais, por sua vez, tornam-se um viés de apropriabilidade do conhecimento pelos agentes que estão na rede. Portanto, o *movimento da inovação*, que é a causa e o efeito do conhecimento estar compartilhado pelos agentes em rede, pode determinar a inversão da inovação para um ou para outro agente, uma vez que todos os agentes estão em competição.

Esse movimento pode levar à apropriabilidade pela via de patentes, que, por sua vez, se torna um importante indutor dos sistemas sistêmicos de inovação, e não somente como um mecanismo central para o desenvolvimento das inovações. Isso porque o sistema sistêmico de inovação é que vai determinar a inversão para esse ou para aquele agente (e, portanto, transformações na economia). Tecnologias desenvolvidas em redes de colaboração (os agentes), ante o efeito do movimento inverso, dão origem a Sistemas Nacionais de Inovação (SNIs), com intuito de se apropriar o quanto antes desses conhecimentos gerados, uma vez que esses conhecimentos gerados podem vir à ser inovações tecnológicas selecionadas pelo mercado.

6. Referências

- [1] BUENO, C. S. Cumulatividade Científica e apropriabilidade do conhecimento: redes de colaboração internacional e o caso brasileiro no paradigma dos biocombustíveis. Dissertação de mestrado (2016). Instituto de Economia. Universidade Estadual de Campinas. Brasil
- [2] BRESCHI, S.; MALERBA, F.; ORSENIGO, L. Technological regimes and Schumpeterian patterns of innovation. *The Economic Journal*, v. 110, p. 388-410, Apr. 2000.
- [3] DOSI, G. Sources, procedures, and microeconomic effects of innovation. *Journal of Economic Literature*, v. 26, p. 1120-1171, Set. 1988.

- [4] MALERBA, F.; ORSENIGO, L. Schumpeterian patterns of innovation are technology specific. *Research Policy*, v. 25, p. 451-478, 1996.
- [5] HAN, E.-H; KARYPIS, G. (2000). Centroid-based document classification: Analysis and experimental results. In *Proceedings of the 4th European Conference on Principles of Data Mining and Knowledge Discovery*, pp. 424–431.
- [6] GLÄNZEL, W., SCHUBERT, A. Analyzing scientific networks through co-authorship, Chapter 11, In Moed et al (eds), *Handbook of Quantitative Science and Technology Research*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2010.
- [7] R.N. Kostoff, R. Tshiteya, K.M. Pfeil, J.A. Humenik, G. Karypis, Power source roadmaps using bibliometrics and database tomography, in *Energy* 30 (2005) 709–730.
- [8] LEYDESDORFF, L., WAGNER, C. S. International collaboration in science and the formation of a core group. *Journal of Informetrics*, 2(4), 2008.
- [9] DAL POZ, M. E.; SILVEIRA, J. M. F. J. da. Trajetórias tecnológicas do bioetanol de segunda geração. In: Sérgio Salles-Filho (Org.). *Futuros do bioetanol: o Brasil na liderança?* 1ed. Rio de Janeiro/RJ: Editora Campus-Elsevier, v. 1, 2015.
- [10] SOUZA, L. G. A.; DIAS DE MORAES, M.F.; DAL POZ, M.E.; SILVEIRA, J.M.F.J. Collaborative Networks as a measure of the Innovation Systems in second-generation ethanol. *Scientometrics*, volume 103, Issue 2, 2015.
- [11] HLPE, 2013. Biofuels and food security. A report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security, Rome 2013.
- [12] MURAKAMI, T.; SILVEIRA, J. M. J.; SOUZA, L. G. A.; BUENO, C. S. Applying entropy indexes to identify technological trajectories: second-generation bioethanol production. *ANPEC – 43º Encontro Nacional de Economia*. Florianópolis Brasil, 2015.
- [13] IEA. 2013. Status of advanced biofuels demonstration facilities in 2012. A report to IEA Bioenergy Task 39. D. Bacovsky; N. Ludwiczek; M. Ognissanto; M. Wörgetter.
- [14] GOYAL, Sanjeev. *Connections: An introduction to the Economics of Networks*, 2007. Princeton and Oxford: Princeton University Press.
- [15] NEWMAN, M. E. J. *Networks: An Introduction*. Oxford University Press. 2010.
- [16] BUENO C. S.; SILVEIRA, J. M. J.; BUAINAIN A.M.; SOUZA, L. G. A.; MASAGO F. K. An evaluation of how Brazilian scientific research contributes to the patenting of sugarcane ethanol. *International Consortium on Bioeconomy*, Ravello, Italia (2015).