



## REDES DE COLABORAÇÃO EM ENGENHARIA DE BIOSISTEMAS NO BRASIL

C. E. M. V Silva\* e R. Nunes

USP – Univ de São Paulo, Departamento de Engenharia de Biosistemas (ZEB); Faculdade de Engenharia de Alimentos e Zootecnia (FZEA), Pirassununga, SP, Brasil

Article history: Received 17 April 2016; Received in revised form 13 June 2016; Accepted 15 June 2016; Available online 30 July 2016.

### RESUMO

A Engenharia de Biosistemas é uma especialidade entre as engenharias que ainda está se moldando, no Brasil e no exterior. No caso brasileiro, existe um pequeno número de instituições de ensino e/ou pesquisa que reúnem professores/pesquisadores que têm se ocupado com a docência e pesquisa em Engenharia de Biosistemas. Com o objetivo de se determinar como essa moldagem está se processando, aplicou-se à algumas das comunidades de ensino existentes, as técnicas de Análise de Redes Sociais. Para isso, os CVs Lattes (Plataforma Lattes, CNPq) dos membros dessas comunidades, foram utilizados para determinar as parcerias em coautoria na produção de artigos científicos em cada comunidade analisada. Como resultado determinou-se, entre os pesquisadores líderes em cada comunidade, uma significativa dispersão das áreas de pesquisa e também um baixo índice de colaboração interna nas coautorias em cada comunidade estudada.

**Palavras-chave:** Biosistemas; Análise de Redes Sociais; Coautoria; Pesquisa

### SCIENTIFIC COLLABORATION NETWORKS IN BIOSYSTEMS ENGINEERING IN BRAZIL

### ABSTRACT

Among other engineering specialties, the Biosystems Engineering is one that is still in process of been molded, in Brazil as well as abroad. In the Brazilian case there is a few number of academic research/ teaching institutions that get together communities of professors/ researchers occupied with Biosystems Engineering. To determine how this molding is in progress, the Social Network Analysis techniques were applied to some of these communities. With this purpose the Curriculum Vitae (CV Lattes, CNPq) of the researchers were utilized to determine the coauthoring partnership into the production of scientific papers among each of the analyzed community. As a result it was found among the leading researchers a remarkable diversity of field of interest, and a low grade of internal collaboration, internal to each studied community.

**Keywords:** Biosystems; Social Network Analysis; Coauthoring; Research

---

\* [carlos.viegas@usp.br](mailto:carlos.viegas@usp.br)

## **INTRODUÇÃO**

Para a interpretação, já clássica, de Thomas Khun, (KUHN,1962), a ciência normal é orientada por um paradigma científico que é sustentado, por sua vez, por uma comunidade científica. Nessa tradição, o "conhecimento" não seria uma "crença verdadeira justificada", mas o conjunto de proposições reconhecido como tal pela comunidade de pessoas informadas em determinado contexto histórico e social. Em consequência, os processos de comunicação entre cientistas tornaram-se um objeto privilegiado para se conhecer o que é o conhecimento científico.

O interesse nas comunidades científicas como objeto de estudo foi reforçado pelo reconhecimento de que o progresso das disciplinas científicas depende fortemente das estruturas das redes formadas por seus praticantes (VERSPAGEN; WERNER, 2004), ao mesmo tempo em que se organizaram e disponibilizaram extensas bases de dados sobre a produção científica. Para esses autores, nas redes sociais dos cientistas estabelecem-se “laços fortes” e “laços fracos” (GRANOVETTER, 1973), sendo exemplos dos primeiros os vínculos entre orientando e orientador e entre coautores, enquanto os laços fracos contemplariam a troca informal de opiniões e a inspiração advinda da literatura escrita. Supostamente os laços fortes são mais relevantes para a produção de conhecimento, enquanto os fracos são importantes para sua difusão para fora do grupo de pesquisa.

Além do compartilhamento de interesses de pesquisa, a publicação em coautoria revela uma parceria que se manteve ao menos por algum tempo e foi frutífera, uma vez que resultou em uma publicação. A coautoria tem sido empregada frequentemente como indicador da cooperação entre cientistas, chegando a ser, como advertem VANZ & STUMPF (2010), tomados indevidamente como sinônimos. As autoras ressaltam que “nem toda a

colaboração resulta em artigo e nem sempre a coautoria indica colaboração”. LIMA (2011) utilizou as coautorias para identificar as redes de colaboração científica, formadas a partir de um grupo de pesquisadores ligados ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul nos períodos 1998-2000 e 2004-2006. O autor concluiu que o número de vínculos a diferentes linhas e projetos de pesquisa contribui mais decisivamente para a conquista de uma posição relevante na rede de coautoria do que o número de vínculos com diferentes grupos de pesquisa. Sugeriu ainda que os entrantes tendem a adotar uma estratégia de submissão aos atores dominantes até acumular “capital científico” que lhes permita ocupar posições mais centrais na rede.

O achado de LIMA (2011) em relação à produtividade das conexões dentro do grupo e entre grupos corrobora a discussão em NUNES & SILVA (2014) que sugere que o valor de uma conexão depende do grau de homogeneidade dos agentes: um grau muito elevado de homogeneidade tornaria a produção pouco produtiva, pois não traria muita informação nova para a diáde, assim como a heterogeneidade em alto grau também não seria muito produtiva, pois muita energia seria despendida na comunicação e na superação de diferenças de pontos de vista. As colaborações entre indivíduos com graus moderados de heterogeneidade seriam as mais proíficas. Nesse sentido, a cooperação entre grupos ocorrerá mais provavelmente entre indivíduos que ocupam posições centrais nos respectivos grupos de pesquisa. Essa racionalidade econômica das conexões comunicativas oferece uma interpretação para os colégios invisíveis, entendidos como grupos restritos de pesquisadores de prestígio.

Para ZUCCALA (2006), o colégio invisível compreende três elementos críticos:

a especialização em determinado objeto, os cientistas como atores sociais, e o ambiente de uso da informação. Como exemplo, ZUCCALA (2006) utilizou as redes de citações para identificar o grupo de praticantes envolvidos com uma área de especialização da Matemática, a Teoria das Singularidades. Para o autor, essa área constitui um bom exemplo, pois campos mais amplos da Matemática envolveriam numerosos autores e teriam raízes muito longínquas, dificultando uma análise sociológica. A Teoria das Singularidades envolve um número reduzido de praticantes ativos (em torno de cem), mas trata-se de uma especialidade madura.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

Para se determinar como a Engenharia de Biosistemas está se configurando no Brasil, tomou-se quatro cursos de graduação, entre aqueles já existentes, e um departamento acadêmico de uma universidade. Devido a restrições operacionais no início dos trabalhos de coleta de dados, relacionadas à necessidade de domínio de ferramentas computacionais, optou-se por limitar o número dos cursos em análise aos aqui apresentados. Os cursos de graduação analisados são, respectivamente: o Curso de Bacharelado em Engenharia de Biosistemas, da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da USP (FZEA – USP), no campus de Pirassununga-SP; o Curso de Bacharelado Interdisciplinar em Biosistemas existente na Universidade Federal de São João del Rei (UFSJ), em São João del Rei, MG; o curso de Bacharelado em Engenharia de Biosistemas da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), no campus de Tupã-SP e por fim, o Bacharelado em Engenharia de Biosistemas oferecido pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Paraíba. Na Escola Superior de Agricultura Luís de Queiróz (ESALQ), da

O trabalho teve como objetivo analisar os cursos de Engenharia de Biosistemas existentes no Brasil e, por meio da identificação das redes de colaboração entre seus docentes, levantar os vetores que estão moldando as características dessa nascente especialidade da engenharia. Em vez de buscar uma definição normativa, baseada em uma classificação dos saberes tecnológicos, procurou-se aqui observar como se articulam algumas comunidades profissionais que atuam na área. Não se trata de investigar diretamente o que é ou o que deve ser é a Engenharia de Biosistemas, mas de investigar como se relacionam e como cooperam os atores que se identificam com essa especialidade.

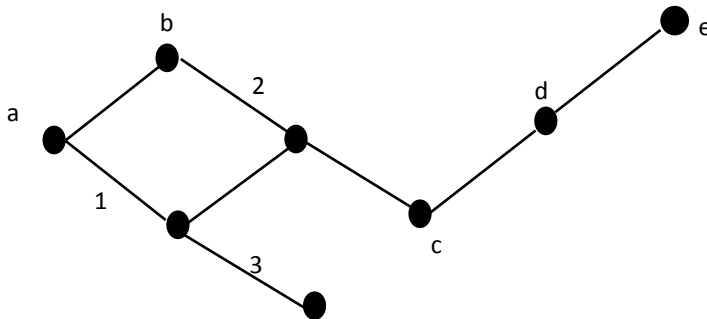
Universidade de São Paulo, em Piracicaba-SP, existe um Departamento de Engenharia de Biosistemas (LEB), mas até o momento (2016) ali não era oferecido um curso de graduação em engenharia nessa especialidade. Esses cursos de engenharia, assim como os departamentos mencionados, reúnem cinco comunidades de professores/pesquisadores que estão em diversas maneiras envolvidos com o ensino e/ou com a pesquisa em engenharia de biosistemas. Nesse trabalho não se tomou como ponto de início da investigação, o “departamento”, uma vez que essa unidade administrativa não existe, de uma maneira homogênea, entre as universidades pesquisadas.

A hipótese inicial da investigação foi a suposição de que os traços próprios dessa nascente especialização do conhecimento seriam possíveis de se determinar por meio da identificação das redes acadêmicas de colaboração, uma vez que as parcerias de trabalho se verificam na conjunção de pontos de vista e objetos de interesse compartilhados. Por sua vez, essas parcerias de trabalho se materializam, em alguma

medida, na publicação de artigos em coautoria, em periódicos revisado por pares.

O procedimento adotado foi o seguinte: uma vez conhecidos os nomes dos professores que compõem as comunidades mencionadas, se obteve para cada uma delas os Curriculum Vitae (CV) individuais de seus professores, conforme aquilo existente na Plataforma Lattes do CNPq (Conselho Nacional de Pesquisas) em janeiro de 2015. Esses CVs foram reunidos em repositórios em separado. O software aplicativo “scriptLattes” (MENA-CHALCO et al., 2009 e 2013) foi então usado para extrair desses repositórios as parcerias em “artigos completos publicados em periódicos”. O aplicativo scriptLattes, além de determinar as parcerias em artigos, também produz

relatórios analíticos e arquivos que podem ser lidos por outros softwares aplicativos. Então, na etapa seguinte, usou-se um software aplicativo denominado Gephi (GEPHI CONSORTIUM, 2016) específico para a análise de redes sociais, e obteve-se as métricas e grafos que possibilitaram a visualização e análise das redes de colaboração e autoria, nas quatro comunidades de professores analisadas. Os dados foram analisados separadamente e, também foram reunidos para uma análise de conjunto. Com esses arquivos procedeu-se a análise com o aplicativo Gephi, o que resultou, nos grafos e métricas para a análise. Uma ilustração para fornecer uma compreensão intuitiva de um grafo é mostrada abaixo:



**Figura 1.** Exemplo de Grafo

No exemplo acima, os pontos a, b, c, d, e, são vértices. As linhas 1, 2, 3 são arestas. A teoria dos grafos não será detalhada nesse trabalho; para uma introdução com abordagem matemática consultar, entre outros, FEOFILOFF et al., 2011. Em seguida estão relatadas algumas das métricas que foram usadas na análise.

### Densidade

A densidade de um grafo, ou da rede social por ele representada, segundo Scott: “Descreve o nível geral de ligação entre os pontos de um grafo. Um grafo “completo” é aquele no qual todos os pontos são adjacentes um ao outro: cada ponto é

conectado diretamente a todo outro ponto.” (SCOTT, 2011, p. 69).

No caso deste trabalho, os “pontos” do grafo representam os professores/pesquisadores e as “linhas” as ligações de cooperação/coautoria entre eles. “A densidade de um grafo é definida como o número de linhas em um grafo, expressada como a proporção do maior número possível de linhas. (...). Essa medida pode variar de 0 a 1, sendo 1 a densidade de um grafo completo.” (SCOTT, 2011, p. 71).

Essa métrica serve para indicar o grau de integração interna de um grupo social. No caso dos grupos de pesquisadores analisados, a densidade indica em que

medida que publicam em parceria o resultado de seus trabalhos. Como a colaboração está ligada à coautoria científica, essa métrica também demonstra o grau interno da colaboração nas comunidades em análise.

#### *Grau de Colaboração (Collaboration Rank)*

Segundo o aplicativo “scriptLattes”, o grau de colaboração (Collaboration Rank) é um valor numérico que indica o impacto de um membro no grafo de colaborações da qual esse membro faz parte. Ou seja, essa métrica é capaz de revelar o ponto (membro) com o maior número de ligações com outros membros do grafo.

#### *Centralidade de Mediação (Betweenness Centrality)*

Um grafo pode representar um grupo social com um número muito variado de pontos (“nós”, ou agentes), com uma distribuição espacial também muito variada. Assim, uma importante mensuração é saber a posição que um determinado ponto ocupa relativamente aos outros pontos na topologia da rede (ou grafo que a representa).

“Esse conceito mede a extensão para qual um ponto em particular se coloca “entre” vários outros pontos em um grafo. (...). A mediação de um ponto mede a extensão em que um agente pode fazer o papel de intermediário ou “porteiro” (*gatekeeper*) com um potencial de controle sobre outros.” (SCOTT, 2011, p. 86)

#### *Aplicação das métricas*

Para esse trabalho, a métrica da Centralidade de Mediação é a métrica mais importante, na medida em que pode fornecer alguma informação sobre a especificidade da área de atuação do intermediador mais relevante em cada grupo social analisado e, por esse meio pode indicar qual, ou quais, podem ser as características mais relevantes de colaboração que, atuando como vetores, podem direcionar a formação do corpo de conhecimentos próprio da Engenharia de Biosistemas.

#### *Áreas de atuação do pesquisador com maior centralidade de mediação*

Esse trabalho assumiu que, em cada comunidade analisada, o pesquisador com o maior grau de centralidade de intermediação entre seus colegas, possui alguma capacidade de liderar (ou ao menos propor) a escolha dos temas de pesquisa, o que poderia fornecer alguma pista a respeito do direcionamento dos trabalhos em engenharia de biosistemas para a comunidade em questão. Na tentativa de encontrar – qualitativamente – esse possível direcionamento, tomou-se como relevante a indicação das grandes áreas, áreas e subáreas que esses pesquisadores registraram em seus respectivos CVs Lattes de maneira auto declaratória. Para cada comunidade estudada, poderia ser mais revelador uma análise qualitativa que compilasse os conteúdos dos trabalhos acadêmicos publicados em parceria, mas essa tarefa se colocou muito além dos recursos disponíveis para a presente análise.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Com o uso dos softwares acima designados, obteve-se um conjunto de mensurações que estão tabulados abaixo:

**TABELA 1.** Medidas de posição obtidas a partir da análise dos grafos das comunidades de engenharia de biosistemas. Resultados obtidos com o uso dos softwares scriptLattes e Gephi

Instituição	Densidade do Grafo	Pesquisador com maior escore no grafo		Total de vértices	Vértices isolados
		Grau de Colaboração	Centralidade de Mediação		
<b>ZEB (FZEA USP)</b>	0,094	3,27	0,400	24	5
<b>LEB (ESALQ USP)</b>	0,173	2,66	0,393	25	1
<b>DEPEB (UFSDR)</b>	0,607	2,19	0,476	8	0
<b>UFCG</b>	0,013	1,00	0,000	13	11
<b>UNESP (Tupã-SP)</b>	0,066	1,77	0,0064	13	8
<b>TODOS Biosistemas</b>	0,025	3,28	0,114	70	17

Os dados contidos na Tabela 1 mostram que o grau integração entre os membros (vértices) das diversas comunidades examinados é baixo (a maior medida possível seria igual a 1). O fato da comunidade representada pelo Departamento de Engenharia de Biosistemas (DEPEB) da Universidade de São João del Rei ( UFSDR) ter o maior escore é coerente com o seu menor tamanho; assim como o grau muito baixo (0,025) para o conjunto geral dos praticantes de engenharia de biosistemas (sem separar por instituição) demonstra que quanto maior o número de pesquisadores analisados, fica mais evidente a pequena integração entre eles.

No caso da centralidade de intermediação (*betweenness centrality*) o maior valor possível pode chegar a um e o

menor valor a zero. Para a comunidade da Universidade Federal de Campina Grande (Paraíba), o valor igual a zero significa que nenhum professor/pesquisador ocupa uma posição de liderança na coautoria com outros membros de sua comunidade. Os escores maiores alcançados por pesquisadores da demais comunidades significa a existência de pesquisadores que fazem sua intermediação por meio de publicações em coautoria, internas a elas. Esses escores de intermediação são reforçados por elevados graus de colaboração com os membros de suas respectivas comunidades, o indica para esses pesquisadores uma posição de liderança no direcionamento das pesquisas internamente às comunidades em que estão posicionados.

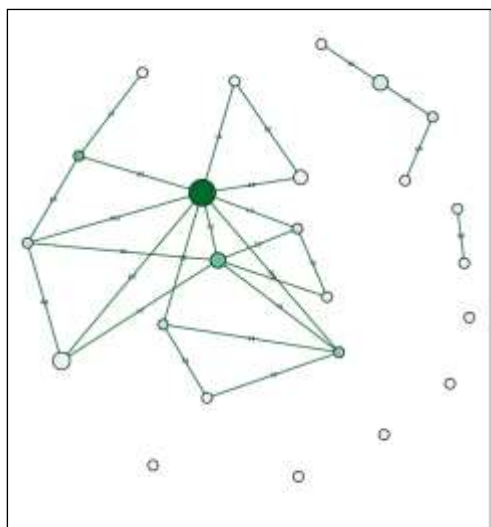
**TABELA 2.** Áreas de atuação do pesquisador com maior grau de cooperação e centralidade de intermediação, por instituição. Fonte: compilado a partir de dados da Plataforma Lattes.

Instituição	#	Grande Área	Área	Subárea	Especialidade
ZEB/ FZEA USP	1	Engenharias	Eng. Civil	Construção Civil	Materiais e Componentes de Construção
	2	Ciências Agrárias	Eng. Agrícola	Construções Rurais e Ambiente	
	3	Ciências Soc. Aplicadas	Administração	Administração de Empresas	Administração da Produção
LEB / ESALQ USP	1	Ciências Agrárias	Eng. Agrícola	Eng. Água e Solo	Irrigação e Drenagem
DEPEB UFSDR	1	Ciências Agrárias	Zootecnia	Estatística	
	2	Ciências Agrárias	Zootecnia	Genética e Melhoramento	
	3	Ciências Agrárias	Zootecnia	Produção Animal	
	4	Ciências Agrárias	Med. Veterinária	Med. Vet. Preventiva	
	5	Ciências Agrárias	Med. Veterinária	Animais de Laboratório	
UFMG	1	Ciências Agrárias	Eng. Agrícola	Eng. Água e Solo	
	2	Ciências Agrárias	Eng. Agrícola	Eng. Processamento Prod. Agrícolas	
	3	Ciências Agrárias	Eng. Agrícola	Construções Rurais e Ambiente	Eng. Construções Rurais
UNESP	1	Ciências Exatas e da Terra	Matemática	Energia na Agricultura	
	2	Ciências Exatas e da Terra	Matemática	Lógica Fuzzy	

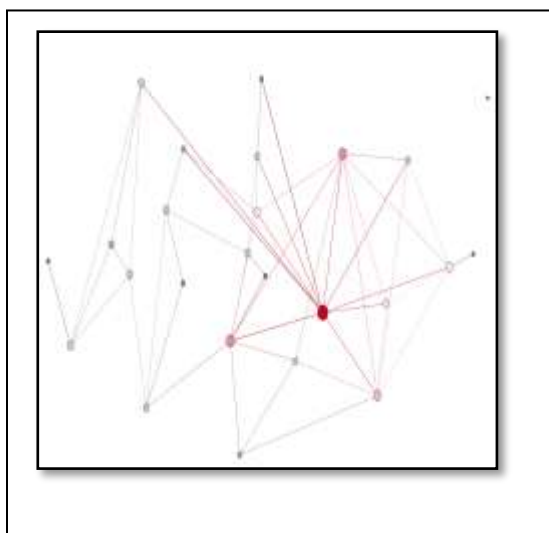
A Tabela 2 permite uma visão de conjunto a respeito das áreas do interesse em pesquisa por parte dos pesquisadores com o maior grau de intermediação entre seus colegas de comunidade. Esses pesquisadores também possuem um alto grau de cooperação entre seus colegas. Esses dados foram obtidos a partir da consulta ao CV Lattes para cada pesquisador, com os graus mencionados na Tabela 2, verificando a área de atuação informada na Plataforma Lattes pelo próprio pesquisador. No entanto, é possível se demonstrar que ocorre uma dispersão de áreas de atuação entre os pesquisadores líderes da Engenharia de Biosistemas e, com a devida cautela, é possível se inferir que, entre as comunidades aqui apresentadas, ocorre uma notável dispersão de interesses investigativos à

medida em que se detalha pelas subáreas declaradas na Plataforma Lattes. Esse detalhamento está coerente e parece reforçar a métrica da densidade do grafo, conforme a Tabela 1. Ou seja: a ampla dispersão de interesses nas subáreas de atuação dificulta que cada comunidade possa internamente interagir com maior grau de coesão, resultando em grafos com baixo índice de densidade.

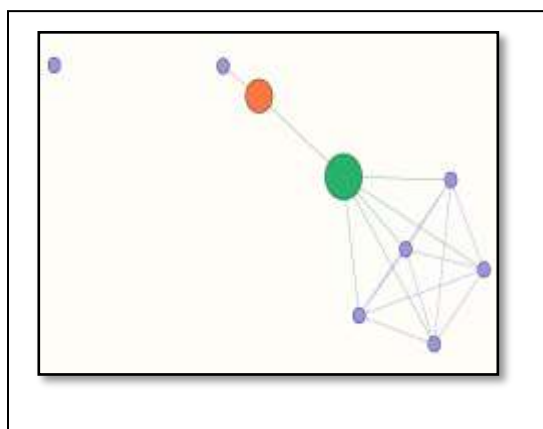
Abaixo estão exibidos os grafos obtidos (figuras de 1 a 6), e para cada grafo, os nós (ou vértices) representam os professores/pesquisadores e as linhas as representam as parcerias em publicações de artigos em periódicos. No grafo que reúne todas as comunidades de cursos de engenharia de biosistemas foram excluídos os vértices isolados (figura 7).



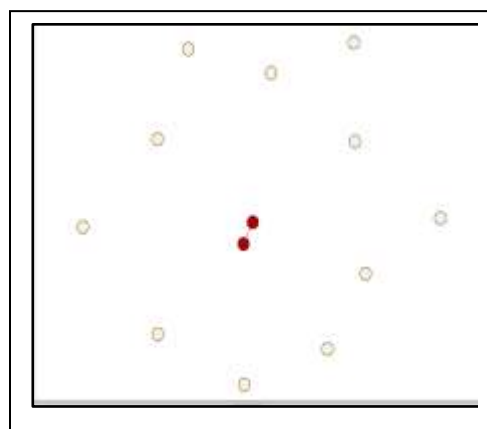
**Figura 2.** Grafo ZEB



**Figura 3.** Grafo LEB



**Figura 4.** Grafo DEPEB

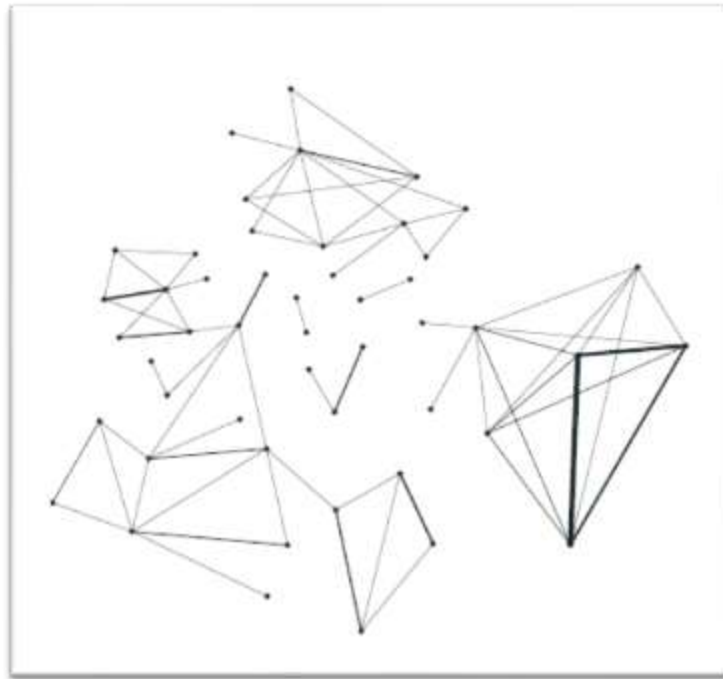


**Figura 5.** Grafo UFCG



**Figura 6.** Grafo UNESP Tupã





**Figura 7.** Todos Biosistemas

## CONCLUSÕES

A suposição inicial do presente trabalho foi que a caracterização das redes de pesquisadores em Engenharia de Biosistemas permitiria identificar o “colégio invisível da Engenharia de Biosistemas” e, partir da produção desse grupo social, obter um esclarecimento sobre a natureza e vetores de desenvolvimento da nova especialidade da engenharia. Contudo, encontrou-se grafos que parecem indicar redes de cooperação ainda em formação. As comunidades de pesquisa estudadas encontram-se em diferentes estágios exibindo diferentes tamanhos e densidades, em geral baixas.

O perfil dos docentes que ocupam posições centrais nas respectivas redes revela um leque variado de interesses de pesquisa, predominantemente na grande área das Ciências Agrárias, mas em subáreas e especialidades bastante diversas. Não há indícios de que um “colégio invisível” de Engenharia de Biosistema tenha se constituído até esse momento (2016) no Brasil. É provável que os pesquisadores que

formam o núcleo das organizações estudadas reportem-se mais intensamente aos colégios de suas respectivas especializações de engenharia de onde provieram, do que a pesquisadores abrigados na denominação Engenharia de Biosistemas. Em consequência, não é possível ainda definir o conteúdo e a natureza da pesquisa em Engenharia de Biosistemas a partir da atividade da comunidade científica, pois essa ainda estaria em processo de formação.

As diferentes definições de Engenharia de Biosistemas presentes na literatura (NUNES e VIEGAS, 2014) parecem refletir diferentes comunidades de Ciência e Tecnologia, com interesses e ênfases disciplinares próprias, ainda que potencialmente convergentes. O caráter da emergente disciplina de Engenharia de Biosistemas, resultará de um processo ainda em curso, possivelmente com a definição de um estilo próprio de formatar e solucionar problemas de gestão de sistemas em que organismos vivos não humanos atuam de forma importante.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) o apoio financeiro concedido a essa pesquisa (Processo 454647/2014-0).

Agradecemos o Prof.Dr. Jesús P. Mena-Chalco, da Universidade Federal do ABC, UFABC, pelas sugestões feitas ao nosso trabalho e pela orientação no uso do aplicativo scriptLattes.

## REFERÊNCIAS

FEOFILOFF, P; KOHAYAKAWA, Y. E WAKABAYASHI, Y. Uma **Teoria Sucinta à Teoria dos Grafos**. Em <http://www.ime.usp.br/~pf/teoriadosgrafos>. Acesso em 13/01/2016.

GEPHI CONSORTIUM. **The Open Graph Viz Platform**, 2016. Disponível em <http://www.gephi.org> Acesso em 15/01/2016.

KUHN, T. S. **The Structure of Scientific Revolutions**. Chicago: University of Chicago Press, 1962.

LIMA, M. Y.. Coautoria na produção científica do PPGGeo/UFRGS: uma análise de redes sociais. **Ciência da Informação** (Online), v. 40 (1), p. 38-51, 2011.

MENA-CHALCO, J. P. E CESAR-JR, R. M. scriptLattes: An open-source knowledge extraction system from the Lattes platform. **Journal of the Brazilian Computer Society**, vol. 15, n. 4, p. 31-39, 2009.

MENA-CHALCO, J. P. E CESAR-JR, R. M. Prospecção de dados acadêmicos de currículos Lattes através de scriptLattes. In: HAYASHI, M. C. P. I.; LETA, J. (Org.). **Bibliometria e Cientometria: reflexões teóricas e interfaces**. São Carlos: Pedro & João, p. 109-128, 2013.

PAGE, L.; Brin, S; Motwani, R.; Winograd, T. **The PageRank Citation Ranking: Bringing Order to the Web**. Technical Report. Stanford InfoLab. 1999.

SCOTT, J. **Social Network Analysis**. SAGE Publications Ltd., London. 2011.

VANZ, S.A.S. Colaboração científica: revisão teórico-conceitual. **Perspectivas em Ciência da Informação**, v. 15, n.2, p. 42-55, 2010.

VERSPAGEN, B; WERKER, C. Keith Pavitt and the Invisible College of the Economics of Technology and Innovation. **Research Policy**, 33, p. 1419–1431, 2004.

ZUCCALA, A. Modeling the invisible college. **Journal of the American Society for Science and Technology**, 57(2): 152-168, 2006.