

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

Redes de inovação em etanol de segunda geração

Luiz Gustavo Antonio de Souza

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor
em Ciências. Área de concentração: Economia
Aplicada

**Piracicaba
2013**

Luiz Gustavo Antonio de Souza
Bacharel em Ciências Econômicas

Redes de inovação em etanol de segunda geração

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Profa. Dra. **MÁRCIA AZANHA FERRAZ DIAS DE MORAES**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor
em Ciências. Área de concentração: Economia
Aplicada

**Piracicaba
2013**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP**

Souza, Luiz Gustavo Antonio de
Redes de inovação em etanol de segunda geração / Luiz Gustavo Antonio de
Souza.- - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - -
Piracicaba, 2013.
215 p: il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2013.

1. Etanol 2. Segunda Geração 3. Lignocelulósico 4. Cana-de-Açúcar 5. Bagaço
6. Palha 7. Redes 8. Inovação 9. Sistema Nacional de Inovação I. Título

CDD 333.7938
S729r

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

DEDICATÓRIA

À minha família que me apoiou em todos os momentos da minha vida e em especial ao meu sobrinho e afilhado Gustavo de Souza que nasceu no período de desenvolvimento desta tese.

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente a Deus, por permitir-me vivenciar toda a sorte de experiências terrenas que culminaram na minha formação acadêmica, pessoal e espiritual.

Agradeço aos meus pais Onivaldo Antonio de Souza e Marília Albuquerque de Souza, por acreditarem em mim. À minha irmã Karina Albuquerque de Souza pelo apoio afetivo. Ao meu sobrinho e afilhado Gustavo de Souza, cuja notícia recebi com muita alegria em um curso de economia regional e urbana em Açores, Portugal em 2011. Também agradeço aos meus avôs Osvaldo Antonio de Souza (*in memorian*) e José Torres Ramos (*in memorian*), minhas avós Geni Silva Souza e Diná Aparecida de Albuquerque, pessoas especiais em minha vida. À minha bisavó Claudomira da Silva Mesquita (*in memorian*) e ao meu bisavô José de Albuquerque (*in memorian*). Ao meu avô de coração Edmundo Ramos Quirino. Também agradeço aos meus tios, tias, primos e primas.

À minha orientadora, Professora Dra. Márcia Azanha Ferraz Dias de Moraes, reservo agradecimento especial, pois acreditou na minha capacidade intelectual para a consecução desta tese. Também pela amizade proporcionada durante os cinco anos de doutorado.

À minha orientadora de graduação, Professora Dra. Marcia Regina Gabardo da Camara, carinho especial, por guiar-me, direta e indiretamente, desde a graduação, encorajando e influenciando as linhas de pesquisa que adotei profissionalmente, e cuja vida profissional, inspira-me, sempre, a seguir a diante.

Agradecimento especial aos amigos, aqueles que independente do momento, acreditaram nesta tese e me deram suporte afetivo. Amigos de Londrina, Renata Cristina Evaristo, Julia Midori Tanaka, Tiago Santos Teles, Mariléa Farias, Maria de

Fátima e Érica Emori. Aos amigos que fiz na Esalq-USP, Everton Batista da Rocha, Felipe de Paula, Flávio Braga, Gabriel Lemos. Em especial aos meus amigos e afilhados Luiza Meneguelli Fassarella e Maurício Jorge Pinto de Souza. Aos amigos que fiz na FEA-USP, Paula Pereda, Ana Barufi, Weslem Rodrigues Faria e Amir Borges Ferreira Neto. Aos amigos de Piracicaba, Iramaya Gustinelli, Cristiani Manieri, Dorinha, Marcela Bonora, Juliana Galvão, Cristiane Feltre, Yuri Henrique, Cris (Saraswati), Viviane de Moraes, Cristina Racca, Antonieta, Antônia, Prazeres, Solange, Bruna. Aos amigos de Campinas, Bruno Fadel, Victor Parahyba, Pedro Parahyba, Naiane Rios, Eduardo Cauli, Josué, Cristina, Beatriz, Jamile Coleti, Cecília Gianoni e Nathália Moretti.

Agradecimento especial à amiga Maielli pela amizade e empenho profissional durante todo o período do doutorado.

Às secretárias da Esalq-USP, Cristiane Cipriano, Paula Tecchio, Helena Cardoso, Silvana Nascimento, Marcia Beltrame e Aline Cristina. Aos amigos do suporte técnico André Milanez e Thiago Furlan.

Aos professores da Esalq-USP que tanto estimo e que transmitiram o seu conhecimento durante as disciplinas do doutorado. Abraços especial às professoras Mirian Bacchi e Silvia Miranda e aos professores Geraldo Barros, Joaquim Bento e Roberto Arruda.

Aos professores da FEA-USP que permitiram a expansão dos meus horizontes intelectuais e pessoais, durante as disciplinas cursadas.

Ao professor Eduardo Amaral Haddad por permitir minha participação no NEREUS e pelo estímulo profissional proporcionado.

À professora Ester Dal Poz da FCA-UNICAMP, abraço especial, cujo conhecimento em Redes de Inovação foi imprescindível para a realização desta tese.

Ao professor José Maria da Silveira da UNICAMP que cedeu espaço no seu grupo de pesquisa no âmbito do seu projeto BIOEN-FAPESP e que foi imprescindível para a elaboração da base de dados desta tese.

Abraço ao professor Fernando Palop do Institute for Competitive Intelligence e representante do programa VantagePoint na América Latina pelas sugestões e amizade.

À empresa que licencia o programa VantagePoint pela extensão da licença e pelo suporte técnico, permitindo análises ricas inseridas nesta tese.

Ao Olivier Huc pelo acesso à PatBase que tornou possível acesso a inúmeras informações sobre patentes.

À CAPES pelo apoio financeiro no período do doutorado.

EPÍGRAFE

“A ciência deve ser universal, sem dúvida. Entretanto, é preciso não crer nisso incondicionalmente. Desde a última guerra que os cientistas estão sujeitos, de uma maneira ou de outra, a trabalhos ligados à indústria bélica e a companhias particulares que têm necessidade de lucros. Os trabalhos são então mantidos em segredo. A ciência universal seria o ideal. Mas a prática é bem diferente. Felizmente, todo segredo dura pouco”.

César Lattes

SUMÁRIO

RESUMO.....	15
ABSTRACT	17
LISTA DE FIGURAS	19
LISTA DE QUADROS	23
LISTA DE TABELAS	25
1 INTRODUÇÃO.....	27
2 REDES: UMA FORMA DINÂMICA DE ENXERGAR A REALIDADE	31
2.1 Redes como metodologia de análise.....	32
2.2 Representação e Mensuração das Redes.....	33
2.2.1 Distância geodésica	36
2.2.2 Densidade da rede.....	36
2.2.3 Grau de centralidade.....	37
2.2.4 Centralidade de intermediação	39
2.2.5 K -core	40
2.3 Diâmetro da rede e o fenômeno <i>small worlds</i>	41
2.4 Distribuição do grau e redes <i>scale-free</i>	42
2.5 Redes de colaboração científica e o fenômeno de <i>preferential attachment</i>	44
2.6 Ajustamento e estimação dos parâmetros da distribuição de uma rede.....	47
3 REDES DE INOVAÇÃO: INDICADORES DO GRAU DE DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA NACIONAL DE INOVAÇÃO	51
3.1 Economia da Inovação	51
3.2 Sistema Nacional de Inovação	54
3.3 Quadrante de Pasteur e os objetivos da pesquisa	57
3.4 Indicadores de inovação.....	59
3.5 Redes de Inovação baseadas em conhecimento	62

4 O ESTADO DA ARTE DA PRODUÇÃO DO ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO.....	65
4.1 Etanol de segunda geração: conversão do bagaço e da palha em biocombustível.....	65
4.2 Hidrólise da lignocelulose: processos e produtos	69
4.3 Alcoolquímica.....	72
5 METODOLOGIA.....	75
5.1 Método de seleção e busca por palavras-chaves	75
5.2 Base de dados	80
5.3 Organização dos dados	82
5.4 Construção dos grafos	83
5.5 Indicadores das Redes de Inovação	85
6 PANORAMA INSTITUCIONAL DO ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO NO BRASIL.....	95
6.1 Empresas	95
6.2 Universidades	98
6.2.1 Produção C,T&A.....	101
6.2.2 Pesquisadores.....	102
6.2.3 Estudantes.....	103
6.3 Institutos, Programas e Linhas de Financiamento	104
6.3.1 CTBE	105
6.3.2 BNDES	106
6.3.3 FINEP	110
6.3.4 PAISS.....	112
6.3.4.1 Linha 1: Bioetanol de 2ª Geração.....	112
6.3.4.2 Linha 2: Novos produtos de cana-de-açúcar.....	113
6.3.4.3 Linha 3: Gaseificação: Tecnologias, equipamentos, processos e catalisadores.....	113

6.3.4.4	Crédito	113
6.3.4.5	Estimativa de Recursos	114
6.3.4.6	Empresas contempladas.....	114
6.3.5	BIOEN-FAPESP.....	115
6.3.5.1	FAPESP-Oxiteno-BNDES.....	116
6.3.5.2	FAPESP-Braskem	117
6.3.5.3	FAPESP-FAPEMIG	120
6.3.5.4	FAPESP-Dedini	121
6.3.5.5	Pesquisa Acadêmica	123
7	REDES DE INOVAÇÃO EM ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO	129
7.1	Redes formadas a partir das publicações científicas	129
7.1.1	Redes de Inovação em etanol de segunda geração: Global.....	130
7.1.2	Redes de Inovação em etanol de segunda geração: Brasil	151
7.1.3	Redes de Inovação em etanol de segunda geração: Estados Unidos	168
7.2	Redes formadas a partir das patentes	184
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	197
	REFERÊNCIAS.....	201
	ANEXOS	209

RESUMO

Redes de Inovação em Etanol de Segunda Geração

No campo da pesquisa em etanol de segunda geração (lignocelulósico), o Brasil mostra-se como um ator em potencial para a transformação e difusão da ciência em tecnologia. A produção em escala comercial – em especial na fronteira da inovação em etanol lignocelulósico e dos novos produtos oriundos desta conversão – requer alta tecnologia para o desenvolvimento de produtos e processos, matéria-prima disponível e viável, além de um ambiente institucional favorável. Esses fatores colocam o setor sucroenergético brasileiro em posição de destaque e justificam a questão central desta tese que é analisar – sob a perspectiva dos avanços científicos nacionais para o etanol de segunda geração e de seu potencial inovativo – o grau de desenvolvimento do Sistema Nacional de Inovação (SNI) com base na articulação existente entre as pesquisas realizadas por brasileiros em comparação com as realizadas por outros países e em específico os Estados Unidos. A abordagem teórico-conceitual e metodológica estrutura-se nos conceitos da economia evolucionista, subjacentes à formação de Redes de Inovação. Há robustas evidências que mostram que a colaboração científica em redes correlaciona-se positivamente com a difusão do conhecimento científico. As patentes ao assimilarem o conhecimento científico disponível permitem criar novos padrões tecnológicos, novos produtos e processos. Mas também, podem direcionar o fluxo de conhecimento criando uma trajetória tecnológica, ou seja, o caminho realizado para chegar-se em determinada patente. O conhecimento acumulado em determinada patente é representado pelas patentes que a originaram e que envolve diversos setores e atividades. Assim as Redes de Inovação na ótica evolucionista podem ser consideradas indicadores de inovação de determinada atividade ou produto, *proxy*, para o grau de desenvolvimento de um SNI. Neste cenário, são utilizados dois procedimentos metodológicos complementares, que permitem entender a dinâmica da produção científica e da inovação: a) Redes de Inovação em publicações para a colaboração científica entre países, instituições, *KeyWord Plus* e citações; e b) Redes de Inovação em patentes para as áreas de aplicação através do IPC8. Portanto, na ótica do desenvolvimento de um SNI, contam principalmente: o grau de colaboração científica, relevância e inserção. Apesar do SNI em etanol de segunda geração possuir elementos necessários para a transformação da ciência em tecnologia, observou-se baixo grau de desenvolvimento em reflexo às seguintes características: a) um baixo grau de colaboração científica internacional em comparação com os Estados Unidos e o Mundo; b) os esforços gerados não estão alinhados com o gargalo tecnológico do etanol de segunda geração; c) há apenas uma instituição representativa no cenário internacional, d) existe uma relação fraca entre universidade-governo-empresa; e) o potencial de difusão do conhecimento não é explorado, seja na forma de publicações científicas quanto na forma de patentes. Conclui-se que o SNI em etanol de segunda geração no Brasil está desenvolvendo-se, mas com baixa articulação com pesquisadores internacionais, além de uma baixa interação universidade-governo-empresa. Os esforços indicam que o Brasil irá especializar-se na fermentação, processo em que já possui conhecimento acumulado.

Palavras-chave: Etanol; Segunda Geração; Lignocelulósico; Cana-de-Açúcar; Bagaço; Palha; Redes; Inovação; Sistema Nacional de Inovação

ABSTRACT

Innovation Networks in Second-Generation Ethanol

In the research area of second generation ethanol (lignocellulosic), Brazil has been shown as a potential actor for changing and spreading the science through technologies. The commercial scale of production – especially in the innovation frontier in lignocellulosic ethanol and new products from this conversion – requires high technology for products and processes development, available and feasible raw materials, plus a favorable institutional environment. These factors place the Brazilian sugarcane industry in a prominent position and justify the central question of this thesis which is to analyze – from the perspective of national scientific advances in second generation ethanol and its innovative potential – the development degree of a National Innovation System (NIS) based on the articulation between researches conducted by Brazilians in the comparison to researches made by other countries, specific by the United States. The theoretical-conceptual and methodological framework is based on evolutionary economics concepts, underlying the Innovation Networks formation. There is a robust evidence that shows the scientific collaboration through networks are positively correlated with the spread of scientific knowledge. Patents in the process of assimilating available scientific knowledge allow to create new technological standards, new products and processes. But also can direct the knowledge flow by creating a technological path, in other words, the path taken to arrive in certain patent. The accumulated knowledge in a particular patent is represented by patents which have originated and that involving different sectors and activities. Thus the Innovation Networks in an evolutionary perspective can be considered as measures of the innovation of a particular activity or product, indeed a proxy for the development degree of the NIS. In this scenario, it was used two complementary methodological procedures, which allow to understand the dynamics of scientific production and innovation: a) Innovation Networks in publications for the scientific collaboration between countries, institutions, KeyWord Plus and citations and b) Innovation Networks in patents for some application areas using IPC8 class. Therefore, in the sight of development of NIS rely mainly: the scientific collaboration degree, relevance and insertion. Despite the NIS in second generation ethanol has necessary elements to change the science and technology, it was observed a low development degree which reflects the following characteristics: a) low degree of international scientific collaboration in comparison with the United States and World; b) efforts generated are not aligned with the technological bottleneck in second generation ethanol; c) only one representative institution in the international scenario; d) weak relationship between university-government-enterprise, e) potential of conversion of knowledge is not exploited, either in the form of scientific publications and in the form of patents. It was concluded that the NIS on second generation ethanol in Brazil is developing, but with low articulation with international researchers, besides a low university-government-enterprise interaction. Efforts indicate that Brazil will specialize in the fermentation, process that has already accumulated knowledge.

Keywords: Ethanol; Second-Generation; Lignocellulosic; Sugarcane; Bagasse; Straw; Networks; Innovation; National Innovation System

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Elementos básicos de uma Rede de interações	35
Figura 2 – Distribuição dos graus de uma rede de colaboração científica gerada por simulação numérica.....	45
Figura 3 – Distribuição de grau em Geofísica para coautorias internacionais.....	46
Figura 4 – Modelo de quadrantes da pesquisa científica	57
Figura 5 – Abordagem integrada para bioconversão da lignocelulose dos resíduos em produtos de valor adicionado.....	67
Figura 6 – Composição dos resíduos agrícolas e florestais (%).....	69
Figura 7 – Plataforma química derivada do etanol.....	73
Figura 8 – Mapa da aglomeração de países para as publicações científicas em etanol de segunda geração	131
Figura 9 – Rede de Inovação de países para publicações científicas em etanol de segunda geração.....	133
Figura 10 – Rede de Inovação de países para publicações científicas em etanol de segunda geração: relações relativas ao grau de centralidade	134
Figura 11 – Indicadores dos nós da Rede de Inovação para países em etanol de segunda geração.....	135
Figura 12 – Rede de Inovação de instituições para publicações científicas em etanol de segunda geração.....	137
Figura 13 – Rede de Inovação de instituições para publicações científicas em etanol de segunda geração: relações relativas ao grau de centralidade	138
Figura 14 – Indicadores dos nós da Rede de Inovação para as instituições em etanol de segunda geração.....	140
Figura 15 – Rede de Inovação de <i>KeyWord Plus</i> para publicações científicas em etanol de segunda geração, k-core=2.....	143
Figura 16 – Rede de Inovação de <i>KeyWords Plus</i> para publicações científicas em etanol de segunda geração: relações relativas ao grau de centralidade	144
Figura 17 – Indicadores dos nós da Rede de Inovação para as <i>KeyWord Plus</i> em etanol de segunda geração	145
Figura 18 – Rede de Inovação de autores para publicações científicas em etanol de segunda geração, k-core=5.....	147

Figura 19 – Rede de Inovação de autores para publicações científicas em etanol de segunda geração: relações relativas ao grau de centralidade, k-core=5	148
Figura 20 – Distribuição de grau dos dados e estimação da função potência para co-ocorrência de autores na Rede de Inovação no mundo em etanol de segunda geração	149
Figura 21 – Indicadores dos nós da Rede de Inovação para a co-ocorrência dos autores em etanol de segunda geração.....	150
Figura 22 – Rede de Inovação de países para publicações científicas no Brasil em etanol de segunda geração	152
Figura 23 – Rede de Inovação de países para publicações científicas no Brasil em etanol de segunda geração: relações relativas ao grau de centralidade	153
Figura 24 – Indicadores dos nós da Rede de Inovação para países no Brasil em etanol de segunda geração	154
Figura 25 – Rede de Inovação de instituições para publicações científicas no Brasil em etanol de segunda geração	156
Figura 26 – Rede de Inovação de instituições para publicações científicas no Brasil em etanol de segunda geração: relações relativas ao grau de centralidade	157
Figura 27 – Indicadores dos nós da Rede de Inovação para as instituições no Brasil em etanol de segunda geração	158
Figura 28 – Rede de Inovação de <i>KeyWord Plus</i> para publicações científicas no Brasil em etanol de segunda geração.....	160
Figura 29 – Rede de Inovação de <i>KeyWords Plus</i> para publicações científicas no Brasil em etanol de segunda geração: relações relativas ao grau de centralidade	161
Figura 30 – Indicadores dos nós da Rede de Inovação para as <i>KeyWord Plus</i> no Brasil em etanol de segunda geração.....	162
Figura 31 – Rede de Inovação de autores para publicações científicas no Brasil em etanol de segunda geração	164
Figura 32 – Rede de Inovação de autores para publicações científicas no Brasil em etanol de segunda geração: relações relativas ao grau de centralidade	165

Figura 33 – Distribuição de grau dos dados e estimação da função potência para co-ocorrência de autores na Rede de Inovação no Brasil em etanol de segunda geração.....	166
Figura 34 – Indicadores dos nós da Rede de Inovação para a co-ocorrência dos autores no Brasil em etanol de segunda geração	167
Figura 35 – Rede de Inovação de países para publicações científicas nos Estados Unidos em etanol de segunda geração	169
Figura 36 – Rede de Inovação de países para publicações científicas em etanol de segunda geração: relações relativas ao grau de centralidade nos Estados Unidos	170
Figura 37 – Indicadores dos nós da Rede de Inovação para países nos Estados Unidos em etanol de segunda geração	171
Figura 38 – Rede de Inovação de instituições para publicações científicas dos Estados Unidos em etanol de segunda geração	173
Figura 39 – Rede de Inovação de instituições para publicações científicas dos Estados Unidos em etanol de segunda geração: relações relativas ao grau de centralidade.....	174
Figura 40 – Indicadores dos nós da Rede de Inovação para as instituições dos Estados Unidos em etanol de segunda geração	175
Figura 41 – Rede de Inovação de <i>KeyWord Plus</i> para publicações científicas dos Estados Unidos em etanol de segunda geração	177
Figura 42 – Rede de Inovação de <i>KeyWords Plus</i> para publicações científicas dos Estados Unidos em etanol de segunda geração: relações relativas ao grau de centralidade.....	178
Figura 43 – Indicadores dos nós da Rede de Inovação para as <i>KeyWord Plus</i> dos Estados Unidos em etanol de segunda geração	179
Figura 44 – Distribuição de grau dos dados e estimação da função potência para co-ocorrência de autores na Rede de Inovação nos Estados Unidos em etanol de segunda geração, $k\text{-core}=2$	180
Figura 45 – Rede de Inovação de autores para publicações científicas para os Estados Unidos em etanol de segunda geração, $k\text{-core}=2$	181
Figura 46 – Rede de Inovação de autores para publicações científicas dos Estados Unidos em etanol de segunda geração: relações relativas ao grau de centralidade, $k\text{-core}=2$	182

Figura 47 – Indicadores dos nós da Rede de Inovação dos Estado Unidos para a co-ocorrência dos autores em etanol de segunda geração	183
Figura 48 – Rede de Inovação de patentes para as agências e países em etanol de segunda geração	185
Figura 49 – Instituições e países onde as patentes foram realizadas e onde foram requeridas as prioridades em etanol de segunda geração	186
Figura 50 – Inventores com maior número de patentes na Rede de Inovação em etanol de segunda geração	187
Figura 51 – Empresas com maior número de patentes na Rede de Inovação em etanol de segunda geração	187
Figura 52 – Principais áreas de aplicação das patentes classificadas pelo código IPC8 na Rede de Inovação em patentes em etanol de segunda geração	189
Figura 53 – Síntese das principais áreas de aplicação das patentes da rede formada a partir do etanol de segunda geração	190
Figura 54 – Rede de Inovação em etanol de segunda geração para patentes nas áreas de aplicação segundo a classificação IPC8.....	192
Figura 55 – Rede de Inovação de patentes para o IPC8 agregado em etanol de segunda geração: relações relativas ao grau de centralidade	193
Figura 56 – Rede de Inovação de patentes para o IPC8 em etanol de segunda geração: relações relativas ao grau de centralidade	194
Figura 57 – Indicadores dos nós da Rede de Inovação de patentes para o IPC8 agregado em etanol de segunda geração	195

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Rede hipotética de interações entre atores	34
Quadro 2 – Principais abordagens teóricas que permeiam a discussão de Sistemas Nacionais de Inovação	56
Quadro 3 – Principais microrganismos utilizados no processo de hidrólise enzimática	68
Quadro 4 – Principais perspectivas em bioprodutos	71
Quadro 5 – Uso potencial dos produtos da hidrólise lignocelulósica.....	72
Quadro 6 – Seleção de tópicos relacionados ao etanol de segunda geração.....	76
Quadro 7 – Busca por publicações científicas nos tópicos: palavras-chaves, títulos, resumos e <i>key-words plus</i> - ISI <i>Web of Science</i> *	81
Quadro 8 – Busca por patentes nos tópicos: títulos, resumos ou <i>claims</i> - PatBase*	82
Quadro 9 – Síntese de indicadores aplicados para as rede de inovação e para os nós destas redes em etanol de segunda geração	86
Quadro 10 – Interpretação do indicador grau de centralidade média aplicado às Redes de Inovação em etanol de segunda geração baseados em publicações científicas	87
Quadro 11 – Interpretação do indicador densidade média aplicado às Redes de Inovação em etanol de segunda geração baseados em publicações científicas	88
Quadro 12 – Interpretação do indicador distância geodésica média aplicado às Redes de Inovação em etanol de segunda geração baseados em publicações científicas	89
Quadro 13 – Interpretação do indicador grau de centralidade normalizado aplicado aos nós das Redes de Inovação em etanol de segunda geração baseados em publicações científicas	90
Quadro 14 – Interpretação do indicador grau de intermediação normalizado aplicado aos nós das Redes de Inovação em etanol de segunda geração baseados em publicações científicas	91
Quadro 15 – Interpretação de indicadores aplicados para as Redes de Inovação em etanol de segunda geração e para os nós destas redes baseados em publicações científicas	92

Quadro 16 – Interpretação de indicadores aplicados para as Redes de Inovação e para os nós destas redes baseados nas classes de patentes IPC8....	93
Quadro 17 – Propostas aprovadas na Chamada FAPESP/Oxiteno (chamada 13/2006)	117
Quadro 18 – Propostas aprovadas na Chamada FAPESP/Braskem	120
Quadro 19 – Propostas selecionadas na Chamada BIOEN FAPESP-Fapemig (Cronograma A).....	121
Quadro 20 – Proposta selecionada na Chamada BIOEN FAPESP-Fapemig (Cronograma B).....	121
Quadro 21 – Proposta aprovada na Chamada FAPESP/Dedini	123
Quadro 22 – Proposta aprovada na Chamada Propostas para Auxílio à Pesquisa e Jovem Pesquisador/FAPESP (Cronograma A).....	126
Quadro 23 – Proposta aprovada na Chamada Propostas para Auxílio à Pesquisa e Jovem Pesquisador/FAPESP (Cronograma B).....	127
Quadro 24 – Proposta aprovada na Chamada Propostas para Auxílio à Pesquisa e Jovem Pesquisador/BIOEN/FAPESP (Cronograma A)	127
Quadro 25 – Proposta aprovada na Chamada Propostas para Auxílio à Pesquisa e Jovem Pesquisador/BIOEN/FAPESP (Cronograma B)	128
Quadro 26 – 10 áreas principais de aplicação das patentes classificadas pelo código IPC8 na Rede de Inovação em patentes	190
Quadro 27 – Classificação IPC8 – seção A – necessidades humanas	211
Quadro 28 – Classificação IPC8 – seção B – realização de operações e transporte	212
Quadro 29 – Classificação IPC8 – seção C – química e metalurgia.....	213
Quadro 30 – Classificação IPC8 – seção D – têxteis e papel.....	213
Quadro 31 – Classificação IPC8 – seção E – construções fixas	214
Quadro 32 – Classificação IPC8 – seção F – engenharia mecânica, iluminação, aquecimento, armas e explosivos.....	214
Quadro 33 – Classificação IPC8 – seção G – física	215
Quadro 34 – Classificação IPC8 – seção H – eletricidade.....	215

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Redes de coautoria em publicações científicas.....	42
Tabela 2 – Estimativas do parâmetro γ e valor mínimo de d adotado para distribuições selecionadas.....	48
Tabela 3 – Citações de artigos nas bases de publicações ISI <i>Web of Science</i> através de busca realizada por palavras-chaves selecionadas entre os anos de 2000 e 2012*	77
Tabela 4 – Número de patentes depositadas nas bases de patentes USPTO, EPO e WIPO através de busca realizada por palavras-chaves selecionadas pela descrição/especificação da patente*	78
Tabela 5 – Patentes depositadas nas bases de patentes USPTO, EPO e WIPO através de busca realizada por palavras-chaves selecionadas pelo título e/ou resumo da patente*	79
Tabela 6 – Patentes depositadas no INPI através de busca realizada por palavras-chaves selecionadas pelo título e/ou resumo da patente*	80
Tabela 7 – Número de Grupos de Pesquisa relacionados às palavras-chaves, 2000-2010.....	98
Tabela 8 – Número de Grupos de Pesquisa relacionados à produção científica, 2000-2010	99
Tabela 9 – Número de Grupos de Pesquisa por instituição relacionados à produção científica, 2000-2010	100
Tabela 10 – Produção C, T&A dos Grupos de Pesquisa, 2000-2010	102
Tabela 11 – Busca textual dos pesquisadores pelo nome do grupo, nome da linha de pesquisa e palavra-chave da linha de pesquisa, 2000-2010	102
Tabela 12 – Número de pesquisadores dos Grupos de Pesquisa, 2000-2010	103
Tabela 13 – Número de estudantes nos Grupos de Pesquisa, 2000-2010	104
Tabela 14 – Publicações científicas em etanol de segunda geração por país, próprias e em colaboração	130
Tabela 15 – Indicadores da Rede de Inovação entre países para etanol de segunda geração	132
Tabela 16 – Indicadores da Rede de Inovação entre instituições em etanol de segunda geração.....	139

Tabela 17 – Indicadores da Rede de Inovação entre <i>KeyWord Plus</i> em etanol de segunda geração	142
Tabela 18 – Indicadores da Rede de Inovação para a co-ocorrência de autores em etanol de segunda geração.....	146
Tabela 19 – Indicadores da Rede de Inovação entre países no Brasil em etanol de segunda geração	151
Tabela 20 – Indicadores da rede local brasileira de publicações científicas entre instituições em etanol de segunda geração	155
Tabela 21 – Indicadores da rede local brasileira de publicações científicas entre <i>KeyWord Plus</i> em etanol de segunda geração	159
Tabela 22 – Indicadores da Rede de Inovação para a co-ocorrência de autores no Brasil em etanol de segunda geração.....	163
Tabela 23 – Indicadores da Rede de Inovação entre países em etanol de segunda geração	168
Tabela 24 – Indicadores da rede local americana de publicações científicas entre instituições em etanol de segunda geração	172
Tabela 25 – Indicadores da Rede de Inovação entre <i>KeyWord Plus</i> dos Estados Unidos em etanol de segunda geração	176
Tabela 26 – Indicadores da Rede de Inovação para a co-ocorrência de autores para os Estados Unidos em etanol de segunda geração.....	180
Tabela 27 – Indicadores da rede de áreas de aplicação das patentes segundo a classificação IPC8 em etanol de segunda geração	192

1 INTRODUÇÃO

As projeções de elevação da demanda por bioenergia em meio às ações de mitigação dos efeitos das mudanças climáticas, às emissões de gases de efeito estufa, e ao esgotamento de estoques de energia intensivas em carbono, entre outros fatores, colocam o setor sucroenergético¹ brasileiro em posição de destaque como alternativa a esses requerimentos através da produção do etanol lignocelulósico² – considerado etanol de segunda geração³.

Considerando-se apenas o Brasil, há previsão de crescimento de 45% da demanda por etanol até 2020. A necessidade de atendimento desta demanda é ressaltada se considerarmos que a meta de consumo de biocombustíveis nos Estados Unidos até 2022 é de 36 bilhões de galões, sendo que o milho, utilizado na produção de etanol do referido país, terá um teto de 15 bilhões, já a partir de 2015, além dos mercados europeus e asiáticos com suas respectivas demandas (EPA, 2011).

O etanol de segunda geração é visto pelos mercados globais como uma alternativa imprescindível para o atendimento dessa demanda, já que este configura-se como um novo processo de obtenção de etanol através do processo de hidrólise da lignocelulose, e que utiliza a biomassa disponível. No caso da cana-de-açúcar⁴, são utilizados a palha e o bagaço que não foram descartados no processo produtivo ou que seriam utilizados para a cogeração de energia elétrica. Ao final do processo para segunda geração, a indústria passará a obter etanol com as mesmas características físico-químicas e comerciais de seu antecessor, denominado “etanol de primeira geração”. Tais denominações serão utilizadas neste trabalho.

Nos últimos anos foram realizados investimentos no Brasil e nos Estados Unidos com ênfase no desenvolvimento de novas tecnologias de produção de

¹ Tradicionalmente conhecido como setor sucroalcooleiro, envolve diretamente o cultivo e produção da cana-de-açúcar, extração do caldo para a produção de etanol e/ou açúcar, e por resíduo, o bagaço é utilizado na cogeração de energia elétrica em usinas de açúcar e de etanol. Com a relevância da questão energética e a participação do etanol como fonte de bioenergia o setor passou a ser referenciado como sucroenergético em alusão a estes fatores.

² O processo de obtenção do etanol de segunda geração, também conhecido como etanol lignocelulósico, advém do material lignocelulósico encontrado nas plantas. A lignocelulose pode ser dividida em polímeros de carboidrato (celulose e hemicelulose) e lignina, proveniente da parede celular das plantas (LEE, 1997).

³ Nesta tese o termo segunda geração designa o etanol de origem lignocelulósica.

⁴ No Brasil, o material lignocelulósico utilizado na conversão será principalmente obtido pelo bagaço e da palha da cana-de-açúcar, quando não utilizados para a cogeração de energia elétrica e provenientes de áreas mecanizadas, portanto, passíveis de recuperação. Entretanto, não se descarta a utilização de outras fontes disponíveis, desde que estas se tornem economicamente viáveis.

bioenergia, dentre elas o processo de conversão do etanol do material lignocelulósico. A implicação direta é o aumento da concorrência entre países para a consolidação de sua posição dominante em termos de pesquisa e de processos produtivos comparativamente aos demais, de modo a continuarem sendo competitivos local e globalmente.

A produção em escala comercial do etanol de segunda geração não somente permitirá que o setor sucroenergético brasileiro se mantenha em posição de liderança na produção de biocombustíveis no mundo, mas também, poderá criar o ambiente necessário para que haja o desenvolvimento do Sistema Nacional de Inovação em etanol, caso em que as três esferas institucionais, empresas, institutos de pesquisa e ensino e entidades governamentais, estão articulados conforme a literatura econômica em inovação.

O processo de conversão do material lignocelulósico abre possibilidades em inúmeros setores diretamente, tais como, a álcoolquímica, em comparação à cadeia da petroquímica, indústria alimentícia com a produção de novos adoçantes e açúcares, produtos químicos diversos como solventes, adesivos, emulsificantes, entre outros. De forma indireta, as inovações em etanol de segunda geração, através da sobreposição e da alta correlação com diversas áreas do conhecimento, desenvolvimento e de aplicações, permitirão um efeito de transbordamento científico para demais áreas de pesquisa.

O objeto de estudo etanol de segunda geração torna-se assim um assunto supranacional, sendo que a articulação entre as três esferas institucionais – Empresas, Universidades e Governo – torna-se necessária para adquirir, processar e difundir com sucesso estas novas tecnologias.

Entretanto, como ressaltado anteriormente, a produção em escala comercial do etanol lignocelulósico e dos novos produtos oriundos desta conversão necessitará não apenas de alta tecnologia em desenvolvimento de produtos e processos, mas também matéria-prima disponível e viável para utilização, além de um ambiente institucional favorável.

Esses fatores colocam o setor sucroenergético brasileiro em posição de destaque e justificam a questão central desta tese que é analisar – sob a perspectiva dos avanços científicos nacionais para etanol de segunda geração e de seu potencial inovativo – o grau de desenvolvimento do Sistema Nacional de Inovação (SNI) com

base na articulação existente entre as pesquisas realizadas por brasileiros em comparação com as realizadas por outros países e em específico os Estados Unidos.

A abordagem teórico-conceitual e metodológica estrutura-se nos conceitos da economia evolucionista, subjacentes à formação de Redes de Inovação. Há robustas evidências que mostram que a colaboração científica em redes correlaciona-se positivamente com a difusão do conhecimento científico. As patentes ao assimilarem o conhecimento científico disponível permitem criar novos padrões tecnológicos, novos produtos e processos. Mas também, podem direcionar o fluxo de conhecimento criando uma trajetória tecnológica, ou seja, o caminho realizado para chegar-se em determinada patente. O conhecimento acumulado em determinada patente é representado pelas patentes que a originaram e que envolve diversos setores e atividades.

Assim as Redes de Inovação na ótica evolucionista, podem ser consideradas indicadores de inovação de determinada atividade ou produto, *proxy*, para o grau de desenvolvimento de um SNI. Estes indicadores tem como objetivo entender a posição brasileira em termos das demandas entre Ciência, Tecnologia e Inovação, para etanol de segunda geração.

Para tal, procede à análise dos seguintes fatores, que consubstanciam, os objetivos específicos do trabalho:

- Analisar o grau de articulação existente nas Redes de Inovação para publicações científicas, na forma de relações existentes para os países, instituições, áreas do conhecimento através das *KeyWord Plus* e citações de autores. Dois aspectos serão investigados: a produção científica em si e a capacidade de formar redes colaborativas, já que tais aspectos são considerados como essenciais para alcançar o patamar tecnológico;
- Comparar as Redes de Inovação global com os obtidos para o Brasil e Estados Unidos;
- Verificar a existência dos fenômenos *small world*, *preferential attachment* e *scale free*; e
- Analisar as Redes de Inovação para patentes, na forma de relações existentes entre as patentes aplicadas em diversas áreas.

Os indicadores abordados de rede são: a) coesão da rede: centralidade de grau, distância geodésica, densidade; b) centralidade dos atores: centralidade de grau

e intermediação. Foram utilizados dados de publicações científicas na base de dados ISI WoS e de patentes nas principais agências mundiais através da base de dados Patbase.

Esta tese tem como hipótese central: existência de um Sistema Nacional de Inovação em etanol de segunda geração no Brasil desenvolvido.

Em concordância com os objetivos propostos e a questão central da tese, esta será estruturada em oito capítulos incluindo a introdução. No segundo capítulo é realizada uma revisão de literatura sobre o tema análise de redes sociais e suas aplicações. No terceiro capítulo é realizada uma revisão teórica-conceitual das principais linhas de pensamento em economia da inovação que culminam na análise de redes de conhecimento e na importância das relações universidades-governo-empresas para a formação de um Sistema Nacional de Inovação. Também são explicitados os principais trabalhos científicos que analisaram as redes de conhecimento sob a ótica inovativa. No quarto capítulo detalha-se o estado da arte do etanol de segunda geração, descrevem-se os principais processos de produção do etanol de segunda geração, as tecnologias existentes e o potencial inovativo. No quinto capítulo é apresentada a metodologia e os procedimentos utilizados. No sexto capítulo é apresentado um panorama do atual Sistema de Inovação em etanol de segunda geração no Brasil. No sétimo capítulo apresentam-se os resultados das Redes de Inovação analisadas e as respectivas discussões. O oitavo capítulo encerra a tese com as considerações finais.

2 REDES: UMA FORMA DINÂMICA DE ENXERGAR A REALIDADE

As redes sociais são noticiadas como um assunto voltado à comunicação entre indivíduos, como a formação de comunidades, facções, grupos em ambientes reais e/ou virtuais nas quais ocorrem interações entre indivíduos distintos, formando uma rede de “conexões”.

Entretanto, o conceito das redes sociais não se limita como uma alternativa de entretenimento entre indivíduos, mas, a “análise de redes sociais”⁵, compreende uma estrutura conceitual complexa, com bases na Teoria do Grafo⁶, de origem matemática, e com propriedades estatísticas que permitem a predição de fenômenos e propriedades, tanto sociais quanto econômicos e cujas relações de interdependência entre os elementos da rede são expressas através de uma visualização gráfica intuitiva.

Como ferramenta de análise, a noção de redes aplicada à economia traduzem-se em redes tecno-socioeconômicas, isto é, objetiva-se exprimir relações entre atores ou agentes na forma de uma rede de conexões que possuam alguma relação técnica, econômica e social.

Ao adicionar os conceitos da economia evolucionista em relação à inovação, as redes tecno-socioeconômicas traduzem-se em Redes de Inovação e permitem a análise do grau de desenvolvimento do SNI em etanol de segunda geração ao permitirem identificar a articulação entre os agentes e quão fortes são tais relações.

Também procura-se analisar a interdependência entre atores distintos. Sua visualização gráfica permite realizar comparações entre redes formadas a partir de um mesmo assunto para diferentes atores ou países.

A seguir apresentam-se as principais características das redes sociais como uma metodologia quantitativa para a análise de dados.

⁵ Tradução do inglês *social network analysis*.

⁶ A Teoria de Grafos se deu através da tentativa de resolução de problemas envolvendo jogos e quebra-cabeças e que chamava a atenção de matemáticos pelos seus resultados teóricos de uma surpreendente variedade e profundidade. Em 1736, o matemático suíço Leonhard Euler (1707-1783) escreveu o primeiro artigo relacionado a grafos, de considerável importância não só para esta teoria como também para a Matemática como um todo (COSTA, 2011, p.15).

2.1 Redes como metodologia de análise

Uma vez identificado que os dados a serem analisados estão configurados na forma de redes, estes possuirão uma estrutura distintiva para a tabulação dos dados, uma linguagem própria, e com indicadores específicos para a rede em análise. Tais fatos, mostram as diferentes nuances que não são contempladas em uma tabulação tradicional, o que permite, a aplicação de uma gama de métodos descritivos e estatísticos para a análise de redes.

Por tradicional compreende-se uma matriz de dados retangular, isto é, as linhas apresentam casos, assuntos ou observações e as colunas consistem em atributos ou variáveis qualitativas ou quantitativas. Neste caso, a estruturação dos dados permite duas comparações distintas: a) analisar as semelhanças ou disparidades entre os atores para cada variável ou atributo (linhas); b) analisar as semelhanças ou disparidades entre as variáveis ou atributos para cada ator (colunas).

Entretanto, os dados em rede, apresentam-se dispostos em uma matriz de dados quadrada (número de linhas igual ao número de colunas). Ou seja, para os mesmos casos, assuntos e observações presentes nas linhas, haverá o mesmo conjunto de casos, assuntos e observações na coluna. Desta forma, cada célula da matriz representará uma relação entre atores (HANNEMAN; RIDDLE, 2005).

Ressalta-se que, apesar da distinção entre a abordagem de redes e a tradicional, é possível pensar em um conjunto de dados em rede da mesma forma que a estruturação padrão. Na realidade as redes podem ser consideradas um caso especial da forma de tabulação padrão. Enquanto a forma tradicional analisa atores e respectivos atributos, a estrutura em rede aborda os atores, suas respectivas relações que esses possam possuir. Mas, a escolha entre as distintas abordagens deve ser um critério do pesquisador ao decidir e justificar as suas escolhas (HANNEMAN; RIDDLE, 2005).

Como ferramenta de análise, a noção de redes tecno-socioeconômicas aplicada à inovação traduzem-se em Redes de Inovação, isto é, objetiva-se exprimir relações entre atores na forma de uma rede de conexões que possuam alguma relação através das publicações científicas e patentes.

Uma representação padrão de uma rede tecno-socioeconômica é a descrição do relacionamento entre atores distintos, mas, que possuam objetivos comuns e, que

podem, ou não, compartilhar informações, produtos, tecnologias estando mais ou menos relacionadas entre os pares.

Uma rede é analisada sob uma ótica quantitativa, indicadores da rede e dos atores, e em paralelo sob uma interpretação qualitativa, revelando assim, características intrínsecas que não poderiam ser facilmente visualizadas em outras circunstâncias.

Em consonância à análise de redes sociais, surgem algumas indagações importantes que esta metodologia auxilia a responder:

- a) Qual a magnitude do fluxo de informações?
- b) Qual o sentido do fluxo de informações?
- c) Quem ou quais são os atores mais relevantes?
- d) Qual é a magnitude da força de ligação entre os atores?
- e) A rede está evoluindo no tempo?
- f) Que informações podemos concluir a partir desta rede?
- g) Em comparação com outras redes, que informações podem ser extraídas?

A seguir apresenta-se a formalização do conceito de redes.

2.2 Representação e Mensuração das Redes

A análise de redes tem raízes na matemática, em específico, origina-se da Teoria do Grafo.

Um grafo⁷ (ou rede) é composto por três elementos básicos:

- Vértices, pontos, nós - são as pessoas ou grupos de pessoas que se agrupam com um objetivo comum. Na representação visual as unidades de análise podem ser atores, elementos, países, institutos de pesquisa, empresas, amigos, patentes, etc;
- Vínculos, arestas, linhas – indicam as interações ou os laços que existem entre dois ou mais nós, ou seja, conectam dois vértices adjacentes. Em uma rede com n atores, um nó em particular poderá possuir $n - 1$ vínculos. Quando as arestas do grafo possuem direção, este é considerado dígrafo ou direcionado, e um ator poderá possuir $2n - 2$ vínculos;

⁷ Representação gráfica para um conjunto de vértices e arestas. Uma rede é um grafo infinito.

▪ Fluxo – indica a direção do vínculo que representa com uma seta mostrando o sentido, podendo ser unidirecionais, bidirecionais ou nós soltos. Uma rede pode ser construída a partir de uma relação simétrica entre os atores, isto é, releva-se apenas a ida da informação e não a volta. No caso em que todos os vértices são adjacentes, diz-se que o grafo é completo, e portanto, há $n(n - 1)/2$ possíveis relações. No fluxos bidirecionais há $n(n - 1)$ possíveis relações. Se o conjunto de vértices puder ser dividido em duas partes, sendo que cada aresta iniciando em uma parte, termine na outra parte, o grafo é considerado bipartite⁸

Um grafo (ou dígrafo) pode ser representado por sua matriz de incidência, que lista os pares de vértices e arestas que são conectados (ver Quadro 1) ou por sua matriz de adjacência, que lista os vértices adjacentes.

O Quadro 1 apresenta as interações hipotéticas entre alunos (A01-A15) e um professor (P01).

Ator	Interações
A01	A02, A05, A09, P01
A02	A01, A03, A06, A09, A11, A12, P01
A03	A02
A04	Nenhuma
A05	A01, A02, A12, A14, P01
A06	A05
A07	Nenhuma
A08	A02, A14, P01
A09	A01, A02, A12
A10	A11, A12, P01
A11	A02, A10
A12	A02, A09, P01
A13	Nenhuma
A14	P01
A15	Nenhuma
P01	A01, A02, A03, A05, A06, A08, A10, A11, A12, A14

Quadro 1 – Rede hipotética de interações entre atores
Fonte: Alejandro e Norman (2005).

As linhas representam as interações que cada ator possui com os nós restantes e as colunas são as interações que outros nós tem com cada ator. Verifica-se que quatro atores não possuem conexão (A04, A07, A13 e A15), enquanto o

⁸ Um grafo bipartite em que cada vértice em uma parte é adjacente a cada vértice na outra parte é considerado um grafo bipartite completo. Um grafo no formato de estrela encaixa-se neste caso (VICENTE, 2012).

professor (P01) interage com dez alunos (A01, A02, A03, A05, A06, A08, A10, A11, A12, A14) e sete alunos interagem com o professor (A01, A02, A05, A08, A10, A12, A14).

A partir destas relações é possível criar uma matriz de adjacência que relaciona para cada ator a sua contrapartida da forma de um fluxo específico dentro da célula da matriz. Com essa informação é possível criar uma rede gráfica, que visualmente explicita as inter-relações entre os atores.

A seguir apresenta-se uma rede hipotética criada a partir dos dados do Quadro 1 com o auxílio dos programas UCINET e Gephi (ver Figura 1).

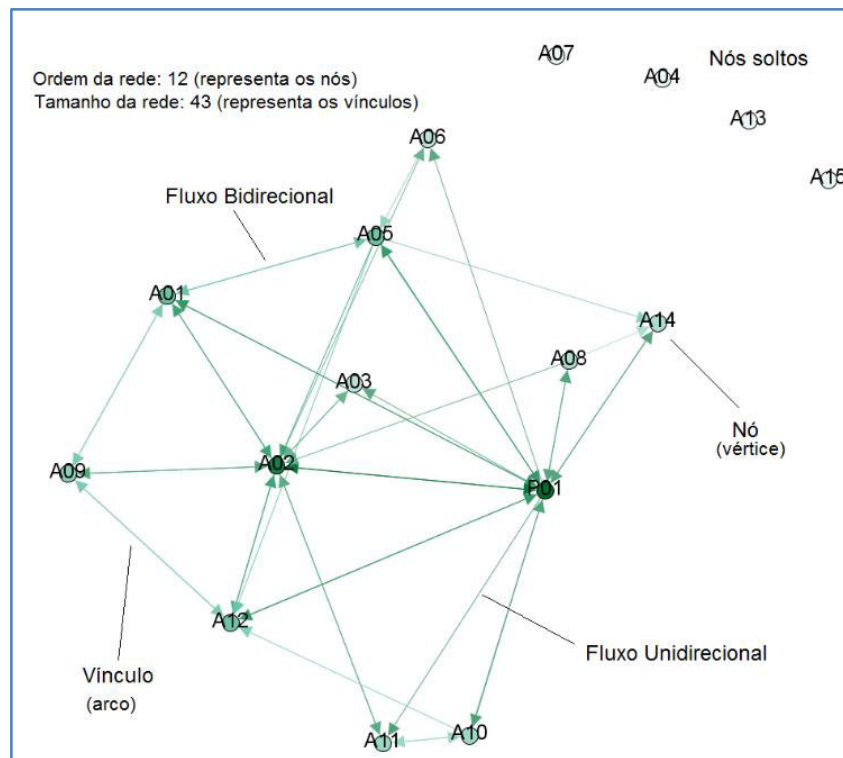


Figura 1 – Elementos básicos de uma Rede de interações
Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Alejandro e Norman (2005).

A conectividade entre as unidades de análise (atores) é determinada pelos laços interacionais (relações) existentes entre elas. Dos grafos (redes) construídos a partir de dados reais, é possível exprimir relações, medidas através de indicadores, e se, analisadas em conjunto com uma abordagem teórica, permitem chegar a conclusões sobre o fenômeno em estudo. Assim, após a da construção da rede, a

análise é realizada através de indicadores para a rede – verificar a coesão⁹ entre os atores e, indicadores para os nós – verificar a centralidade dos atores.

2.2.1 Distância geodésica

A distância geodésica (ou distância social) é um indicador de coesão da rede. Definida como um número mínimo de relações (ou arestas) que separa dois atores distintos de uma rede. Ou seja, dado o atalho mais curto entre dois nós, o comprimento desse atalho, em quantidade de ligações intermediárias, é chamado de distância geodésica.

O cálculo da distância geodésica média de uma rede não direcionada, isto é, quando a direção não é analisada, é obtida como:

$$d_G = \frac{2}{n(n-1)} \sum_{i \geq j}^n d_{ij} \quad (2.1)$$

onde:

i e j são dois vértices da rede;

n é o número total de atores da rede; e

d_{ij} é a distância geodésica entre i e j .

Nas redes com menor distância entre os atores terão maior coesão, isto é maior força de ligação entre os atores, as informações são difundidas mais rapidamente.

Caso não exista caminho entre dois vértices, a distância entre eles será considerada infinita. Para uma rede de relacionamentos entre países, a distância geodésica entre os vértices mostra quais os países estão mais relacionados e quais estão menos relacionadas entre si.

2.2.2 Densidade da rede

O indicador de densidade da rede mede a quantidade relativa de ligações existentes. Enquadra-se como indicador de coesão da rede. As redes são

⁹ Significado obtido da física, representa a aderência, ou seja, a força que mantém os atores unidos.

consideradas densas se há elevada quantidade de ligações entre os atores e consideradas esparsas se houver poucas ligações.

Este indicador representa a proporção de vínculos que ocorrem em relação a todos os vínculos possíveis. Ex. as transações, e portanto, a densidade da rede, entre países-membros de um determinado bloco econômico espera-se que seja maior do que as transações com o mundo todo.

Este indicador permite analisar a intensidade das relações entre atores (fraqueza/força) em uma rede. Uma rede perfeitamente conectada é chamada de clique e tem densidade igual a 1. Se a rede não possui ligações, é chamada de vazia e a respectiva densidade será zero (VICENTE, 2012).

O cálculo de densidade de uma rede é obtido:

$$\rho_G = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n z_{ij}}{n(n-1)} \quad i \neq j \quad (2.2)$$

onde:

i e j são dois vértices da rede;

n é o número de atores da rede; e

z_{ij} é um número binário e representa um fluxo entre dois atores, 0 para ausência de relação entre i e j , 1 no caso contrário.

2.2.3 Grau de centralidade

As medidas de centralidade auxiliam na verificação da importância relativa de um vértice de uma rede. Neste caso este indicador é específico para o ator em análise e permite verificar a centralidade dos atores. Em termos de relações entre países, por exemplo, é possível verificar qual(is) país(es) é(são) central(is). Pode indicar uma aproximação preferencial com um dado país ao decidir realizar uma transação.

O grau de centralidade mede o número de atores ao qual um ator liga-se diretamente. Neste caso existe um processo de decisão: ligar-se ou não a um ator.

Assim, o grau de centralidade pode ser analisado como:

- grau de entrada: soma das interações que os outros nós têm com o ator (na matriz de interações soma-se a coluna específica ao ator em análise)

- grau de saída: soma das interações que o ator tem com os outros (na matriz de interações soma-se a linha específica ao ator em análise).
- grau de entrada/saída para uma rede simétrica: isto é, quando a relação entre os atores distintos é recíproca, a matriz de adjacência será simétrica e, portanto, o grau de entrada será igual ao de saída e representa a soma das interações que atores tem com os outros (na matriz de adjacência soma-se a linha ou a coluna específica ao ator em análise).

$$C_{deg}(v) = \frac{\deg(v)}{n-1} \quad (2.3)$$

onde:

$\deg(v)$ é a soma das interações que o ator v tem com os outros atores ou que os outros atores tem com v ;

n é o número de atores da rede.

A existência (ou não) de vértices mais centrais do que outros influencia a configuração da rede e portanto, o grau de centralidade pode ser analisado para uma rede inteira, sob esta ótica. Quando a matriz de adjacência é simétrica este indicador é o mais indicado (VICENTE, 2012).

Neste caso, o indicador de centralidade é aplicado à rede permitindo analisar a coesão dos atores. Quanto maior o número de interações de um ator em relação aos outros, maior será o grau de centralidade de ator:

$$C_{deg}(G) = \frac{\sum_{i=1}^n [C_{deg}(v^*) - C_{deg}(v_i)]}{n-2} \quad (2.4)$$

onde:

v^* é o vértice com maior grau de centralidade.

v_i é o vértice i , diferente de v^* .

n é o número de atores da rede.

C_{deg} é o grau de centralidade para um ator específico.

O limite superior, isto é centralidade igual a 1, ocorre quando a rede é disposta no formato de uma estrela, e o limite inferior é zero.

Assim redes com maior grau de centralidade indicam a existência de *preferential attachment* em um ator da rede que pode possuir monopólio da informação, produto, tecnologia, etc. Redes descentralizadas indicam que os atores ligam-se de forma aleatória, ou mesmo a informação é disponível pra todos, não há *preferential attachment*.

2.2.4 Centralidade de intermediação

Este indicador leva em consideração o fato de que a informação que passa através dos nós da rede, não necessariamente, devem seguir caminhos mais curtos.

Indica se um ator está em posição de destaque por estar entre o caminho geodésico entre outros dois atores, sendo que não há, outro ator envolvido, ou seja, quanto um nó está no caminho geodésico entre outros dois nós.

Ex. Suponha que haja apenas um caminho entre duas cidades. Se neste caminho for construído um pedágio (representando um terceiro ator) este irá se beneficiar cada vez que há um tráfego entre as duas cidades. De outra forma, suponha que um país A deseje exportar um bem para um país C. Entretanto os dois não possuem relações diplomáticas. Mas A possui relação com B e B possui relação com C. Logo, B irá beneficiar-se caso importe um bem a um determinado preço de A e exporte a um determinado preço para C.

As publicações científicas apresentam comportamento análogo. Para publicar com determinado pesquisador de determinada instituição internacional, muitas vezes é necessário realizar um caminho geodésico de parcerias, onde chega-se a determinado autor através de parcerias com autores intermediários.

O mesmo ocorre para patentes. O conhecimento que enseja uma determinada patente pode ser originada de patentes muito antigas mas que é necessária para estudar determinada área do conhecimento. O caminho desenhado pelas patentes mostra quão distante ou perto as áreas de estudo estão entre si. Um caminho geodésico longo mostra maior conhecimento acumulado e possíveis patentes podem traduzir-se em intermediárias tecnológicas.

Assim, para uma rede genérica, destacam-se os atores com maior centralidade de intermediação. Entretanto, ressalta-se que um ator com maior grau de centralidade não é necessariamente o de maior intermediação na rede. Ou seja, um

indivíduo não necessita ocupar a posição central, nem possuir contatos fortes, mas pode ser um importante mediador do fluxo e da direção das informações.

Seja G um grafo com n vértices e seja v_k um vértice de G . Considere um par de vértices v_i e v_j em G , tal que $i \neq j, i \neq k, j \neq k$. A centralidade de intermediação de v_k com respeito a v_i e v_j é dada através do número de caminhos mais curtos que se iniciam em i e termina em j passando por k , isto é, $g_{ij}(v_k)$, em relação ao número total de caminhos mais curtos entre i e j , isto é, g_{ij} (FREITAS, 2010).

$$C_B(v_k) = \sum_{1 \leq i < j \leq n} \frac{g_{ij}(v_k)}{g_{ij}}, \quad i \neq j, i \neq k, j \neq k \quad (2.5)$$

O índice normalizado pode ser obtido através da divisão pelo valor máximo possível, ou seja, o número de pares de nós da rede que não incluem v_k , ou seja, $(n-1)(n-2)/2$, onde n representa o número total de nós existentes no grafo (MATHEUS; SILVA, 2005).

2.2.5 K-core

Uma rede tecno-social pode ser composta de inúmeras subredes (ou subestruturas) o que torna complexa sua análise e interpretação.

A abordagem K -core (pontos de corte), estabelece o número mínimo (K) de ligações diretas que cada ator deverá possuir com outros atores para pertencer a uma subrede. Ao variar o valor de K (isto é, quantos membros da rede se deve estar conectado), diferentes imagens podem surgir. Quanto menor o valor de K maior o tamanho da subrede (HANNEMAN, RIDDLE, 2005).

Uma vez identificados os atores que possuem maior ligação entre si, integrantes desta subrede, em relação a outros atores em outro subgrupo, podem-se revelar aspectos essenciais da estrutura social, e como destaca Pereira (2005), o comportamento de toda a rede.

Dal Poz (2006) ressalta que a delimitação dos “pontos de corte” é uma determinação do analista da própria rede, baseado em uma análise estatística prévia acerca dos valores numéricos dos vínculos encontrados entre componentes da rede. Entretanto, escolhe-se um valor mínimo para incluir certos atores, deixando outros fora dela.

Redes com um número grande de atores (mais de cinco mil) induzem a problemas computacionais para sua utilização, abrindo espaço para a classe de recortes mencionados, que não necessariamente estão alinhados com a criação de sub-redes, mas à factibilidade de utilização dos dados em grande escala¹⁰.

Nesta tese, para os indicadores de rede optou-se pela inserção máxima de atores, lançando-se da abordagem *k-core*, adotando-se os menores valores possíveis que não implicariam em problemas computacionais, de forma a minimizar os efeitos negativos dos cortes da rede, como a exclusão de atores importantes. Para a visualização os pontos de corte foram maiores na tentativa de otimizar a imagem e interpretação do grafo exposto com o maior número de atores.

Para grandes redes os indicadores calculados se mostram estáveis e portanto, podem ser utilizados como uma aproximação dos valores reais (COSTENBADER; VALENTE, 2013).

2.3 Diâmetro da rede e o fenômeno *small worlds*

A utilização da metodologia de redes não é restrita, sua aplicação pode ser encontrada em diversos trabalhos das áreas sociais e econômicas.

Entretanto, emergem algumas questões associadas a interpretação desta metodologia à luz de um referencial teórico específico. Estudos para *web pages*, coautoria científica, e-mails, citações, mostram que apesar de maior acesso a estes dados, as respectivas interpretações, devem respeitar certas idiossincrasias, uma vez que a rede é um recorte estático e discreto de um fenômeno dinâmico e volátil (JACKSON, 2008).

Desta forma, como sugere, Jackson (2008) as redes devem ser interpretadas segundo categorias de referência, na tentativa de diminuir os erros associados às mensurações. Ou seja, autores que evidenciaram certos fenômenos associados a uma determinada área de estudo, são utilizados como *benchmarking* para interpretar a rede em análise.

¹⁰ Nesta tese houve necessidade de utilizar *k-cores* para permitir a utilização e análise dos dados obtidos. Ressalta-se que para redes menores os *k-cores* podem afetar a análise devendo o pesquisador atentar-se ao contexto das análises quando há emprego de tal medida.

As evidências mostram que nas áreas sociais, incluso na economia, grandes redes exibem o comportamento de *small worlds*. Este termo¹¹ engloba a ideia que grandes redes tendem a possuir ambos diâmetro e distância geodésica média baixas.

Exemplo: Suponha uma rede de relações em cascata, sem perda de generalidade, que uma pessoa tenha 100 amigos. A rede de amigos terá da ordem de 100 amigos. Se esses 100 amigos possuírem outros 100 amigos cada, as relações amigo de amigos passam para 100^2 . Em um terceiro nível, a rede, chega a um milhão de pessoas. Infere-se que deste um milhão de pessoas, muitos serão de países distintos da pessoa original considerada na rede (JACKSON, 2008).

Assim, com poucos passos (ou caminhos geodésicos) alcança-se o mundo todo. A analogia deste fenômeno em outras áreas, recebe o nome de fenômeno *small world* (JACKSON, 2008).

Estudos para redes de coautoria em publicações científicas indicam a incidência deste fenômeno. O número de nós, indica o número de publicações científicas nas diferentes áreas do conhecimento (ver Tabela 1):

Tabela 1 – Redes de coautoria em publicações científicas

Indicador	Biologia	Economia	Matemática	Física
Número de nós	1.520.521	81.217	253.339	52.909
Grau de Centralidade Média	15,5	1,7	3,9	9,3
Distância Geodésica Média	4,9	9,5	7,6	6,2

Fonte: Adaptado de Jackson (2008).

2.4 Distribuição do grau e redes *scale-free*

Como observado na Tabela 1 as redes variam de acordo com o número de ligações (nós). O grau de centralidade média da rede fornece a ideia de conectividade. A partir deste conceito, pode-se argumentar como varia o grau de cada nó (número de ligações de determinado nó) da rede. Assim, a distribuição dos graus da rede permite uma análise mais rica do que apenas o indicador médio.

¹¹ Discute-se este fenômeno a partir dos estudos de Stanley Milgram, na década de 60, de onde emergiu o conceito conhecido como os “6 graus de separação” para as redes sociais.

A distribuição do grau (de centralidade média) da rede é uma descrição das frequências relativas dos nós, sendo que para cada nó, associa-se um determinado grau.

Isto é, $P(d)$ é a fração dos nós que possuem um grau d sob a distribuição de grau P . A formação da rede, e portanto sua distribuição estatística, reflete a forma como os atores da rede se conectam.

Os estudos seminais de Erdős e Rényi confirmaram a suposição de que as redes possuem um processo de formação puramente aleatório em termos das ligações entre os atores. Dado conjunto de n nós, cada ligação terá uma dada probabilidade p associada, $0 < p < 1$, e independente entre si (JACKSON, 2008).

Para uma rede genérica, a probabilidade que qualquer nó i tenha exatamente d ligações será:

$$\binom{n-1}{d} p^d (1-p)^{n-1-d} \quad (2.6)$$

onde,

p é a probabilidade de ligação de ligação entre dois nós quaisquer;

d é o número de ligações; e

n é o número de nós da rede.

Para um grande número de nós e baixa probabilidade de ligação entre dois nós, a expressão 2.6 pode ser aproximada por uma distribuição Poisson:

$$\frac{e^{-(n-1)p} ((n-1)p)^d}{d!} \quad (2.7)$$

Desta forma, a classe de redes a qual as ligações são formadas independentemente com igual probabilidade são conhecidas como Redes Poisson Aleatórias.

Apesar de Erdos e Rényi abordarem a representação das rede por uma aproximação da distribuição Poisson, verificou-se que na área das ciências sociais havia um comportamento distinto: redes com muitos nós, mas pouco conectados e alguns nós com graus muito altos.

Este comportamento, comumente visualizado em redes de citação científica, não segue a distribuição de Poisson descrita em 2.7, mas, outra distribuição, a “lei da potência”, também conhecida por exibir um comportamento conhecido como *scale-free* (livre de escala), ao menos na cauda superior:

$$P(d) = cd^{-\gamma} \quad (2.8)$$

onde,

d é o número de ligações;

c é uma constante de normalização, $c > 0$; e

γ é o expoente da distribuição, segue a lei da potência.

O aspecto *scale-free* refere-se ao fato de que as probabilidades associadas a diferentes graus depende apenas da razão entre as probabilidades e não de seu valor absoluto. Ao comparar a probabilidade de dois nós, um de grau d e outro de grau d' , a razão entre as probabilidades será $P(d)/P(d') = (d/d')^{-\gamma}$. Se o tamanho do grau de cada nó for dobrado, então segue que $P(2d)/P(2d') = (2d/2d')^{-\gamma} = (d/d')^{-\gamma}$ (JACKSON, 2008).

Desta forma, quando a probabilidade de medir um valor particular de alguma quantidade varia inversamente à potência deste valor, a quantidade é dita seguir a lei da potência, também conhecida como lei de Zipf ou distribuição de Pareto. Este comportamento é amplamente visualizado nas áreas físicas, biológicas, ciências da terra e planetária, economia, finanças, ciência da computação, demografia e ciências sociais (NEWMAN, 2005).

2.5 Redes de colaboração científica e o fenômeno de *preferential attachment*

As redes de colaboração científica possuem distribuição de probabilidade que segue a lei da potência e, portanto, são consideradas do tipo *scale-free*.

Entretanto, Dorogovtsev e Mendes (2002); Barabási et al (2002) e Newman (2005) verificaram que as redes de colaboração científica para as áreas do conhecimento analisadas apresentam o fenômeno de *preferential attachment* sendo que o valor do expoente γ situa-se geralmente entre 2 e 3 e que visualmente se assemelha a uma “cauda gorda”¹².

Este fenômeno explica porque “o rico fica mais rico e o pobre fica mais pobre”¹³. Ou seja, um artigo que já possui muitas citações terá maior probabilidade de ser analisado sob uma revisão de literatura e terá, portanto, maior número de citações.

¹² Uma distribuição com cauda gorda (ou pesada) possui como características: assimetria, reflete a inclinação negativa (escala log-log) se comparada a uma distribuição normal que é simétrica e centrada na média; e razão, entre o valor máximo e mínimo, alta.

¹³ Também conhecido como processo de Gibrat, efeito Mateus – alusão à passagem bíblica, vantagem cumulativa, etc.

A Figura 2 exemplifica uma distribuição dos graus de uma rede de colaboração científica gerada por simulação de Monte Carlo. A partir dos valores maiores que 3,5 para k , onde k representa o número de ligações, a distribuição exibe uma aglomeração de nós que possuem muitas ligações mas com menor probabilidade de serem selecionadas ao acaso, ou seja, a rede exemplificada apresenta poucos nós com muitas ligações e muitos nós com baixa ligação entre si, sinalizando o fenômeno de *preferential attachment*.

Wagner e Leydesdorff (2005) estudaram os condicionantes do rápido crescimento da colaboração científica internacional para seis sub-áreas do conhecimento: Astrofísica, Geofísica, Lógica Matemática, Ciência dos Polímeros, Ciência dos Solos e Virologia. Verificaram que dos possíveis fatores explicados pela literatura, o mais provável, relaciona o grau de interconexão dos cientistas, em redes e o crescimento das tecnologias de informação e comunicação.

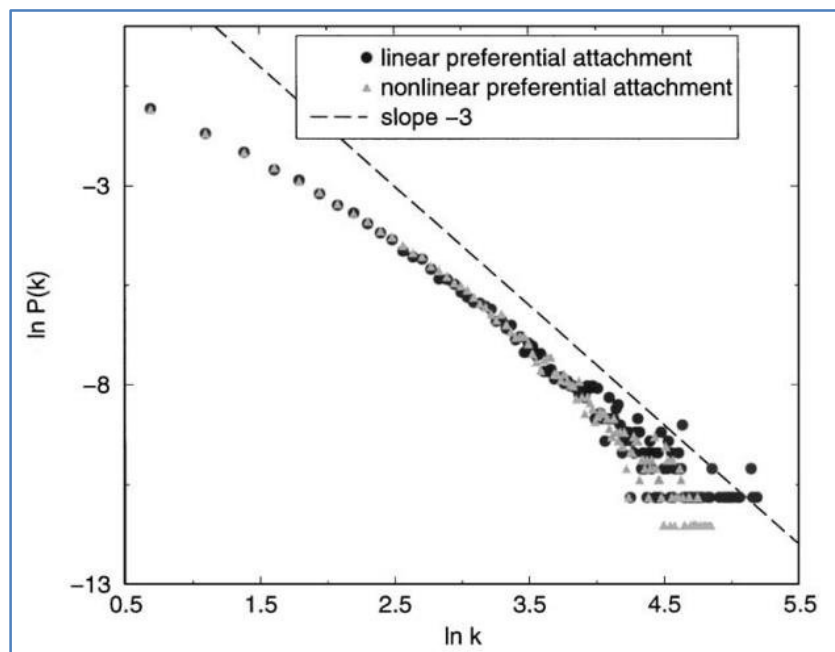


Figura 2 – Distribuição dos graus de uma rede de colaboração científica gerada por simulação numérica
Fonte: Barabási et al (2002).

Os autores adotam a hipótese de que o comportamento das redes de colaboração internacional para sub-áreas do conhecimento estão descritas pelo mecanismo de *preferential attachment* (conexão preferencial), que baseia-se na reputação e em recompensas. Ou seja, os autores decidem colaborar para ganhar visibilidade, reputação, capacidades complementares e acesso a recursos (WAGNER; LEYDESDORFF, 2005) (ver Figura 3).

Os principais resultados das redes de coautoria internacional:

- As redes de coautoria internacional indicam a distribuição *scale-free* similar ao de redes de coautoria científica, mas com desvios em relação a lei da potência;
- Indicam a presença do fenômeno *preferential attachment* similar ao de redes de coautoria científica; visualmente a cauda gorda. O fenômeno surge no meio da distribuição representando os autores que estão na área de pesquisa a algum tempo e buscam por prestígio através das relações de coautoria, “continuantes”. Há grande competição. A cauda gorda representa o grupo de cientistas de elite que não mais competem por prestígio através de relações de coautoria, sendo que, alguns podem estar inclusive no final da carreira acadêmica, “terminantes”.
- A maioria das redes apresentaram um “gancho” na distribuição da rede. Tal fator pode ser explicado pela entrada de novos autores na área de pesquisa ou em transição de área, “entrantes”;

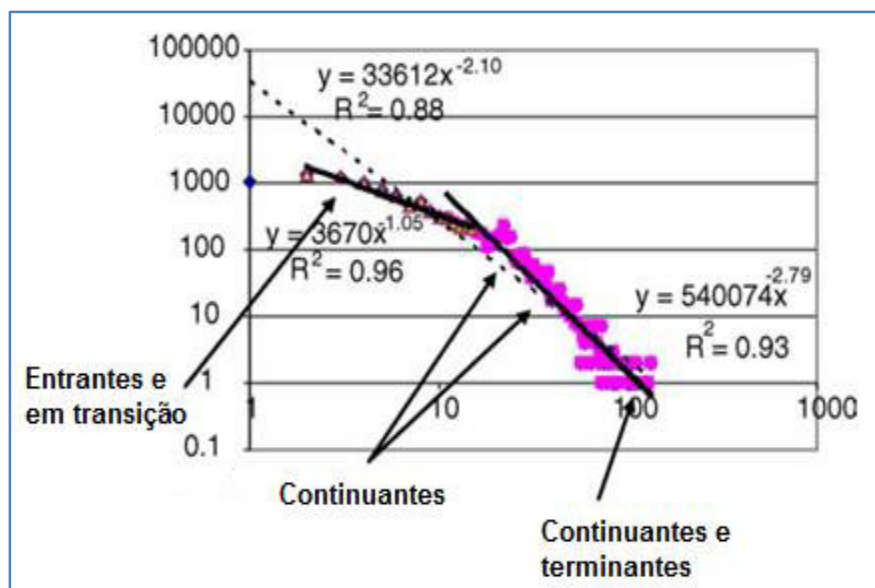


Figura 3 – Distribuição de grau em Geofísica para coautorias internacionais
Fonte: Wagner e Leydesdorff (2005).

Os indicadores indicam que o crescimento da colaboração científica internacional deve-se a dinâmica criada pelos interesses pessoais dos cientistas ao invés de outros fatores.

Segundo Wagner e Leydesdorff (2005), a escolha individual dos cientistas em colaborar deve ser motivada por uma estrutura de recompensas, onde coautoria, citações e outras formas de reconhecimento profissional que levam o trabalho adicional e a reputação a um círculo virtuoso. Pesquisadores com alta visibilidade e produtividade, aptos a escolher, trabalham com as pessoas que tem mais chance de aumentar sua produtividade e credibilidade. Os continuantes intermediam a entrada de pesquisadores mais novos, criando a competição entre os colaboradores.

2.6 Ajustamento e estimação dos parâmetros da distribuição de uma rede

Newman (2005) ressalta que a origem do comportamento *power-law* foi tema de debate científico por mais de um século. Assim, o autor procurou evidências científicas para a sua existência e as teorias propostas para sua explicação.

A equação descrita em 2.8 é passível de estimação por métodos estatísticos, desde que alguns ajustes sejam realizados:

- Seja uma rede com n nós, para cada nó há um número d de ligações associadas e pertencente ao seguinte intervalo: limite inferior igual a zero – não há ligação com nenhum ator e com um limite superior igual a $n - 1$ – há ligação com todos os atores da rede, exceto o próprio ator. No caso em que ocorre autocitação o limite superior é igual a n ;
- Para cada valor de d é associado o valor de ocorrência igual a 1; Então, agregam-se os valores de d com igual valor (passa-se a designar por x) e, somam-se as ocorrências respectivas;
- Os valores de x e suas respectivas ocorrências são transformadas para a escala logarítmica; e
- Portanto, o coeficiente da reta estimada que ajusta os pontos da relação entre x e suas respectivas ocorrências, será o expoente γ , da distribuição da lei da potência.

Newman (2005) salienta que este método, apesar de ter aplicação comum e simples, os valores de estimados de γ são inferiores ao valor real por causa do ruído na cauda que enviesa a estimação do parâmetro.

A solução proposta por Newman (2005) é realizar a estimação da função de probabilidade acumulada. A probabilidade acumulada de uma distribuição *power-law*

é também *power-law*, mas com expoente $\gamma - 1$. A vantagem desta abordagem é que não é necessário realizar a agregação dos valores de d . Mas, há a necessidade de especificar um valor no mínimo ou igual a um determinado d .

Este procedimento apresentará um valor estimado mais próximo do valor real, desde que seja adotado um valor mínimo, valor arbitrário que sugere o local a partir do qual inicia-se o *power-law*.

O ajustamento mais indicado é o procedimento de estimação por máxima verossilhança sendo que o γ será dado pela seguinte expressão:

$$\gamma = 1 + n \left[\sum_{i=1}^n \ln \frac{d_i}{d_{min}} \right]^{-1} \quad (2.9)$$

onde,

γ é parâmetro da lei da potência estimado por máxima verossilhança;

n é o número de nós da rede;

d_i é o número de ligações do nó i ; e

d_{min} é o número mínimo de ligações, determinado arbitrariamente.

A Tabela 2 apresenta estimativas de expoente para algumas distribuições e os respectivos valores mínimos adotados:

Tabela 2 – Estimativas do parâmetro γ e valor mínimo de d adotado para distribuições selecionadas

Variável	d mínimo	Expoente γ
Frequência do uso de palavras	1	2,20
Número de citações de artigos	100	3,04
Número de <i>hits</i> em <i>web sites</i>	1	2,40
Cópia de livros vendidas nos Estados Unidos	2.000.000	3,51
Chamadas telefônicas recebidas	10	2,22
Magnitude de terremotos	3,8	3,04
Diâmetro das crateras da lua	0,01	3,14
Intensidade dos ventos solares	200	1,83
Intensidade das guerras	3	1,80
Patrimônio líquido dos americanos	\$600.000.000	2,09
Frequência dos nomes de família	10.000	1,94
População norte-americana	40.000	2,30

Fonte: Newman (2005).

Os indicadores de rede bem como a distribuição do grau, são importantes ferramentas para interpretar o grau de desenvolvimento do Sistema Nacional de Inovação em análise.

A literatura em economia evolucionista em inovação considera que entre os indicadores de inovação, os baseados em rede, são os mais completos. As Redes de Inovação em etanol de segunda geração são portanto, interpretadas quantitativa e qualitativamente. Para facilitar a compreensão do leitor será adotado nesta tese o termo “Redes de Inovação” para designar as redes tecno-socioeconômicas criadas a partir das relações existentes para as publicações científicas e para as patentes.

A próxima seção apresenta uma revisão teórica sobre as Redes de Inovação, em uma abordagem que permite a aplicação da metodologia descrita neste capítulo como um ferramental de análise econômica.

3 REDES DE INOVAÇÃO: INDICADORES DO GRAU DE DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA NACIONAL DE INOVAÇÃO

As Redes de Inovação em etanol de segunda geração serão abordadas como um conjunto de indicadores quantitativos e qualitativos, tornando-se *benchmankings* para o grau de desenvolvimento do Sistema Nacional de Inovação em etanol de segunda geração. Entretanto, sua interpretação como indicador de inovação passa por uma discussão teórica que culmina na análise de redes.

A seguir apresenta-se sucintamente esta efervescência teórica, da ortodoxia à heterodoxia, e à luz deste embate, as interpretações subseqüentes da aplicação desta metodologia na economia industrial, com foco nos processos de inovação.

Também são abordados o que são Sistemas de Inovação e principais correntes teóricas.

3.1 Economia da Inovação

O debate teórico que enseja a linha de pesquisa em Economia da Inovação é amplo e passa por diversas escolas de pensamento econômico da mais ortodoxa até a mais heterodoxa e com abordagens distintas acerca da inovação, tradicional e inovativa, até culminarem nas atuais vertentes e discussões sobre o tema.

Os autores ortodoxos e que discutiram a inovação, possuíam por pressupostos teóricos baseados em modelos econômicos, em geral, de natureza estática e com livre acesso à informação. O mercado possuía um equilíbrio estático e competitivo e portanto, caracterizado pela concorrência perfeita.

Para os autores desta linha de pensamento, o desenvolvimento econômico seria descontínuo e portanto, a descontinuidade seria dada por novos pontos de equilíbrio estático.

Ao abordarem diretamente a inovação, a interpretação dos novos equilíbrios seria motivado por inovações radicais, ou seja, um processo inovativo exógeno à firma e que culminava em rupturas no sistema econômico após sua introdução. Sob essa perspectiva, para cada alteração (direta ou não ocasionada pela inovação) o mercado se reequilibraria em um novo nível ótimo de alocação de recursos escassos (NELSON; WINTER, 2005; DIAS, 2009).

Nesta ótica ortodoxa de analisar o mercado existem duas perspectivas distintas acerca do progresso técnico:

- Tradicional: clássicos e neoclássicos; e
- Inovativa: marxistas e schumpeterianos.

A perspectiva tradicional é representada pela cópia e imitação dos processos produtivos e produtos uma vez que estão inseridos em um mercado de concorrência perfeita e portanto, representado por deslocamentos exógenos nas funções de oferta e de demanda.

Os autores ortodoxos com uma perspectiva tradicional do progresso técnico são representados pelos clássicos (Adam Smith, David Ricardo e John Stuart Mill) e neoclássicos (Alfred Marshall e Léon Walras). Tais autores não explicitaram ou marginalizaram a discussão da inovação em suas obras (BRUE, 2006).

Entretanto, a partir da escola do crescimento e desenvolvimento emerge Schumpeter (1982) que será o precursor da linha de pesquisa nomeada economia da inovação.

A perspectiva inovativa é representada através da invenção e da descoberta como uma ruptura permitida pela inovação. O processo ocorre através de uma difusão de informações e tecnologias que culmina em saltos qualitativos da economia.

Schumpeter discute o conceito de “destruição criativa” relacionando o progresso econômico aos ciclos econômicos, ou seja, os ciclos são provenientes de um processo inovativo que os inicia no momento em que uma nova tecnologia ou novo processo produtivo torna outros setores e tecnologias obsoletas e não lucrativas permitindo aos segmentos industriais inovadores auferirem rendas monopolistas, o que inicia o processo recessivo até que outra onda criativa surja.

Em contrapartida à abordagem ortodoxa, a escola da economia da inovação adquiriu algumas características das ciências naturais que a classifica como abordagem evolucionista (e portanto, heterodoxa).

Tal abordagem é representada pelos modelos econômicos dinâmicos, ou seja, o equilíbrio é dinâmico, e as informações possuem custos de aquisição e difusão tornando o mercado com características de concorrência imperfeita. Assimila-se a ideia da evolução biológica ao processo inovativo, uma vez que este é endógeno e dado por inovações incrementais.

Nesta ótica evolucionista existem duas perspectivas distintas acerca do progresso técnico:

- Tradicional: institucionalistas; e
- Inovativa: neoschumpeterianos e evolucionistas.

A escola da economia institucional enfatiza o estudo abrangente das instituições e considera o mercado um resultado da interação complexa dessas várias instituições (e.g. indivíduos, firmas, estados, normas sociais). Seu expoente é Veblen, sendo também considerado como precursor da corrente evolucionária.

Há formalização da discussão sobre a internalização do processo inovativo na firma, sendo este reflexo das ações organizacionais. Esta escola possui uma visão tradicional do progresso técnico e portanto, seus autores podem ser enquadrados como evolucionistas, mas que analisam o processo técnico de forma tradicional.

Os neoschumpeterianos descendem diretamente dos seguidores de Schumpeter, mas refutam a tese de que os agentes tomam decisões baseados exclusivamente na racionalidade maximizadora. Sua abordagem é evolucionista com uma ótica inovativa acerca do progresso técnico (DIAS, 2009).

Para os autores desta linha as firmas tomam decisões internas (métodos produtivos) com base em conhecimento limitado ao ambiente externo (mercado) e se comportam seguindo as regras mais ou menos estáveis, compreendidas em rotinas, estratégias e processos de pesquisa.

Próximo aos neoschumpeterianos estão os autores da escola evolucionista que além das características já mencionadas por seus parentes próximos há a interpretação mais aprofundada das relações acerca da inovação e do seu papel como motor do crescimento econômico (DIAS, 2009).

Entre outras características, os evolucionistas, alicerçam o progresso técnico como fator endógeno à esfera organizacional, próprio dos investimentos em Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (P,D&I) estando este em paralelo à acumulação de conhecimento, e portanto, à geração de inovações tecnológicas, que emergem como respostas às movimentações dos mercados (DIAS, 2009).

Entre os principais autores destacam-se Nelson e Winter (2005), Freeman (1982), Rosenberg (2006), Dosi (1982) entre outros.

Para estes autores a inovação pode ser interpretada como um processo de busca, descoberta, experimentação, desenvolvimento, imitação e adoção de novos produtos, processos e novas técnicas organizacionais que impulsionam o desenvolvimento da firma.

Conclui-se que a evolução do pensamento sobre inovação ao longo de décadas culminou em diversas vertentes e linhas de raciocínio que influenciou diversos métodos e análises subsequentes.

Entre as linhas as escolas de pensamento destacadas, a linha evolucionista é aceita atualmente como abordagem explicativa para o desenvolvimento das nações e das indústrias baseadas em conhecimento.

Esta tese irá adotar a linha de pensamento evolucionista como base teórica para a interpretação das relações que envolvem o etanol de segunda geração.

Desta forma, discutem-se a seguir as teorias de Sistemas Nacionais de Inovação (SNI) que são subjacentes à escola evolucionista.

3.2 Sistema Nacional de Inovação

A abordagem de Sistemas Nacionais de Inovação (SNIs) surgiu na década de 80, com a sua difusão na Inglaterra, Dinamarca e outros países, incluso o Brasil. Tal perspectiva teórica permite um melhor entendimento da forma como ocorrem os processos de aquisição, uso e difusão dos conhecimentos e também em como as capacitações produtivas e inovativas são geradas e se desenvolvem (LASTRES; CASSIOLATO; ARROIO, 2005).

Uma vez que o processo de inovação é cumulativo, depende das capacidades endógenas e do conhecimento tácito, onde a capacidade inovativa de um país ou região decorre das relações entre os agentes econômicos, políticos e sociais.

A abordagem de SNIs é mais ampla que as que abordam os distritos industriais ou *clusters*, remetendo à questão de elaboração de políticas públicas voltadas à inovação (desenvolvimento industrial e tecnológico), sendo que esta deve considerar as especificidades locais que são inerentes no processo de desenvolvimento das economias (LASTRES; CASSIOLATO; ARROIO, 2005).

Por aprendizagem entende-se o processo pelo qual a repetição e experimentação permitem que as tarefas sejam realizadas melhor e rapidamente, além de melhorar a capacidade da empresa em identificar novas oportunidades. Por inovação entende-se os processos que as firmas utilizam para introduzir e difundir novos produtos e processos (DAL POZ, 2006).

Para Dal Poz (2006, p.36):

O conceito de SNI foi introduzido e vem sendo elaborado para explicar certos subsistemas da economia dos países nos quais várias organizações e instituições interagem e influenciam uma a outra ao longo do processo de inovação. É uma abordagem ampla do fenômeno da inovação, já que, ao invés de focalizar apenas as introduções de novas tecnologias organizacionais em um país, envolve também os esforços de pesquisa e desenvolvimento realizados por empresas e atores do setor público, assim como os determinantes da inovação, tais como os processos de aprendizagem, mecanismos de incentivo à inovação e oferta de recursos humanos qualificados.

Entre as principais abordagens de SNI: Carlsson e Stankiewicz (1991); Freeman (1995); Freeman e Soete (2008), Foray e Lundvall (1996); Patel e Pavitt (1998); Mytelka e Farinelli (2000); Edquist (2001); Malerba (2002); Etzkovitz e Leydesdorff (2000) (ver Quadro 2).

A abordagem de SNI estão sintetizadas nas seguintes características, e serão adotadas nesta tese como referência padrão:

- Relações de parceria: governo e empresas públicas; institutos de pesquisa e universidades; e empresas privadas; Como são construídas as relações, *catching-up*¹⁴, fomento, apoio;
- Objetivos dos agentes: geração, difusão e adoção da tecnologia em produto e processo;
- Objetivos da pesquisa: pesquisa básica inspirada pelo uso, Quadrante de Pasteur; Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (P,D&I);
- Processo de inovação: cumulativo, contínuo, depende das capacidades endógenas;
- Relações produtivas: setoriais, transbordamento à montante e à jusante ao longo da cadeia produtiva, nacional e internacional;
- Espaço: lócus das relações que envolve as instituições; não se limita ao espaço geográfico e sim econômico; e
- Competição: interesse supranacional.

O Brasil possui potencialidade inovativa em etanol de segunda geração no âmbito do SNI. Assim a hipótese central desta tese é que há um Sistema Nacional de Inovação no Brasil voltado ao etanol de segunda geração desenvolvido.

A seguir discutem-se brevemente os objetivos da pesquisa.

¹⁴ Compreende a capacidade de centros secundários de absorver técnicas e conhecimentos gerados nos centros líderes, de forma a permitir que aqueles "alcancem" os níveis de produtividade destes e, portanto, reduzam o hiato tecnológico (e de desenvolvimento econômico) que os separa (LEMOS, 2006).

Carlsson e Stankiewicz (1991)	Definem os sistemas tecnológicos como “uma rede de agentes interagindo entorno de uma área tecnológica específica sob uma infraestrutura institucional particular específica para o propósito de geração, difusão e utilização da tecnologia” formada pelos seguintes componentes: atores (e suas competências), que podem ser firmas, usuários, fornecedores ou capital especulativo, ou outras organizações; redes que se constituem de canais importantes para a transferência de ambos, o capital tácito e conhecimento explícito; e instituições que estipulam as normas e regras de regulação de interações entre atores e os valores básicos de vários segmentos da sociedade
Freeman (1995); Freeman e Soete (2008)	Define os SNIs como uma rede de instituições públicas e privadas que interagem com o intuito de difundir novas tecnologias. Notam-se a existência de uma rede de instituições públicas e privadas que interagem com o intuito de difundir novas tecnologias
Foray e Lundvall (1996)	Destacam duas perspectivas no que consideram como economia baseada no conhecimento: uma que identifica o setor que produz novos conhecimentos ou distribui informações e a outra considera a criação e difusão de conhecimento que ocorre em atividades rotineiras na economia (aprendendo-fazendo, aprendendo-usando e aprendendo-interagindo);
Patel e Pavitt (1998)	Definem os SNIs em termos das instituições envolvidas na geração, comercialização e difusão de novos e de versões melhoradas de produtos, processos e serviços (ou seja, mudança tecnológica) e no incentivo de estruturas e competências destas instituições que influenciam a taxa e a direção da mudança. A especialização implica coordenação ou mesmo integração, de modo que o mais importante em SI são as conexões (redes) entre os agentes. Os autores alertam que os SIs estão sob crescente tensão, uma vez que há um aumento do desequilíbrio entre o que a ciência tem a oferecer e entre o que o sistema tecnológico demanda.
Mytelka e Farinelli (2000)	Sob a abordagem de SIs ressurgiu o interesse na inovação, sendo esta caracterizada por um processo interativo, ou seja, deixa de ser compreendida apenas como processo de mudança radical por grandes empresas, dando ênfase neste processo, a qual as empresas interagem entre si sob as ações de instituições e organizações, como associações industriais, P&D, parques tecnológicos, instituições de padronização e certificação, universidades, entre outros;
Edquist (2001)	Considera que há a necessidade de desenvolver um SI, para a produção, a difusão e o uso de inovações de caráter supranacional, nacional e subnacional (regional, local), podendo adquirir uma natureza setorial dentro de demarcações geográficas. As organizações - firmas e não firmas - e instituições compõem o sistema de inovação;
Malerba (2002)	Considera que os agentes dos SNs, setoriais e locais são organizações que se desenvolvem a partir de aprendizados específicos, competências, objetivos, estruturas organizacionais e comportamentos.
Etzkovitz e Leydesdorff (2000)	Autores do modelo de Tríplice Hélice, descrevem o modelo de inovação com base na relação Empresa-Universidade-Governo. Para o autor apenas através da interação entre estes atores é possível criar um SI sustentável e durável na era da economia do conhecimento. Emergiu de uma teoria para um modelo, aplicado em diversos países, estimulando o surgimento de núcleos de incubadoras, núcleos de inovação, escritórios de transferência de tecnologia, novas leis e mecanismos de fomento, incluindo o Brasil.

Quadro 2 – Principais abordagens teóricas que permeiam a discussão de Sistemas Nacionais de Inovação

Fonte: Elaboração do autor.

3.3 Quadrante de Pasteur e os objetivos da pesquisa

Stokes (2005) discute a necessidade de uma visão mais realista do relacionamento entre a ciência básica e a inovação tecnológica para possibilitar a elaboração de políticas científicas e tecnológicas para o século XXI. Sua questão principal é qual seria o objetivo da pesquisa em um sistema político democrático.

A visão até então dominante é que há uma separação em polos diametralmente opostos dos objetivos da pesquisa científica, motivados pelo entendimento e pelo uso e portanto, traduzidos na pesquisa básica e pesquisa aplicada. Ou seja, há uma tensão inerente entre os objetivos de entendimento geral e de utilização aplicada que mantém as categorias da pesquisa empiricamente separadas (STOKES, 2005).

Para Stokes tal distinção não existe. Ou seja, não haveria um eixo unidimensional separando a pesquisa básica e aplicada, mas sim um plano bidimensional, no qual o eixo horizontal representaria o grau com em que a pesquisa é guiada por considerações de uso e no eixo vertical o grau com que um certo corpo de pesquisa procura estender as fronteiras do entendimento (STOKES, 2005).

A partir desta abordagem, Stokes (2005), criou um quadro que representasse esta bidimensionalidade dos objetivos. Para cada célula ou quadrante, Stokes (2005), nomeou com o seu principal expoente (ver Figura 4).

Pesquisa inspirada por:		Considerações de uso?	
		Não	Sim
Busca de entendimento fundamental?	Sim	Pesquisa básica pura (Bohr)	Pesquisa básica inspirada pelo uso (Pasteur)
	Não		Pesquisa aplicada pura (Edison)

Figura 4 – Modelo de quadrantes da pesquisa científica
Fonte: Stokes (2005).

O quadrante superior esquerdo representado por Niels Bohr ¹⁵ - quadrante de Bohr - ensejaria os pesquisadores motivados apenas pelo entendimento sem relação alguma com a pesquisa aplicada. Em suas pesquisas Bohr esteve à procura de um modelo atômico independente da extensão de que suas ideias teriam nas próximas décadas (STOKES, 2005).

O quadrante inferior direito representado por Thomas Edison ¹⁶ - quadrante de Edison, entretanto, seria um contra exemplo, para o anterior, onde enseja pesquisadores motivados apenas por objetivos aplicados, sem procurar por um entendimento mais geral dos fenômenos de um determinado campo da ciência. Edison não queria saber as implicações científicas de suas descobertas, mas sim como melhorá-las. Algumas descobertas só tiveram entendimento científico anos após a sua invenção (STOKES, 2005).

O quadrante superior direito estaria então representado por Louis Pasteur – quadrante de Pasteur – ensejaria os pesquisadores que tanto estão motivados pela busca de novos entendimentos sobre determinados assuntos, mas também possuem uma motivação aplicada. Pasteur é um claro exemplo da combinação desses objetivos que esteve completamente alheio à estrutura conceitual de Vannevar Bush. Neste quadrante estaria inseridos pesquisadores como John Maynard Keynes e Langmuir (STOKES, 2005).

O quadrante inferior esquerdo, não está vazio, e incluiria a pesquisa não inspirada por objetivo de entendimento nem pelo de uso. Pesquisas desse quadrante podem ter sido impulsionadas pela curiosidade do investigador sobre fatos particulares, mostrando a multidimensionalidade dos objetivos da pesquisa e não apenas uma relação básica-aplicada tradicional (STOKES, 2005).

O capítulo a seguir apresenta de forma descritiva os indicadores de inovação que tiveram raízes no modelo linear de inovação e permearam as diversas publicações e discussões da Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) ao longo de décadas e que portanto, são precursores dos atuais indicadores utilizados.

¹⁵ Dinamarquês nascido em 1885. Seus trabalhos permitiram avanços na química e na física a partir do aperfeiçoamento do modelo de Rutherford, chegando a um modelo atômico de distribuição dos elétrons na eletrosfera por camadas eletrônicas como em um sistema planetário (BRASIL ESCOLA, 2013).

¹⁶ Americano nascido em 1847. Foi um grande inventor, cientista e empresário nos Estados Unidos. Desenvolveu muitos dispositivos de grande interesse da indústria que permitiram a revolução tecnológica do século XX (RUTGERS, 2013).

3.4 Indicadores de inovação

Os primeiros indicadores de inovação foram desenvolvidos na lógica do modelo linear de inovação¹⁷, mas a consolidação dos indicadores ocorreu apenas na década de 60 quando a OECD estabeleceu um conjunto de indicadores de inovação para os países-membros.

O auge do conjunto de indicadores acompanha o Manual de Frascati (OECD, 2002), documento que padroniza as práticas de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) nas empresas. A partir desse manual, seguem-se três importantes documentos: o Manual de Oslo – foco nas atividades inovativas; o Manual de Canberra – foco nos recursos humanos; e o Manual de Balanço de Pagamentos Tecnológicos e de Patentes como Indicador Tecnológico e de Inovação.

Com destaque às interações entre os elementos empresas, universidade e governo, estas foram delineadas junto a um compendio de informações e ações a serem praticadas nas propostas elaboradas pelos países membros da OECD, dos quais foram gerados os Manuais da Família Frascati.

O escopo do Manual Frascati (OECD, 2002) são os gastos e os recursos humanos alocados nas atividades P&D.

A P&D segundo o Manual Frascati, englobam os trabalhos de criação compreendidos de modo sistemático com o objetivo de aumentar a soma de conhecimentos, incluindo-se o conhecimento do homem, da cultura e da sociedade, bem como o uso desse conhecimento para novas aplicações.

O termo P&D, segundo o manual, abrange três atividades interligadas: pesquisa básica, pesquisa aplicada e desenvolvimento experimental.

O manual apresenta as técnicas de mensuração e os meios para atingir os objetivos promulgados. Também coloca os indicadores em paralelo a outras variáveis econômicas a fim de realizar um comparativo dos gastos em P&D entre as diferentes nações.

O Manual de Oslo (OECD, 2005) delineou o campo das políticas de inovação, interpretando o processo de inovação segundo sua característica dinâmica. Para tal,

¹⁷ Inovação é entendida como um processo sequencial e hierárquico. Passa-se da invenção à inovação. A pesquisa básica leva à pesquisa aplicada e ao desenvolvimento, e em seguida à produção ou a operações, segundo a inovação, seja de produto ou em processo. A pesquisa científica é considerada exógena ao mercado (STOKES, 2005; MARQUES; ABRUNHOSA, 2005).

utiliza os seguintes fatores como base para a análise e mensuração do processo inovativo:

- Condições estruturais – condições gerais e as instituições que estabelecem a gama de oportunidades para inovação: sistema educacional, comunicações, instituições financeiras, marco regulatório, acessibilidade ao mercado e estrutura na indústria;
- Base de ciência e engenharia – instituições dedicadas a ciência e engenharia que sustentam o dínamo da inovação: treinamento técnico, universidades, apoio à pesquisa básica, atividades públicas e estratégias de P&D e apoio a inovação não-apropriável;
- Fatores de transferência – fatores humanos, sociais e culturais que influenciam a transferência de informações às empresas e ao aprendizado por elas: elos entre empresas, presença de “sentinelas” ou receptores com know-how tecnológico, elos internacionais, grau de mobilidade, acesso à P&D pública, formação de novas empresas por divisão, ética, sistemas de valores da comunidade, confiança e abertura e o conhecimento codificado; e
- Dínamo da inovação - os fatores dinâmicos que conformam a inovação nas empresas: para uma empresa inovar ela pode adotar ações estratégicas, isto é, decisões sobre os mercados que servem ou pretendem criar e quais inovações pretendem introduzir; P&D, no sentido do Manual Frascati, que inclui desenvolvimento experimental, além das pesquisas básicas e aplicadas; e de não P&D, atividades com papel relevante na inovação e desempenho corporativo, mas sem caráter de P&D.

O Manual de Canberra (OECD, 1995) objetivou padronizar um marco referencial para a análise de perfis e tendências de dados em relação aos fluxos e estoques de recursos humanos na área de P&D.

Os indicadores promulgados pela família Frascati tornaram-se um marco referencial para a inovação, e assim, são conhecidos como indicadores tradicionais de inovação.

Brisolla (1998) sintetiza os principais indicadores de inovação considerados tradicionais e que auxiliam na tomada de decisão:

Variáveis de insumo de Ciência e Tecnologia (C&T):

- Número de formados em ciência;
- Número de formados em engenharia;
- Número de cientistas e engenheiros;
- Orçamento do Governo para P&D;
- Dispendio Interno Bruto em P&D; e
- Importação de Tecnologia (valor).

Variáveis de produto de C&T:

- Número de artigos científicos;
- Citações de artigos científicos;
- Número de patentes internas;
- Número de patentes externas;
- Número de citações de patentes;
- Exportação de tecnologia;
- Valor da produção industrial; e
- Valor dos produtos *high tech*.

As análises que permearam o debate evolucionista foram aos poucos inseridas na concepção de novos indicadores de inovação, houve uma absorção das noções aplicadas às Redes Sociais e que foram descritas no capítulo 2.

Nas últimas décadas a proposta de utilização do indicador de redes através do apoio do *Patent Board* e o *National Bureau of Economic Research* (NBER) permitiu mensurar o grau de inovação de determinada atividade produtiva através das relações existentes entre os atores.

O Manual de Patentes da OECD (2009) passou a inserir a categoria “criatividade e redes sociais” como um indicador de inovação baseado em patentes e portanto, os estudos publicados referem-se a elas como Redes de Inovação.

Segundo Senker e Marsilli (1999) apud Dal Poz (2006), as redes são o resultado de processos evolutivos dinâmicos e que podem ser compreendidos a partir de uma perspectiva que leve em conta os seguintes elementos:

- Social – envolvendo indivíduos, organizações públicas e privadas, e as interações de todos eles em contextos específicos;
- Econômico – dizendo respeito às interações e transações que transformam conhecimento e recursos para que certos ganhos sejam alcançados;

- Tecnológico – referindo-se às tecnologias e sua transferência, para garantia de vantagens competitivas;
- Sócio-técnico – focaliza as maneiras pelas quais a sociedade e a tecnologia se influenciam mutuamente; e
- Relativo ao conhecimento – analisa as capacidades de aprendizagem para a mudança tecnológica e os modos pelos quais o conhecimento circula.

Todos os elementos citados são compartilhados com a abordagem do SNI: O SNI estão centrados nas políticas públicas e nos fatores internos da economia, enquanto os estudos sobre redes tecno-socioeconômicas pretendem tanger a construção e a dinâmica dos arranjos de atores, identificando os agentes responsáveis pela conformação das tecnologias.

Estudos recentes expandem a mensuração da inovação através das redes para a análise de trabalhos científicos com foco nas parcerias institucionais, países, autores, além das já mencionadas patentes.

Lepori, Barré e Filliatreau (2008) destacam que a evolução da pesquisa e dos sistemas de inovação mudaram profundamente a necessidade e as aplicações dos indicadores tradicionais de inovação. Destaca o uso das redes como ferramental completo e que suplanta as necessidades atuais.

A seguir apresenta-se a formalização das Redes de Inovação como ferramental metodológico aplicado à Economia da Inovação e que tem bases na linha de pensamento evolucionista descrito no capítulo 3.1.

3.5 Redes de Inovação baseadas em conhecimento

No contexto da tradição evolucionista da inovação, a existência das redes de conhecimento, ou inovação, assumiram grande destaque na discussão sobre os indicadores a serem utilizados como medida de inovação.

Essa metodologia diferencia-se ao incorporar as conexões diretas existentes entre o sistema de ensino via instituições de pesquisa, as relações entre firmas através das patentes, políticas e ações governamentais através de parcerias e as relações entre países.

Uma Rede de Inovação é uma aplicação direta da metodologia de Redes Sociais descrita no capítulo 2, mas, voltada ao entendimento direto do padrão

inovativo de um produto, empresa, instituição ou país. Entretanto, algumas interpretações ou indicadores das redes sociais, já descritos, não se aplicam às Redes de Inovação.

Desta forma, a seguir, são tratados o papel das publicações científicas e de patentes cujos inventores e/ou detentores sejam também atores do cenário científico, ou seja, que tenham publicações; tal providência será adotada para que se tenha um quadro de referências da construção das Redes de Inovação, ou seja, na explanação da heurística de investigação das relações entre produção científica e geração de tecnologias.

Wagner e Leydesdorff (2005) analisaram as publicações científicas internacionais, estruturadas em redes de conhecimento, na tentativa de explicar o rápido crescimento das ciências nos últimos anos. Utilizando as informações de coautoria internacional os autores testaram a hipótese que a colaboração internacional é uma rede auto-organizada.

Entre os fatores elencados como propícios ao crescimento da colaboração internacional na ciência – internos e externos – e que relacionam – a capacidade de difusão científica ou interconexão de cientistas – os autores sugerem que o crescimento da informação e da comunicação, através da Internet, é o fator explanatório para tal crescimento (fenômeno externo à ciência e relacionado à interconexão de cientistas).

As Redes de Inovação são utilizadas para analisar as possíveis trajetórias tecnológicas de uma indústria ou desenhar as estratégias de inovação de determinado grupo de empresas.

Krafft, Quatraro e Saviotti (2011) analisaram a dinâmica das biotecnologias sob a ótica da economia evolucionista, sendo este setor baseado em conhecimento, com o auxílio da metodologia de redes aplicadas às patentes. Neste cenário, o conhecimento é altamente cumulativo e possui uma estrutura que pode ser reconstituída através da interpretação de informações e das relações existentes.

Segundo Dal Poz (2006) as Redes de Inovação são analisadas sob a ótica da citação de uma patente por outra(s), posterior(es), sendo estas consideradas como o caminho realizado por uma sucessão de relações na rede de inovação (ex. patentes) e que culmina na inovação tecnológica. A análise de citação está baseada na ideia de que se um invento é patenteado, deve citar todo o estado-da-arte utilizado na geração da invenção. Assim, detentores e inventores que se citam mutuamente formam uma

rede: patentes citadas recebem citações ou “citações posteriores” e as que citam estão referenciando e realizando “citações anteriores”. A partir desta metodologia quanto mais uma patente é citada maior é o seu impacto inovativo.

Dal Poz, Silveira e Masago (2012) analisaram as Redes de Inovação para os processos de fermentação em etanol de segunda geração. O foco foi realizado em quatro processos industriais que utilizam tecnologia de fronteira e traduzem o estado da arte em fermentação para etanol.

A estrutura analítica utilizada pelos autores seguiu três frentes:

- Indicadores de rede (centralidade e densidade);
- Mecanismos potenciais para a seleção tecnológica e *path dependence* (padrão de dependência); e
- Potencial difusão tecnológica.

Os autores encontraram que a inovação em processos de fermentação em etanol de segunda geração segue o padrão de rede *scale-free*, mas não há trajetória real consolidada. Ao nível industrial indica-se que haja uma fase de busca e de seleção de tecnologias. Também verificou-se um grupo principal de patentes, refletindo a incerteza existente dos benefícios de cada rota tecnológica.

A abordagem teórico-conceitual e metodológica estrutura-se nos conceitos da economia evolucionista, subjacentes à formação de redes de conhecimento. Há robustas evidências que mostram que ambas a colaboração científica – publicações realizadas em coautoria – e as citações – autores que referenciam outros autores em suas publicações – correlacionam-se positivamente com a difusão do conhecimento científico. As patentes ao assimilarem o conhecimento científico disponível permitem criar novos padrões tecnológicos, novos produtos e processos.

Assim as Redes de Inovação, para publicações científicas e patentes, na ótica evolucionista, podem ser consideradas medidas de inovação de determinada atividade ou produto, *proxy* para o grau de desenvolvimento de um SNI. Estes indicadores tem como objetivo entender a posição brasileira em termos das demandas entre Ciência, Tecnologia e Inovação, para etanol de segunda geração.

A seguir apresenta-se o estado da arte do etanol de segunda geração, incluindo os métodos de obtenção e discussão que serão a base da aplicação da metodologia proposta.

4 O ESTADO DA ARTE DA PRODUÇÃO DO ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO

A seguir discute-se o processo de obtenção do etanol de segunda geração proveniente do material lignocelulósico.

4.1 Etanol de segunda geração: conversão do bagaço e da palha em biocombustível

O processo de obtenção do etanol de segunda geração, também conhecido como etanol celulósico, advém da utilização do material lignocelulósico encontrado nas plantas e antes não aproveitado para este fim. Este material pode ser dividido em dois grandes componentes - polímeros de carboidrato, tais como a celulose e a hemicelulose, e - lignina, proveniente da parede celular das plantas¹⁸ (LEE, 1997).

Simplificadamente o processo consiste em “quebrar” o material lignocelulósico da planta (que pode ser feito de forma física ou através de reações químicas ou enzimáticas) obtendo-se a celulose. No processo obtém-se a sacarose que tem como um dos destinos a produção de etanol.

Segundo Lee (1997), Sun e Cheng (2002) e Rabelo (2010) para a conversão do material lignocelulósico em outros produtos há a necessidade de realização de quatro etapas:

- Inicia-se com a produção (e posterior utilização no processo de hidrólise enzimática) de **enzimas** a partir de microrganismos como fungos e bactérias. Representa cerca de 50% do custo global do processo de obtenção dos açúcares mediante hidrólise enzimática.
- Para um resultado satisfatório na conversão em etanol, há a necessidade de **pré-tratamento**¹⁹ do material lignocelulósico de modo

¹⁸ Rabelo (2010) inclui além destas categorias outras de menor relevância como as pectinas e outras substâncias como terpenos, as resinas, que incluem grande variedade de compostos não voláteis como óleos, ácidos graxos, álcoois, resinas ácidas, fitosterol, taninos, carboidratos de baixo peso molecular, alcaloides, lignina solúvel. Outros componentes não extraíveis como as cinzas, resíduos inorgânicos, carbonatos alcalinos, alcalinos terrosos e oxalatos.

¹⁹ Entre os processos de pré-tratamento dos materiais lignocelulósicos destacam-se os procedimentos: físicos (fragmentação mecânica, pirólise); físico-químicos (explosão a vapor - auto-hidrólise, explosão da fibra com utilização de amônia – AFEX, explosão por CO₂), químicos (ozonólise, hidrólise ácida, hidrólise alcalina, delignificação oxidada, processo por *organosolv* – mistura de solventes orgânica ou orgânico-aquosa com catalisadores inorgânicos ácidos), e processos biológicos (utilização de microrganismos como fungos marrons, brancos ou *soft-rot*) (SUN; CHENG, 2002).

a aumentar a exposição das fibras de celulose, facilitando a ação de agentes hidrolíticos enzimáticos ou ácidos;

- Realiza-se um processo de quebra do material lignocelulósico conhecido como **hidrólise**²⁰, onde ocorre a deslignificação e a despolimerização. Este processo converte a celulose e a hemicelulose em açúcares menos complexos passíveis de fermentação, geralmente catalisado através de enzimas celulósicas²¹ por constituir-se como opção promissora em termos de custo global, possibilidade de alcançar rendimentos de glicose próximos ao teórico e possuir técnicas modernas de microbiologia e engenharia genética para poder otimizar as etapas do processo; e
- Finaliza-se com um processo de **fermentação** da mistura de açúcares. O processo da fermentação da glicose já é estabelecido pela indústria com a utilização do fungo *Sacharomyces cerevisiae* que através de sua utilização intensiva em fermentação industrial, passou por um processo de seleção natural, apresentando os melhores desempenhos em conversão de glicose a etanol, produtividade e tolerância alcoólica. A fermentação das pentoses e hexoses não está estabelecida como o procedimento anterior. Estudos tem sido realizados para encontrar a melhor produtividade através da utilização de leveduras e bactérias termofílicas e mesofílicas.

A Figura 5 ilustra uma abordagem integrada para a produção do etanol de 2ª geração com as etapas descritas anteriormente.

²⁰ Existem três técnicas para a obtenção de açúcares fermentáveis provenientes de material lignocelulósico – hidrólise com ácido concentrado, hidrólise com ácidos diluídos e hidrólise enzimática (RABELO, 2010).

²¹ O processo de hidrólise enzimática da celulose é altamente específico, com a utilização de fungos e/ou bactérias, com custo reduzido em comparação às rotas alternativas, ácidas e alcalinas, pois a hidrólise enzimática ocorre em condições mais brandas (com de pH 4,8 e temperatura entre 45º a 50º C) além de mitigar a ação da corrosão. O complexo enzimático de celulase *Trichoderma* tem sido o foco das pesquisas no processo de sacarificação da celulose. Apesar dos avanços nos processos enzimáticos de conversão da celulose, o processo de hidrólise apresenta ser melhores perspectivas em longo prazo (KUHAD; SINGH, 1993; SUN; CHENG, 2002).

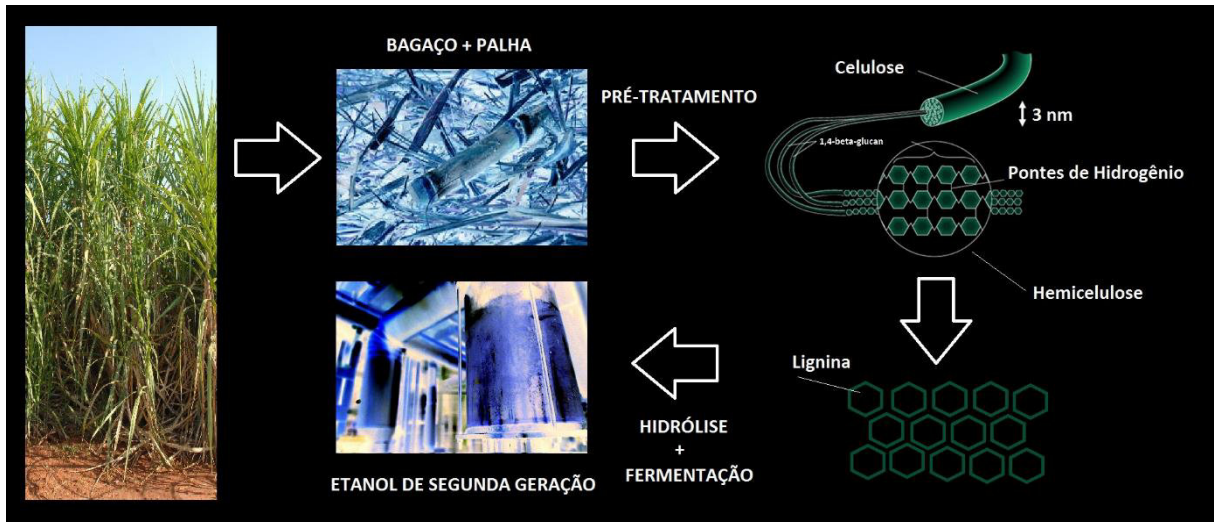


Figura 5 – Abordagem integrada para bioconversão da lignocelulose dos resíduos em produtos de valor adicionado

Fonte: Elaboração do autor com base em Kuhad; Singh (1993).

Destaca-se que fatores como a porosidade (área de superfície acessível) dos resíduos, cristalinidade de fibras de celulose, lignina e conteúdo de hemicelulose podem afetar o processo de hidrólise.

Rabelo (2010) ressalta o aproveitamento de resíduos do processo, uma vez que existe uma grande quantidade de água residual como o licor de pré-tratamento, rico em pentoses, lignina solúvel e insolúvel e a vinhaça. Também há resíduos sólidos resultantes após a hidrólise enzimática, como a lignina e hemicelulose não hidrolisáveis²².

A busca pela eficiência da hidrólise enzimática levou pesquisadores a testarem espécies de microrganismos, entre as bactérias e fungos, que são utilizados nos processos, de natureza aeróbica ou anaeróbica, mesófilos ou termófilos (ver Quadro 3).

²² A água residual pode ter como finalidade a produção de biogás ou como adubo residual em solo agrícola. A lignina pode ser utilizada para a produção de calor ou energia através da combustão em caldeiras (RABELO, 2010).

Reino pertencente ao Microorganismo	Gêneros e Espécies de Microorganismos
Bactérias	<i>Clostridium thermocellum</i> , <i>Cellulomonas fimi</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Thermomonospora fusca</i> (<i>Thermofibida fusca</i>), <i>Ruminococcus</i> , <i>Bacteriodes</i> , <i>Erwinia</i> , <i>Acetovibrio</i> , <i>Microbispora</i> e <i>Streptomyces</i>
Fungos	<i>Sclerotium rolfsii</i> , <i>Phanerochaete chrysosporium</i> , <i>Trichoderma reesei</i> , <i>Aspergillus</i> , <i>Schizophyllum</i> , e <i>Penicillium</i>

Quadro 3 – Principais microrganismos utilizados no processo de hidrólise enzimática
 Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Schwarz (2001), Pérez et al (2002) e Sun e Cheng (2002).

Entre as matérias-primas para o processo de produção de etanol a partir da biomassa destacam-se as apresentadas na Figura 6, que traz os três maiores grupos de polímeros, a celulose, hemicelulose e lignina, compreendendo o percentual de obtenção destes nos resíduos provenientes da agricultura e da madeira.

Em relação à composição de lignina presente nos resíduos agrícolas e florestais, o bagaço se destaca ante os demais com 29%, seguido pelo pinheiro, 27% e a bétula, 21%. As espigas de milho (nos EUA o etanol de primeira geração advém da sacarificação e fermentação do milho) estão entre os materiais com menor percentual de lignina (14%).

A produção do etanol pode vir da decomposição da glucose, presente nas hexoses (e, portanto, *hexosans*) e das pentoses (e, portanto, *pentosans*).

Sobre os fatores que podem influenciar o uso do bagaço e da palha como matérias-primas para o etanol celulósico, Felipe (2010) destaca a existência de um gargalo já nas etapas produtivas, este iniciado na recepção da cana, às vezes com uma qualidade inferior, elevadas perdas no processo de colheita, carregamento e transporte.

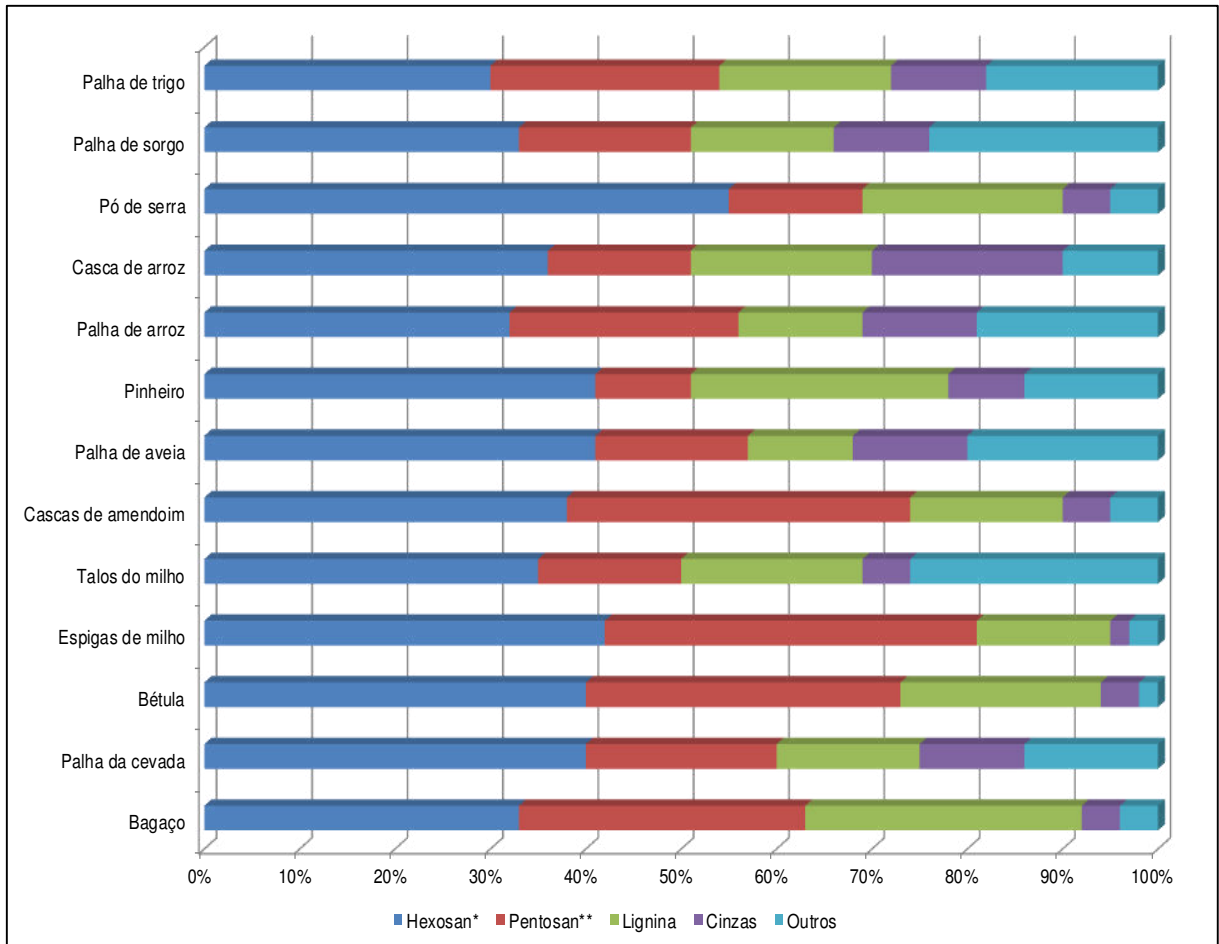


Figura 6 – Composição dos resíduos agrícolas e florestais (%)

Fonte: Kuhad; Singh (1993, p. 154).

*Polissacarídeos compostos por hexoses. ** Polissacarídeos compostos por pentoses.

Os avanços no processo de conversão da lignocelulose são crescentes. Uma vez que o etanol é um dos produtos resultantes desse processo, a seguir discutem-se as possibilidades e perspectivas na indústria com a conversão do material lignocelulósico, que inclui o etanol de segunda geração.

4.2 Hidrólise da lignocelulose: processos e produtos

A utilização do material lignocelulósico e assim a criação das biorrefinarias²³ são inúmeras, uma vez que estas remetem às refinarias petroquímicas, entretanto, com uma estrutura mais complexa, com inúmeras possibilidades e maior sustentabilidade. Em contrapartida, países como os Estados Unidos, os pertencentes

²³ "A biorrefinaria é um processo integrado no qual a biomassa é convertida em produtos de maior valor agregado com emissões de CO₂ nulas ou próximas a zero (FRANCO; GARZÓN, 2010, p. 760).

à União Europeia (UE), além de outros, como Canadá, Japão, Malásia e Brasil têm dedicado esforços em pesquisa e inovação para criar produtos de alto valor agregado nas cadeias de produção (FRANCO; GARZÓN, 2010, LANGEVELD; DIXON; JAWORSKI, 2010).

Langelveld, Dixon e Jaworski (2010) argumentam que há impactos positivos da utilização de biomateriais, uma vez que ocorra a sua utilização, estes podem mitigar as emissões de gases do efeito estufa e diminuir a demanda por produtos fósseis, incrementar a geração de valor adicionado aos produtores de biomassa e intermediários, permitir o desenvolvimento industrial, desenvolver oportunidades em áreas rurais incluindo geração de empregos, reduzir o grau de toxicidade no cultivo, permitindo condições de vida mais saudáveis.

O Quadro 4 sintetiza as principais perspectivas quanto ao desenvolvimento e utilização dos bioprodutos, geração de empregos, tamanho de mercado e preços, além da aplicação nos setores farmacêuticos, química geral e fina, produção de solventes, tensoativos, lubrificantes, polímeros e fibras.

Entre os avanços tecnológicos em produtos obtidos a partir do processamento das matérias-primas lignocelulósicas (MLC) e, por conseguinte a lignocelulose (LC), Kuhad e Singh (1993), Farinas, Martin Neto e Giordano (2010) destacam os seguintes produtos divididos em três grandes grupos, polímeros de celulose, hemicelulose e lignina:

- celulose – polímeros de glicose, celulose, glicose, etanol, metano, ácido láctico, acetona, butanol, ácidos orgânicos, proteína e *single cell protein* (SCP)²⁴;
- hemicelulose – pentoses e hexoses, xilose, xilite, resinas de furano, produtos químicos, nylon 6; nylon 6,6, espessantes, adesivos, coloides proativos, emulsificantes, estabilizadores, ácido levulínico, amaciante e solventes, lubrificantes, produtos químicos e polímeros; e
- lignina – polímeros de fenol (polifenóis), classificadores naturais e adesivos, carvão sub-betuminoso, combustíveis sólidos sem-enxofre.

²⁴ Em português, proteína de origem unicelular. SCP é o nome dado à variedade de produtos microbianos que são produzidos pelo processo de fermentação. Este material é utilizado para a alimentação humano e animal. A indústria microbiológica avança na produção de proteína a partir de resíduos de hidrocarbonetos da indústria de petróleo (CYSEWSKI; WILKE, 1976; KUHAD; SINGH, 1993).

Produto	Fonte de matéria-prima	Tamanho do mercado	Preço de mercado	Participação potencial dos bioprodutos	Participação potencial do tamanho da produção dos bioprodutos	Impacto potencial local para os produtores	Potencial de empregos gerados localmente	Perspectivas ao desenvolvimento
Farmacêuticos	Culturas selecionadas	muito pequeno	muito alto	muito alto	muito baixo	muito baixo	-	muito pobre
Química geral	Amido, culturas para açúcar, proteínas	muito grande	baixo	modesto	muito baixo	muito baixo	-	pobre a modesto
Química fina	Óleo, amido, culturas para açúcar, palha	muito pequeno	médio a bom	baixo	baixo	modesto	muito limitado	modesto a bom
Solventes	Óleo, amido, culturas para açúcar, palha	pequeno	baixo	muito baixo	muito baixo	muito baixo	muito limitado	muito pobre
Tensoativos	Várias	pequeno	baixo	modesto	baixo	baixo	muito limitado	pobre
Lubrificantes	Culturas oleaginosas	muito pequeno	baixo	modesto a alto	baixo	baixo	bom	modesto a bom
Polímeros	Praticamente amido e culturas para açúcar	muito grande	muito baixo	baixo	modesto	muito baixo	muito limitado	muito limitado
Fibras	Material lignocelulósico, resíduos e gramíneas	modesto	bastante baixo	baixo	modesto	baixo	bom	modesto a bom

Quadro 4 – Principais perspectivas em bioprodutos
Fonte: Lengeveld, Dixon e Jaworski (2010).

O Quadro 5 especifica a aplicação dos produtos potenciais obtidos pelo processo de hidrólise da lignocelulose.

Produtos	Aplicações
Açúcar licoroso misto	Processos de fermentação, SCP, etanol, butanol, ácidos orgânicos, antibióticos, enzimas, etc.
Glucose	Carboidratos para alimentação animal, processos de fermentação, xaropes à base de frutose.
Xilose	Etileno, butadieno, hidroximetilfurfural, ácido levulínico, processo de fermentação com organismos selecionados, adiponitrile furfural, xilitol (adoçante).
Outros açúcares	Processo de fermentação com organismos selecionados, carboidratos para alimentação animal.
Lignina	Combustível, fuligem, sulfonatos como dispersantes e emulsificantes, óleo de perfuração, corantes, etc. Agentes de quelato, umectantes, extensores de resina, benzeno fenol, resina fenol, vanilina, dimetil-sulfóxido, metanotiol.

Quadro 5 – Uso potencial dos produtos da hidrólise lignocelulósica
Fonte: KUHAD; SINGH (1993, p. 157).

4.3 Alcoolquímica

A conversão da biomassa, cria oportunidades no setor da alcoolquímica. Como destaca Bastos (2007), no Brasil, a alcoolquímica precedeu a implantação da indústria petroquímica em quase 40 anos, produzindo produtos como cloreto de etila, éter dietílico e ácido acético.

A Figura 7 ilustra as oportunidades de produção de novos produtos provenientes da alcoolquímica a partir do etanol, seja de primeira ou segunda geração.

Além da produção direta destes produtos a partir do etanol de primeira geração, a decomposição da xilose obtida pelo processo de hidrólise permite a obtenção do etileno e butadieno, o que ressalta a importância do etanol de segunda geração.

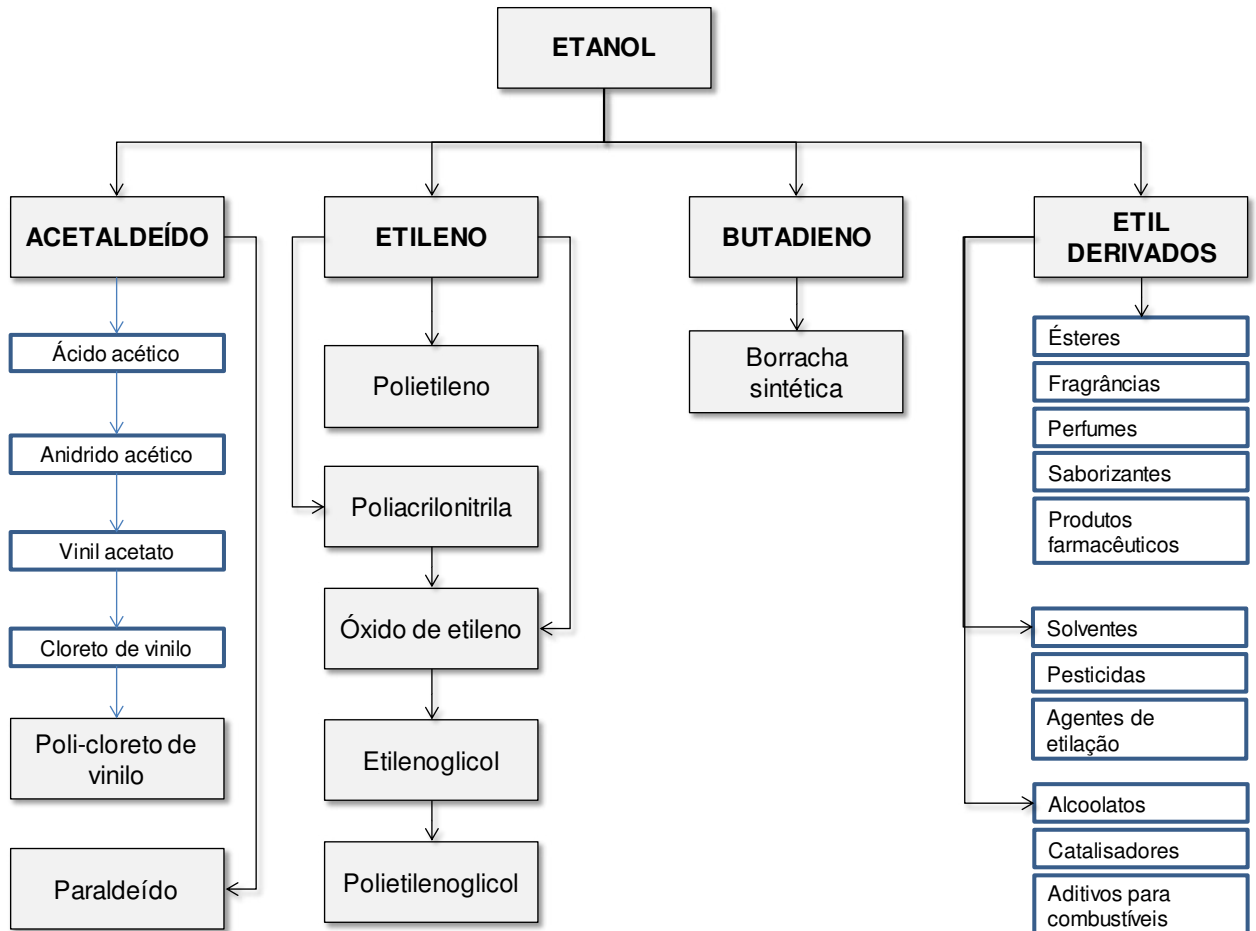


Figura 7 – Plataforma química derivada do etanol
 Fonte: Adaptado de Franco e Garzón (2010, p.766).

Este capítulo apresentou os desenvolvimentos recentes em etanol celulósico, bem como seu processo de obtenção e perspectivas na alcoolquímica.

Para a análise do grau de desenvolvimento do SNI em etanol de segunda geração esta tese foca nas relações entre a ciência e tecnologia; esta última é considerada como uma *proxy* de inovação. Assim, procede-se a análise da produção científica e patentes, nacional e global, em “etanol de segunda geração”.

Este tema é explorado em suas diferentes nuances técnicas. Por exemplo, a P&D para etanol de segunda geração envolve diferentes áreas do conhecimento e do desenvolvimento tecnológico. A P&D em enzimas pressupõe geração de conhecimentos nesta área do conhecimento, de modo que é preciso desmembrar este tema em vários outros, no que se refere aos organismos que possuem enzimas, às técnicas industriais de processamento, às formas de manutenção bioquímica destes compostos, etc. Por isto, este trabalho adotou a providência de gerar perguntas-chave

de busca (que são conhecidas como *queries*), pautando o trabalho empírico da investigação.

Este capítulo serve de base, portanto, da investigação científica ao permear o estado da arte em etanol de segunda geração permitindo assim a aplicação da metodologia de Redes de Inovação.

O próximo capítulo apresenta a metodologia utilizada e os procedimentos particulares desta tese.

5 METODOLOGIA

Neste capítulo apresentam-se os procedimentos metodológicos adotados no trabalho.

Para a análise do grau de desenvolvimento do Sistema Nacional de Inovação em etanol optou-se por utilizar uma *proxy* para este grau, ou seja, analisar a inovação no seu sentido mais básico (descrito no capítulo 3) – as publicações científicas e as patentes – mas, sob a ótica das Redes de Inovação.

Ao analisar as relações existentes até o presente momento entre os atores, a forma como a rede está construída e os indicadores formados a partir das redes permitirão inferir se o SNI brasileiro em etanol está ou não mais articulado que os demais países e quais são os principais gargalos.

Uma vez que a inovação não pode ser apenas local, mas, deve ser comparada globalmente, optou-se por analisar o SNI sob o foco do etanol de segunda geração, que como foi descrito no capítulo 4, é atualmente, a área de pesquisa motriz da inovação no setor.

Para a construção da redes de publicações científicas e de patentes nos moldes dos grafos descritos no capítulo 2, foram realizadas algumas etapas que serão discutidas a seguir.

5.1 Método de seleção e busca por palavras-chaves

Com base no referencial teórico e na revisão de literatura em etanol de segunda geração foi possível aplicar uma análise bibliométrica (estudo das publicações e referências bibliográficas), ou seja, o pesquisador através de rigor científico, seleciona previamente os principais termos que traduzem ou sintetizam aquele assunto específico. Em um segundo momento, o pesquisador, refina sua busca com um critério parcimonioso e decide quais serão as palavras-chaves por ele utilizadas²⁵.

Uma vez que alguns assuntos podem ter correlação alta entre outros termos, há a necessidade de realizar certos agrupamentos. Dado que as buscas são

²⁵ Os procedimentos foram adotados à luz de autores: Egghe e Rousseau (1990), Chang, Lai e Chang (2009); Shibata et al (2011); Murray (2002); Looy, Callaert e Debackere (2006); Cowan e Jonard (2004); Bassecoulard, Lelu e Zitt (2007).

realizadas em fontes internacionais, optou-se de realizar a seleção inicial com termos na língua inglesa (ver Quadro 6).

Após a seleção dos tópicos listados anteriormente estes foram transcritos em palavras-chaves e buscadas nas principais bases de dados para publicações científicas²⁶ (ver Tabela 3). Para as patentes²⁷ foi realizada uma modificação nos tópicos na tentativa ampliar a amostra para incluir não apenas patentes que envolvem necessariamente cana-de-açúcar, mas outras matérias-primas (ver Tabela 4 e Tabela 5).

Tópicos selecionados
<i>Ethanol + Sugarcane + Bioconversion</i>
<i>Ethanol + Sugarcane + Lignocellulosic</i>
<i>Ethanol + Sugarcane + Lignocellulose</i>
<i>Ethanol + Sugarcane + Cellulose + Hemicellulose</i>
<i>Ethanol + Sugarcane + Hydrolysis</i>
<i>Ethanol + Sugarcane + Fermentation</i>
<i>Ethanol + Sugarcane + Enzyme</i>
<i>Ethanol + Sugarcane + Enzymatic</i>
<i>Ethanol + Sugarcane + Microbial + Conversion</i>
<i>Ethanol + Sugarcane e Simultaneous + Saccharification</i>
<i>Ethanol + Sugarcane + Bioconversion + Lignocellulosic</i>
<i>Sugarcane + Xylose + Enzymatic</i>
<i>Sugarcane + Xylose + Lignocellulosic</i>
<i>Sugarcane + Xylose + Delignification</i>
<i>Sugarcane + Hydrolysis + Fungi</i>
<i>Sugarcane + Hydrolysis + Bacteria</i>
<i>Sugarcane + Hydrolysis + High + Pressure</i>
<i>Sugarcane + Hydrolysis + Steam</i>
<i>Sugarcane + Hydrolysis + Chemical</i>
<i>Sugarcane + Hydrolysis + Enzymatic</i>
<i>Sugarcane + Clostridium + Thermocellum</i>
<i>Sugarcane + Cellulomonas</i>
<i>Sugarcane + Bacillus</i>
<i>Sugarcane + Thermomonospora</i>
<i>Sugarcane + Ruminococcus</i>
<i>Sugarcane + Erwinia</i>
<i>Sugarcane + Acetobacter</i>
<i>Sugarcane + Streptomyces</i>
<i>Sugarcane + Sclerotium</i>
<i>Sugarcane + Phanerochaete</i>
<i>Sugarcane + Trichoderma</i>
<i>Sugarcane + Aspergillus</i>
<i>Sugarcane + Schizophyllum</i>
<i>Sugarcane + Penicillium</i>
<i>Sugarcane + Single Cell Protein</i>
<i>Ethanol + Microbispora</i>

Quadro 6 – Seleção de tópicos relacionados ao etanol de segunda geração
Fonte: Elaboração do autor.

²⁶ ISI WoS - ISI Web of Science.

²⁷ USPTO - United States Patent and Trademark Office; EPO - European Patent Office; WIPO - World Intellectual Property Organization.

Tabela 3 – Citações de artigos nas bases de publicações ISI *Web of Science* através de busca realizada por palavras-chaves selecionadas entre os anos de 2000 e 2012*

Palavras-chave	Frequência
<i>Ethanol AND Sugarcane AND Bioconversion</i>	43
<i>Ethanol AND Sugarcane AND Lignocellulosic</i>	155
<i>Ethanol AND Sugarcane AND Lignocellulose</i>	51
<i>Ethanol AND Sugarcane AND Cellulose AND Hemicellulose</i>	64
<i>Ethanol AND Sugarcane AND Hydrolysis</i>	222
<i>Ethanol AND Sugarcane AND Fermentation</i>	330
<i>Ethanol AND Sugarcane AND Enzyme</i>	107
<i>Ethanol AND Sugarcane AND Enzymatic</i>	173
<i>Ethanol AND Sugarcane AND Microbial AND Conversion</i>	10
<i>Ethanol AND Sugarcane AND Simultaneous AND Saccharification</i>	59
<i>Ethanol AND Sugarcane AND Bioconversion AND Lignocellulosic</i>	18
<i>Sugarcane AND Xylose AND Enzymatic</i>	60
<i>Sugarcane AND Xylose AND Lignocellulosic</i>	54
<i>Sugarcane AND Xylose AND Delignification</i>	7
<i>Sugarcane AND Hydrolysis AND Fungi</i>	28
<i>Sugarcane AND Hydrolysis AND Bacteria</i>	21
<i>Sugarcane AND Hydrolysis AND High AND Pressure</i>	17
<i>Sugarcane AND Hydrolysis AND Steam</i>	71
<i>Sugarcane AND Hydrolysis AND Chemical</i>	113
<i>Sugarcane AND Hydrolysis AND Enzymatic</i>	218
<i>Sugarcane AND Clostridium AND Thermocellum</i>	5
<i>Sugarcane AND Cellulomonas</i>	21
<i>Sugarcane AND Bacillus</i>	152
<i>Sugarcane AND Thermomonospora</i>	2
<i>Sugarcane AND Ruminococcus</i>	4
<i>Sugarcane AND Erwinia</i>	8
<i>Sugarcane AND Acetobacter</i>	171
<i>Sugarcane AND Streptomyces</i>	12
<i>Sugarcane AND Sclerotium</i>	3
<i>Sugarcane AND Phanerochaete</i>	52
<i>Sugarcane AND Trichoderma</i>	88
<i>Sugarcane AND Aspergillus</i>	155
<i>Sugarcane AND Schizophyllum</i>	3
<i>Sugarcane AND Penicillium</i>	50
<i>Sugarcane AND Single Cell Protein</i>	26
<i>Ethanol AND Microbispora</i>	4
<i>Ethanol</i>	158.986
<i>Sugarcane</i>	10.548
<i>Ethanol AND Sugarcane</i>	828
<i>Hydrolysis</i>	158.641
<i>Enzymatic</i>	139.722
<i>Hydrolysis AND Enzymatic</i>	18.496

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do ISI (2012a).

*Até 30-06-2012.

Tabela 4 – Número de patentes depositadas nas bases de patentes USPTO, EPO e WIPO através de busca realizada por palavras-chaves selecionadas pela descrição/especificação da patente*

Palavras-chave	USPTO	EPO	WIPO
<i>Biofuels</i>	498	260	1.738
<i>Biofuels+ethanol</i>	294	148	1.145
<i>Bioconversion+biomass</i>	513	132	668
<i>Bioconversion+biomass+lignocellulosic</i>	78	22	258
<i>Ethanol+lignocellulosic</i>	655	175	1.264
<i>Ethanol+lignocellulosic+sugarcane</i>	72	23	303
<i>Ethanol+lignocellulosic+hydrolysis</i>	413	120	957
<i>Direct microbial conversion+fermentation</i>	29	4	80
<i>Direct microbial conversion+cellulose</i>	28	4	80
<i>Simultaneous saccharification+fermentation</i>	228	63	494
<i>Separate hydrolysis+fermentation</i>	36	10	154
<i>Hemicellulose+conversion</i>	1.604	354	1.653
<i>Cellulose+bioconversion</i>	594	154	688
<i>Xylose</i>	13.528	4.304	10.547
<i>Xylose+delignification</i>	148	39	171
<i>Sugarcane+delignification+sugars</i>	34	5	52
<i>Hydrolysis</i>	157.125	41.569	79.909
<i>Hydrolysis+enzymatic</i>	32.366	7.422	29.797
<i>Hydrolysis+enzyme</i>	48.445	12.250	40.839
<i>Hydrolysis+enzymatic+fermentation</i>	6.181	1.654	5.534
<i>Hydrolysis+enzyme+fermentation</i>	7.781	2.341	6.285
<i>Hydrolysis+Clostridium thermocellum</i>	172	38	301
<i>Hydrolysis+Cellulomonas fimi</i>	115	29	93
<i>Hydrolysis+Bacillus</i>	11.301	3.086	8.535
<i>Hydrolysis+Thermomonospora fusca</i>	69	17	94
<i>Hydrolysis+Ruminococcus</i>	105	29	135
<i>Hydrolysis+Bacteriodes</i>	0	0	0
<i>Hydrolysis+Erwinia</i>	1.148	249	996
<i>Hydrolysis+Acetovibrio</i>	0	0	0
<i>Hydrolysis+Microbispora</i>	61	19	53
<i>Hydrolysis+Streptomyces</i>	6.207	1.601	4.751
<i>Hydrolysis+Sclerotium rolfsii</i>	87	11	96
<i>Hydrolysis+Phanerochaete chrysosporium</i>	177	36	237
<i>Hydrolysis+Trichoderma reesei</i>	738	215	1.091
<i>Hydrolysis+Aspergillus</i>	6.306	1.800	5.251
<i>Hydrolysis+Schizophyllum</i>	230	52	312
<i>Hydrolysis+Penicillium</i>	2.231	712	1.857
<i>Hydrolysis+Single Cell Protein</i>	110	20	35
<i>Single Cell Protein</i>	389	73	127

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados da USPTO (2012); EPO (2012).

*Dados coletados em 30-09-2012.

Tabela 5 – Patentes depositadas nas bases de patentes USPTO, EPO e WIPO através de busca realizada por palavras-chaves selecionadas pelo título e/ou resumo da patente*

Descrição	USPTO	EPO	WIPO
<i>Biofuels</i>	33	49	222
<i>Biofuels+ethanol</i>	4	1	22
<i>Bioconversion+biomass</i>	2	4	12
<i>Bioconversion+biomass+lignocellulosic</i>	0	0	1
<i>Ethanol+lignocellulosic</i>	29	17	106
<i>Ethanol+lignocellulosic+sugarcane</i>	0	0	2
<i>Ethanol+lignocellulosic+hydrolysis</i>	4	2	25
<i>Direct microbial conversion+fermentation</i>	0	0	0
<i>Direct microbial conversion+cellulose</i>	0	0	0
<i>Simultaneous saccharification+fermentation</i>	9	8	31
<i>Separate hydrolysis+fermentation</i>	0	0	2
<i>Hemicellulose+conversion</i>	7	5	31
<i>Cellulose+bioconversion</i>	1	2	6
<i>Xylose</i>	260	133	254
<i>Xylose+delignification</i>	0	0	0
<i>Sugarcane+delignification+sugars</i>	0	0	0
<i>Hydrolysis</i>	6.388	2.854	3.487
<i>Hydrolysis+enzymatic</i>	357	207	339
<i>Hydrolysis+enzyme</i>	364	168	292
<i>Hydrolysis+enzymatic+fermentation</i>	21	13	57
<i>Hydrolysis+enzyme+fermentation</i>	6	5	26
<i>Hydrolysis+Clostridium thermocellum</i>	0	1	1
<i>Hydrolysis+Cellulomonas fimi</i>	0	0	0
<i>Hydrolysis+Bacillus</i>	22	11	14
<i>Hydrolysis+Thermomonospora fusca</i>	0	0	0
<i>Hydrolysis+Ruminococcus</i>	0	0	0
<i>Hydrolysis+Bateriodes</i>	0	0	0
<i>Hydrolysis+Erwinia</i>	0	0	0
<i>Hydrolysis+Acetovibrio</i>	0	0	0
<i>Hydrolysis+Microbispora</i>	0	0	0
<i>Hydrolysis+Streptomyces</i>	12	5	5
<i>Hydrolysis+Sclerotium rolfsii</i>	0	0	0
<i>Hydrolysis+Phanerochaete chrysosporium</i>	0	0	0
<i>Hydrolysis+Trichoderma reesei</i>	4	1	3
<i>Hydrolysis+Aspergillus</i>	13	14	19
<i>Hydrolysis+Schizophyllum</i>	0	0	0
<i>Hydrolysis+Penicillium</i>	4	1	4
<i>Hydrolysis+Single Cell Protein</i>	0	0	1
<i>Single Cell Protein</i>	50	17	2

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados da UPSTO (2012); EPO (2012).

*Dados coletados em 30-09-2012.

A busca também foi realizada na base de patentes do INPI – Instituto Nacional de Propriedade Intelectual, mas, como as requisições de patentes ocorrem normalmente nos Estados Unidos e Europa, a busca retornou com poucas patentes e uma vez que foram traduzidas para a língua portuguesa, estas mostraram pouca variedade de possíveis palavras-chaves a serem analisadas (Tabela 6).

Tabela 6 – Patentes depositadas no INPI através de busca realizada por palavras-chaves selecionadas pelo título e/ou resumo da patente*

Palavras-chave	INPI
Etanol	176
Etanol+lignocelulósico	0
Biocombustíveis	15
Hidrólise	100
Hidrólise+enzimática	15
Hidrólise+ácida	9
Hidrólise+química	1
Alcoolquímica	0
Biorrefinarias	0

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados do INPI (2012).

*Dados coletados em 30-09-2012.

Obs: A Tabela foi redigida no formato compreendido por essa base de dados.

Com as informações descritas anteriormente, houve uma filtragem para a posterior construção da palavra-chave submetida à busca nas bases de dados e que sintetizasse estado-da-arte em etanol de segunda geração.

A próxima seção apresenta as bases de dados utilizadas para efetuar a busca e os procedimentos realizados.

5.2 Base de dados

Para a realização da busca foram adotadas as bases de dados com maior inserção internacional.

Para as publicações científicas definiu-se a utilização de apenas uma base de dados, a base referencial multidisciplinar, Web of Science, que está integrada à base ISI Web of Knowledge. Esta base de dados referencial possui resumos em todas as áreas do conhecimento.

Assim ela oferece ferramentas para análise de citações, referências, índice H²⁸, permitindo análises bibliométricas. Cobre aproximadamente 12.000 periódicos (CAPES, 2012).

O acesso a esta base foi realizado através do Portal de Periódicos da CAPES (CAPES, 2012) e oferece a possibilidade de consulta a 5 coleções:

- Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED) - com disponibilidade de acesso desde 1945 até o presente;
- Social Sciences Citation Index (SSCI) - com disponibilidade de acesso desde 1956 até o presente;
- Arts & Humanities Citation Index (A&HCI) - com disponibilidade de acesso desde 1975 até o presente;
- Conference Proceedings Citation Index- Science (CPCI-S) - com disponibilidade de acesso desde 1991 até o presente; e
- Conference Proceedings Citation Index - Social Science & Humanities (CPCI-SSH) - com disponibilidade de acesso desde 1991 até o presente.

O Quadro 7 apresenta a pergunta-chave utilizada para a busca na base ISI WoS. Os termos foram escritos em radicais para captar variações na escrita das palavras.

Pergunta-chave
TS=(<i>*ethan*</i> OR <i>*energ*</i>) AND TS=(<i>*sugar*</i> OR <i>*cane*</i> OR <i>bagas*</i> OR <i>straw*</i> OR <i>cogener*</i>) AND TS=(<i>*conversion*</i> OR <i>*lign*</i> OR <i>*cellul*</i>) AND TS=(<i>*hydrolys*</i> OR <i>*ferment*</i> OR <i>*enzym*</i> OR <i>fung*</i> OR <i>*bac*</i> OR <i>*pressur*</i> OR <i>steam*</i> OR <i>chem*</i> OR <i>sacch*</i> OR <i>microb*</i> OR <i>clostrid*</i> OR <i>thermocell*</i> OR <i>*spor*</i> OR <i>*cocc*</i> OR <i>erwinia*</i> OR <i>strept*</i> OR <i>sclerot*</i> OR <i>phaneroch*</i> OR <i>trichod*</i> OR <i>asperg*</i> OR <i>schizoph*</i> OR <i>*penicill*</i> OR <i>SCP</i> OR "Single Cell" OR <i>*xyl*</i>) Databases=SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI, CPCI-S, CPCI-SSH Timespan=All Years Lemmatization=On

Quadro 7 – Busca por publicações científicas nos tópicos: palavras-chaves, títulos, resumos e *key-words plus* - ISI *Web of Science**

Fonte: ISI (2012b).

*Total de 6.053 publicações em 24-10-2012.

Para as buscas em patentes verificou-se a grande inserção da USPTO em detrimento das demais bases. Entretanto, poderia não captar completamente as

²⁸ Indicador proposto pelo físico Jorge Hirsch, em 2005, para mensurar ao mesmo tempo a produtividade e o impacto do trabalho de um pesquisador, com base nos seus artigos mais citados (MARQUES, 2013).

inserções de outros países que optaram por requerer na Europa e não nos Estados Unidos por exemplo.

A base de dados privada PatBase²⁹ contempla não apenas a USPTO, EPO e WIPO, mas também mais 90 bases de países distintos, incluindo a do Brasil, ou seja, com a maior cobertura existente até o momento.

Para realizar a busca na base PatBase, adaptou-se a pergunta-chave das publicações científicas para as patentes, com poucas alterações.

Desta forma, o Quadro 8 apresenta a pergunta-chave para a busca realizada na base PatBase.

Pergunta-chave
<pre>(((TAC=(ethan* OR energ*)) AND (TAC=(sugar* OR cane* OR bagas* OR straw* OR cogener*))) AND (TAC=(conversion* OR lign* OR cellul*))) AND (TAC=(hydrolys OR ferment* OR enzym* OR fung* OR high pressure OR steam* OR chemic* OR sacch* OR microb* OR clostridium OR thermocellum OR thermomonospora OR ruminococcus OR erwinia OR streptomyces OR sclerotium OR phanerochaete OR trichoderma OR aspergillus OR schizophyllum OR penicillium OR scp OR single cell OR xylose)))</pre>

Quadro 8 – Busca por patentes nos tópicos: títulos, resumos ou *claims* - PatBase*

Fonte: PatBase (2012).

*Total de 3.334 publicações em 24-10-2012.

A seguir apresenta-se a organização dos dados.

5.3 Organização dos dados

Para manipular os dados obtidos na fase de extração das informações há a necessidade de utilizar algum programa que consiga traduzir os dados até então extraídos em determinado formato (exemplo, formato .txt) e que permita análise ou mesmo exportação de dados filtrados.

O programa The VantagePoint³⁰ permite a importação das informações tanto da base ISI WoS e PatBase através de filtros desenvolvidos pela empresa.

Após a importação dos dados, houve uma manipulação em dois arquivos distintos, uma para publicações científicas e outro para patentes.

²⁹ Foi oferecida uma cortesia de 30 dias pela empresa Minesoft Ltd™ para sua utilização.

³⁰ Foi oferecida uma cortesia de aproximadamente 135 dias pela empresa Search Technology, Inc.

Para cada arquivo foi realizada uma exclusão de informações duplicadas e mesmo o agrupamento de termos que por algum motivo na base original foi redigido errado³¹.

Com os arquivos filtrados é possível criar subarquivos a partir de algum critério (ex. país, palavra-chave, etc.) na qual esse novo arquivo exprima apenas as relações que possuam esse critério. Isso é interessante a partir do momento que há uma base geral e novas podem ser criadas a critério do pesquisador sem ter a necessidade de retornar à base de dados original.

Com base nos critérios descritos anteriormente a base, optou-se, por dividir a análise em Mundo (arquivo completo) e Países (subarquivos por país):

- Mundo: relações existentes entre todos os países; e
- Países: relações existentes para cada país selecionado;

A seguir são apresentados os procedimentos para a construção das Redes de Inovação.

5.4 Construção dos grafos

Para a construção das redes, como foi descrito no capítulo 2, é necessário criar as matrizes de adjacência que expressem alguma relação, isto é, a partir de relações importantes, construir redes passíveis de análise.

Para tal procedimento foram escolhidos três programas distintos:

- Microsoft Excel 2013 – tabulação dos dados do The VantagePoint e exportação para o UCINET³²;
- UCINET³³ - importação dos dados matriciais, construção do grafo, análise de indicadores para as redes e nós e visualização das relações entre os principais atores³⁴; e

³¹ Um autor com nome Pedro Silva, Pedro A. Silva e Pedro Antonio Silva, são importados como três pessoas distintas, mas podem ser o mesmo autor. Outro exemplo, Universidade de São Paulo, USP, University of São Paulo, as três representam a mesma instituição, mas as vezes podem estar separadas.

³² Em alguns casos foi adotado a noção de *k-core* comentada no capítulo 2 por deficiências computacionais dos programas utilizados. Neste caso algumas informações são perdidas no processo, mas com pouca influência no resultado final.

³³ Foi oferecida uma cortesia de 90 dias pela empresa Analytic Technologies para sua utilização.

³⁴ Foi adotada a noção de *k-core* comentada no capítulo 2 por deficiências computacionais dos programas utilizados e na tentativa de diminuir a poluição visual.

- Gephi³⁵ - os grafos criados no UCINET foram exportados em formato .net (programa Pajek³⁶) para importação no Gephi. Esta programa permite a visualização artística das redes. Os nós foram coloridos por uma escala gradativa na cor verde, onde a mais intensa representa maior grau de centralidade. O tamanho do nó foi normalizado para a faixa entre 1 e no máximo 50 pelo grau de centralidade. Para a visualização foi escolhido o algoritmo Fruchterman-Reingold³⁷ pois melhor representava os dados. Nos casos em que a força de atração cria uma aglomeração dos nós mais relevantes no centro do grafo, o algoritmo foi pausado e ressaltado os nós nos extremos da figura (criando figuras do tipo mandala). Nos casos contrário o algoritmo mostrou-se eficiente (criando figuras do tipo flor de lótus).

Com esses procedimentos foi possível exprimir as seguintes relações em Redes de Inovação:

- Relações entre países – redes de colaboração internacional (macro);
- Parcerias entre instituições, ou seja, universidades, governo e empresas - redes de colaboração internacional (micro);
- Relações entre *KeyWord Plus* – variável criada por um algoritmo da Thomson Reuters e que permite salientar as adjacências entre as áreas do conhecimento formadas a partir do etanol de segunda geração, interpreta-se como um indicador à montante, ou no sentido contrário à busca, relacionando-se à busca inicial mas, como se realizasse novamente a seleção das palavras-chaves, ou seja, minimizando erros iniciais de julgamento e revelando peculiaridades interessantes;

³⁵ Este programa é caracterizado como *open-source*.

³⁶ Este programa não foi utilizado neste trabalho.

³⁷ O algoritmo Fruchterman-Reingold é um algoritmo de layout força-direcionada. Este algoritmo considera a existência de uma força entre quaisquer dois nós. Assim, os nós são representados por anéis de aço e as arestas são as molas entre eles. A força de atração é análoga à força da mola e a força repulsiva é análoga à força elétrica. A ideia básica é a de minimizar a energia do sistema, movendo os nós e alterando as forças entre eles. Nesse algoritmo, é a soma dos vetores de força que determina a direção que um nó deve mover-se. A largura de passo, que é uma constante, determina o quanto um nó se move num único passo. Quando a energia do sistema é minimizado, os nodos param de se mover e o sistema atinge o estado de equilíbrio (FRUCHTERMAN; REINGOLD, 1991).

- Redes formadas pela co-ocorrência de autores nas publicações e que aparecem nas referências, indicando que os autores mais relevantes são os de maior ocorrência; e
- Redes formadas pelo IPC8³⁸ revelam as relações existentes entre as áreas onde as patentes foram aplicadas. Permite identificar as áreas as quais as patentes do etanol de segunda geração estão envolvidas. Uma vez que o conhecimento é cumulativo as patentes mais antigas serão mais citadas e relaciona-se ao fato de que a trajetória tecnológica que uma patente enseja tem como ponto de partida patentes famosas e muito citadas. Dado o elevado número de dados a agregação para a classe a três dígitos (ex. AXX, onde x é o código e a letra representa o grupo) também fornece informações muito relevantes para o SNI.

5.5 Indicadores das Redes de Inovação

Para realizar as análises das relações existentes entre os atores das Redes de Inovação, há abordagens distintas. O Quadro 9 apresenta a síntese dos indicadores utilizados para as distintas Redes de Inovação.

³⁸ *International Patent Classification*, oitava versão.

Código	Indicador	Fórmula
1	Rede	
1.1	Grau de Centralidade Média	$C_{deg}(G) = \frac{\sum_{i=1}^n [C_{deg}(v^*) - C_{deg}(v_i)]}{n-2}$
1.2	Densidade Média	$\rho_G = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n z_{ij}}{n(n-1)}$
1.3	Distância Geodésica Média	$d_G = \frac{2}{n(n-1)} \sum_{i \geq j}^n d_{ij}$
2	Nó	
2.1	Grau de Centralidade Normalizado	$C_{deg}(v) = \frac{\deg(v)}{n-1}$
2.2	Grau de Intermediação Normalizado	$C_B(v_k) = \sum_{1 \leq i < j \leq n} \frac{g_{ij}(v_k)}{g_{ij}}$
3	Distribuição do grau	
3.1	Estimação mínimos quadrados ordinários	$P(d) = cd^{-\gamma}$
3.2	Estimação máxima verossimilhança	$\gamma = 1 + n \left[\sum_{i=1}^n \ln \frac{d_i}{d_{min}} \right]^{-1}$

Quadro 9 – Síntese de indicadores aplicados para as rede de inovação e para os nós destas redes em etanol de segunda geração

Fonte: Elaboração do autor.

Obs: Todas as fórmulas explicitadas estão descritas no capítulo 2.

O Quadro 10, Quadro 11, Quadro 12, Quadro 13 e Quadro 14 apresentam a interpretação dos indicadores de Rede de Inovação aplicados às publicações científicas à luz da teoria evolucionista de economia da inovação.

Rede de Inovação	Grau de Centralidade Média
Países	<p>Permite verificar a coesão entre os países, isto é, a força que os mantém unidos sob a perspectiva das publicações científicas. Como se comportam os países ao redor do país de maior centralidade de grau. Quanto maior a centralidade de um determinado país em relação aos outros representará um índice maior e portanto mais coesa, limite superior igual a 1. No entanto se não há um país com alta centralidade, isto é, cada país liga-se ao outro aleatoriamente, este indicador tenderá ao limite inferior, zero. No caso em que todos os atores tiverem centralidade alta, isto é, tende-se a um grafo onde um determinado país liga-se a todos os outros o índice também tenderá a zero. A verificação que uma rede é central permite inferir a existência de <i>preferential attachment</i>, ou seja, indica que nesta rede há um país preferido a manter relações de colaboração científica internacional. Espera-se que para o caso do etanol de segunda geração a colaboração científica seja relevante, portanto, o indicador de centralidade será baixo, refletindo que a parceria deverá ocorrer entre diversos países e não apenas um isoladamente (ver Barabási et al, 2002; Newman, 2005; Wagner e Leydesdorff, 2005).</p>
Instituições	<p>Permite verificar a coesão entre instituições, sejam universidades, centros de pesquisa ou empresas. Objetiva analisar o comportamento das instituições ao redor do mundo. Quanto maior a centralidade de uma determinada instituição em relação às outras representará um índice maior e portanto mais coesa, limite superior igual a 1. No entanto se não há uma instituição com alta centralidade, isto é, cada instituição liga-se ao outro aleatoriamente, este indicador tenderá ao limite inferior, zero. No caso em que todos os atores tiverem centralidade alta, isto é, tende-se a um grafo onde um determinada instituição liga-se a todos as outras o índice também tenderá a zero. A verificação que uma rede é central permite inferir a existência de <i>preferential attachment</i>, ou seja, indica que nesta rede há uma instituição preferida a manter relações de colaboração científica internacional. Espera-se que para o caso do etanol de segunda geração a colaboração científica através das parcerias institucionais sejam relevantes, portanto, deverão ocorrer inúmeras parcerias entre atores distintos, reduzindo o valor da centralidade média. Na literatura não se verificou a aplicação da metodologia proposta para Instituições até o presente momento.</p>
KeyWord Plus	<p>Permite verificar a coesão entre as áreas de pesquisa estudadas através das <i>KeyWord Plus</i>. Objetiva analisar as áreas mais importante de pesquisa dentro da rede, bem com o efeito de transbordamento para outras áreas. Quanto maior a centralidade de uma determinada <i>KeyWord Plus</i> em relação às outras representará um índice maior e portanto mais coesa, limite superior igual a 1. No entanto se não há uma <i>KeyWord Plus</i> com alta centralidade, isto é, cada instituição liga-se ao outro aleatoriamente, este indicador tenderá ao limite inferior, zero. No caso em que todos as palavras-chaves tiverem centralidade alta, isto é, tende-se a um grafo onde um determinada <i>KeyWord Plus</i> liga-se a todos as outras o índice também tenderá a zero. Espera-se que para o caso do etanol de segunda geração as redes analisadas o grau de centralidade seja médio pois apesar da pulverização das ligações entre as áreas de pesquisa todas devem estar ao redor de um tema comum, seja etanol de segunda geração ou etanol apenas. Na literatura não se verificou a aplicação da metodologia proposta para <i>KeyWord Plus</i> até o presente momento.</p>
Autores	<p>Permite verificar a coesão entre os autores através da co-ocorrência destes nas publicações científicas internacionais. Objetiva analisar o comportamento das citações dos autores ao redor do mundo. Quanto maior a centralidade de uma determinada citação em relação às outras representará um índice maior e portanto mais coesa, limite superior igual a 1. No entanto se não há um autor citado com alta centralidade, isto é, cada autor liga-se ao outro aleatoriamente, este indicador tenderá ao limite inferior, zero. No caso em que todos os autores tiverem centralidade alta, isto é, tende-se a um grafo onde um determinada autor liga-se a todos as outras o índice também tenderá a zero. A verificação que uma rede é central permite inferir a existência de <i>preferential attachment</i>, ou seja, indica que nesta rede há um autor preferido para manter relações de colaboração científica internacional. Espera-se que para o caso do etanol de segunda geração haja inúmeras parcerias entre diferentes autores tornando o grau de centralidade baixo (ver Barabási et al, 2002; Newman, 2005; Wagner e Leydesdorff, 2005).</p>

Quadro 10 – Interpretação do indicador grau de centralidade média aplicado às Redes de Inovação em etanol de segunda geração baseados em publicações científicas

Fonte: Elaboração do autor.

Rede de Inovação	Densidade Média
Países	Este indicador permite analisar a intensidade das relações entre os países (fraqueza/força) em uma rede sob a perspectiva das publicações científicas. Isto é, a proporção de vínculos que ocorrem entre países em relação a todos os vínculos possíveis. Uma rede perfeitamente conectada é chamada de clique e tem densidade igual a 1. Se a rede não possui ligações, é chamada de vazia e a respectiva densidade será zero. A verificação da densidade de uma rede permite inferir o grau de colaboração internacional. Se a densidade for alta significa que ocorre colaboração entre todos os países, respectivamente alta, para densidade baixa a colaboração científica é menor. Um indicador de densidade baixa para a rede e a existência de um país com alto grau de centralidade normalizado indica a presença de <i>preferential attachment</i> , ou seja, indica que nesta rede há um país preferido a manter relações de colaboração científica internacional. Espera-se que para o caso do etanol de segunda geração, a colaboração científica não seja plena, isto é, caso em que todos os países possuem relação através das publicação entre si (ver Barabási et al, 2002; Newman, 2005; Wagner e Leydesdorff, 2005).
Instituições	Este indicador permite analisar a intensidade das relações entre instituições (fraqueza/força) em uma rede sob a perspectiva das publicações científicas. Isto é, a proporção de vínculos que ocorrem entre as instituições em relação a todos os vínculos possíveis. Uma rede perfeitamente conectada é chamada de clique e tem densidade igual a 1. Se a rede não possui ligações, é chamada de vazia e a respectiva densidade será zero. A verificação da densidade de uma rede permite inferir o grau de colaboração internacional. Se a densidade for alta significa que a colaboração entre instituições é respectivamente alta, para densidade baixa a colaboração científica é colocada em segundo plano. Um indicador de densidade baixa para a rede e a existência de um país com alto grau de centralidade normalizado indica a presença de <i>preferential attachment</i> , ou seja, indica que nesta rede há uma instituição preferida a manter relações de colaboração científica internacional. Espera-se que para o caso do etanol de segunda geração, a colaboração científica não seja plena, isto é, caso em que todos as instituições possuem relação através das publicação entre si. Na literatura não se verificou a aplicação da metodologia proposta para Instituições até o presente momento.
KeyWord Plus	Este indicador permite analisar a intensidade das relações entre as <i>KeyWord Plus</i> (fraqueza/força) em uma rede sob a perspectiva das publicações científicas. Objetiva analisar o foco da pesquisa em torno de áreas mais centrais ou o contrário alta correlação com diversos temas de pesquisa, indicando um efeito de transbordamento para outras áreas. Isto é, a proporção de vínculos que ocorrem entre as <i>KeyWord Plus</i> em relação a todos os vínculos possíveis. Uma rede perfeitamente conectada é chamada de clique e tem densidade igual a 1. Se a rede não possui ligações, é chamada de vazia e a respectiva densidade será zero. Se a densidade for alta significa que a rede está focada em temas menos diversos, isto é, mais próximos entre si. Um indicador de densidade baixa indica que há uma diversidade de temas que surgem ao estudar etanol de segunda geração. Uma vez que um método pode ser aplicado em áreas distintas esse indicador tenderá a ser menos denso, e mais áreas de pesquisa são contempladas na rede. Espera-se um valor de baixo para a densidade da rede. Na literatura não se verificou a aplicação da metodologia proposta para <i>KeyWord Plus</i> até o presente momento.
Autores	Este indicador permite analisar a intensidade das relações entre a autores citados (fraqueza/força) em uma rede sob a perspectiva das publicações científicas. Isto é, a proporção de vínculos que ocorrem entre países em relação a todos os vínculos possíveis. Uma rede perfeitamente conectada é chamada de clique e tem densidade igual a 1. Se a rede não possui ligações, é chamada de vazia e a respectiva densidade será zero. A verificação da densidade de uma rede permite inferir o grau de colaboração internacional. Se a densidade for alta significa que a colaboração entre autores é respectivamente alta, isto é, muitos autores na rede e simultaneamente citados. Implica que não haja um autor preferido ante aos demais. Para uma densidade baixa a colaboração científica é colocada em segundo plano, isto é, muitos autores de diversos países não são citados. Um indicador de densidade baixa para a rede e um grau de centralidade alta para um dado autor indica que este seja preferido ante os demais, <i>preferential attachment</i> . Para esse indicador espera-se uma densidade baixa (ver Barabási et al, 2002; Newman, 2005; Wagner e Leydesdorff, 2005).

Quadro 11 – Interpretação do indicador densidade média aplicado às Redes de Inovação em etanol de segunda geração baseados em publicações científicas

Fonte: Elaboração do autor.

Rede de Inovação	Distância Geodésica Média
Países	A distância geodésica é definida como o número mínimo de relações (ou arestas) que separa dois países distintos de uma rede. Nas redes com menor distância entre as instituições possuirão maior coesão, isto é maior força de ligação entre si e as relações serão mais próximas, com rápido acesso e difusão de informações dentro da rede. Quanto maior a distância social de um determinado país em relação aos outros representará um índice maior e portanto menos coesa. A verificação que uma rede tem baixa distância geodésica permite inferir a existência do fenômeno <i>small world</i> . Espera-se que para etanol de segunda geração as redes analisadas possuam baixa distância geodésica, observando o efeito <i>small world</i> (ver Jackson, 2008).
Instituições	A distância geodésica é definida como o número mínimo de relações (ou arestas) que separa duas instituições distintas de uma rede. Nas redes com menor distância entre as instituições possuirão maior coesão, isto é maior força de ligação entre si e as relações serão mais próximas, com rápido acesso e difusão de informações dentro da rede. Quanto maior a distância social de uma determinada instituição em relação às outras representará um índice maior e portanto menos coesa será a rede. A verificação que uma rede tem baixa distância geodésica permite inferir a existência do fenômeno <i>small world</i> . Espera-se que para etanol de segunda geração as redes analisadas possuam baixa distância geodésica, observando o efeito <i>small world</i> (ver Jackson, 2008). Na literatura não se verificou a aplicação da metodologia proposta para Instituições até o presente momento.
KeyWord Plus	A distância geodésica é definida como o número mínimo de relações (ou arestas) que separa duas <i>KeyWord Plus</i> distintas de uma rede. Nas redes com menor distância entre as <i>KeyWord Plus</i> possuirão maior coesão, isto é, se os temas da rede estão altamente correlacionados, quão importantes os temas provenientes da <i>KeyWord Plus</i> são para a rede em análise, sejam temas diretamente ligados a etanol, sejam indiretos. Quanto maior a distância social de uma determinada <i>KeyWord Plus</i> em relação às outras representará um índice maior e portanto, a rede de etanol de segunda geração envolverá mais áreas de pesquisa indiretamente. Espera-se que para etanol de segunda geração as redes analisadas possuam baixa distância geodésica, ou seja, temas relativamente próximos ao etanol. Na literatura não se verificou a aplicação da metodologia proposta para <i>KeyWord Plus</i> até o presente momento.
Autores	A distância geodésica é definida como o número mínimo de relações (ou arestas) que separa dois autores distintas de uma rede. Nas redes com menor distância entre os autores possuirão maior coesão, isto é maior força de ligação entre si e as relações serão mais próximas, com rápido acesso e difusão de informações dentro da rede. Quanto maior a distância de um determinado autor em relação aos outros representará um índice maior e portanto menor a coesão. A distância também reflete o grau de colaboração científica internacional. Se há grupos de pesquisa mais fechados verifica-se maior distância social, ou seja, mais passos para se chegar a determinado autor. A verificação que uma rede tem baixa distância geodésica permite inferir a existência do fenômeno <i>small world</i> . Espera-se que para etanol de segunda geração as redes analisadas possuam distância geodésica média, uma vez que a pulverização de autores torna longo o número de passos necessários para chegar-se aos distintos autores (ver Jackson, 2008).

Quadro 12 – Interpretação do indicador distância geodésica média aplicado às Redes de Inovação em etanol de segunda geração baseados em publicações científicas

Fonte: Elaboração do autor.

Rede de Inovação	Grau de Centralidade Normalizado
Países	As medidas de centralidade auxiliam na verificação da importância relativa de um país de uma rede sob a perspectiva das publicações científicas. Esse indicador é específico por país. Quanto maior o valor do índice, maior a centralidade de um determinado país ante os demais. Limite superior igual a 1 e o país possui relação com todos os demais. Limite inferior igual a zero e o país não possui relação com ninguém. A verificação que um país possui um grau de centralidade elevado indica a existência de <i>preferential attachment</i> , ou seja, este país é preferido pelos demais para manter relações de colaboração científica internacional. Espera-se que para as redes analisadas esse fenômeno ocorra com mais de um país. Espera-se que para etanol de segunda geração haja alguns países com maior grau de centralidade normalizado (ver Barabási et al, 2002; Newman, 2005; Wagner e Leydesdorff, 2005).
Instituições	As medidas de centralidade auxiliam na verificação da importância relativa de uma instituição de uma rede sob a perspectiva das publicações científicas. Esse indicador é específico por instituição. Quanto maior o valor do índice, maior a centralidade de uma determinada instituição ante as demais. Limite superior igual a 1 e a instituição possui relação com todas as demais. Limite inferior igual a zero e a instituição não possui relação com ninguém. A verificação que uma instituição possui um grau de centralidade elevado indica a existência de <i>preferential attachment</i> , ou seja, esta instituição é preferida pelos demais para manter relações de colaboração científica internacional. Espera-se que para etanol de segunda geração haja algumas instituições com maior grau de centralidade normalizado (ver Barabási et al, 2002; Newman, 2005; Wagner e Leydesdorff, 2005). Na literatura não se verificou a aplicação da metodologia proposta para Instituições até o presente momento.
KeyWord Plus	As medidas de centralidade auxiliam na verificação da importância relativa de uma <i>KeyWord Plus</i> de uma rede sob a perspectiva das publicações científicas. Esse indicador é específico por <i>KeyWord Plus</i> . Quanto maior o valor do índice, maior a centralidade de um determinado tema ante os demais. Limite superior igual a 1 e o tema possui relação com todos os demais. Limite inferior igual a zero e o tema não possui relação com ninguém. A verificação que uma <i>KeyWord Plus</i> possui um grau de centralidade elevado indica as áreas mais importantes de pesquisa dentro daquela rede. Espera-se que para etanol de segunda geração haja algumas <i>KeyWord Plus</i> com maior grau de centralidade normalizado, exemplo, etanol. Na literatura não se verificou a aplicação da metodologia proposta para Instituições até o presente momento.
Autores	As medidas de centralidade auxiliam na verificação da importância relativa de um autor de uma rede sob a perspectiva das publicações científicas. Esse indicador é específico por autor. Quanto maior o valor do índice, maior a centralidade de um determinado autor ante os demais. Limite superior igual a 1 e o autor possui relação com todos os demais. Limite inferior igual a zero e o autor não possui relação com ninguém. A verificação que um autor possui um grau de centralidade elevado indica a existência de <i>preferential attachment</i> , ou seja, este autor é preferido pelos demais para manter relações de colaboração científica internacional. Espera-se que para etanol de segunda geração haja alguns autores com maior grau de centralidade normalizado em reflexo a reputação e as parcerias elaboradas por estes autores (ver Barabási et al, 2002; Newman, 2005; Wagner e Leydesdorff, 2005).

Quadro 13 – Interpretação do indicador grau de centralidade normalizado aplicado aos nós das Redes de Inovação em etanol de segunda geração baseados em publicações científicas

Fonte: Elaboração do autor.

Rede de Inovação	Grau de Intermediação Normalizado
Países	Este indicador leva em consideração o fato de que a informação que passa através dos países da rede, não necessariamente, devem seguir caminhos mais curtos. Indica se um país está em posição de destaque por estar entre o caminho geodésico entre outros dois países, sendo que não há, outro país envolvido, ou seja, quanto um país está no caminho geodésico entre outros dois países. Um país pode ter alto grau de intermediação e não ter centralidade alta – como uma ponte, ligando duas partes da rede. Quanto maior o grau de intermediação mais relevante determinado país se torna. No caso das colaborações científicas um país de grau de intermediação alto torna-se a ponte para colaborar com determinado país, limite superior é igual a 1. No entanto se um país não colabora com ninguém, o limite inferior é zero. Um país com grau de intermediação alto permite inferir a existência de pontes, ou seja, indica que na ausência deste país a rede fragmenta-se. Espera-se que para etanol de segunda geração haja alguns países com maior grau de intermediação normalizado como os Estados Unidos (ver Barabási et al, 2002; Newman, 2005; Wagner e Leydesdorff, 2005).
Instituições	Este indicador leva em consideração o fato de que a informação que passa através das instituições da rede, não necessariamente, devem seguir caminhos mais curtos. Indica se uma instituição está em posição de destaque por estar entre o caminho geodésico entre outras duas, sendo que não há, outra instituição envolvida. Quanto maior o grau de intermediação mais relevante determinado instituição se torna. No caso das colaborações científicas uma instituição de grau de intermediação alto torna-se a ponte para colaborar com outra preferida, limite superior é igual a 1. No entanto se uma instituição não colabora com ninguém, o limite inferior é zero. Uma instituição com alto grau de intermediação permite inferir a existência de pontes, ou seja, indica que na ausência desta instituição a rede fragmenta-se. Espera-se que para etanol de segunda geração haja algumas instituições com maior grau de intermediação normalizado como a Universidade de São Paulo no caso brasileiro (ver Barabási et al, 2002; Newman, 2005; Wagner e Leydesdorff, 2005). Na literatura não se verificou a aplicação da metodologia proposta para Instituições até o presente momento.
KeyWord Plus	Este indicador leva em consideração o fato de que a informação que passa através das <i>KeyWord Plus</i> da rede, não necessariamente, devem seguir caminhos mais curtos. Indica se uma <i>KeyWord Plus</i> está em posição de destaque por estar entre o caminho geodésico entre outras duas, sendo que não há, outra <i>KeyWord Plus</i> envolvida. Quanto maior o grau de intermediação mais relevante determinada <i>KeyWord Plus</i> se torna. Neste caso, áreas de pesquisa mais básicas possuirão a característica de ligar as demais, limite superior é igual a 1, enquanto as mais específicas e com menor aplicação tenderão a possuir menor grau, limite inferior é zero. Uma área com grau de intermediação alta permite inferir a existência de pontes, ou seja, indica que na ausência desta <i>KeyWord Plus</i> a rede fragmenta-se. Espera-se que para etanol de segunda geração haja algumas <i>KeyWord Plus</i> com maior grau de intermediação normalizado como etanol, biomassa e hidrólise. Na literatura não se verificou a aplicação da metodologia proposta para Instituições até o presente momento.
Autores	Este indicador leva em consideração o fato de que a informação que passa através dos autores da rede, não necessariamente, devem seguir caminhos mais curtos. Indica se um autor está em posição de destaque por estar entre o caminho geodésico entre outros dois autores, sendo que não há, outro autor envolvido. Um autor pode ter alto grau de intermediação e não ter centralidade alta – como uma ponte, ligando duas partes da rede. Quanto maior o grau de intermediação mais relevante determinado autor se torna. No caso das colaborações científicas um autor com grau de intermediação alto torna-se a ponte para colaborar com determinado autor, limite superior é igual a 1. No entanto se um autor não colabora com ninguém, o limite inferior é zero. Um autor com grau de intermediação alto permite inferir a existência de <i>preferential attachment</i> , ou seja, indica que nesta rede há um autor necessário a manter relações de colaboração científica internacional para se chegar aos demais, ou seja, uma ponte entre dois autores da rede. Uma vez que a rede apresenta muitos autores e que não necessariamente estão voltados ao etanol de segunda geração, espera-se que haja poucos autores com alto grau de intermediação, caso em que a rede apresenta autores famosos e muito citados (ver Barabási et al, 2002; Newman, 2005; Wagner e Leydesdorff, 2005).

Quadro 14 – Interpretação do indicador grau de intermediação normalizado aplicado aos nós das Redes de Inovação em etanol de segunda geração baseados em publicações científicas

Fonte: Elaboração do autor.

A análise da distribuição de grau para as Redes de Inovação formadas a partir da co-ocorrência de autores nas publicações científicas será objeto desta tese. Objetiva-se verificar o fenômeno *scale-free* (ver capítulo 3).

Rede de Inovação	Distribuição de Grau
Estimação mínimos quadrados ordinários	Os dados agregados pelo procedimento descrito no capítulo 2.6 são plotados em gráficos na escala log-log com auxílio do programa Microsoft Excel e adicionado a linha de ajuste por mínimos quadrados ordinários na exprimir a relação da função potência. Nos gráficos foram expostos a equação de ajuste e o coeficiente de determinação R^2 . Espera-se que os valores estejam entre 1 e 2 por causa da influência da cauda gorda.
Estimação máxima verossimilhança	Adota-se o valor de d_{min} e aplica-se a respectiva fórmula. Uma vez que há necessidade de adotar um valor mínimo exógeno, a literatura indicada que para citações científicas o valor indicado seria 100. Entretanto, uma vez que os dados são para sub-redes e dado que a análise é de co-ocorrência e não de co-citação, o número de autores é relativamente menor. Verificou-se que o melhor ajuste seria na metade do valor proposto, 50. Espera-se que os valores estejam entre 2 e 3 como a literatura sugere. Se verificado permite concluir que a rede em questão é de celebridades, ou seja, há autores novos entrando na área de pesquisa e outros em transição; autores famosos e que estão e não mais concorrem por colaboração científica; e autores que concorrem para publicar e ter parcerias com os melhores autores.

Quadro 15 – Interpretação de indicadores aplicados para as Redes de Inovação em etanol de segunda geração e para os nós destas redes baseados em publicações científicas

Fonte: Elaboração do autor.

As Redes de Inovação formadas a partir das classes de patentes IPC8 agregadas a 3 dígitos (ver Anexos) são analisadas nesta tese. A interpretação dos indicadores está sintetizada no Quadro 16.

O próximo capítulo apresenta um panorama institucional do âmbito do SNI em etanol de segunda geração e que guiará as análises provenientes das Redes de Inovação criadas a partir da metodologia proposta neste capítulo.

Além das informações provenientes de revisão bibliográfica foi realizado uma busca textual dos grupos de pesquisa relacionados ao etanol de segunda geração a partir do Diretório de Grupos de Pesquisa do CNPq através da utilização de palavras-chaves selecionadas para o Brasil.

Rede de Inovação	Patentes
IPC8 3 dígitos	
1.1	Permite verificar a coesão entre as classes de patentes, isto é, a força que as mantém unidas. Como se comportam as classes de patentes ao redor da classe maior centralidade de grau. Quanto maior a centralidade de uma determinada classe em relação às outras representará um índice maior e portanto mais coesa, limite superior igual a 1. No entanto se não há uma classe de patente com alta centralidade, isto é, cada classe liga-se a outra aleatoriamente, este indicador tenderá ao limite inferior, zero. No caso em que todas as classes tiverem centralidade alta, isto é, tende-se a um grafo onde uma determinada classe de patentes liga-se a todas as outras o índice também tenderá a zero. Uma vez que há diversas classes de patentes envolvidas espera-se que um grau de centralidade baixo.
1.2	Este indicador permite analisar a intensidade das relações entre as classes de patentes (fraqueza/força) em uma rede. Isto é, a proporção de vínculos que ocorrem entre classes em relação a todos os vínculos possíveis. Uma rede perfeitamente conectada é chamada de clique e tem densidade igual a 1. Se a rede não possui ligações, é chamada de vazia e a respectiva densidade será zero. Um indicador de densidade baixa indica que há uma diversidade de classes que surgem ao patentear em etanol de segunda geração, áreas correlacionadas, efeito de transbordamento. Uma vez que um mesmo método pode ser aplicado em áreas distintas esse indicador tenderá a ser menos denso, e mais áreas de pesquisa são contempladas na rede.
1.3	A distância geodésica é definida como o número mínimo de relações (ou arestas) que separa duas classes de patentes distintas de uma rede. Nas redes com menor distância entre as classes possuirão maior coesão, isto é, se os temas da rede estão altamente correlacionados, quão importantes os temas provenientes da classe de patentes são para a rede em análise, sejam temas diretamente ligados a etanol, sejam indiretos. Quanto maior a distância de um determinada classe em relação aos outros representará um índice maior e portanto menos importante aquela área para a rede em análise.
2.1	As medidas de centralidade auxiliam na verificação da importância relativa de uma classe de patentes de uma rede. Esse indicador é específico por classe. Quanto maior o valor do índice, maior a centralidade de um determinada área ante as demais. Limite superior igual a 1 e a área possui relação com todos os demais. Limite inferior igual a zero e a área não possui relação com ninguém. A verificação que uma classe possui um grau de centralidade elevado indica as áreas mais importantes de pesquisa dentro daquela rede. Espera-se que na rede alguns temas se sobressaiam ante os demais.
2.2	Este indicador leva em consideração o fato de que a informação que passa através das classes de patente da rede, não necessariamente, devem seguir caminhos mais curtos. Indica se uma classe está em posição de destaque por estar entre o caminho geodésico entre outras duas, sendo que não há, outra classe envolvida. Quanto maior o grau de intermediação mais relevante determinada classe se torna. Neste caso, áreas de pesquisa mais básicas possuirão a característica de ligar as demais, limite superior é igual a 1, enquanto as mais específicas e com menor aplicação tenderão a possuir menor grau, limite inferior é zero.

Quadro 16 – Interpretação de indicadores aplicados para as Redes de Inovação e para os nós destas redes baseados nas classes de patentes IPC8

Fonte: Elaboração do autor.

6 PANORAMA INSTITUCIONAL DO ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO NO BRASIL

O Brasil é um dos maiores produtores de biocombustíveis do mundo com destaque para a produção de etanol proveniente da cana-de-açúcar. No Brasil a utilização da bioenergia como substituta da energia não renovável foi marcada pela criação do Programa Nacional do Álcool – Proálcool, em 1975, que surgiu em resposta aos choques do petróleo da década de 70 na tentativa de diminuir a dependência externa do petróleo e de seus derivados.

Tais fatores estruturam o atual modelo do setor sucroenergético brasileiro que está voltado principalmente à produção de açúcar (bruto e refinado); biocombustíveis (produção de etanol anidro para posterior adição à gasolina e hidratado para veículos *flex*) e energia elétrica – processo cogeração de energia elétrica nas usinas.

As características do setor sucroenergético brasileiro, criam portanto, uma potencialidade inovativa e que é necessária para o desenvolvimento de um SNI em etanol de segunda geração.

Nas últimas décadas o estudo sobre o processo de conversão de lignocelulose em biocombustível ganhou importância chegando à discussão da sua utilização comercial. O avanço das pesquisas envolve diversos grupos e coloca essas empresas entre as protagonistas globais nessa tecnologia (UNICA, 2013).

A seguir apresentam-se os principais resultados alcançados pelas empresas brasileiras com foco em etanol de segunda geração.

6.1 Empresas

Estudo realizado pela Bloomberg New Energy Finance sugere que o preço do etanol produzido a partir do bagaço, palhas e outros tipos de biomassa, tem chances de tornar-se mais competitivo em relação às fontes convencionais de biocombustível já a partir de 2016 (BLOOMBERG, 2013).

A pesquisa coletou dados e previsões de custos de produção de 11 grupos empresariais que estão na frente em P&D de etanol lignocelulósico no mundo. Os resultados indicam que em 2012 o custo da produção do etanol de segunda geração foi de US\$0,94 por litro, cerca de 40% maior do que o custo de produção do etanol de milho norte-americano que foi de US\$ 0,67. As empresas acreditam que em 2016 os

preços dos dois produtos se igualem. Os custos operacionais do processo caíram significativamente desde 2008, devido aos avanços da tecnologia. O custo da enzima para produzir um litro deste etanol caiu 72% entre 2008 e 2012 (BLOOMBERG, 2013).

Os maiores elementos de custo para os produtores de etanol celulósico, em 2012, foram as despesas com investimento em bens de capital, matéria-prima e enzimas. Todas as empresas que estão à frente no desenvolvimento usam uma mesma técnica, hidrólise enzimática (BLOOMBERG, 2013).

As análises do grupo Pike Research apontam que o mercado de biocombustíveis irá crescer 145% nos próximos 10 anos, passando de uma demanda de 110 bilhões de litros em 2012 para 270 bilhões de litros em 2021 (VIEGAS, 2013).

No Brasil o aproveitamento do bagaço e da palha de cana para produção do etanol celulósico, somada a produção do etanol convencional nas usinas, pode aumentar a produtividade dos canaviais em termos de litros por hectare do biocombustível em aproximadamente 35%, passando de 7 mil litros por hectare para 9,5 mil litros por ha (VIEGAS, 2013).

Segundo a União da Indústria da Cana-de-açúcar (UNICA) as empresas brasileiras que já anunciaram projetos efetivos são a Raízen, Odebrecht Agroindustrial e Usina São Manoel, GraalBio e Petrobrás (UNICA, 2013):

- A Odebrecht Agroindustrial, em parceria com o Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) e até recentemente conhecida como ETH Bioenergia, estão desenvolvendo tecnologia voltada ao mercado brasileiro em cooperação com a Inbicon, companhia do Grupo DONG Energy da Dinamarca. A previsão do início das operações é a partir de 2015;
- A Usina São Manoel, associada à Copersucar, vai abrigar a planta do CTC, previsto para 2014 o início de um período de demonstração de 18 meses. A iniciativa conta com recursos próprios, do Projeto PAISS – Plano Conjunto de Apoio à Inovação Tecnológica Industrial dos Setores Sucroenergético e Sucroquímico e financiamento pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP). Os diferenciais projeto do CTC são: desenvolvido especificamente para a biomassa (bagaço e palha) da cana-de-açúcar e ser totalmente integrado com a produção de etanol primeira geração já existente na usina;

- A Raízen tem como expectativa iniciar a operação de sua primeira unidade de etanol celulósico em uma planta piloto em Piracicaba (SP) entre 2014 e 2015, aproveitando a infraestrutura para a produção de etanol que já possui na região. A capacidade da unidade será de 40 milhões de litros por ano. Oito unidades adicionais de etanol de segunda geração estão programadas até 2024, elevando em 50% a produção do biocombustível celulósico no período;
- A GranInvest, novo nome da GraalBio Investimentos, aprovou financiamento de R\$ 300,3 milhões para a Bioflex Agroindustrial em Alagoas, será a primeira usina de etanol celulósico de porte comercial do Brasil no início de 2014 e a segunda no mundo (a outra está localizada na Itália). Com capacidade para produzir 82 milhões de litros/ano, o projeto recebeu investimento de R\$ 600 milhões da BNDESPar, por uma fatia de 15% da empresa. São parceiros na iniciativa a Mossi&Ghisolfi, Beta Renewables, Novozymes, DSM, Unicamp e Ridesa. Trata-se de um projeto de inovação, que terá parte dos recursos liberada por meio dos programas BNDES Inovação, BNDES PSI - Bens de Capital e BNDES PSI – Inovação. Um dos elementos de destaque da GranInvest para produzir etanol de segunda geração, será uma levedura geneticamente modificada³⁹ sob segredo industrial;
- A Petrobrás pretende introduzir sua tecnologia do etanol de segunda geração nos postos de combustíveis em 2015. A empresa optou pelo desenvolvimento próprio da tecnologia por considerar estratégico liderar e ter o domínio do processo de produção e a busca de parcerias em algumas etapas. O etanol celulósico produzido pela Petrobras em caráter experimental foi utilizado pela primeira vez no Brasil em junho de 2012, em uma frota com 40 minivans que transportou oito mil conferencistas durante a Rio+20 – Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável. De forma

³⁹ No processo de primeira geração, leveduras convertem a glicose obtida na extração do caldo da cana-de-açúcar em etanol; No processo de segunda geração, as leveduras geneticamente modificadas convertem tanto a glicose quanto a xilose, açúcares obtidos pela hidrólise enzimática. No processo o etano obtido será utilizado como bioenergia; a vinhaça retorna à lavoura como fonte de potássio; e a lignina é utilizada como energia pelo seu alto poder calorífico (GRANBIO, 2013).

pioneira, a Petrobras produziu em parceria com a KL Energy e a Blue Sugars Co 80 mil litros de etanol de segunda geração em planta de demonstração para atender a conferência, atingindo o patamar de 300 litros de etanol por tonelada de bagaço de cana.

A seguir são apresentados alguns indicadores sobre a pesquisa em etanol de segunda geração nas Universidades e Institutos de Pesquisa brasileiros.

6.2 Universidades⁴⁰

No Brasil as pesquisas realizadas em etanol de segunda geração estão centradas nas universidades públicas e institutos.

Entretanto, o foco em etanol celulósico ganhou importância na última década devido ao aumento da demanda internacional pelo biocombustível – mudanças climáticas e leis mandatórias que exigem a redução de emissões de gases do efeito estufa para as próximas décadas; e aumento da demanda nacional – produção de veículos *flex*.

A importância do etanol de segunda geração pode ser visualizada na Tabela 7. Verifica-se um salto do número de grupos de pesquisa em etanol, pelos motivos já expostos, mas também, em 2008 já aparece um grupo de pesquisa em etanol lignocelulósico especificamente.

Tabela 7 – Número de Grupos de Pesquisa relacionados às palavras-chaves, 2000-2010

Palavras-chave	2000	2002	2004	2006	2008	2010
Etanol	12	11	11	19	33	51
Etanol+lignocelulósico	0	0	0	0	1	2
Biocombustíveis	0	1	6	22	63	131
Hidrólise	6	14	11	15	13	17
Hidrólise+enzimática	1	2	2	4	2	3
Hidrólise+ácida	1	2	1	1	0	0
Hidrólise+química	1	2	1	2	2	3
Alcoolquímica	0	1	1	1	2	2
Biorrefinarias	0	0	0	0	0	2

Fonte: Elaboração do autor a partir dos dados do Censo do CNPq (2012).

Obs: Busca textual realizada nos Grupos de Pesquisa do CNPq por nome do grupo, nome da linha de pesquisa e palavra-chave da linha de pesquisa.

⁴⁰ Nesta categoria de análise estão inseridas além das universidades as instituições públicas estaduais e federais que possuem grupos de pesquisa cadastrados no CNPq.

Os grupos em hidrólise - parte do processo de obtenção do etanol de segunda geração - cresce ao longo do período analisado. As pesquisas nas rotas enzimáticas e químicas cresceram, enquanto que na rota ácida deixou de existir. A correlação positiva entre os temas permitiu maior interesse em estudos na alcoolquímica e biorrefinarias nos últimos anos. A demanda por biocombustíveis refletiu em um grande crescimento dos grupos voltados à esse mote em pouco tempo.

Os números presentes na Tabela 7 indicam apenas os grupos que tem como mote principal de pesquisa as palavras-chaves selecionadas. Entretanto, os grupos consolidados em temas próximos ao etanol de segunda geração mas que não o tem como atividade principal não estão representados na busca anterior. Assim a Tabela 8 apresenta a busca realizada na produção científica de modo a refletir o interesse acadêmico dos grupos de pesquisa buscados nos últimos anos.

Os dados da Tabela 8 corroboram a análise anterior. O número de grupos envolvidos direta e indiretamente com etanol de lignocelulósico passou de 3 para 55 no período. Os grupos que passaram a estudar a alcoolquímica e biorrefinarias não existiam antes de 2004 e 2008 respectivamente.

Tabela 8 – Número de Grupos de Pesquisa relacionados à produção científica, 2000-2010

Palavras-chave	2000	2002	2004	2006	2008	2010
Etanol	413	530	724	845	1.316	2.098
Etanol+lignocelulósico	3	3	3	16	12	55
Biocombustíveis	3	10	35	88	498	1.217
Hidrólise	309	400	553	537	671	794
Hidrólise+enzimática	158	224	307	275	353	448
Hidrólise+ácida	76	116	153	180	236	240
Hidrólise+química	251	329	469	480	592	714
Alcoolquímica	0	0	2	6	4	7
Biorrefinarias	0	0	0	0	3	23

Fonte: Elaboração do autor a partir dos dados do Censo do CNPq (2012).

Obs: Busca textual realizada nos Grupos de Pesquisa do CNPq pelo título da produção C, T&A, palavra-chave da produção e referência bibliográfica.

A Tabela 9 apresenta a distribuição dos grupos de pesquisa das principais universidades brasileiras que pesquisam etanol e biocombustíveis - USP, UNICAMP, UFRJ e UNB – selecionados através das publicações científicas nas áreas de etanol, etanol lignocelulósico, biocombustíveis, hidrólise e hidrólise enzimática.

Tabela 9 – Número de Grupos de Pesquisa por instituição relacionados à produção científica, 2000-2010

Palavras-chave	2000	2002	2004	2006	2008	2010
Etanol	413	530	724	845	1.316	2.098
USP	51	54	80	71	130	180
UNICAMP	42	55	50	53	70	80
UFRJ	29	35	45	43	62	79
UNB	3	9	10	11	17	31
Etanol+lignocelulósico	3	3	3	16	12	55
USP	1	0	0	0	3	8
UNICAMP	0	0	0	1	0	2
UFRJ	0	0	0	0	4	9
UNB	0	0	0	0	0	1
Biocombustíveis	3	10	35	88	498	1.217
USP	0	0	1	7	33	67
UNICAMP	0	5	1	1	21	37
UFRJ	0	0	7	8	26	22
UNB	0	0	0	2	11	43
Hidrólise	309	400	553	537	671	794
USP	24	25	40	32	41	47
UNICAMP	32	26	30	30	41	43
UFRJ	34	45	44	29	35	37
UNB	1	1	5	4	2	7
Hidrólise+enzimática	158	224	307	275	353	448
USP	7	13	16	11	20	25
UNICAMP	17	17	18	23	30	22
UFRJ	32	40	44	32	39	50
UNB	1	1	2	1	1	3

Fonte: Elaboração do autor a partir dos dados do Censo do CNPq (2012).

Obs: Busca textual realizada nos Grupos de Pesquisa do CNPq pelo título da produção C, T&A, palavra-chave da produção e referência bibliográfica.

Verifica-se que a USP possui maior participação nos grupos de pesquisa em etanol, biocombustíveis e hidrólise. A UFRJ aparece com maior número de grupos em etanol lignocelulósico e hidrólise enzimática.

Para etanol as 4 universidades representavam 30% dos Grupos de Pesquisa cadastrados no CNPq em 2000, passando para 17% em 2010.

Em 2000 a USP possuía um grupo em etanol lignocelulósico que extinguiu-se em 2002. Após um período de inatividade nos grupos de pesquisa, em 2006, a Unicamp iniciou suas pesquisas em etanol lignocelulósico e no período seguinte deixou de existir. Em 2010 as quatro universidades representavam 36% dos Grupos de Pesquisa cadastrados no CPNq.

O rápido crescimento dos grupos em biocombustíveis a partir de 2006. No processo a USP e UNB passaram a líder o mote de pesquisa em 2010. Verifica-se

que apesar da USP possuir maior número de grupos voltados ao processo de hidrólise, a UFRJ, lidera a pesquisa em hidrólise enzimática.

6.2.1 Produção C,T&A

A produção de Científica, Tecnológica e Artística (C, T&A) é um indicador tradicional de inovação e remete na capacidade de uma nação de transformar a ciência em inovação.

Apesar do dilema existente entre patentes e publicação (não será escopo desta tese) há uma ligação direta entre os dois, portanto, elos entre as esferas, universidades e empresas. Um maior número de publicações pode ser traduzido em inovação tecnológica a medida que as empresas relacionam-se com as universidades. Esta tese está focada nas relações entre a produção de “Ciência” e a de “Tecnologia”; esta última é considerada como uma *proxy* de inovação.

Para a análise das publicações científicas no escopo citado há a necessidade de explorar o tema estudado em suas diferentes nuances técnicas. Por exemplo, a P&D para etanol de segunda geração envolve diferentes áreas do conhecimento e do desenvolvimento tecnológico. A P&D em enzimas pressupõe geração de conhecimentos nesta área do conhecimento, de modo que é preciso desmembrar este tema em vários outros, no que se refere aos organismos que possuem enzimas, às técnicas industriais de processamento, às formas de manutenção bioquímica destes compostos, etc. Estes fatos ressaltam a busca realizada na Tabela 10.

A Tabela 10 apresenta a evolução das publicações científicas brasileiras entre 2000 e 2010. No período em análise houve crescimento expressivo em todos os temas buscados, fatos que corroboram as análises anteriores.

As publicações indicam os esforços acadêmicos realizados no âmbito do SNI em etanol de segunda geração. Entretanto, não mostram como estas publicações se traduzem em inovação, ou mesmo, o grau de apropriação deste conhecimento pela indústria. Também, excluem o fato de que as publicações científicas ocorrem em coautoria e portanto, parcerias são inerentes entre universidades e institutos de pesquisa brasileiros e internacionais.

A inserção internacional das publicações científicas bem como as relações de parceria em etanol de segunda geração são objetivos desta tese. O desenvolvimento

do SNI analisado refletirá as ações no nível institucional dos atores analisados para a área do etanol de segunda geração.

Tabela 10 – Produção C, T&A dos Grupos de Pesquisa, 2000-2010

Palavras-chave	2000	2002	2004	2006	2008	2010
Etanol	1.132	1.273	1.639	2.094	2.916	3.950
Etanol+lignocelulósico	0	0	0	2	2	17
Biocombustíveis	5	8	31	138	595	1.517
Hidrólise	562	673	942	1.084	1.164	1.454
Hidrólise+enzimática	138	173	279	240	327	434
Hidrólise+ácida	39	68	101	133	120	150
Hidrólise+química	34	41	61	47	51	50
Alcoolquímica	0	0	2	3	8	13
Biorrefinarias	0	0	0	0	2	17

Fonte: Elaboração do autor a partir dos dados do Censo do CNPq (2012).

Obs: Busca textual realizada nos Grupos de Pesquisa do CNPq pelo título da produção C, T&A, palavra-chave da produção e referência bibliográfica.

6.2.2 Pesquisadores

O número de pesquisadores (graduados, mestres ou doutores), recursos humanos envolvidos em pesquisa, é um indicador também a luz da família Frascati de manuais e que traduz a qualidade da mão-de-obra envolvida na produção de C,T&A.

A Tabela 11 apresenta a evolução do número de pesquisadores envolvidos no setor através da busca pelo nome do grupo, nome da linha de pesquisa e palavra-chave da linha de pesquisa.

Tabela 11 – Busca textual dos pesquisadores pelo nome do grupo, nome da linha de pesquisa e palavra-chave da linha de pesquisa, 2000-2010

Palavras-chave	2000	2002	2004	2006	2008	2010
Etanol	23	22	28	62	87	164
Etanol+lignocelulósico	0	0	0	0	1	8
Biocombustíveis	0	3	21	93	381	700
Hidrólise	13	35	37	47	31	42
Hidrólise+enzimática	2	7	9	21	5	5
Hidrólise+ácida	2	3	2	2	0	0
Hidrólise+química	4	7	6	11	12	13
Alcoolquímica	0	4	4	4	9	11
Biorrefinarias	0	0	0	0	0	9

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados do Censo do CNPq (2012).

No período houve não apenas um crescimento do número de grupos de pesquisa e publicações científicas, mas também, mobilização de pesquisadores para trabalhar diretamente com as áreas analisadas. Destaca-se a mobilização para a área de biocombustíveis e etanol. O número de pesquisadores em etanol lignocelulósico e hidrólise é pequeno em comparação ao crescimento das outras áreas.

A Tabela 12 apresenta a evolução do número de pesquisadores envolvidos direta e indiretamente no setor através da busca pelo título da produção C,T&A, palavra-chave da produção e referência bibliográfica.

Tabela 12 – Número de pesquisadores dos Grupos de Pesquisa, 2000-2010

Palavras-chave	2000	2002	2004	2006	2008	2010
Etanol	317	369	492	575	911	1.404
Etanol+lignocelulósico	2	0	0	4	5	25
Biocombustíveis	3	4	14	47	259	690
Hidrólise	222	251	318	309	391	510
Hidrólise+enzimática	74	93	132	111	162	222
Hidrólise+ácida	38	53	58	56	74	97
Hidrólise+química	106	122	165	187	229	274
Alcoolquímica	0	0	2	2	2	4
Biorrefinarias	0	0	0	0	1	11

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados do Censo do CNPq (2012).

Obs: Busca textual realizada nos Grupos de Pesquisa do CNPq pelo título da produção C, T&A, palavra-chave da produção e referência bibliográfica.

Observa-se expressivo crescimento no período analisado nas áreas de etanol (343%), etanol lignocelulósico (1.150%), biocombustíveis (22.900%), hidrólise (130%), hidrólise enzimática (200%), hidrólise ácida (155%) e hidrólise química (159%). Ressalta-se que não haviam pesquisadores envolvidos em alcoolquímica e biorrefinarias em 2000.

6.2.3 Estudantes

O número de estudantes (graduandos, mestrandos ou doutorandos) também pode ser considerado um indicador também a luz da família Frascati de manuais, pois uma vez que estão envolvidos aos respectivos orientadores em grupos de pesquisa, estes participam das publicações e das pesquisas realizadas, traduzindo na capacidade e qualidade da mão-de-obra envolvida na produção de C,T&A.

A Tabela 13 apresenta a evolução do número de estudantes envolvidos no setor através da busca pelo título da produção C,T&A, palavra-chave da produção e referência bibliográfica.

Tabela 13 – Número de estudantes nos Grupos de Pesquisa, 2000-2010

Palavras-chave	2000	2002	2004	2006	2008	2010
Etanol	112	127	196	101	291	308
Etanol+lignocelulósico	0	0	1	0	0	1
Biocombustíveis	1	0	5	14	122	265
Hidrólise	73	91	133	76	140	119
Hidrólise+enzimática	33	32	47	17	41	39
Hidrólise+ácida	6	6	21	16	18	22
Hidrólise+química	20	24	42	19	50	31
Alcoolquímica	0	0	0	0	4	7
Biorrefinarias	0	0	0	0	0	3

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados do Censo do CNPq (2012).

Obs: Busca textual realizada nos Grupos de Pesquisa do CNPq pelo nome do grupo, título da produção C, T&A, palavra-chave da produção e referência bibliográfica.

Observa-se expressivo crescimento no período analisado nas áreas de etanol (102%), biocombustíveis (26.400%), hidrólise (63%), hidrólise enzimática (18%), hidrólise ácida (267%) e hidrólise química (55%). Ressalta-se que não haviam estudantes envolvidos em alcoolquímica e biorrefinarias em 2000.

Para o Brasil possuir um SNI bem articulado e desenvolvido em etanol de segunda geração há alguns requisitos que devem ser observados: elevado número de publicações científicas com inserção internacional; cooperação e relação entre grupos de pesquisa; pesquisadores qualificados, etc.

Em relação ao número de publicações verifica-se a mobilização de esforços nos últimos anos, traduzido em novos grupos de pesquisa e maior envolvimento de pesquisadores e estudantes. Entretanto, os dados analisados nesta seção não incluem as relações de parceria e inserção internacional da pesquisa. Também não revelam o grau de relação entre publicações e patentes. Tais argumentos serão discutidos no escopo desta tese.

6.3 Institutos, Programas e Linhas de Financiamento

A questão energética de uma nação é um assunto supranacional pois dependendo da relação existente pode criar dependência tecnológica e acirramento da concorrência entre as nações.

Uma relação público-privada positiva é um importante indicador da relevância de áreas elencadas como prioritárias nos governos das nações. No Brasil os biocombustíveis estão inseridos na agenda governamental, em específico o etanol de segunda geração. Mas qual aprofundada é esta relação pode ser analisada sob a ótica dos institutos, programas e linhas de financiamento disponíveis para o setor.

Uma vez que haja um ambiente propício para a realização de investimentos, as pesquisas das universidades e empresas, poderão se traduzir em novas tecnologias e produtos. A seguir apresentam-se o CTBE como principal instituto voltado ao etanol de segunda geração criado a partir das ações públicas, além dos principais programas e linhas disponíveis para o setor.

6.3.1 CTBE⁴¹

- O Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE) foi inaugurado em 22 de janeiro de 2010. As instalações de ciência e tecnologia do CTBE começaram a ser construídas no início de 2009 no campus do Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM), em Campinas-SP. A Planta Piloto para Desenvolvimento de Processos (PPDP) e os últimos laboratórios estão em processo de finalização. O laboratório atua junto ao setor produtivo e comunidade científico-tecnológica brasileira com infraestrutura de excelência internacional contribuindo para que a capacidade de extrair etanol por hectare de cana fosse mais do que duplicada. O projeto prevê que entre 150 e 200 pesquisadores atuem no Centro, que terá como foco as pesquisas em hidrólise enzimática para a produção de etanol a partir do bagaço e da palha da cana-de-açúcar além das pesquisas em torno de técnicas de mecanização de baixo impacto no solo para a redução dos custos associados ao plantio e à colheita. Além do orçamento advindo do Governo Federal, as atividades de pesquisa do CTBE podem ser subsidiadas por recursos provenientes de parcerias com empresas do setor público e privado e por projetos aprovados em instituições de fomento à pesquisa, como as atuais parcerias BNDES,

⁴¹ Disponível em: <http://www.bioetanol.org.br/index.php>.

CNPq e FAPESP. Até o momento foram disponibilizados os seguintes recursos para investimento no CTBE: total de R\$136.700.230,94 disponibilizados pelo MCTI (R\$106.980.000,00), BNDES (R\$24.042.450,00), CNPq (R\$641.870,19) e FAPESP (R\$5.035.910,75).

6.3.2 BNDES⁴²

- BNDES Inovação – Objetivo é apoiar o aumento da competitividade por meio de investimentos em inovação compreendidos na estratégia de negócios da empresa, contemplando ações contínuas ou estruturadas para inovações em produtos, processos e/ou marketing, além do aprimoramento das competências e do conhecimento técnico no país. Clientes: Pessoas jurídicas de direito público e privado, com sede e administração no país; Empreendimentos apoiáveis: Plano de Investimento em Inovação, que deverá ser apresentado segundo a ótica da estratégia de negócios da empresa, abrangendo tanto a sua capacitação para inovar quanto as inovações potencialmente disruptivas ou incrementais de produto, processo e marketing; Taxa de Juros: Custo Financeiro + Remuneração Básica do BNDES + Taxa de Risco de Crédito; Custo Financeiro: TJLP; Remuneração Básica do BNDES: 0% ao ano (a.a); Taxa de Risco de Crédito: até 4,18% a.a., sendo isenta aos clientes cuja Receita Operacional Bruta (ROB) da empresa ou do grupo econômico seja de até R\$ 90 milhões. Participação máxima do BNDES: Até 90% dos itens financiáveis. Valor mínimo do financiamento: R\$ 1 milhão; Para operações sob a forma de apoio Mista, combinando a modalidade de financiamento com a subscrição de valores mobiliários, o valor mínimo de R\$ 1 milhão deve ser entendido como a soma de todos os instrumentos financeiros (renda fixa e renda variável). Prazo: O prazo total de financiamento será determinado em função da capacidade de pagamento do

⁴² Disponível em <http://www.bndes.gov.br>.

empreendimento, da empresa e do grupo econômico, limitado a 12 anos.

- BNDES Programa de Sustentação do Investimento – Objetiva estimular a produção, aquisição e exportação de bens de capital e a inovação tecnológica através do financiamento aos seguintes itens: produção e a aquisição isolada de máquinas e equipamentos novos, de fabricação nacional, credenciados no BNDES, inclusive agrícolas, e o capital de giro a eles associados; aquisição de ônibus, caminhões, chassis, caminhões-trator, carretas, cavalos-mecânicos, reboques, semirreboques, aí incluídos os tipo dolly, tanques e afins, novos, de fabricação nacional, e credenciados no BNDES; aquisição de máquinas e equipamentos novos, de fabricação nacional, credenciados no BNDES, associados a projeto de investimento. O BNDES PSI - Bens de Capital também contempla a aquisição dos bens mencionados destinados a operações de arrendamento mercantil. Vigência: Até 31.12.2013. Forma de apoio: Direta ou Indireta. Para o apoio Direto e Indireto Não Automático o valor mínimo do financiamento é de R\$ 10 milhões. Limite de financiamento: R\$1 bilhão por grupo econômico, considerando-se as operações contratadas a partir de 01.01.2013 nas formas de apoio direta e indireta; e
- BNDES Programa de Sustentação do Investimento - Inovação e Máquinas e Equipamentos Eficientes. Objetivo é apoiar o aumento da competitividade por meio de investimentos em inovação compreendidos na estratégia de negócios da empresa, contemplando ações contínuas ou estruturadas para inovações em produtos, processos e/ou marketing, além do aprimoramento das competências e do conhecimento técnico no país; a aquisição, o arrendamento mercantil e a produção de máquinas e equipamentos com maiores índices de eficiência energética ou que contribuam para redução de emissão de gases de efeito estufa, aí incluídos ônibus elétricos, híbridos ou outros modelos com tração elétrica; e projetos de engenharia para estimular o aprimoramento das competências e do conhecimento técnico no país nos setores de Bens de Capital , Defesa, Automotivo, Aeronáutico, Aeroespacial, Nuclear, Petróleo e Gás,

Químico, Petroquímico, e na cadeia de fornecedores das indústrias de Petróleo e Gás e Naval. Forma de Apoio: Direta. Valor Mínimo para apoio: R\$ 1 milhão. Taxa de juros: 3,5% ao ano, fixa. Prazo Total: até 10 anos, incluídos até 4 anos de carência, no financiamento a Planos de Investimento em Inovação; até 12 anos, incluídos de 3 a 24 meses de carência, no financiamento à aquisição de ônibus elétricos e demais equipamentos eficientes; e até 8 anos, incluídos até 2 anos de carência, no financiamento a atividades de engenharia local.

O BNDES tem atuado no setor sucroenergético e de bioenergia com as seguintes linhas de financiamento:

- Capital Inovador: destina-se ao financiamento das empresas em termos da implantação e consolidação dos seus esforços em termos de desenvolvimento tecnológico e inovação. Apoio ao Plano de Investimento em Inovação (PII), investimentos orientados tanto à construção do capital intangível quanto à infraestrutura física, incluindo a construção de centros de pesquisa e desenvolvimento que deverão ser apresentados segundo a ótica da estratégia de negócio da empresa, isto é, sociedades com sede e administração no país, de controle nacional ou estrangeiro e com valor mínimo de financiamento (90%) de R\$ 1 milhão e no máximo, R\$ 200 milhões a cada 12 meses.
- Inovação tecnológica: Apoio a projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação com risco tecnológico e oportunidade de mercado, compreendendo o desenvolvimento de produtos e/ou processos novos (pelo menos para o mercado nacional) ou significativamente aprimorados para sociedades com sede e administração no País, de controle nacional ou estrangeiro e com valor mínimo de financiamento (90%) de R\$ 1 milhão;
- Inovação Produção - Apoio a investimentos que visem à implantação, expansão e modernização da capacidade produtiva, necessárias à absorção dos resultados do processo de pesquisa e desenvolvimento ou inovação; pesquisa e desenvolvimento ou inovação que apresentem oportunidade comprovada de mercado, inclusive o desenvolvimento de inovações incrementais de produtos e/ou processos;

- BNDES FUNTEC - Fundo Tecnológico BNDES - destina-se a apoiar financeiramente projetos que objetivam estimular o desenvolvimento tecnológico e a inovação de interesse estratégico para o País, em conformidade com os Programas e Políticas Públicas do Governo Federal. As operações no âmbito do BNDES FUNTEC serão realizadas na forma de apoio direto, na modalidade não reembolsável e limitada a 90% do valor total do projeto. Poderão receber recursos do BNDES FUNTEC Instituições Tecnológicas - IT, diretamente ou por meio de Instituições de Apoio - IA, para a realização de projetos em parceria com empresas que exerçam atividade econômica diretamente ligada ao escopo do projeto.
- Programa Criatec – Criado a partir de iniciativa do BNDES e mantido por um consórcio de prestadores de serviços formado entre Antera Gestão de Recursos S.A. e o Grupo Instituto Inovação S.A (que controla a Inseed Investimentos Ltda.), o Criatec é um Fundo de Investimentos de capital semente destinado à aplicação em empresas emergentes inovadoras. Tem como objetivo obter ganho de capital por meio de investimento de longo prazo em empresas em estágio inicial (inclusive estágio zero), com perfil inovador e que projetem um elevado retorno. Com investimentos de até R\$ 1,5 milhão, o Criatec se torna sócio da oportunidade, realizando o aporte de recursos na empresa em troca de participação acionária, além de participar ativamente da gestão das empresas, dando suporte estratégico e gerencial ao empreendedor, ajudando na seleção e formação da equipe, definindo metas e acompanhando os resultados.

Ressalta-se que o BNDES possui linhas de financiamento passíveis de utilização pelo setor sucroenergético. Entretanto, não se verificam linhas específicas para o etanol de segunda geração, demonstrando gargalos por parte do governo.

6.3.3 FINEP⁴³

- Inova Brasil - Programa de Incentivo à Inovação nas Empresas Brasileiras. O programa tem por objetivo o apoio aos Planos de Investimentos Estratégicos em Inovação das Empresas Brasileiras, detalhados em metas e objetivos pretendidos durante o período de tempo do financiamento, em consonância com o Plano Brasil Maior - PBM do Governo Federal e as seguintes diretrizes: aumento de competitividade nacional e internacional; incremento de atividades de pesquisa e desenvolvimento realizadas no país e cujos investimentos sejam compatíveis com a dinâmica tecnológica dos setores em que atuam; inovação com relevância regional ou inserida em arranjos produtivos locais, objeto de programas do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação; contribuição mensurável para o adensamento tecnológico e dinamização de cadeias produtivas; parceria com universidades e/ou instituições de pesquisa do País. Público-Alvo são as médias, médias-grandes e grandes empresas, conforme as seguintes definições: Média Empresa – receita operacional bruta anual ou anualizada, superior a R\$ 16 milhões e inferior ou igual a R\$ 90 milhões; Média-Grande - receita operacional bruta anual ou anualizada, superior a R\$ 90 milhões e inferior ou igual a R\$ 300 milhões; Grande Empresa – receita operacional bruta anual ou anualizada superior a R\$ 300 milhões; As linhas de financiamento disponíveis ao Inova Brasil são: Inovação Pioneira; Inovação Contínua; Inovação e Competitividade; Tecnologias Críticas; e Pré-Investimento;

A FINEP tem atuado no setor sucroenergético e de bioenergia com as seguintes linhas de financiamento e parcerias não reembolsáveis:

- Inovação Pioneira –Linha de financiamento que tem como objetivo o apoio a todo o ciclo de desenvolvimento tecnológico, desde a pesquisa básica ao desenvolvimento de mercados para produtos, processos e serviços inovadores, sendo imprescindível que o resultado final seja, pelo menos, uma inovação para o mercado nacional. Também poderão

⁴³ Disponível em <http://www.finep.org.br>.

ser admitidos projetos cujos resultados, embora não caracterizem uma inovação pioneira, contribuam significativamente para o aumento da oferta em setores concentrados, considerados estratégicos pelas ênfases governamentais, e nos quais a tecnologia comumente se caracterize como uma barreira à entrada;

- Inovação Contínua - Linha de financiamento para apoio a empresas que desejem implementar atividades de P&D e/ou programas de investimento contínuo em pesquisa e desenvolvimento tecnológico, por meio da implantação de centros de P&D próprios ou da contratação junto a outros centros de pesquisa nacionais. O objeto dessa linha de ação é o fortalecimento das atividades de P&D compreendidas na estratégia empresarial de médio e longo prazo;
- Inovação e Competitividade - Linha de financiamento destinado ao apoio a projetos de desenvolvimento e /ou aperfeiçoamento de produtos, processos e serviços, aquisição e/ou absorção de tecnologias, de modo a consolidar a cultura do investimento em inovação como fator relevante nas estratégias competitivas empresariais;
- Tecnologias Críticas - Linha de financiamento destinada a Tecnologias Críticas são aquelas que visam atender às necessidades econômicas e sociais futuras do país e por isso têm longo prazo de maturação, demandam grande esforço de pesquisa e desenvolvimento pela empresa, mobilizam universidades e institutos de pesquisa, combinam complexos conhecimentos científicos e tecnológicos;
- Pré-Investimento - Linha de financiamento destinada ao apoio a projetos de pré-investimento que incluem estudos de viabilidade técnica e econômica, estudos geológicos, projetos básico, de detalhamento e executivo;
- Parcerias não reembolsáveis - parcerias com ICTs: a FINEP opera essa modalidade em instituições científicas e tecnológicas para a realização de projetos de pesquisa, de desenvolvimento tecnológico e/ou de interesse das empresas.

Ressalta-se que a FINEP possui linhas de financiamento passíveis de utilização pelo setor sucroenergético. Entretanto, não se verificam linhas específicas para o etanol de segunda geração, demonstrando gargalos por parte do governo.

6.3.4 PAISS

O PAISS - Plano Conjunto BNDES-FINEP de Apoio à Inovação Tecnológica Industrial dos Setores Sucroenergético e Sucroquímico é uma iniciativa conjunta do BNDES e da FINEP de seleção de planos de negócios e fomento a projetos que contemplem o desenvolvimento, a produção e a comercialização de novas tecnologias industriais destinadas ao processamento da biomassa oriunda da cana-de-açúcar, com a finalidade de organizar a entrada de pedidos de apoio financeiro no âmbito das duas instituições e permitir uma maior coordenação das ações de fomento e melhor integração dos instrumentos de apoio financeiro disponíveis.

No âmbito do plano estavam aptas a participar do processo de seleção as empresas cujo objeto social compreenda a realização de atividades de pesquisa, desenvolvimento tecnológico e inovação relacionados às tecnologias objeto do Plano e que tenham interesse de empreender atividade de produção e/ou comercialização dos produtos finais decorrentes destas tecnologias, nas linhas temáticas descritas a seguir.

6.3.4.1 Linha 1: Bioetanol de 2ª Geração

- Desenvolvimento de tecnologias de coleta e transporte de palha de cana-de-açúcar;
- Otimização de processos de pré-tratamento de biomassa de cana para hidrólise;
- Desenvolvimento dos processos de produção de enzimas e/ou de processos de hidrólise de material ligno-celulósico oriundo da biomassa da cana-de-açúcar;
- Desenvolvimento de microrganismos e/ou de processos de fermentação de pentoses; e
- Integração e escalonamento de processos para produção de etanol celulósico.

6.3.4.2 Linha 2: Novos produtos de cana-de-açúcar

- Desenvolvimento de novos produtos diretamente obtidos a partir da biomassa da cana-de-açúcar por meio de processos biotecnológicos;
- Integração e escalonamento de processos para produção de novos produtos diretamente obtidos a partir da biomassa da cana-de-açúcar.

6.3.4.3 Linha 3: Gaseificação: Tecnologias, equipamentos, processos e catalisadores

- Desenvolvimento de tecnologias de pré-tratamento de biomassas de cana-de-açúcar para gaseificação;
- Desenvolvimento de tecnologias de gaseificação de biomassas de cana-de-açúcar, especialmente quanto à otimização dos parâmetros de processos e/ou redução nos custos de capital dos equipamentos;
- Desenvolvimento de sistemas de purificação de gases;
- Desenvolvimento de catalisadores associados à conversão de gás de síntese em produtos.

O processo de seleção do PAISS foi realizado pelo Grupo de Trabalho BNDES-Finep e envolveu as seguintes etapas: Inventário de empresas; Seleção das empresas; Apresentação dos Planos de Negócios; Seleção dos Planos de Negócio; Estruturação do Plano de Suporte Conjunto; e Instrumentos de Apoio e Estimativa de Orçamento.

No Plano de Suporte Conjunto as seguintes formas de apoio financeiro foram contempladas: instrumentos de crédito; participação acionária, recursos não-reembolsáveis para projetos cooperativos entre empresa e Instituição Científica e Tecnológica – ICT; e subvenção econômica.

6.3.4.4 Crédito

- BNDES: Capital Inovador; Inovação Produção; Inovação Tecnológica; BNDES Funtec; Participação acionária e Cooperação entre empresa e Instituição Científica e Tecnológica – ICT;

- FINEP: Inova Brasil; Cooperação entre empresa e Instituição Científica e Tecnológica – ICT. A empresa apoiada poderá dispor de até R\$ 10 milhões do Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FNDCT para a realização de projetos de cooperação com ICT e que serão destinados exclusivamente às ICT's parceiras. Os projetos tem como valor mínimo de R\$ 1 milhão, com prazo de execução de até 36 meses.

6.3.4.5 Estimativa de Recursos

Os recursos estimados para os anos de 2011 a 2014, considerados todos os instrumentos passíveis de utilização por BNDES e FINEP, serão de R\$ 1 bilhão. Além disso, os recursos somente serão comprometidos, independente do instrumento financeiro indicado, na medida em que houver a aprovação e posterior contratação dos projetos nos respectivos instrumentos de apoio.

6.3.4.6 Empresas contempladas

- Abengoa Bioenergia Agroindustrial Ltda. (Linha 1);
- Agacê Sucroquímica Ltda. (Linha 2);
- Amyris Pesquisa e Desenvolvimento de Biocombustíveis (Linha 2);
- Barauna Comércio e Indústria Ltda. (Linha 2);
- BioFlex Agroindustrial Ltda. (Linha 1);
- BiOMM S/A (Linha 1);
- Bunge Açúcar e Bioenergia Ltda. (Linha 2);
- Butamax Biocombustíveis Avançados (Linha 2);
- CTC - Centro de Tecnologia Canavieira S.A. (Linhas 1 e 2);
- Dow Brasil S/A (Linhas 1 e 2);
- DSM South América Ltda. (Linhas 1 e 2);
- DU PONT do BRASIL S/A (Linha 2);
- Eli Lilly do Brasil Ltda. (Linha 1);
- ETH Bioenergia S.A. (Linhas 1 e 2);
- Ideom Tecnologia Ltda. (Linha 2);

- Kemira Chemicals Brasil Ltda. (Linha 2);
- LS9 Brasil Biotecnologia Ltda. (Linha 2);
- Mascoma Brasil (Linha 1);
- Methanum Engenharia Ambiental Ltda. (Linha 2);
- Metso Paper South America Ltda. (Linha 1);
- Novozymes Latin America Ltda. (Linha 1);
- Petróleo Brasileiro S/A (Linhas 1 e 3);
- PHB Industrial S/A (Linha 2);
- Solazyme Brasil Óleos Renováveis e Bioprodutos Ltda. (Linha 2);
- VTT Brasil - Pesquisa e Desenvolvimento Ltda. (Linhas 1 e 2);

6.3.5 BIOEN-FAPESP⁴⁴

Programa FAPESP de Pesquisa em bioenergia objetiva estimular e articular atividades de pesquisa e desenvolvimento utilizando laboratórios acadêmicos e industriais para promover o avanço do conhecimento e sua aplicação em áreas relacionadas à produção de Bioenergia no Brasil.

O programa está articulado em cinco divisões:

- biomassa para bioenergia (com foco em cana-de-açúcar);
- processo de fabricação de biocombustíveis;
- biorrefinarias e álcoolquímica;
- aplicações do etanol para motores automotivos: motores de combustão interna e células-combustível; e
- pesquisa sobre impactos socioeconômicos, ambientais, e uso da terra.

O BIOEN inclui pesquisa acadêmica e, quando apropriado, estabelece parcerias para o desenvolvimento de atividades de pesquisa cooperativa entre universidades e institutos e pesquisa no Estado de São Paulo e empresas, compartilhando recursos humanos, materiais e financeiros.

Nessas parcerias, os detalhes relacionados aos temas de interesse são especificados de acordo com o interesse do parceiro privado e do compromisso da

⁴⁴ Disponível em <http://www.fapesp.br/6258>.

agência em fomentar pesquisa no Estado de São Paulo. Outras agências, tanto do governo federal como de outros estados, participam do BIOEN-FAPESP.

A seguir apresentam-se uma síntese das chamadas de propostas de Pesquisa através dos respectivos convênios.

6.3.5.1 FAPESP-Oxiten-BNDES

A Chamada de Propostas de Pesquisa do Convênio FAPESP-Oxiten-BNDES teve por objetivo especificar as condições para apresentação de propostas de projetos de pesquisa com duração de no máximo 36 meses e que gerem conhecimentos sobre novas técnicas, metodologias, processos e tecnologias, de interesse da FAPESP e da Oxiten, e descritas a seguir.

- Caracterização de Materiais Lignocelulósicos
- Caracterização de Soluções de Açúcares & Polióis
- Estudo de Solvência da Lignina
- Promotores de Solvência da Lignina – seleção & desempenho
- Cinética da reação de Hidrólise Ácida de Hemicelulose
- Cinética da reação de Hidrólise Ácida de Celulose Amorfa e Cristalina
- Catalisadores e promotores na Hidrólise Ácida de Hemicelulose – Seleção & Desempenho
- Catalisadores e promotores na Hidrólise Ácida de Celulose – Seleção & Desempenho
- Cinética da reação de Hidrólise Enzimática de Hemicelulose
- Cinética da reação de Hidrólise Enzimática de Celulose Amorfa e Cristalina
- Catalisadores e promotores na Hidrólise Enzimática de Hemicelulose – Seleção & Desempenho
- Catalisadores e promotores na Hidrólise Enzimática de Celulose – Seleção & Desempenho
- Cinética da Fermentação de Pentoses a Etanol
- Agentes para a Fermentação de Pentoses a Etanol – Seleção & Desempenho
- Catalisadores & Cinética da Hidrogenação de Açúcares a Polióis

- Catalisadores e Cinética da Hidrogenólise de Polióis a Glicóis de Baixo Peso Molecular

O Quadro 17 apresenta o resultado das propostas desta chamada.

Instituição	Título
IPT	Estudo do processo de hidrólise enzimática do bagaço de cana-de-açúcar para obtenção de açúcares
USP São Carlos	Desenvolvimento de metodologia analítica e deslignificação organossolve aplicados ao bagaço e a palha da cana-de-açúcar
LNLS	Obtenção de glicóis de interesse industrial a partir de derivados de biomassa: desenvolvimento de catalisadores heterogêneos para hidrogenólise do glicerol
USP São Carlos*	Propriedades e aplicações de materiais lignocelulósicos e de seus componentes majoritários
USP Lorena*	Produção biotecnológica de etanol e xilitol e cristalização da xilose a partir da fração hemicelulósica do bagaço de cana-de-açúcar
USP Lorena*	Bioprodução de etanol a partir de xilose empregando materiais lignocelulósicos
USP*	Hidrogenólise de glicerol a etilglicol e propilenoglicol catalisada por materiais bifuncionais contendo metais de transição

Quadro 17 – Propostas aprovadas na Chamada FAPESP/Oxiten (chamada 13/2006)

Fonte: FAPESP (2013).

* Concessão cancelada.

6.3.5.2 FAPESP-Braskem

O Convênio FAPESP-BRASKEM S.A. teve como objetivo desenvolver e apoiar projetos de pesquisa científica e tecnológica cooperativos, a serem estabelecidos e desenvolvidos por pesquisadores de instituições de ensino superior e de pesquisa no Estado de São Paulo, e da BRASKEM S.A. Os projetos selecionados deverão contribuir para o avanço do conhecimento e da tecnologia nas áreas de processos de síntese a partir de matérias primas renováveis, derivadas de açúcares, etanol, biomassa, glicerol e outros intermediários e subprodutos da cadeia produtiva dos biocombustíveis e de estudos e desenvolvimento de materiais que atribuam aos "polímeros verdes", obtidos a partir de matérias primas renováveis, as propriedades físico-químicas que possibilitam sua utilização nas diferentes aplicações demandadas pelo mercado, utilizando igualmente outros insumos também renováveis.

Os projetos selecionados deverão também contribuir à formação de recursos humanos altamente qualificados e, para a aplicação do conhecimento gerado no setor

produtivo, promovendo o desenvolvimento de tecnologia nacional fundamental para o desenvolvimento econômico e social do Estado de São Paulo e do país.

Os temas de interesse da FAPESP e da BRASKEM S.A. e que são objeto desta Chamada para projetos de pesquisa cooperativa entre pesquisadores de instituições de ensino superior e de pesquisa, públicas e privadas, no Estado de São Paulo e pesquisadores da BRASKEM S.A. são:

Processos de síntese de intermediários, monômeros e polímeros à partir de matérias primas renováveis, derivadas de açúcares, etanol, biomassa, glicerol e outros intermediários e subprodutos da cadeia produtiva dos biocombustíveis:

- Desenvolvimento de rotas de obtenção de eteno, propeno, buteno-1, hexeno-1 e octeno- 1 a partir de matérias primas renováveis.
- Desenvolvimento de rotas de obtenção de ácido propiônico, isopropanol, n-butanol por via fermentativa de alto rendimento a partir de açúcares.
- Produção de ácido d-láctico, l-láctico e dl-láctico por fermentação de açúcares.
- Desenvolvimento de rotas químicas e ou bioquímicas de transformação do glicerol ou do ácido láctico em n-propanol e/ou isopropanol.
- Polimerização de lactídeo - homopolímeros e copolímeros.
- Identificação de substâncias obtidas a partir de matérias primas renováveis que tenham potencial para uso como co-monômeros da polimerização do ácido láctico.
- Obtenção de óleo a partir da pirólise de materiais lignocelulósicos.
- Produção de gás de síntese a partir da gaseificação de materiais lignocelulósicos ou do seu óleo de pirólise.
- Produção de gás de síntese a partir da gaseificação de glicerol.
- Produção de propanol a partir de gás de síntese.
- Produção de biopolímeros em plantas, bactérias e em fungos.
- Catalisadores e Cinética da hidroformilação do eteno para produção de n-propanol.
- Catalisadores e Cinética da desidratação de álcoois a olefinas.

Pesquisas na área dos materiais atribuindo aos "polímeros verdes" obtidos a partir de matérias primas renováveis, as propriedades físico-químicas que possibilitam

sua utilização nas diferentes aplicações do mercado. Estas propriedades serão obtidas por transformações, aditivos, blendas, funcionalização e outras técnicas utilizando igualmente outros "ingredientes" também renováveis.

- Auto-reforçamento de poliolefinas verdes por aditivos de origem renovável evitando trincas e fissuras nas peças.
- Processamento de Espumação para poliolefinas verdes por agentes físicos renováveis.
- Funcionalização em poliolefinas verdes (inserção de grupos polares em cadeias poliméricas)
- Aditivos renováveis para aumento de condutividade térmica em poliolefinas.
- Blendas reativas de poliolefinas utilizando agentes compatibilizantes de origem natural (blendas de 2 ou mais polímeros).
- Estudo de diferentes compostos ativos naturais incorporados a resinas poliméricas para aplicação em embalagens ativas.
- Desenvolvimento de rotas de obtenção de materiais híbridos para "self healing" de biopolímeros.
- Uso da biomimética para desenvolvimento de superfícies aderentes em poliolefinas verdes.
- Desenvolvimento de sensores naturais que mudem de cor com mudança de temperatura e que apresentem resposta depois do processamento das resinas poliolefinicas ou de outros biopolímeros.
- Aplicação de nanocompósitos em embalagens biodegradáveis.
- Nanocompósitos como veículos para substâncias antimicrobiana, antioxidante, "flavor" interativas e absorvedoras de gases entre outra, utilizadas em embalagens ativas e/ou inteligentes.
- Aplicação de nanocompósitos em filmes para embalagens alimentícias melhorando sua capacidade de barreira ou atuando como veículo de substâncias de interesse para o alimento.
- Caracterização da área interfacial de poliolefinas aditivadas com nanocargas ou nanofibras de origem renovável e correlações com propriedades mecânicas.
- Agentes compatibilizantes baseados em biopolímeros para resinas poliolefinicas.

- Modificação química de nanofibras de origem renovável para sua utilização como reforço de resinas poliolefínicas
- Nanocompósitos de resinas poliolefínicas de origem renovável ("polietileno e polipropileno verde")
- Cargas ou nanocargas obtidos a partir de resíduos agrícolas.

O Quadro 18 apresenta o resultado das propostas desta chamada.

Instituição	Título
CCBS-UFSCar	Cultivo de microalgas em fotobiorreator como ferramenta para o seqüestro do CO ₂ atmosférico
ICB-USP	Desenvolvimento de estratégias para transformação do glicerol via rotas biotecnológicas e química
CNPDIA - Embrapa	Obtenção, caracterização e modificação química de nanofibras de origem renovável para sua utilização como reforço de resinas poliolefínicas
ITAL	Indicadores ambientais para polímeros de fonte renovável a partir de estudos de ACV
IQ-Unicamp	Desenvolvimento de rotas para obtenção de ácido acrílico e ácido propiônico por processo fermentativo a partir de açúcares

Quadro 18 – Propostas aprovadas na Chamada FAPESP/Braskem
Fonte: FAPESP (2013).

6.3.5.3 FAPESP-FAPEMIG

Esta Chamada especifica as condições para apresentação de projetos de pesquisa científica e tecnológica cooperativos a serem estabelecidos entre pesquisadores vinculados a Instituições de Ensino Superior e de Pesquisa, públicas ou privadas, no Estado de São Paulo e no Estado de Minas Gerais, envolvendo propostas para a realização de intercâmbio de pesquisadores e estudantes, no âmbito do Convênio de Cooperação Científica entre a FAPESP e a FAPEMIG.

São considerados projetos de pesquisa em todas as áreas do conhecimento relacionados ao tema Etanol: fontes, processos de produção, tecnologia de utilização como combustível e certificação.

As propostas selecionadas serão co-financiadas pela FAPESP e pela FAPEMIG.

Esta Chamada de Propostas de Pesquisa convida propostas de duas modalidades.

- Modalidade I: compreendendo projetos de pesquisa completos, articulados e com objetivos comuns, nos quais as atividades de cada uma das partes, paulista e mineira, será financiada pela respectiva agência; e
- Modalidade II: compreendendo solicitações de recursos adicionais a Auxílios à Pesquisa Regulares, Projetos Temáticos, Apoio a Jovens Pesquisadores em Centros Emergentes ou Centros de Pesquisa Inovação ou Difusão (Cepids), pela parte FAPESP, e Projetos Induzidos, pela parte FAPEMIG, em andamento, para intercâmbio de pesquisadores com financiamento por cada uma das Partes.

As propostas foram submetidas dentro de dois cronogramas:

- Cronograma A: O valor reservado para este cronograma é de R\$ 3 milhões, sendo R\$ 2,5 milhões para a Modalidade I e R\$ 500 mil para Modalidade II.
- Cronograma B: O valor reservado para este cronograma é de R\$ 2 milhões, sendo R\$ 1,5 milhões para a Modalidade I e R\$ 500 mil para Modalidade II.

O Quadro 19 e o Quadro 20 apresentam o resultado das propostas desta chamada.

Título do Projeto	Instituição
Análise dos mecanismos de tolerância à seca em cana-de-açúcar através do uso da análise transcritômica e metabolômica	IB-Unicamp
Redes regulatórias da cana-de-açúcar	IQ-USP

Quadro 19 – Propostas selecionadas na Chamada BIOEN FAPESP-Fapemig (Cronograma A)
Fonte: FAPESP (2013).

Título do Projeto	Instituição
Utilização do etanol como combustível: ignição a plasma de motores veiculares	ITA/CTA

Quadro 20 – Proposta selecionada na Chamada BIOEN FAPESP-Fapemig (Cronograma B)
Fonte: FAPESP (2013).

6.3.5.4 FAPESP-Dedini

O Convênio FAPESP-Dedini tem como objetivo desenvolver e apoiar projetos de pesquisa científica e tecnológica cooperativos, a serem estabelecidos e

desenvolvidos entre pesquisadores de instituições de ensino superior e de pesquisa no Estado de São Paulo, e da Dedini (equipes mistas).

Os projetos selecionados deverão contribuir para o avanço do conhecimento e da tecnologia na área de Processos Industriais para a Fabricação de Etanol de Cana-de-Açúcar, no estímulo à formação de recursos humanos altamente qualificados e, simultaneamente, na aplicação do conhecimento gerado no setor industrial, promovendo o desenvolvimento de tecnologia nacional fundamental para o desenvolvimento econômico e social do Estado de São Paulo e do país.

Os temas relevantes para esta Chamada são:

- Pesquisa científica ou tecnológica aplicada ao desenvolvimento de tecnologia para o sistema Dedini Hidrólise Rápida (DHR) - conversão do bagaço de cana-de-açúcar via rota química (ácida): o processo DHR tem por finalidade permitir a hidrólise da celulose presente no bagaço da cana-de-açúcar, transformando-a em açúcares fermentescíveis e permitindo o aumento na produção de álcool para uma mesma área de cana plantada. A partir da UDP - Unidade de Desenvolvimento do Processo, instalada e em operação em usina de açúcar no Estado de São Paulo, resultante do Projeto desenvolvido pela parceria entre Dedini-Copersucar-FAPESP, busca-se a otimização do aproveitamento de subprodutos em função do emprego de recursos computacionais e do uso do avanço da tecnologia nos últimos anos ou através da criação de novas tecnologias;
- Pesquisa científica sobre hidrólise utilizando rotas químicas e/ou enzimáticas (2ª geração) ou sobre rotas que produzem combustíveis líquidos por gaseificação, produção de gás de síntese e devidas conversões catalíticas (3ª geração), em ambos os casos aplicada ao desenvolvimento de tecnologias aplicáveis à produção de biocombustíveis líquidos a partir da biomassa de cana-de-açúcar;
- Produção de energia;
- Consumo de energia: projetos de pesquisa que explorem a otimização da destilação; e
- Rendimento e eficiência de processos.

O total de recursos oferecido pela FAPESP e pela Dedini para atender às propostas selecionadas nesta Chamada de Propostas de Pesquisa é de

R\$ 20.000.000,00, sendo R\$ 10.000.000,00 pela FAPESP e R\$ 10.000.000,00 pela Dedini. A adequação do orçamento proposto aos objetivos e à capacidade da equipe proponente é um dos importantes elementos considerados na análise e seleção das propostas.

As propostas devem apresentar os itens de orçamento solicitados à FAPESP e à Dedini, buscando manter em torno de 50% a fração do valor total solicitada a cada um dos financiadores. Tal equilíbrio é desejável, mas não é obrigatório, podendo afastar-se dos 50% devido a situações específicas justificadas.

O Quadro 21 apresenta o resultado das propostas desta chamada.

Instituição	Título
Eng.Química UFSCar	Aplicações de técnicas de CFD na melhoria e eficiência de estágio em colunas de destilação para produção de etanol.

Quadro 21 – Proposta aprovada na Chamada FAPESP/Dedini
Fonte: FAPESP (2013).

6.3.5.5 Pesquisa Acadêmica

Nesta linha apresentam-se duas chamadas voltadas para as mesmas linhas temáticas temas:

- Auxílio Regular à Pesquisa e Programa Jovem Pesquisador em Centros Emergentes; e
- Convênio FAPESP-MCT/CNPq- Pronex - PROGRAMA BIOEN/FAPESP.

Estas Chamadas tem como objetivo identificar, selecionar e apoiar projetos de pesquisa fundamental e aplicada, de classe mundial, relacionadas aos temas:

- a) Pesquisa sobre Biomassa para Bioenergia
 - Sequenciamento e análise estrutural e funcional de genomas de interesse para a produção de biocombustíveis;
 - Bioinformática e ferramentas computacionais para biologia de sistemas (análise e integração de genoma, transcriptoma, proteoma, metaboloma);
 - Transgênicos e estudos de estabilidade de transgenes;
 - Genética molecular do desenvolvimento vegetal e sinalização hormonal;

- Marcadores moleculares e ferramentas genético-estatísticas para a avaliação do germoplasma brasileiro;
 - Fotossíntese e balanço energético de plantas;
 - Nutrição mineral;
 - Biogeoquímica;
 - Proteção agrícola (nematologia e entomologia);
 - Fitopatologia do germoplasma brasileiro;
 - Busca e caracterização de microorganismos com o potencial de produzir enzimas úteis para a produção de biocombustíveis, especialmente etanol celulósico;
 - Engenharia, estrutura e evolução molecular de enzimas;
 - Cana de açúcar como biorreator; e
 - Métodos para melhorar o processamento da biomassa.
- b) Pesquisa sobre processos de fabricação de biocombustíveis
- Hidrólise;
 - Gaseificação;
 - Outros processos para fabricação de biocombustíveis a partir de biomassa;
 - Novos meios de fermentação;
 - Genômica de micróbios relevantes para fermentação alcoólica;
 - Fermentação em alto teor alcoólico;
 - Busca de microorganismos unificados para extração de açúcares e para fermentação;
 - Engenharia metabólica de microorganismos para produção de metabólitos de interesse da indústria alcoolquímica;
 - Integração energética e economia de energia em processos de destilação alcoólica;
 - Novas estratégias de controle de processos de destilação alcoólica;
 - Tecnologias alternativas de concentração, purificação e desidratação de etanol (membranas, outros processos de concentração);
 - Processos de produção de álcoois especiais para indústrias química, farmacêutica, de cosméticos e de alimentos;
 - Processos de concentração e purificação de compostos minoritários do vinho alcoólico;

- Processos de concentração e purificação de outros metabólitos de interesse industrial;
 - Integração das etapas de fermentação e pré-concentração alcoólica;
 - Concentração e aproveitamento da vinhaça; redução da geração de dejetos na produção de etanol; e
 - Produção de biodiesel etílico e sua integração com a produção de etanol.
- c) Pesquisa sobre Impactos Sociais, Econômicos e Ambientais dos Biocombustíveis
- Uso da terra;
 - Impactos sociais dos biocombustíveis;
 - Efeitos no meio ambiente;
 - Impacto ambiental de cana GM;
 - Balanço energético e de carbono;
 - Mudanças mundiais devido a novas fontes de agroenergia;
 - Mudanças na agricultura devido à competição energia-alimentos;
 - Limites da expansão da área agricultável para energia no Brasil e no mundo; e
 - Propriedade intelectual e transferência de tecnologia.

O Quadro 22 e o Quadro 23 apresentam o resultado das propostas referentes a Chamada - Auxílio Regular à Pesquisa e Programa Jovem Pesquisador em Centros Emergentes.

O Quadro 24 e o Quadro 25 apresentam o resultado das propostas referentes ao Convênio FAPESP-MCT/CNPq- Pronex - PROGRAMA BIOEN/FAPESP.

Este capítulo contemplou as iniciativas brasileiras voltadas ao etanol de segunda geração, especificamente, que indicam os esforços do Sistema Nacional de Inovação. Verifica-se que a estrutura do setor sucroenergético brasileiro cria a potencialidade inovativa de um SNI em etanol de segunda geração. Sob a ótica dos três elementos institucionais tem-se:

Empresas: Verifica-se a existência de investimentos em pesquisas, parcerias entre universidades e instituições de fomento governamental; há objetivo comum de viabilização comercial do produto; existem expectativas de expansão;

Universidades: Houve mobilização de recursos humanos, tanto pesquisadores quanto estudantes; para o setor em estudo, refletindo interesse nesta

área de pesquisa, revelado pelo crescimento das publicações científicas e grupos de pesquisa;

Governo: Existem programas e linhas de financiamento das instituições de fomento como as BNDES, FINEP e FAPESP passíveis de utilização pelo setor sucroenergético. Entretanto, não verificou-se linhas específicas para o etanol de segunda geração, demonstrando baixa aderência governamental em desenvolver as tecnologias de obtenção do etanol de segunda geração no Brasil.

Conclui-se que apesar da potencialidade inovativa do SNI em etanol de segunda geração os esforços para o crescimento e desenvolvimento do SNI são baixos. Entretanto, apenas com tais informações não é possível concluir qual o atual grau de desenvolvimento do SNI.

Desta forma, como parte dos objetivo da tese, o próximo capítulo aborda as relações que permeiam o SNI através da metodologia de Redes de Inovação para publicações científicas e patentes, que foram descritas no capítulo 5, na tentativa de inferir o grau de desenvolvimento do SNI em etanol de segunda geração.

Instituição	Título
Ipen	Pré-tratamento do bagaço de cana para hidrólise ácida ou enzimática da celulose utilizando o processo de oxidação avançada por radiação ionizante para produção de biocombustível etanol
IQ/Unesp Araraquara	Produção de etanol do bagaço de cana-de-açúcar: pré-tratamento enzimático e ensaios microbiológicos para avaliar a toxicidade e tolerância a hidrolisados em temperaturas elevadas
Esalq	Análise de associação usando SSR e SNP para obtenção de QTL para conteúdo de óleo em soja
Esalq	Isolamento e caracterização de micro-RNAs e seus genes-alvo em cana-de-açúcar
Poli-USP	Engenharia evolutiva de leveduras

Quadro 22 – Proposta aprovada na Chamada Propostas para Auxílio à Pesquisa e Jovem Pesquisador/FAPESP (Cronograma A)

Fonte: FAPESP (2013).

Instituição	Título
Ipen	The contributions of microwave energy and ultrasound in the improvement of ethanol industrial production process from sugarcane
IQ/Unesp Araraquara	Gene expression profile and carbon isotope discrimination in sugarcane genotypes under water deficit stress
Esalq	Study of the transference of fixed nitrogen from the diazotrophic bacteria to sugarcane
Esalq	Mathematical modeling of optimal biological pest control strategies for efficient and sustainable sugarcane production
	Concentrated vinasse applied in sugarcane stumps: Monitoring chemical soil attributes, ions leaching and agronomic efficiency
	Biofuel production by photochemical cracking of vegetable oils employing aromatic imides supported on mesoporous silicates as sensitizers
	The sweet and bitter sides of the sugarcane: an integrated sustainability assessment for the Brazilian ethanol context
ABTLuZ/MCT	Library generation for biomass-conversion enzymes from soil metagenome
EAC/USP	Impacts of sugarcane agroindustry expansion on aquatic environments
IB/Unicamp	Sugarcane energetic balance: a systems approach towards understanding regulation of sucrose metabolism and sugar signaling

Quadro 23 – Proposta aprovada na Chamada Propostas para Auxílio à Pesquisa e Jovem Pesquisador/FAPESP (Cronograma B)

Fonte: FAPESP (2013).

Instituição	Título
Esc. Eng. Lorena/USP	Topochemistry, porosity and chemical composition determining successful enzymatic saccharification of sugarcane bagasse
Inst. Comércio Negociações Internacionais (Icône)	Simulating land use and agriculture expansion in Brazil: food, energy, agro-industrial and environmental impacts
FCFRP/USP	Functional analysis of the transcription factor XINR involved in regulation of transcription of cellulases - and hemicellulases-encoding genes in <i>Aspergillus niger</i>
IAC / Sec. Agricultura	Nitrogen nutrition of sugarcane with fertilizers or diazotrophic bacteria
IFSC/USP	Structure and function of enzymes and auxiliary proteins from trichoderma, active in cell-wall hydrolysis
Esalq/USP	Functional omics of the ratoon stunting disease of sugarcane
IAC / Sec. Agricultura	Sustainable bioenergy sugarcane breeding and cultivar development
FGVSP	International bioenergy market: assessing institutional structures
CCT/UFSCar	Bioprocess systems engineering (BSE) applied to the production of bioethanol from sugarcane bagasse
Eng. Alimentos/Unicamp	Phase equilibrium and purification processes in the production of biofuels and biocompounds
IQ/USP	Development of beta-glycosidases designed to improve the efficiency of noncomplexed cellulase systems

Quadro 24 – Proposta aprovada na Chamada Propostas para Auxílio à Pesquisa e Jovem Pesquisador/BIOEN/FAPESP (Cronograma A)

Fonte: FAPESP (2013).

Instituição	Título
IAC	Integrating physiological, morphological and anatomical traits to understand the differential sucrose yield in sugarcane genotypes
ABTLuZ/MCT	Processing of sugarcane cellulose employing atmospheric pressure plasmas
IB/Unicamp	Control of lignin biosynthesis in sugar cane: many gaps still to be filled
Instituto Economia/Unicamp	Desenho organizacional do Programa BIOEN: propriedade intelectual, mecanismos de incentivo e avaliação e impactos
FEQ/Unicamp	An integrated process for total bioethanol production and zero CO ₁ emission

Quadro 25 – Proposta aprovada na Chamada Propostas para Auxílio à Pesquisa e Jovem Pesquisador/BIOEN/FAPESP (Cronograma B)

Fonte: FAPESP (2013).

7 REDES DE INOVAÇÃO EM ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO

Para inferir o grau de desenvolvimento do SNI em etanol de segunda geração este capítulo apresenta a análise de resultados em consonância aos objetivos específicos da tese que são:

- Analisar o grau de articulação existente nas Redes de Inovação para publicações científicas, na forma de relações existentes para os países, instituições, áreas do conhecimento através das *KeyWord Plus* e citações de autores. Dois aspectos serão investigados: a produção científica em si e a capacidade de formar redes colaborativas, já que tais aspectos são considerados como essenciais para alcançar o patamar tecnológico;
- Comparar as Redes de Inovação global com os obtidos para o Brasil e Estados Unidos;
- Verificar a existência dos fenômenos *small world*, *preferential attachment* e *scale free*; e
- Analisar as Redes de Inovação para patentes, na forma de relações existentes entre as patentes aplicadas em diversas áreas.

Para uma melhor compreensão das Redes de Inovação estas foram divididas em dois temas, as oriundas das publicações científicas e as que surgem a partir das patentes.

7.1 Redes formadas a partir das publicações científicas

Como foi descrito nos capítulos anteriores as redes podem ser utilizadas como indicador do estado inovativo de uma atividade mediante análise das relações existente entre os atores.

Assim esta seção apresenta as principais redes criadas a partir das buscas realizadas nas bases de publicações científicas ISI WoS bem como os indicadores mais relevantes e que foram descritos no capítulo 5.

A seguir apresentam-se as Redes de Inovação Global para publicações científicas.

7.1.1 Redes de Inovação em etanol de segunda geração: Global

Os dados referentes às publicações científicas podem ser agrupadas por países aos quais uma publicação em específico foi realizada. Se houver relação de parceria, isto é, se o artigo em específico foi produzido com mais de um ator e de outra nacionalidade, é possível extrair uma matriz de co-ocorrência das publicações para os países.

Agrupadas as publicações internacionais e exprimindo apenas as relações entre os países foi possível construir um mapa de *cluster*, isto é, criam-se grupos que possuem relação de parceria na publicação.

A Figura 8 ressalta o nexo de relações entre os países com foco em etanol de segunda geração. Visualmente os Estados Unidos (cor vermelha) mostra-se destacado ante aos demais, do total de publicações mundiais - 6.948 – 1.559 (22,44%) foram realizadas por americanos. Destes, 1.190 (76,33%) foram realizadas apenas por americanos e 369 (23,67%) envolveu alguma parceria internacional (ver Tabela 14).

Tabela 14 – Publicações científicas em etanol de segunda geração por país, próprias e em colaboração

País	Publicações	(%) Total	Próprias	(%)	Colaboração	(%)
Estados Unidos	1.559	22,44	1.190	76,33	369	23,67
China	684	9,84	505	73,83	179	26,17
Brasil	347	4,99	257	74,06	90	25,94
Japão	332	4,78	249	75,00	83	25,00
Índia	299	4,30	250	83,61	49	16,39
Alemanha	290	4,17	169	58,28	121	41,72
Canadá	275	3,96	178	64,73	97	35,27
Reino Unido	244	3,51	133	54,51	111	45,49
Espanha	240	3,45	169	70,42	71	29,58
Suécia	231	3,32	116	50,22	115	49,78

Fonte: Elaboração do autor a partir de ISI (2012b).

O Brasil (cor amarela ver Figura 8) do total de publicações, 347 (4,99%) foi realizada por brasileiros. Destes, 257 (74,06%) foi realizada apenas por brasileiros e 90 (25,94%) envolveu alguma parceria internacional.

Apesar dos dois países possuírem graus semelhantes (em %) de colaboração internacional verifica-se que os Estados Unidos possuem relações com maior

diversidade de países e o número de artigos em parceria em relação ao total publicado no mundo é mais de 4 vezes o que o Brasil produziu conjuntamente.

A relação Brasil-Estados Unidos é baixa, pois, produziram apenas 18 (4,88%) artigos conjuntamente. Neste quesito, a China aparece como maior colaborador dos Estados Unidos com 71 (19,24%) dos artigos. Ou seja, a cada 10 artigos americanos, 2 são em colaboração chinesa.

Apesar da baixa participação das publicações brasileiras em etanol de segunda geração com os Estados Unidos, este é o maior colaborador brasileiro, seguido de Portugal com 13 publicações.

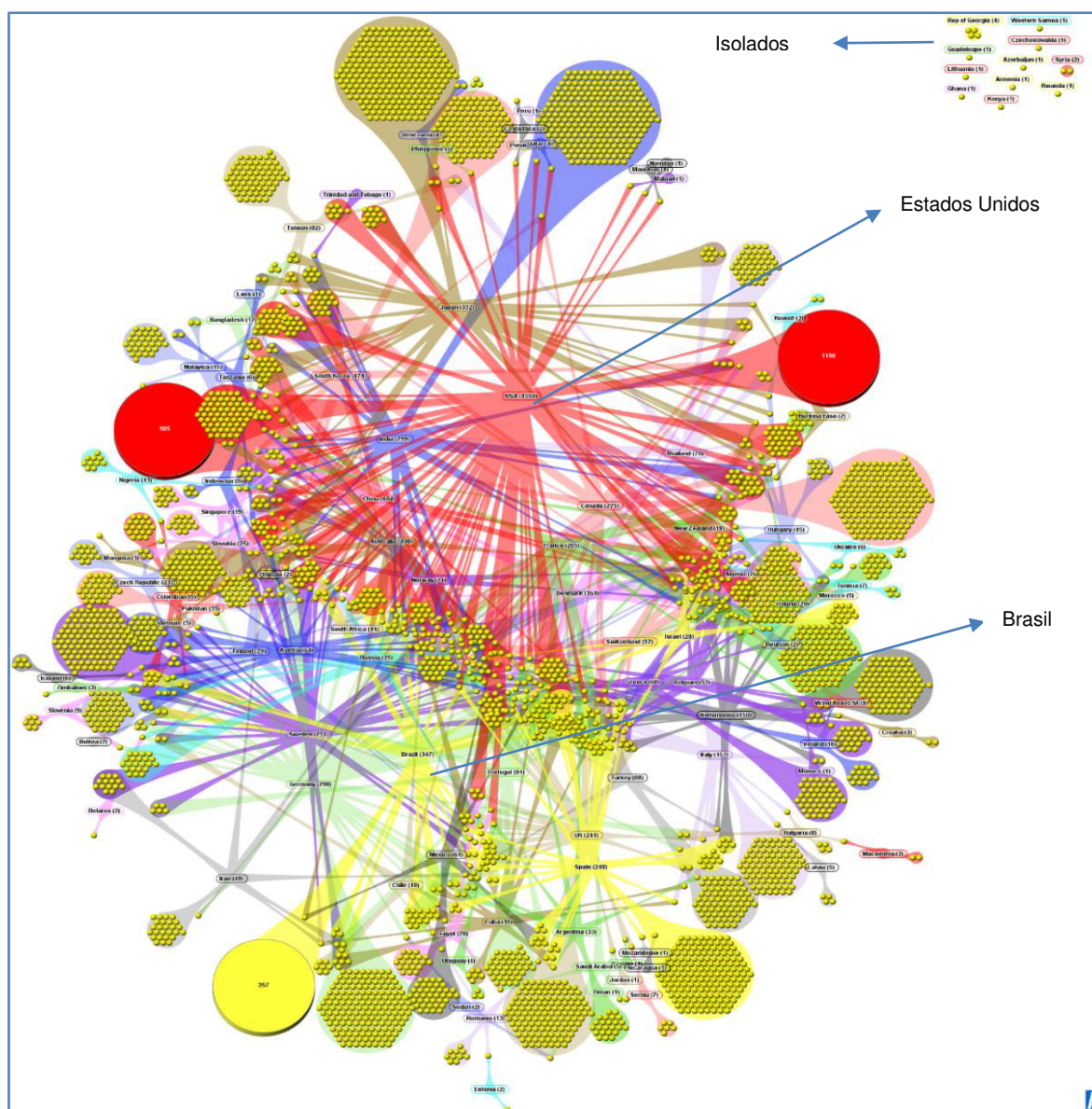


Figura 8 – Mapa da aglomeração de países para as publicações científicas em etanol de segunda geração

Fonte: Elaboração do autor a partir de ISI (2012b).

Obs: Script fornecido pelo The VantagePoint, Aduna Cluster Map®.

A Figura 9 e Figura 10 apresentam a Rede de Inovação para os países com base nas publicações científicas. Verifica-se que em termos de colaboração científica os Estados Unidos tem predominância, seguido pela Alemanha, França, Reino Unido e Suécia. Apesar da China, Japão, Índia e Brasil possuírem maior número de publicações, essas são mais independentes do que os demais.

A Tabela 15 apresenta os indicadores da Rede de Inovação para países com base nas publicações científicas. A centralidade média foi de 0,09466 (9,466%). Uma vez que o limite superior do indicador é 1 (100%) o valor apresentado foi considerado baixo. Como analisado no Quadro 10 esperava-se um valor baixo para este indicador, uma vez que para etanol de segunda geração a colaboração científica é importante, logo, não há apenas um país para realizar parceria nas publicações internacionais mas várias opções. A análise visual corrobora o fator mencionado, mostrando que não há apenas um país central, mas grupos de países que compartilham esta função.

Tabela 15 – Indicadores da Rede de Inovação entre países para etanol de segunda geração

Indicador	Valor
Grau de Centralidade Média	9,466
Densidade Média	0,093
Distância Geodésica Média	2,273

Fonte: Elaboração do autor a partir de ISI (2012b).

A densidade média mede a proporção de vínculos que ocorrem entre países em relação a todos os vínculos possíveis. Uma rede perfeitamente conectada é chamada de clique e tem densidade igual a 1. Neste caso a densidade mostrou ser de 0,093, ou seja, baixa. Tal fato pode ser explicado pela presença de maior densidade internamente ao aglomerado de países cuja colaboração científica ocorre.

A distância geodésica no valor de 2,273 mostra que os países estão muito próximos. Tal fato reflete o nível de agregação utilizado – países – e na realidade há poucos passos geodésicos para alcançar todos os países da rede. Tal fato corrobora o efeito *small world*, que para este caso era esperado.

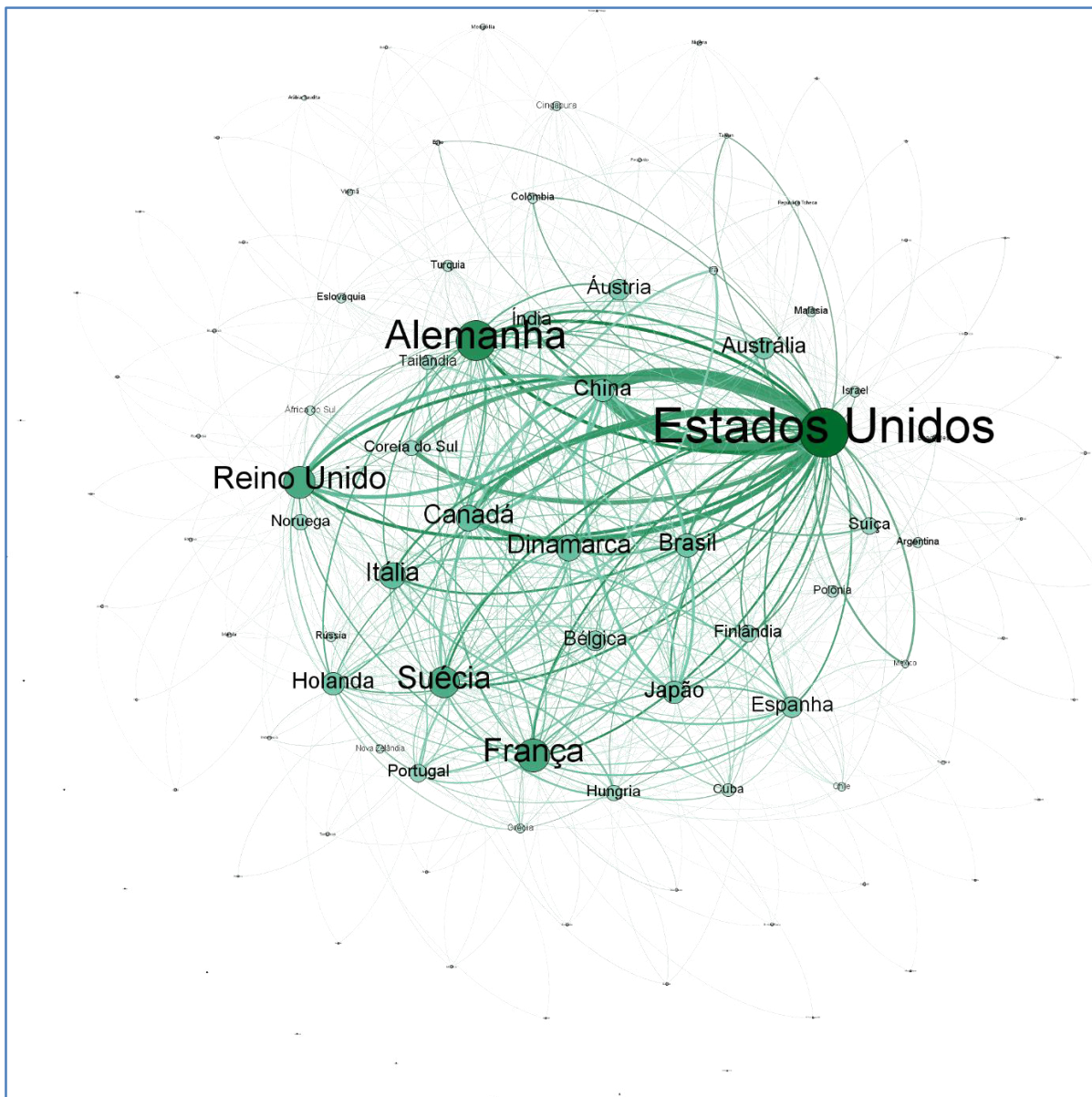


Figura 9 – Rede de Inovação de países para publicações científicas em etanol de segunda geração
Fonte: Elaboração do autor a partir de ISI (2012b).

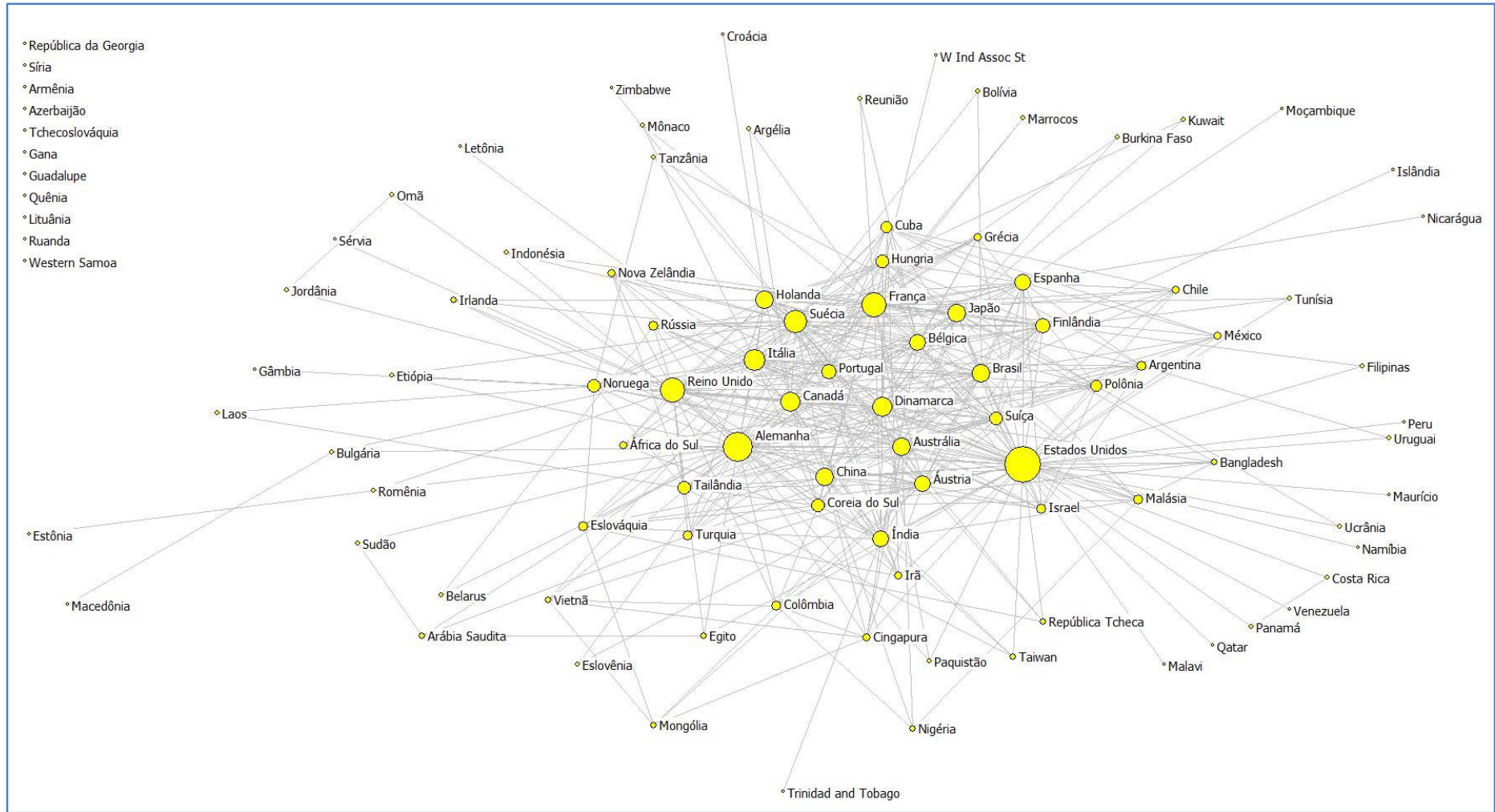


Figura 10 – Rede de Inovação de países para publicações científicas em etanol de segunda geração: relações relativas ao grau de centralidade
Fonte: Elaboração do autor a partir de ISI (2012b).

A Figura 11 exibe os indicadores dos nós da Rede de Inovação. Os Estados Unidos apresentam tanto o maior número de publicações científicas quanto, maior grau de centralidade normalizado e maior grau de intermediação normalizado.

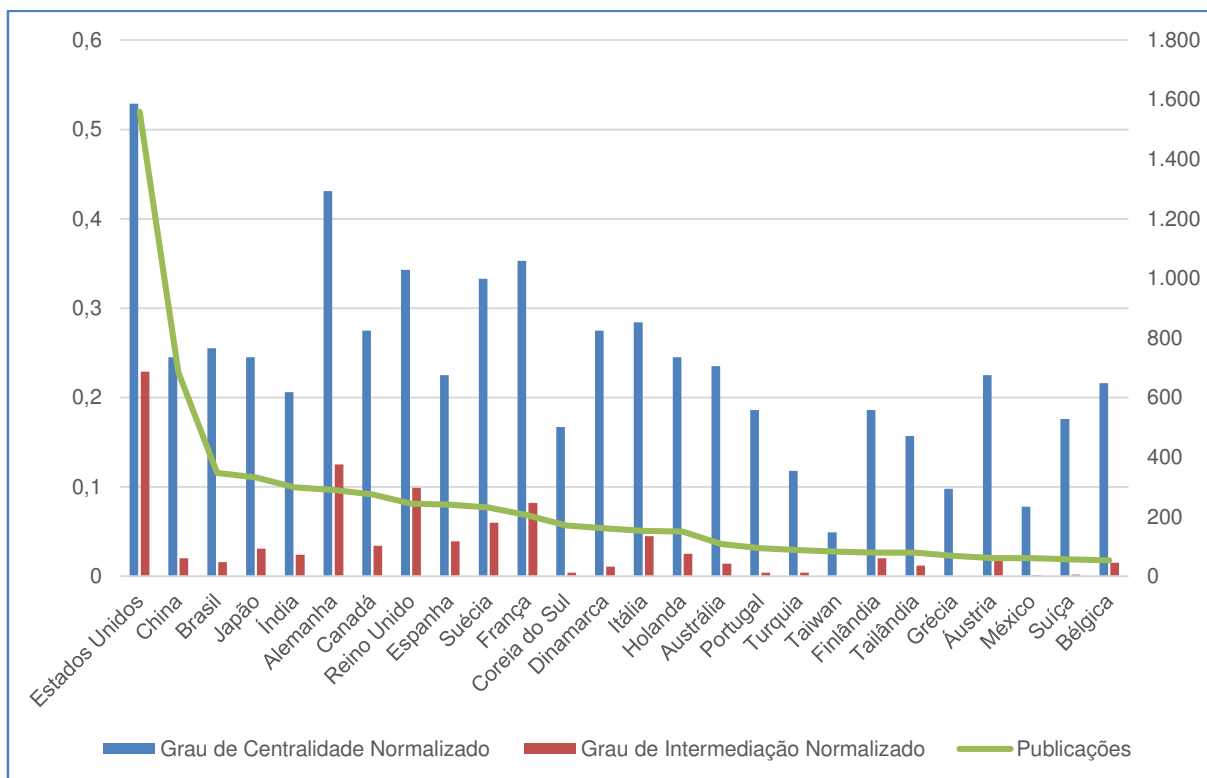


Figura 11 – Indicadores dos nós da Rede de Inovação para países em etanol de segunda geração
Fonte: Elaboração do autor a partir de ISI (2012b).

Uma vez que o grau de centralidade média da rede é baixo a presença dos Estados Unidos com alto grau de centralidade normalizado indica que para a colaboração científica internacional há um país preferido ante os demais, mas não exclusivo, ou seja, possuir parceria com os Estados Unidos é importante por ser um grande desenvolvedor de tecnologia pra etanol de segunda geração, mas parte das pesquisas não dependem exclusivamente deste conhecimento.

Outro fator é a presença de um grupo de países com alto grau de centralidade e de intermediação (Alemanha, França, Reino Unido, Suécia e Canadá). Isto indica que a produção de conhecimento local é competitiva e procura estar inserida ante os principais pesquisadores no mundo, fatos estes, que devem ser relevados por políticas governamentais locais para a promoção do etanol de segunda geração.

O Brasil, apesar de colocar-se como importante núcleo de pesquisas em etanol de segunda geração (3º maior em artigos) não se mostra articulado com os

demais países para a realização de parcerias no âmbito do desenvolvimento do etanol de segunda geração.

Tais fatos podem revelar dois caminhos:

- Os investimentos em pesquisa realizados até o momento não amadureceram ou não surtiram o efeito desejado; ou
- O Brasil irá se especializar na tecnologia que possui maior conhecimento acumulado, isto é, o processo de fermentação.

A Figura 12 e Figura 13 apresentam a Rede de Inovação para as instituições de pesquisa e empresas com base nas publicações científicas. Verifica-se que em termos de colaboração científica o USDA (Estados Unidos) tem predominância, seguido pela Universidade da Califórnia (Estados Unidos) e USP (Brasil). Em um segundo bloco aparecem o NREL (Estados Unidos), CNRS (França), a Universidade Lund (Suécia) e a Chinese Academy of Sciences (China).

A presença dos Estados Unidos entre as principais instituições é destacada. Também verifica-se a relação entre governo e universidade pró-ativamente, USDA (órgão federal) e Universidade da Califórnia (instituição de ensino). Esta combinação é um dos indicadores de sucesso de um Sistema Nacional de Inovação. O Brasil aparece em segundo lugar com a Universidade de São Paulo, entretanto, não há instituição governamental de apoio direto (à semelhança do USDA) e a presença de outras universidades brasileiras entre as principais é praticamente nula (a Unicamp ocupa a 26ª posição no ranking de publicações científicas).

A presença da China tem ligação direta com as parcerias que os Estado Unidos estão desenvolvendo em etanol de segunda geração com este país.

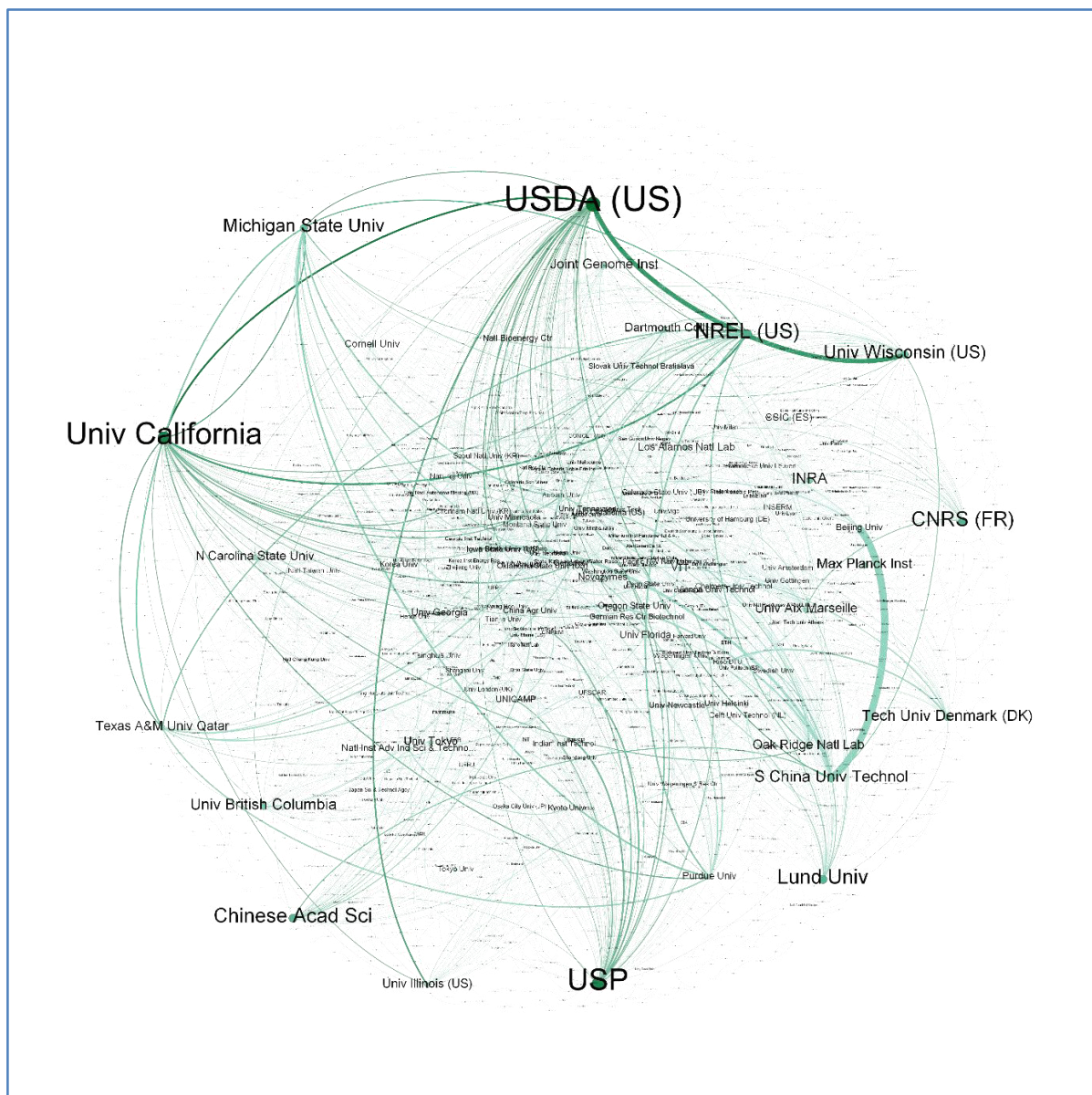


Figura 12 – Rede de Inovação de instituições para publicações científicas em etanol de segunda geração

Fonte: Elaboração do autor a partir de ISI (2012b).

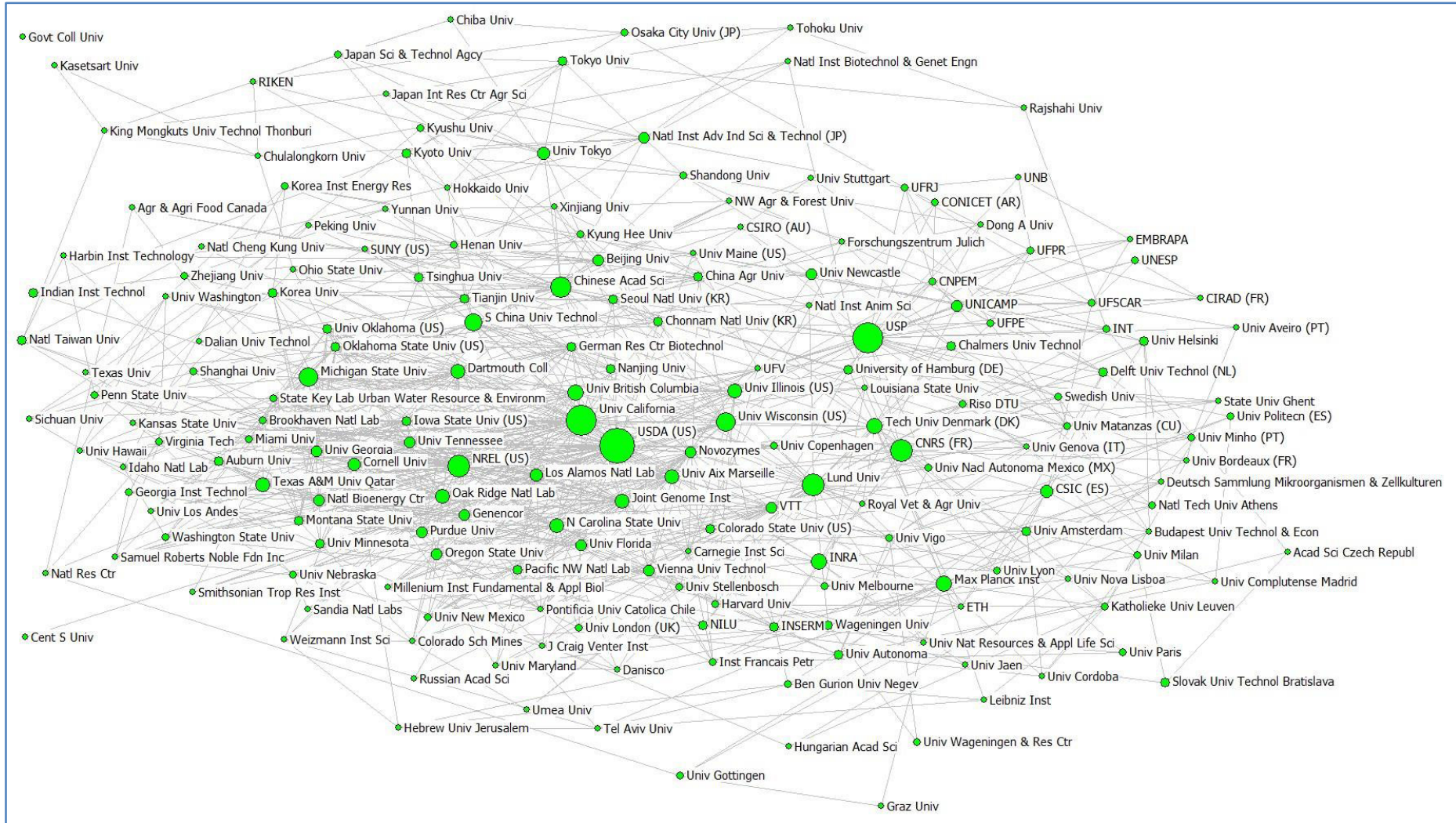


Figura 13 – Rede de Inovação de instituições para publicações científicas em etanol de segunda geração: relações relativas ao grau de centralidade
 Fonte: Elaboração do autor a partir de ISI (2012b).
 Obs: Grau de centralidade maior ou igual a 10.

A Tabela 16 apresenta os indicadores da Rede de Inovação para as instituições com base nas publicações científicas. A centralidade média foi de 0,03776 (3,776%). Este valor é considerado baixo pois para a rede de publicações não se espera que todas as instituições possuam relação com todas as outras, ou seja, todas sendo centrais. O perfil também mostrou que há a predominância das instituições americanas no primeiro escalão de instituições, mas não há uma instituição preferida antes as demais.

Tabela 16 – Indicadores da Rede de Inovação entre instituições em etanol de segunda geração

Indicador	Valor
Grau de Centralidade Média	3,776
Densidade Média	0,002
Distância Geodésica Média	4,512

Fonte: Elaboração do autor a partir de ISI (2012b).

A densidade média mostrou ser de 0,002 ou seja baixa, como esperado. O número relativamente alto de instituições fazem com que as pesquisa não sejam centralizadas nesta esfera. Também espera-se que as parcerias ocorram, mas há competição, indício de fenômeno *scale-free*.

A distância geodésica no valor de 4,512 mostra que as instituições estão em média separadas por 5 instituições, ou seja, ao relacionar-se com uma instituição, a probabilidade de estar conectado com a maioria dos grupos é alta, tal fato corrobora o efeito *small world*, que era esperado.

A Figura 14 exhibe os indicadores dos nós da Rede de Inovação.

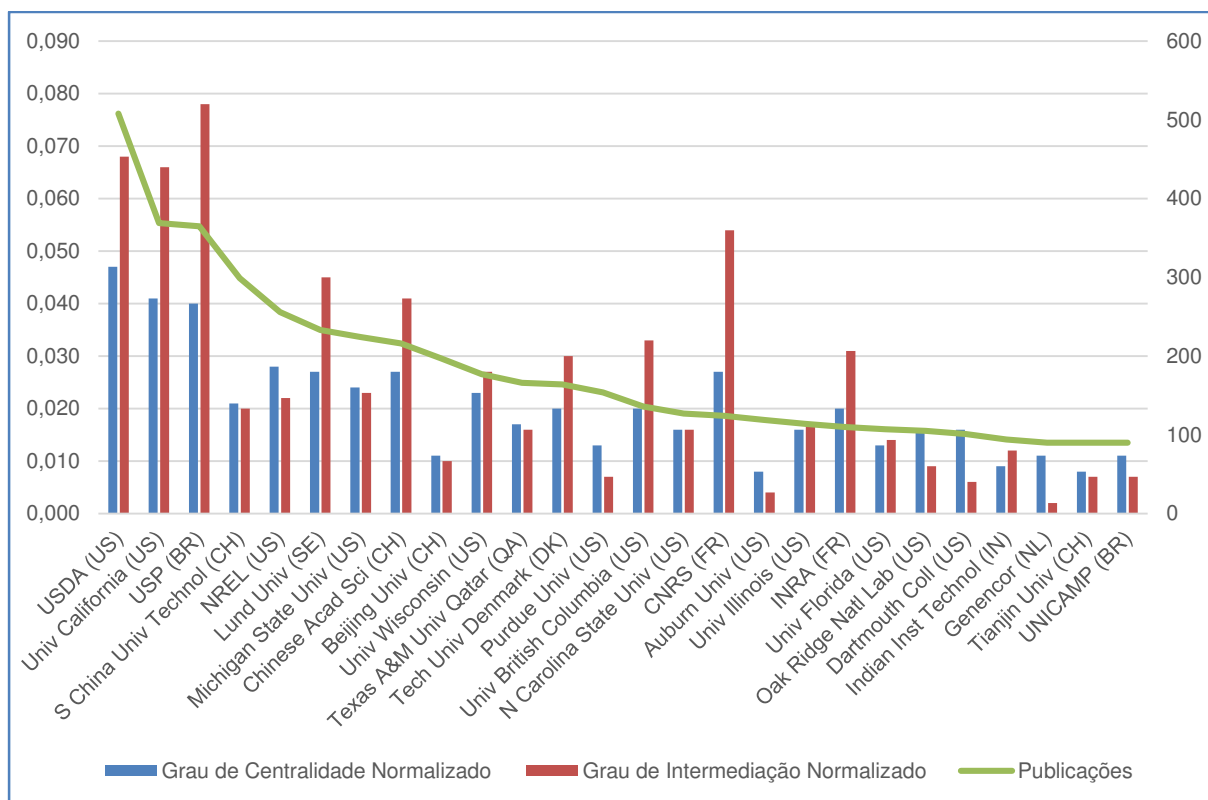


Figura 14 – Indicadores dos nós da Rede de Inovação para as instituições em etanol de segunda geração

Fonte: Elaboração do autor a partir de ISI (2012b).

Os Estados Unidos apresentam tanto o maior número de instituições voltadas ao etanol de segunda geração, e também com o maior grau de centralidade normalizado para o USDA (Estados Unidos). Tais fatos mostram que os esforços americanos para o etanol de segunda geração são grandes e isto se traduz em um grau elevado de desenvolvimento do SNI em etanol dos Estados Unidos.

Por outro lado o Brasil mostra presença importante, ocupando a terceira posição com a USP em relação ao grau de centralidade e maior grau de intermediação. O conhecimento gerado nesta universidade terá grande participação nos desenvolvimentos do etanol de segunda geração, direta ou indiretamente. Ou seja, o conhecimento é cumulativo e o *know-how* em etanol de primeira geração está sendo utilizado para o de segunda, o que era esperado, pois os processos de fermentação, pré-tratamento, destilação entre outros são os mesmos ou melhoramentos dos obtidos para a primeira geração.

A USP está como líder entre as universidades da América Latina, considerando entre diversos indicadores, a inserção internacional. Tal fato reflete na posição apenas da USP entre as primeiras e ressalta que a ciência produzida no Brasil

é relativamente concentrada, em especial nesta instituição, e o mesmo para etanol de segunda geração. Diferente dos Estados Unidos, este fato, inibe o desenvolvimento do SNI em etanol de segunda geração.

A Figura 15 e Figura 16 apresentam a Rede de Inovação para as *KeyWords Plus* com base nas publicações científicas. Verifica-se que em termos de áreas das pesquisas em etanol de segunda geração há destaque para Fermentação, Etanol, Produção de Etanol e Biomassa (exceto fermentação, os outros eram esperados pelo recorte da amostra). Em segundo plano estão Hidrólise Enzimática, *Saccharomyces cerevisiae* (fungo), Hidrólise, Celulose, Palha de Trigo, *Escherichia coli* (bactéria), Palha de Milho e Pré-tratamento.

Estas informações corroboram as discussões recentes sobre a viabilidade comercial do etanol de segunda geração. O principal gargalo hoje é o processo de fermentação da glicose e xilose obtidas no processo de hidrólise enzimática. Há também a discussão do melhor processo de hidrólise, mas ao que indica, pode existir uma trajetória tecnológica convergindo para hidrólise enzimática.

A fermentação ainda não está definida. Como ressaltado no capítulo 6 a empresa GranInvest está desenvolvendo um fungo (até o momento secreto) para a fermentação da xilose e glicose. Tal informação corrobora o alto número de artigos em Fermentação, *Saccharomyces cerevisiae*, que é um fungo já utilizado na primeira geração e pode estar sendo geneticamente melhorado para a conversão da biomassa em etanol.

A bactéria *Escherichia coli* (bactéria) está relacionada ao processo de hidrólise enzimática. Esta bactéria é um bacilo presente no intestino de animais e humanos, e produz lactase positiva, uma enzima fermentadora de açúcares, catalisa a hidrólise da lactose em glicose e galactose.

Outras considerações devem ser realizadas. Há um enfoque na utilização das palha de trigo e milho para os processos de obtenção do etanol de segunda geração. Uma vez que a cana-de-açúcar tem predominância apenas no Brasil, os fatos corroboram que os métodos escolhidos não serão específicos à matéria-prima, mas pode gerar dependência tecnológica da parte dos países que desenvolverem e aperfeiçoarem as rotas mais eficientes.

A Tabela 17 apresenta os indicadores da Rede de Inovação para as *KeyWord Plus* com base nas publicações científicas. A centralidade média foi de 0,08192 (8,192%). Este valor é considerado baixo, menor do que o esperado, uma vez que

para as publicações não se espera que envolva inúmeras áreas do conhecimento, pulverizadas em diversos assuntos. Assim este indicador mostra que apesar da construção da rede em torno do etanol de segunda geração, há presença de inúmeras áreas de pesquisa que se beneficiam indiretamente das pesquisas realizadas neste âmbito. Políticas voltadas à promoção do etanol de segunda geração apresentarão um efeito de transbordamento de conhecimento para inúmeras áreas, não apenas em etanol.

Tabela 17 – Indicadores da Rede de Inovação entre *KeyWord Plus* em etanol de segunda geração

Indicador	Valor
Grau de Centralidade Média	8,192
Densidade Média	0,002
Distância Geodésica Média	3,066

Fonte: Elaboração do autor a partir de ISI (2012b).

A densidade média mede a proporção de vínculos que ocorrem entre as áreas em relação a todos os vínculos possíveis. Neste caso a densidade mostrou ser de 0,002, ou seja, baixa, como esperado. O número relativamente alto de *KeyWord Plus* fazem com que as pesquisas não sejam centralizadas nesta esfera.

A distância geodésica no valor de 3,066 mostra que as áreas de pesquisa estão em médias separadas por 3 *KeyWords Plus*, ou seja, há uma grande proximidade das áreas de pesquisa, sendo estas relevantes. Em um caso diferente, uma alta distância mostraria que não há convergência de esforços em etanol de segunda geração.

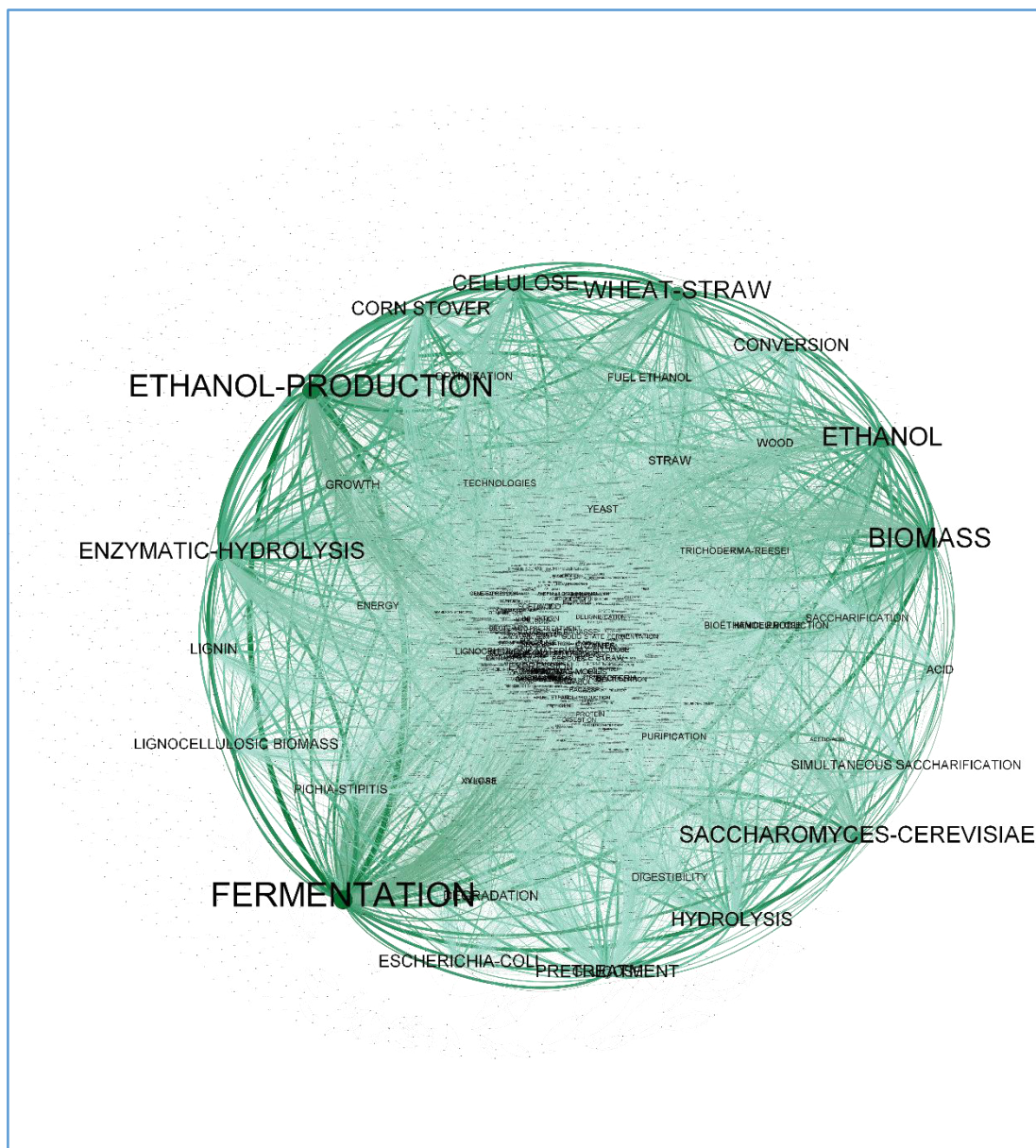


Figura 15 – Rede de Inovação de *KeyWord Plus* para publicações científicas em etanol de segunda geração, $k\text{-core}=2$

Fonte: Elaboração do autor a partir de ISI (2012b).

A Figura 17 exibe os indicadores dos nós da Rede de Inovação. Os fatos já foram ressaltados na análise anterior. Entretanto, verifica-se que Fermentação, *Saccharomyces cerevisiae* e *Escherichia coli* são os que possuem o maior grau de intermediação, corroborando a análise anterior.

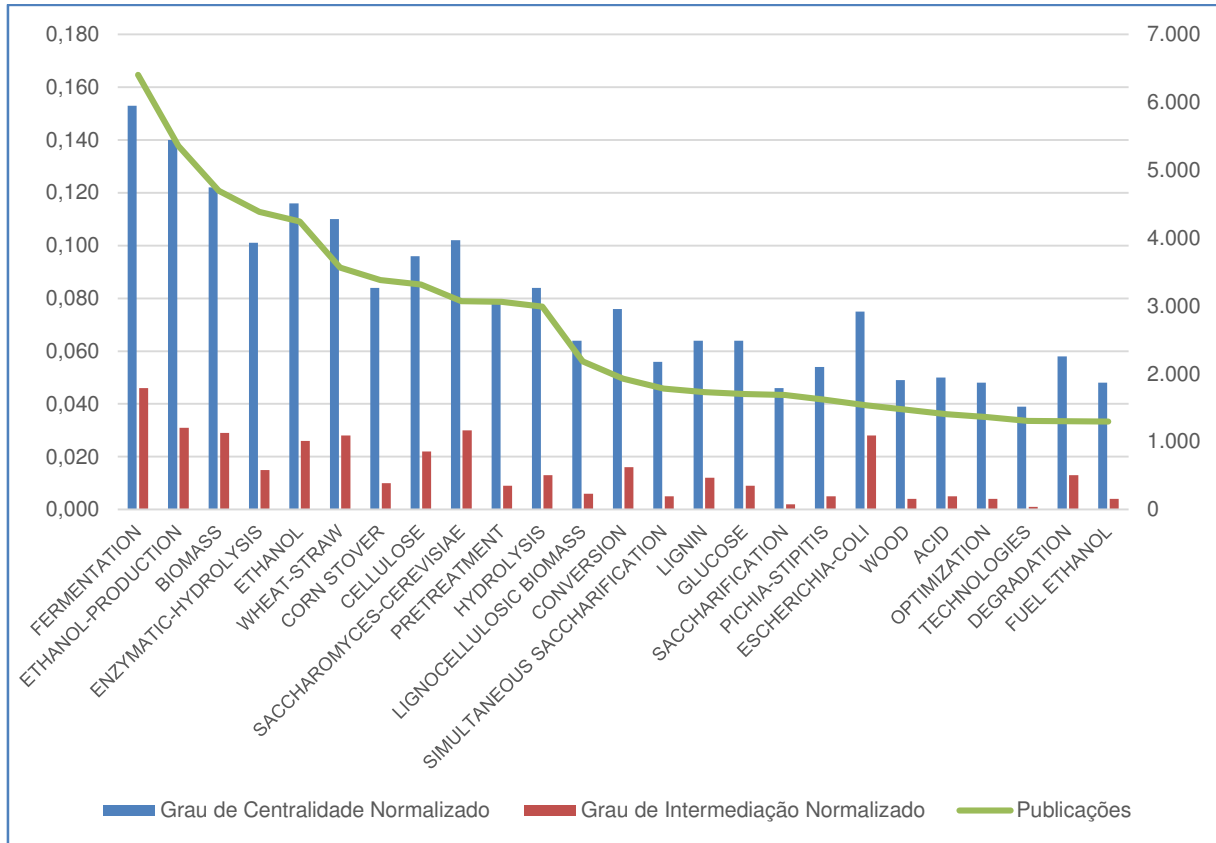


Figura 17 – Indicadores dos nós da Rede de Inovação para as *KeyWord Plus* em etanol de segunda geração

Fonte: Elaboração do autor a partir de ISI (2012b).

A Figura 18 e Figura 19 apresentam a Rede de Inovação para os autores através co-ocorrência destes nas publicações científicas. Verifica-se que em termos de colaboração científica os quatro autores com maior grau de centralidade são:

- Lee Rybeck Lynd – Professor Adjunto de Ciências Biológicas - Thayer School of Engineering at Dartmouth – Estados Unidos;
- Nathan Mosier – Professor Associado em Agricultura e Engenharia Biológica – Purdue University – Estados Unidos;
- Charles Wyman – Professor de Engenharia Química e Ambiental – University of California Riverside – Estados Unidos; e

- Sun, Ye – Professor do Departamento de Agricultura e Engenharia Biológica, North Carolina State University – Estados Unidos.

Conclui-se que o estado da arte em etanol de segunda geração provém de autores proveniente de instituições americanas. Em termos do SNI em etanol de segunda geração no Brasil indica que o conhecimento não está sendo gerado aqui, mas de certa forma, importado, em referências a processos e produtos desenvolvidos por pesquisadores estrangeiros.

A Tabela 18 apresenta os indicadores da Rede de Inovação para os autores com base na co-ocorrência nas publicações científicas. A centralidade média foi de 0,11728 (11,728%). Este valor é considerado baixo pois para a rede de publicações não se espera que todos os autores possuam relação com todos os outros, ou seja, todos sendo centrais. Mas verifica-se que alguns estão em posição de destaque ante os demais. Estes autores estão ligados diretamente ao processo de conversão da biomassa, especificamente hidrólise e pré-tratamento. Tais fatos indicam a presença de *preferential attachment*. Ou seja, autores mais experientes na área possuindo alto número de citações.

Tabela 18 – Indicadores da Rede de Inovação para a co-ocorrência de autores em etanol de segunda geração

Indicador	Valor
Grau de Centralidade Média	11,728
Densidade Média	0,002
Distância Geodésica Média	2,998

Fonte: Elaboração do autor a partir de ISI (2012b).

A densidade média mede a proporção de vínculos que ocorrem entre autores em relação a todos os vínculos possíveis. Neste caso a densidade mostrou ser de 0,002, ou seja, baixa, como esperado. O número relativamente alto de autores fazem com que as pesquisas não dependam de um autor específico.

A distância geodésica no valor de 2,998 mostra que as colaborações entre autores estão em médias separadas por 3 pessoas, ou seja, colaborar é importante nesta rede. Tal fato corrobora o efeito *small world*, que era esperado.

Para verificar a presença de *preferential attachment*, neste caso, a literatura sugere analisar a distribuição de grau da rede.

Como explicitados na metodologia, a Figura 20 apresenta na escala log-log o grau de distribuição dos nós.

Explicita-se a presença da cauda gorda para valores maiores de citação. O valor do parâmetro estimado foi de 1,096, dentro do esperado, uma vez que há forte influência da cauda gorda na estimação dos dados.

Adotando um valor mínimo de 50 citações, o método de máxima verossimilhança, forneceu um valor estimado de 2,54 para gama.

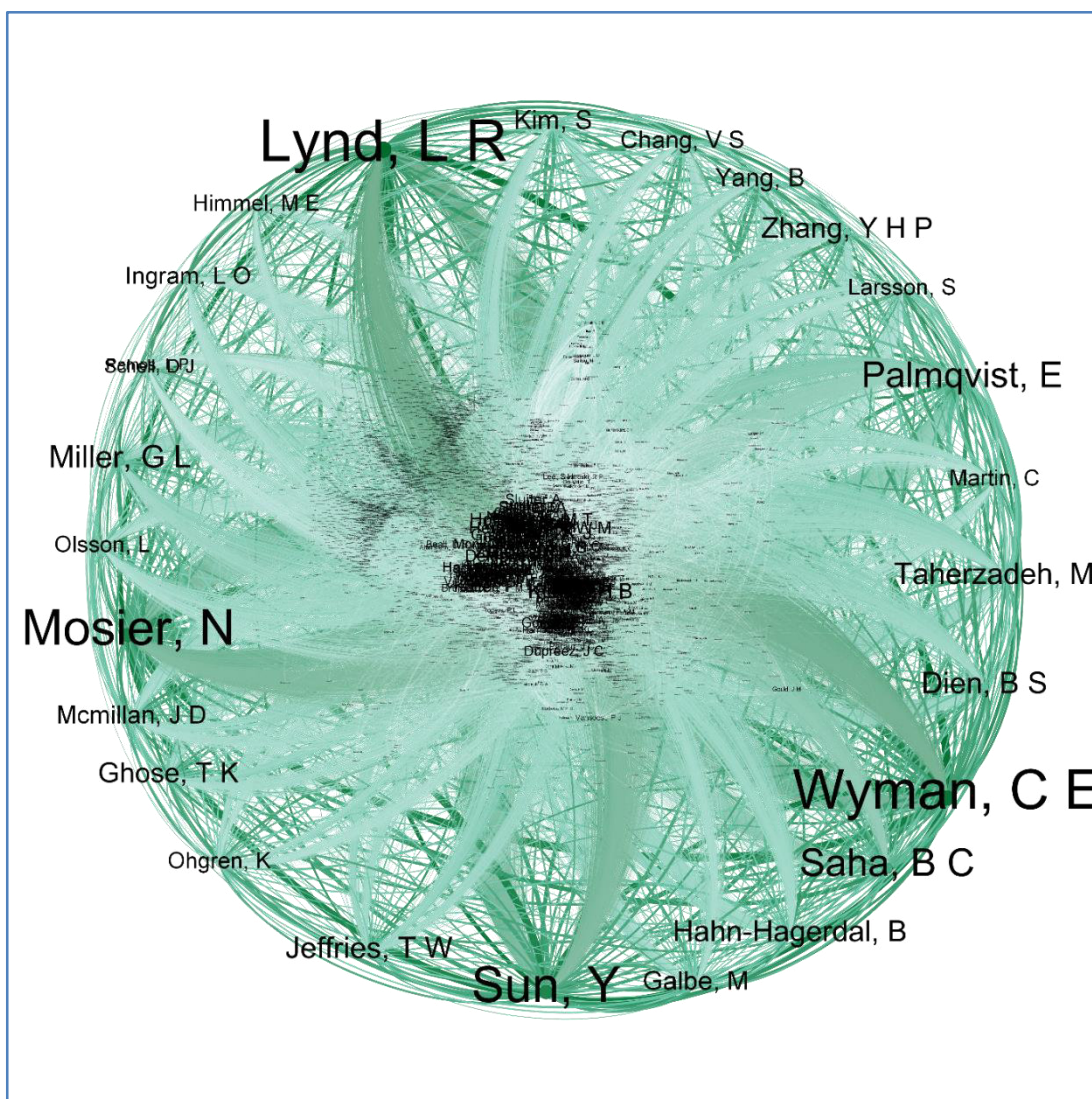


Figura 18 – Rede de Inovação de autores para publicações científicas em etanol de segunda geração, k-core=5
Fonte: Elaboração do autor a partir de ISI (2012b).

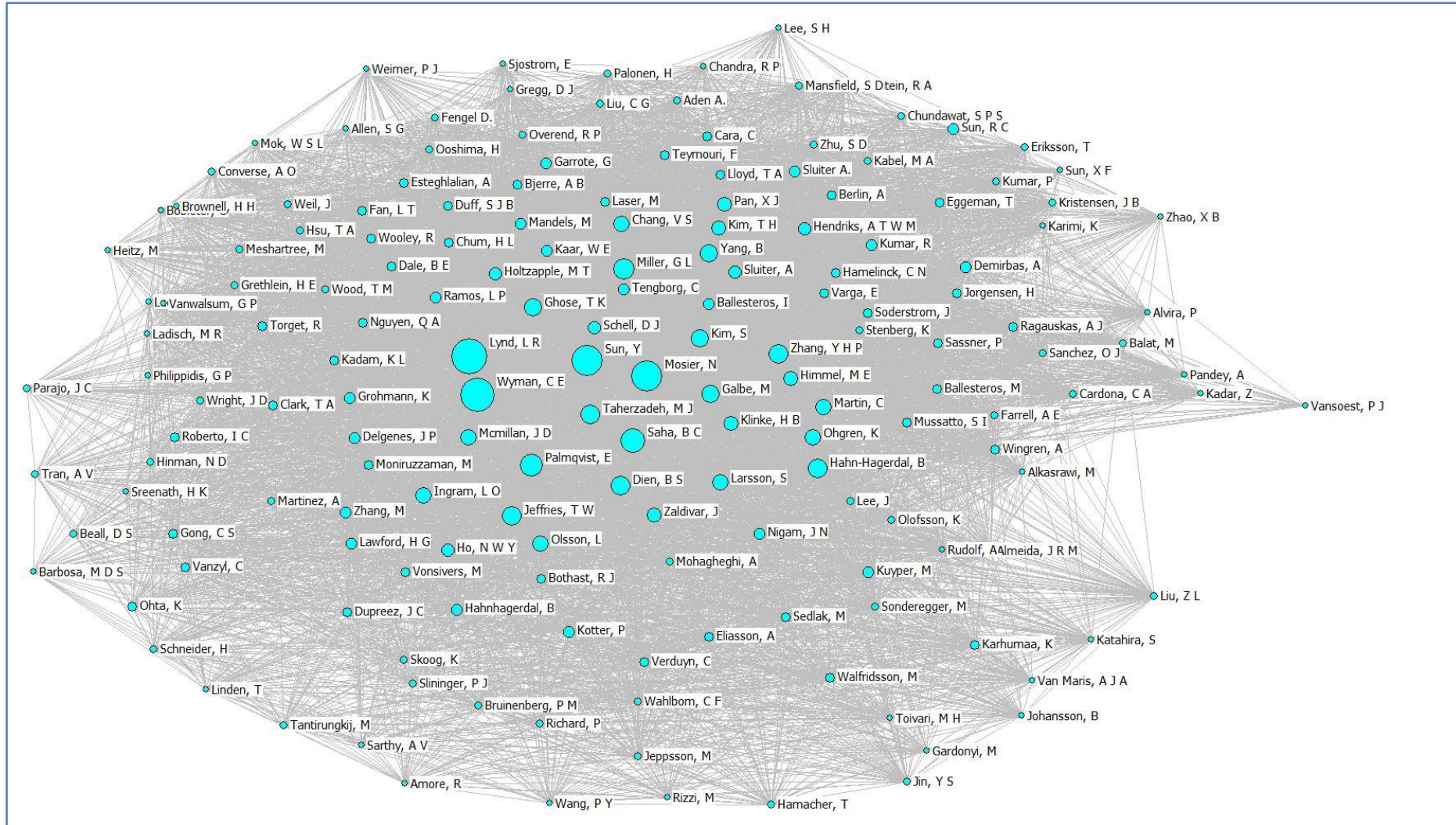


Figura 19 – Rede de Inovação de autores para publicações científicas em etanol de segunda geração: relações relativas ao grau de centralidade, $k\text{-core}=5$
 Fonte: Elaboração do autor a partir de ISI (2012b).
 Obs: Grau de centralidade maior ou igual a 100.

Assim, conclui-se que a Rede de Inovação é do tipo *scale-free* com presença de *preferential attachment* na cauda gorda. Estes valores corroboram os trabalhos de Barabási et al (2002) e Wagner e Leydesdorff (2005), entretanto em uma escala mais específica, uma rede de etanol de segunda geração.

Estas observações implicam que a rede em questão é do tipo celebridade, ou seja, os autores escolhem pesquisar com uma instituição ou outra por interesse, recompensas futuras, ou possibilidades de novos trabalhos. Tais fatos devem ser atentados aos formadores de política ao decidirem atuar no SNI em etanol de segunda geração. Em específico a baixa participação do Brasil entre os principais autores, indica que não há presença de um autor famoso para os processos de etanol de segunda geração. Se a tecnologia não for dependente diretamente do conhecimento gerado nas universidades e institutos tal fato é minimizado. Mas, se as patentes efetivas vierem das parcerias institucionais, aqueles ligados aos autores seminais terão vantagem adicional que outros não terão.

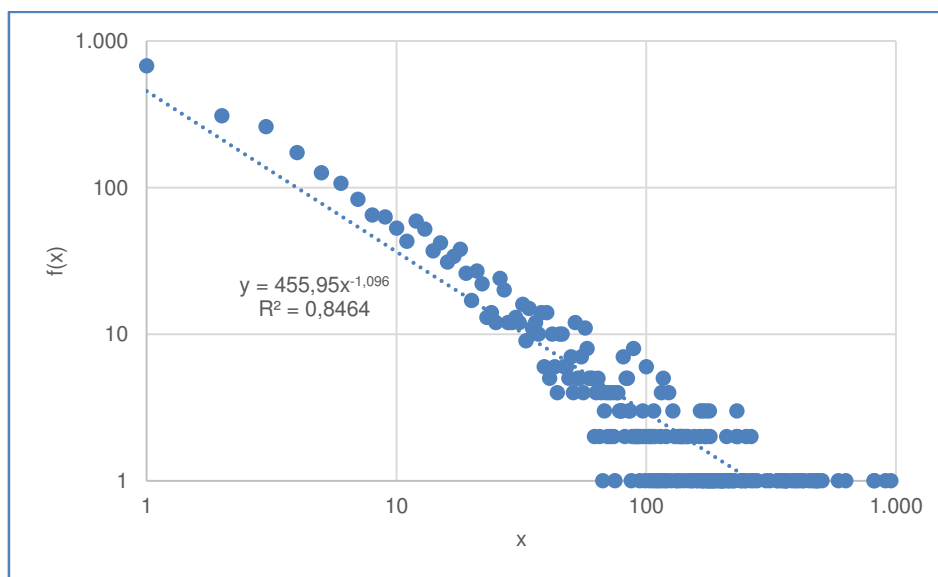


Figura 20 – Distribuição de grau dos dados e estimativa da função potência para co-ocorrência de autores na Rede de Inovação no mundo em etanol de segunda geração
Fonte: Elaboração do autor a partir de ISI (2012b).

A Figura 21 exibe os indicadores dos nós da Rede de Inovação para a co-ocorrência dos autores.

Os dados corroboram as análises anteriores, isto é, alguns autores possuem alta centralidade de grau, rede de celebridades, mas a intermediação é maior para alguns apenas. Ou seja, exceto os principais autores, as celebridades, os outros realizam trabalhos concorrentes e portanto não se citam mutuamente.

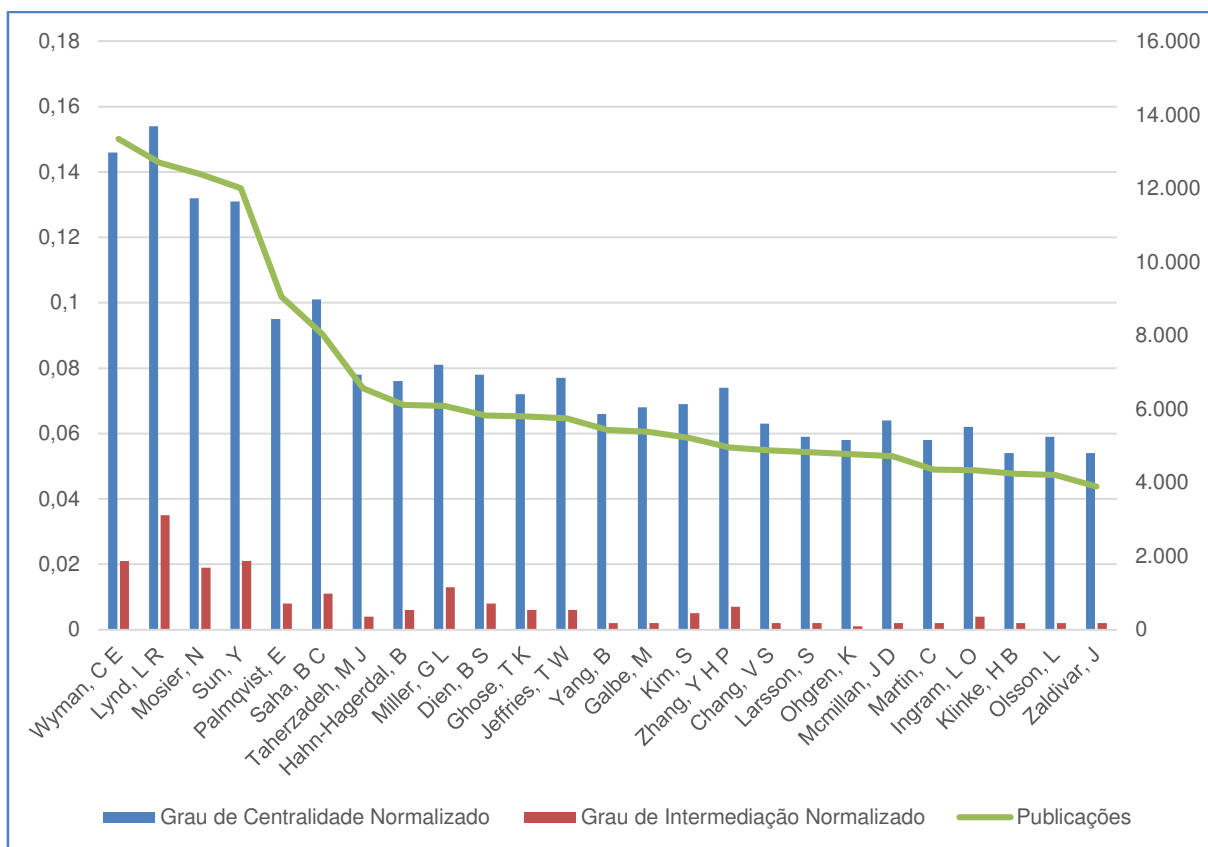


Figura 21 – Indicadores dos nós da Rede de Inovação para a co-ocorrência dos autores em etanol de segunda geração

Fonte: Elaboração do autor a partir de ISI (2012b).

Conclui-se que as Redes de Inovação em etanol de segunda geração revelam informações importantes sobre o estado atual da tecnologia e a importância das parcerias entre países e instituições. Esforços devem ser realizados mediante os gargalos já destacados.

Para analisar a posição do Brasil, e portanto, do grau de desenvolvimento do SNI brasileiro, a próxima seção apresenta a análise com recorte para o Brasil, incluindo o mesmo na análise.

7.1.2 Redes de Inovação em etanol de segunda geração: Brasil

Como descrito no capítulo anterior o grau de desenvolvimento do SNI em etanol de segunda geração no Brasil está atrelado à forma como este está inserido nas pesquisas mundiais sobre o tema.

A Figura 22 e Figura 23 apresentam a Rede de Inovação para os países com base nas publicações científicas brasileiras ou que tenham alguma parceria com o Brasil. Verifica-se que em termos de colaboração científica os Estados Unidos, Portugal, França, Itália e Alemanha destacam-se ante os demais. Entretanto, o peso da participação destes é muito pequena, uma vez que aparece apenas os países os quais o Brasil possui alguma colaboração, e destes, há um pequeno número se comparado com a Rede de Inovação para todos os países em etanol de segunda geração.

A Tabela 19 apresenta os indicadores da Rede de Inovação para países com base nas publicações científicas dos quais há relação com o Brasil. A centralidade média foi de 0,02538 (2,538%). Este valor é considerado baixo pois para a rede de publicações não se espera que todos os países possuam relação com todos, ou seja, todos sendo centrais. Mas verifica-se que o Brasil é central e os outros países periféricos.

Tabela 19 – Indicadores da Rede de Inovação entre países no Brasil em etanol de segunda geração

Indicador	Valor
Grau de Centralidade Média	2,538
Densidade Média	0,102
Distância Geodésica Média	1,898

Fonte: Elaboração do autor a partir de ISI (2012b).

A densidade média mede a proporção de vínculos que ocorrem entre países em relação a todos os vínculos possíveis. Uma rede perfeitamente conectada é chamada de clique e tem densidade igual a 1. Neste caso a densidade mostrou ser de 0,102 ou seja baixa-média, como esperado.

A distância geodésica no valor de 1,898 mostra que os países estão muito próximos, fato que corrobora o efeito *small world*, e reflete o baixo número de relações entre países.



Figura 22 – Rede de Inovação de países para publicações científicas no Brasil em etanol de segunda geração
Fonte: Elaboração do autor a partir de ISI (2012b).

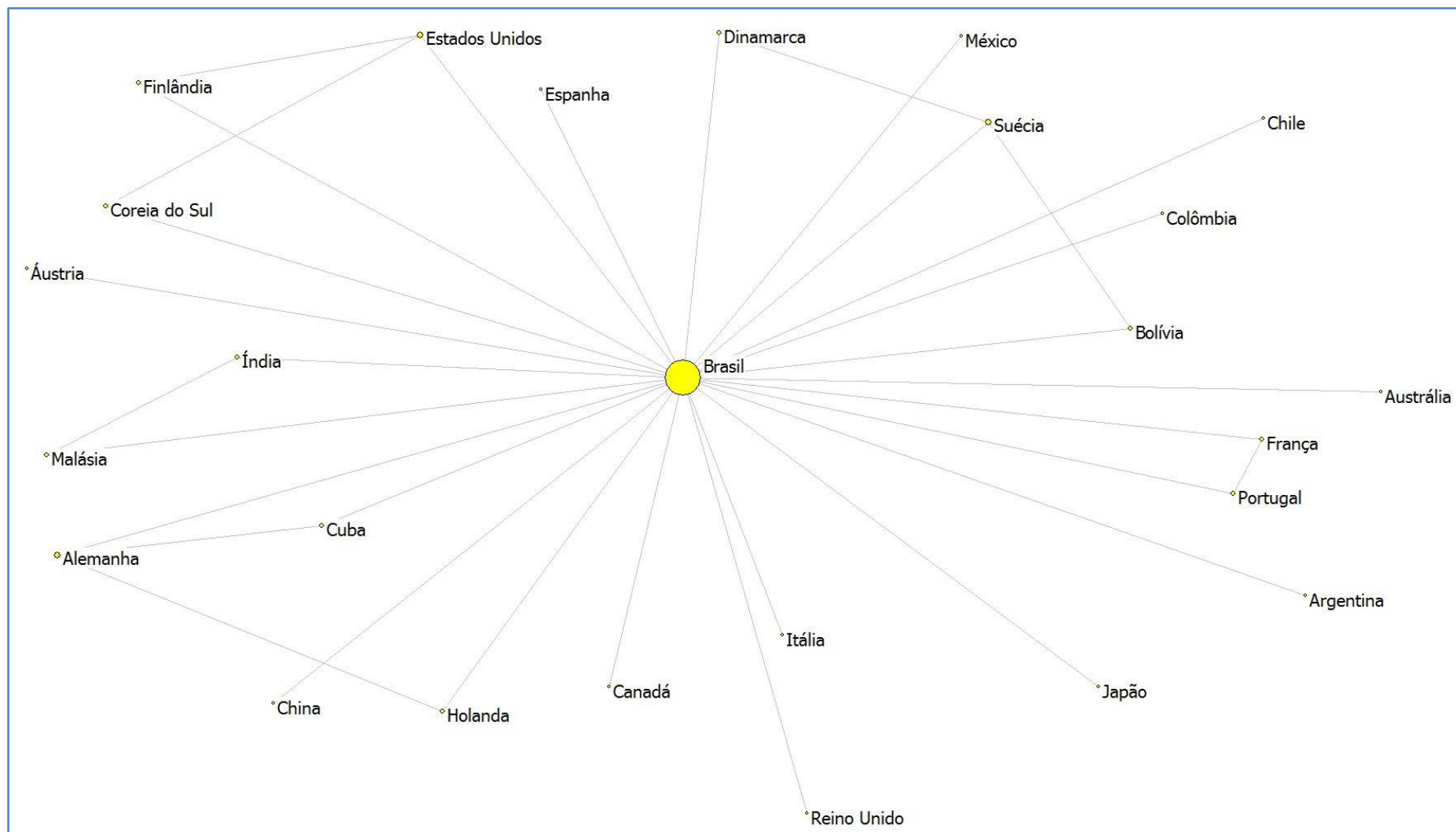


Figura 23 – Rede de Inovação de países para publicações científicas no Brasil em etanol de segunda geração: relações relativas ao grau de centralidade
 Fonte: Elaboração do autor a partir de ISI (2012b).

A Figura 24 exibe os indicadores dos nós da Rede de Inovação.

Excluindo o Brasil, este possui relações com poucos países com baixo grau de intermediação normalizado e em comparação ao grau de centralidade.

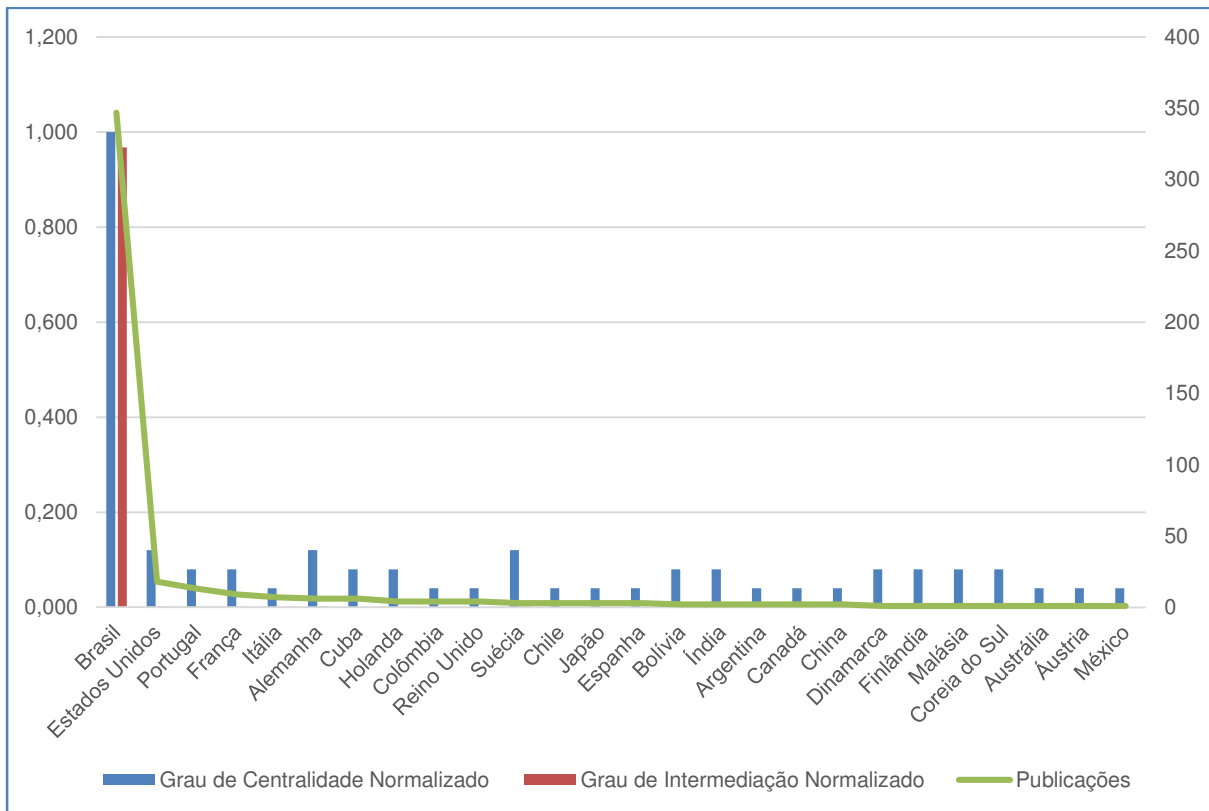


Figura 24 – Indicadores dos nós da Rede de Inovação para países no Brasil em etanol de segunda geração

Fonte: Elaboração do autor a partir de ISI (2012b).

A Figura 25 e Figura 26 apresentam a Rede de Inovação para as instituições de pesquisa e empresas com base nas publicações científicas no Brasil. Verifica-se que em termos de colaboração científica a USP é central, seguido pela Unicamp, Unesp, UFSCar, UFRJ, CNPEM, EMBRAPA e UFPE. Não há parcerias estrangeiras relevantes nas publicações científicas.

A centralidade da USP tanto na Rede de Inovação global quanto na do Brasil ressalta a necessidade de esforços em busca de maior número de parcerias entre instituições, tanto interna quanto externas. Há a necessidade de considerar que a posição de destaque da USP deve-se em parte ao know-how acumulado através de anos de pesquisa. Mas em vista do desenvolvimento do SNI no Brasil há a necessidade de maior número de relações com outras instituições e com menor centralidade.

A Unicamp mostra-se como ator relevante para instrumentos de política, dada a sua baixa centralidade e posição em 2º na rede brasileira e 26º na rede global.

A Tabela 20 apresenta os indicadores da Rede de Inovação para as instituições com base nas publicações científicas com relação com o Brasil. A centralidade média foi de 0,04024 (4,024%). Este valor é considerado baixo pois para a rede de publicações não se espera que todos as instituições possuam relação com todas as outras, ou seja, todos sendo centrais. Mas a predominância da USP como ator central na rede indica *preferential attachment*, em específico para essa universidade.

Tabela 20 – Indicadores da rede local brasileira de publicações científicas entre instituições em etanol de segunda geração

Indicador	Valor
Grau de Centralidade Média	4,024
Densidade Média	0,024
Distância Geodésica Média	2,754

Fonte: Elaboração do autor a partir de ISI (2012b).

A densidade média mede a proporção de vínculos que ocorrem entre instituições em relação a todos os vínculos possíveis. Neste caso a densidade mostrou ser de 0,024 ou seja baixa, mas maior que o esperado. As instituições que possuem relação com o Brasil apresentam maior coesão do que a rede global (0,002). Ou seja, os esforços, mesmo que em menor peso, ocorrem através de parcerias internas e não internacionais com destaque para a centralidade da USP como intermediador. Há indício de fenômeno *scale-free*.

A distância geodésica no valor de 2,754 mostra que as instituições estão em médias separadas por 3 instituições, ou seja, ao relacionar-se com uma instituição a probabilidade de estar conectado com a maioria dos grupos é alta, tal fato corrobora o efeito *small world*, que era esperado.

A Figura 27 exhibe os indicadores dos nós da Rede de Inovação.

As análises corroboram os fatos descritos anteriormente, a USP possui o maior grau de centralidade e de intermediação. Tal fato reflete sua posição central para o desenvolvimento das tecnologias do etanol de segunda geração. As políticas voltadas ao SNI tem de considerar essa posição da USP, tanto nacional quanto global,

com objetivo de adensar as relações, e portanto, difundir conhecimento entre outras instituições brasileiras e mesmo internacionais.

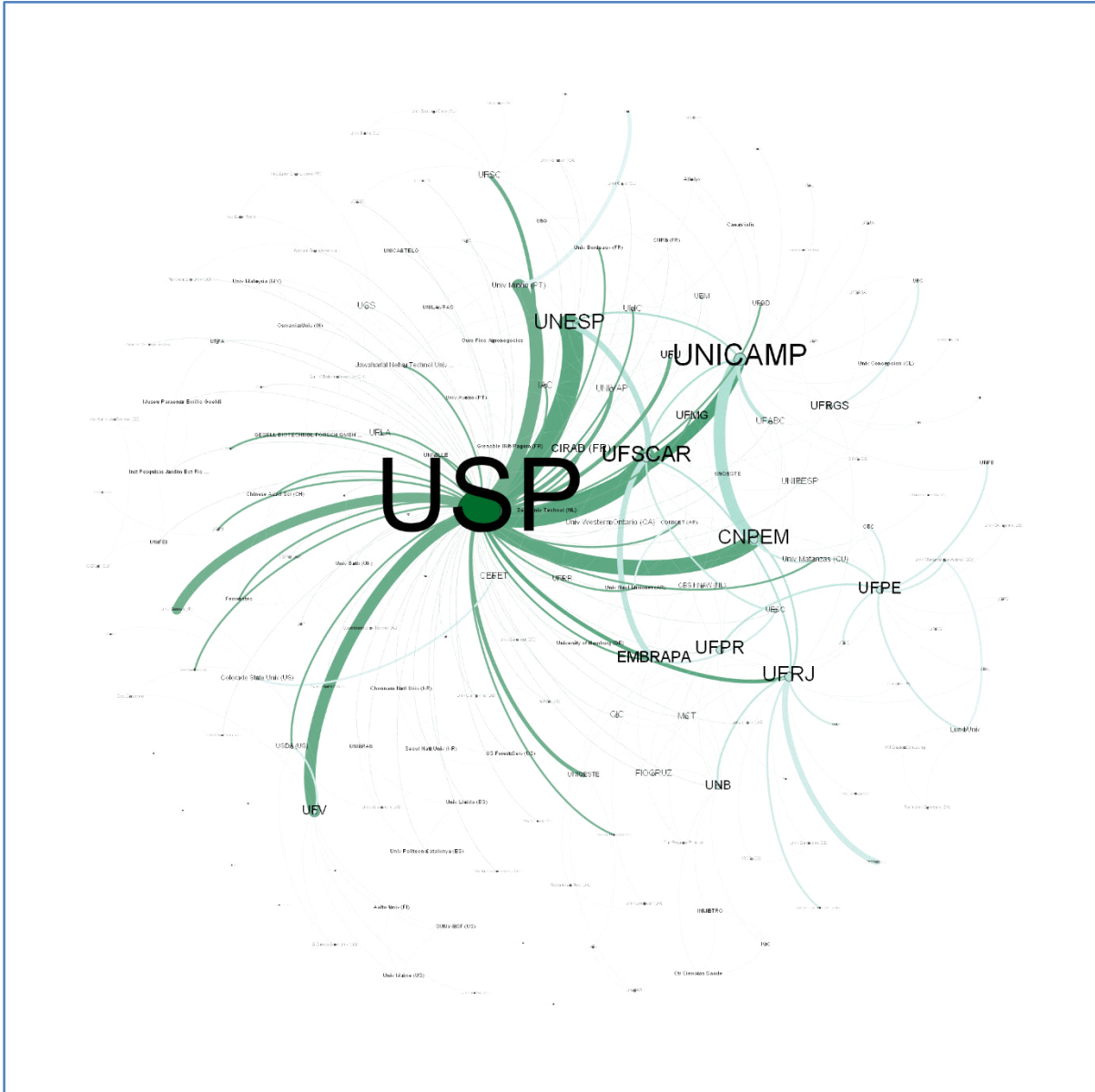


Figura 25 – Rede de Inovação de instituições para publicações científicas no Brasil em etanol de segunda geração

Fonte: Elaboração do autor a partir de ISI (2012b).

Entre as principais instituições apenas quatro são estrangeiras: Universidade o Minho (Portugal), Universidade de Genova (Itália), CIRAD (França) e Universidad Matanzas (Cuba).

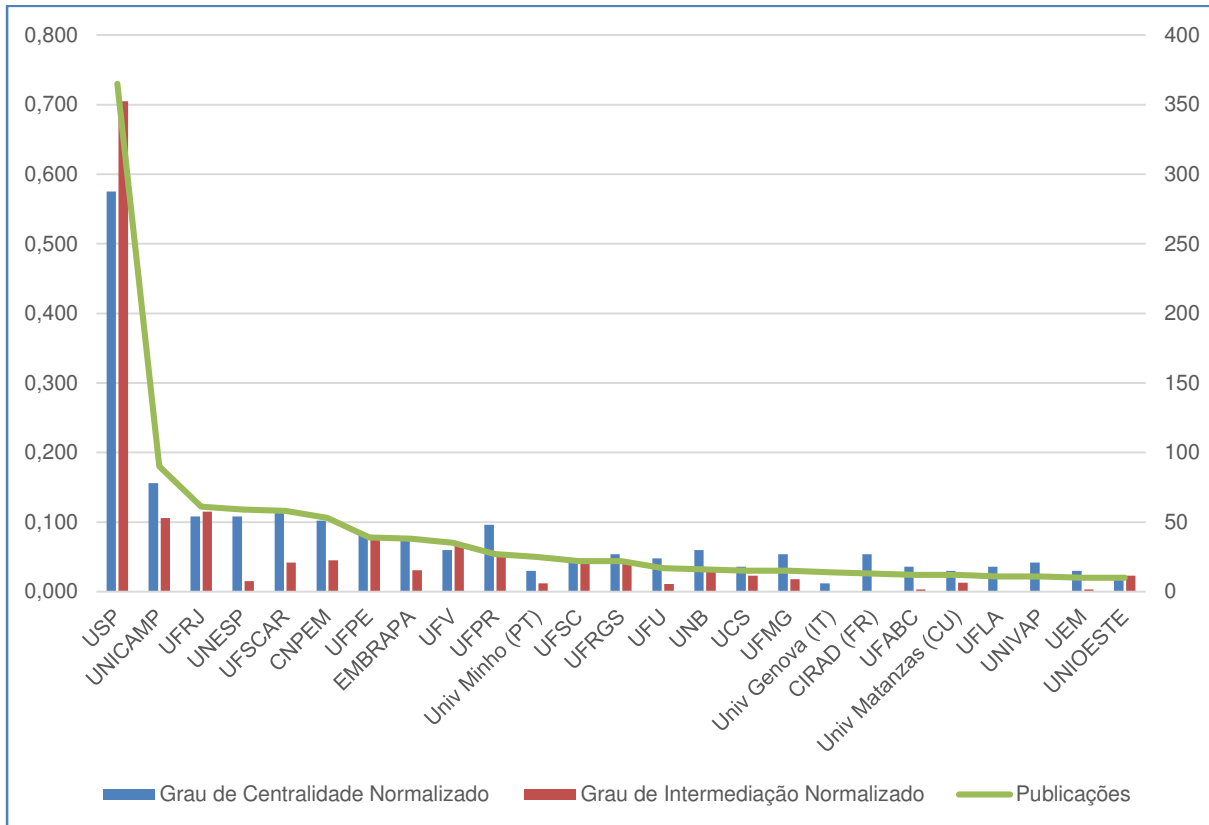


Figura 27 – Indicadores dos nós da Rede de Inovação para as instituições no Brasil em etanol de segunda geração

Fonte: Elaboração do autor a partir de ISI (2012b).

A Figura 27 e Figura 28 apresentam a Rede de Inovação para as *KeyWords Plus* com base nas publicações científicas para o Brasil. Verifica-se que em termos de áreas das pesquisas em etanol de segunda geração há destaque para Fermentação, Etanol e Produção de Etanol. Em segundo plano *Saccharomyces cerevisiae* e Pré-tratamento.

Estas informações corroboram as discussões recentes sobre a viabilidade comercial do etanol de segunda geração. O principal gargalo hoje é o processo de hidrólise já discutido anteriormente. Diferente da rede global, no Brasil não há relevância do estudo da *Escherichia coli* talvez indicando que os esforços em hidrólise enzimática são pequenos.

A Tabela 21 apresenta os indicadores da Rede de Inovação para as *KeyWord Plus* com base nas publicações científicas do Brasil. A centralidade média foi de

0,14451 (14,451%). Este valor é considerado médio pois para a rede de publicações não se espera que todos as áreas do conhecimento, pulverizadas em diversos assuntos, possuam relação com todas as outras, mas que algumas seja centrais, ou seja, convergem para etanol e fermentação.

Tabela 21 – Indicadores da rede local brasileira de publicações científicas entre *KeyWord Plus* em etanol de segunda geração

Indicador	Valor
Grau de Centralidade Média	14,451
Densidade Média	0,014
Distância Geodésica Média	3,081

Fonte: Elaboração do autor a partir de ISI (2012b).

A densidade média mede a proporção de vínculos que ocorrem entre países em relação a todos os vínculos possíveis. Neste caso a densidade mostrou ser de 0,014, ou seja, baixa, como esperado. O número relativamente alto de *KeyWord Plus* fazem com que as pesquisas não sejam centralizadas nesta esfera.

A distância geodésica no valor de 3,081 mostra que as áreas de pesquisa estão em médias separadas por 3 *KeyWords Plus*, ou seja, há uma grande proximidade das áreas de pesquisa, sendo estas relevantes. Em um caso diferente, uma alta distância mostraria que não há convergência de esforços em etanol de segunda geração.

A Figura 30 exhibe os indicadores dos nós da Rede de Inovação. Os fatos já foram ressaltados na análise anterior. Entretanto, ressalta-se a Fermentação, que entre outras características está relacionada ao aparecimento da *Saccharomyces cerevisiae* (fungo), *Pichia stipitis* (fungo) *Candida guilliermondi* (fungo) mostrando que os esforços brasileiros estão nestes fungos para utilizarem como fermentação da glicose e xilose obtidas da hidrólise. Entretanto, era esperado o aparecimento mais intenso da hidrólise, em específico a enzimática. Tais fatos indicam que o Brasil não está gerando esforços suficientes nas pesquisas relacionadas a estes temas. Isso merece atenção pois os países estão competindo para desenvolverem esta tecnologia e depois comercializarem. No âmbito do SNI em etanol uma dependência externa no processo de quebra da biomassa será irreparável.

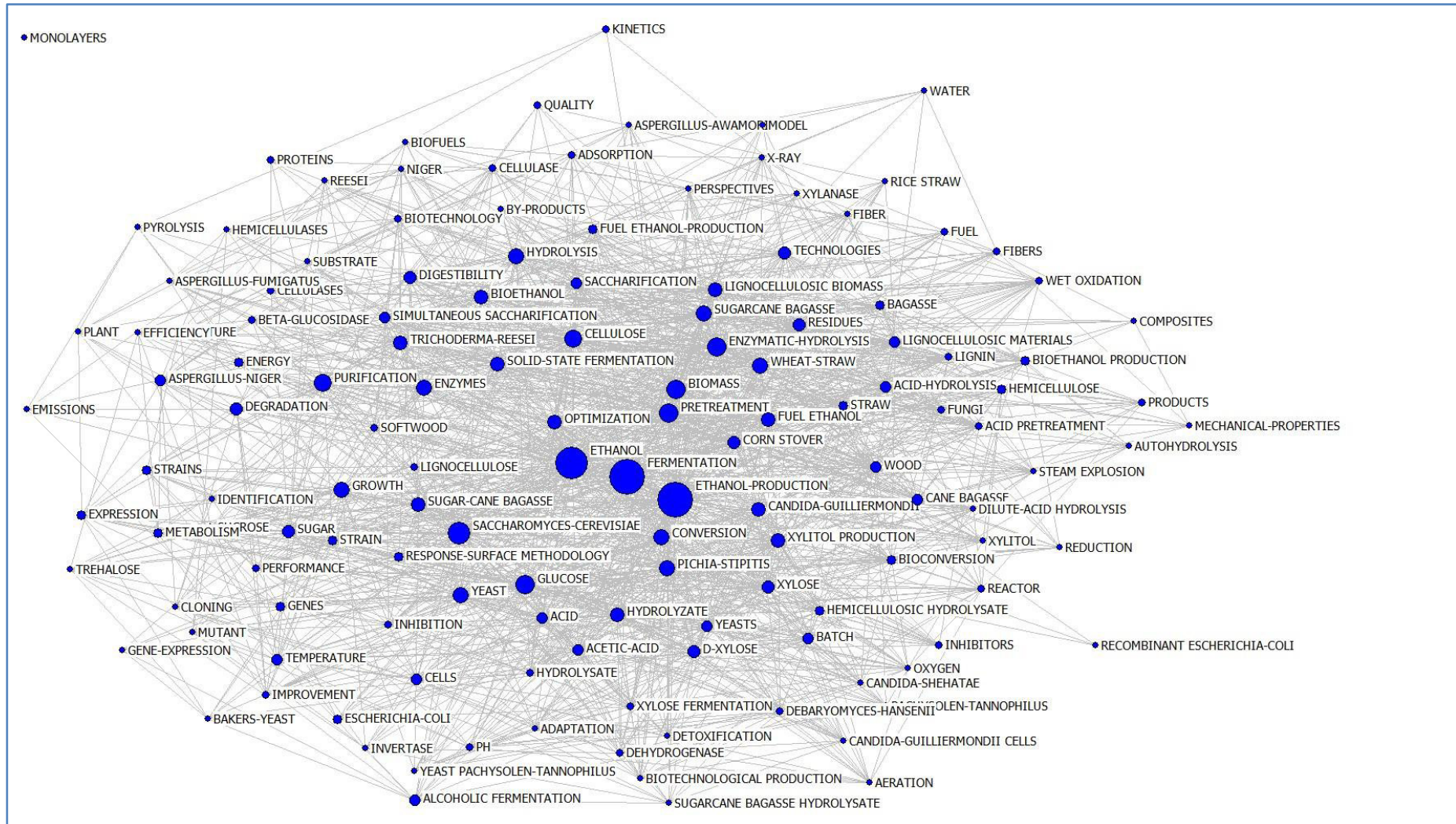


Figura 29 – Rede de Inovação de *KeyWords Plus* para publicações científicas no Brasil em etanol de segunda geração: relações relativas ao grau de centralidade

Fonte: Elaboração do autor a partir de ISI (2012b).

Obs: Grau de centralidade maior ou igual a 20.

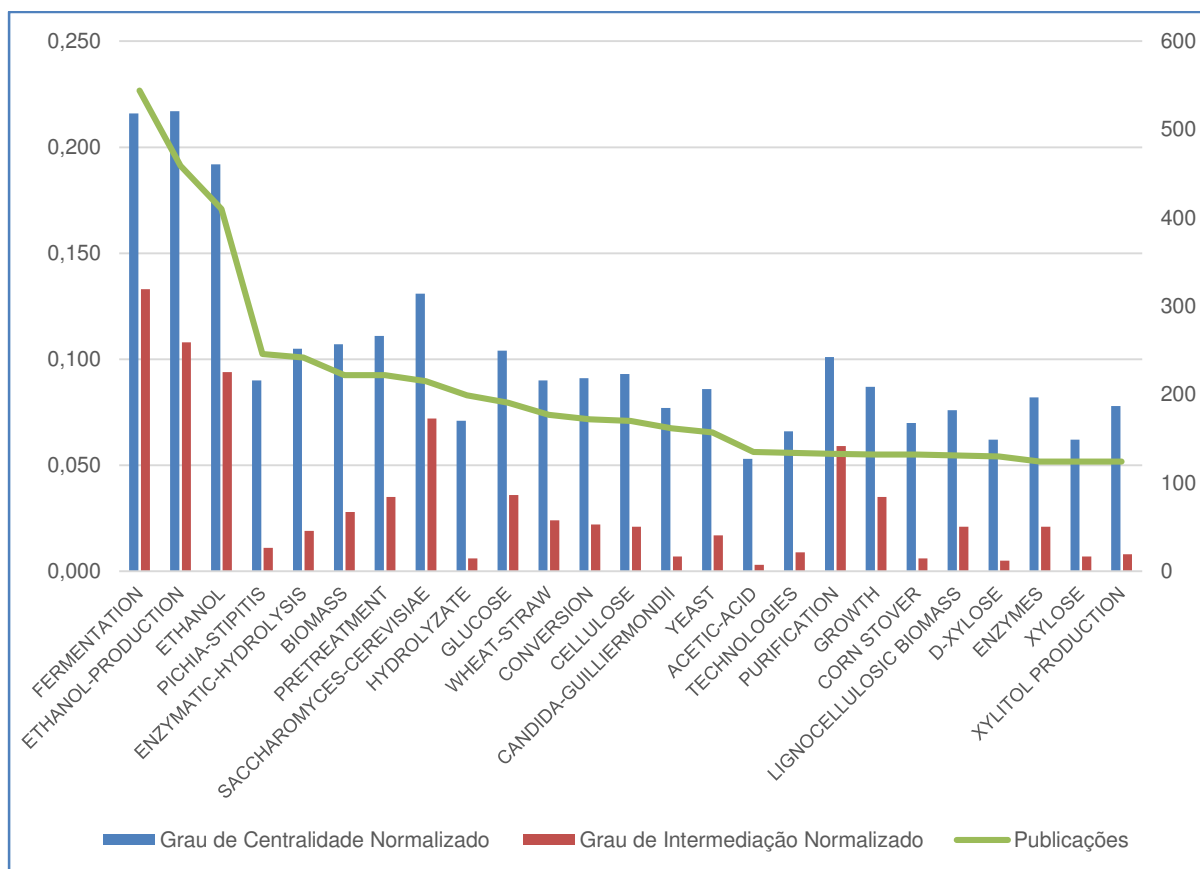


Figura 30 – Indicadores dos nós da Rede de Inovação para as *KeyWord Plus* no Brasil em etanol de segunda geração

Fonte: Elaboração do autor a partir de ISI (2012b).

A Figura 31 e Figura 32 apresentam a Rede de Inovação para os autores através co-ocorrência destes nas publicações científicas para o Brasil. Verifica-se que em termos de colaboração científica os quatro autores com maior grau de centralidade são:

- Ashok Pandey – Professor da Divisão de Biotecnologia – CSIR, National Institute for Interdisciplinary Science and Technology - Índia;
- Miller, G L; - Artigo seminal de 1959 - Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar.
- Charles Wyman – Professor de Engenharia Química e Ambiental – University of California Riverside – Estados Unidos;
- Ghose, T K. - Artigo seminal de 1979 - Rapid ethanol fermentation of cellulose hydrolysate.

Conclui-se que o estado da arte em etanol de segunda geração para as publicações brasileiras não estão baseadas em artigos voltados aos processos de obtenção do etanol de segunda geração, em específico a hidrólise enzimática. Indica

que os artigos possuem alta relação com publicações de 1959 e 1979. Outro fator é que em relação aos autores brasileiros, o que possui o maior grau de centralidade ocupa a sexta posição. Não foi possível determinar o vínculo institucional de dois autores. Há possibilidade de não mais atuarem profissionalmente.

A Tabela 22 apresenta os indicadores da Rede de Inovação para os autores com base na co-ocorrência nas publicações científicas para o Brasil. A centralidade média foi de 0,57999 (57,999%). Este valor é considerado alto pois para a rede de publicações não se espera que todos os autores possuam relação com todos os outros, ou seja, todos sendo centrais. Há indício de maior centralidade de temas desenvolvidos e pouca diversificação e transbordamento para outras áreas.

Tabela 22 – Indicadores da Rede de Inovação para a co-ocorrência de autores no Brasil em etanol de segunda geração

Indicador	Valor
Grau de Centralidade Média	57,999
Densidade Média	0,009
Distância Geodésica Média	3,026

Fonte: Elaboração do autor a partir de ISI (2012b).

A densidade média mede a proporção de vínculos que ocorrem entre autores em relação a todos os vínculos possíveis. Neste caso a densidade mostrou ser de 0,009, ou seja, baixa, como esperado. O número relativamente alto de autores fazem com que as pesquisas não dependam de um autor específico. Mas em conjunto com a centralidade alta indicam a presença de *preferential attachment*. Ou seja, autores mais experientes na área possuindo alto número de citações.

A distância geodésica no valor de 3,026 mostra que as colaborações entre autores estão em médias separadas por 3 pessoas, ou seja, colaborar é importante nesta rede. Tal fato corrobora o efeito *small world*, que era esperado.

Para verificar a presença de *preferential attachment*, neste caso, a literatura sugere analisar a distribuição de grau da rede.

Como explicitados na metodologia, a Figura 33 apresenta na escala log-log o grau de distribuição dos nós.

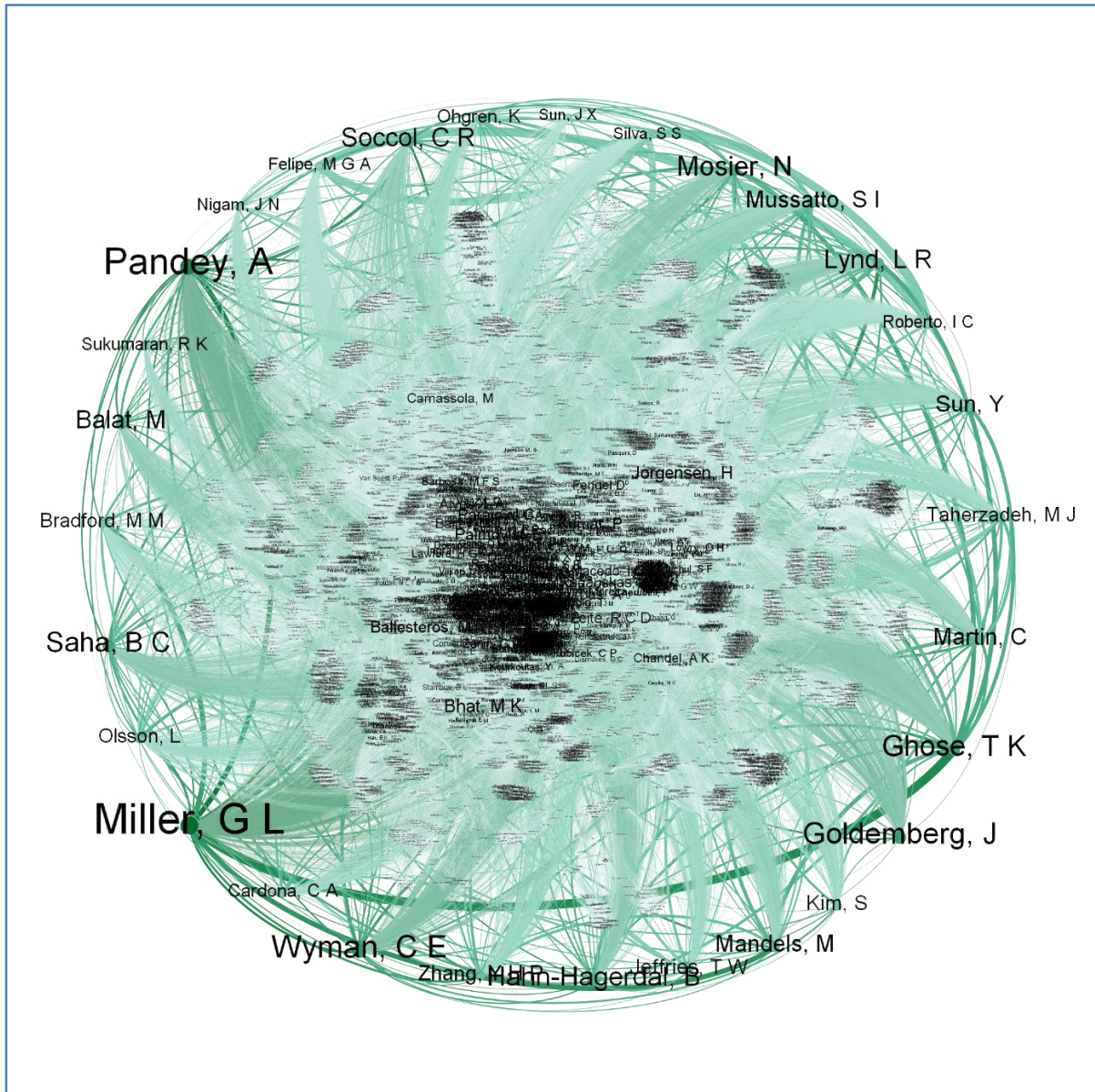


Figura 31 – Rede de Inovação de autores para publicações científicas no Brasil em etanol de segunda geração

Fonte: Elaboração do autor a partir de ISI (2012b).

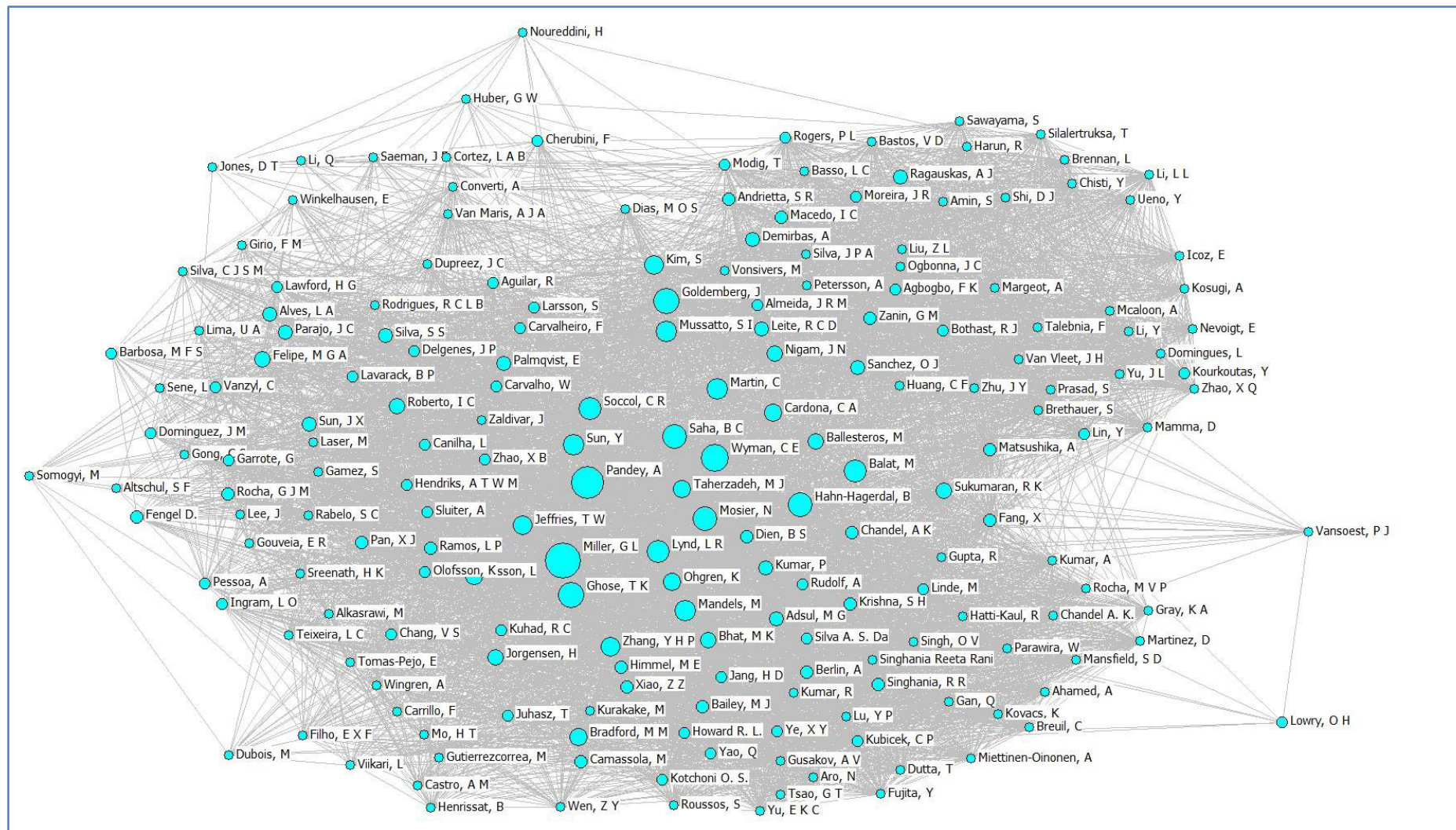


Figura 32 – Rede de Inovação de autores para publicações científicas no Brasil em etanol de segunda geração: relações relativas ao grau de centralidade

Fonte: Elaboração do autor a partir de ISI (2012b).

Obs: Grau de centralidade maior ou igual a 200.

Explicita-se a presença da cauda corda para valores maiores de citação. O valor do parâmetro estimado foi de 1,163, dentro do esperado, uma vez que há forte influência da cauda gorda na estimação dos dados.

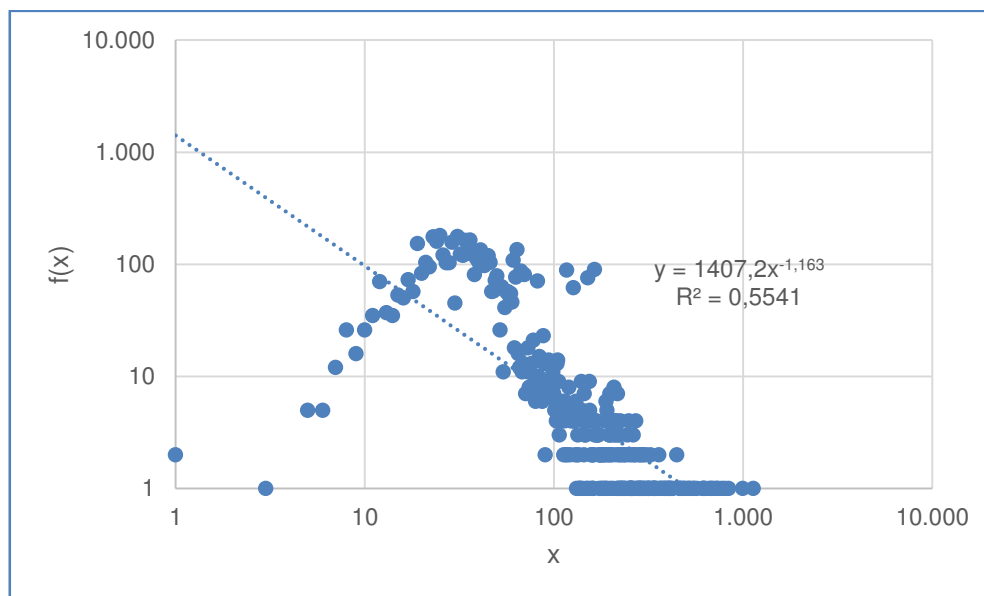


Figura 33 – Distribuição de grau dos dados e estimativa da função potência para co-ocorrência de autores na Rede de Inovação no Brasil em etanol de segunda geração
Fonte: Elaboração do autor a partir de ISI (2012b).

Adotando um valor mínimo de 50 citações, o método de máxima verossimilhança, forneceu um valor estimado de 2,01 para gama. Assim, conclui-se que a Rede de Inovação é do tipo *scale-free* com presença de *preferential attachment* na gauda gorda. Estes valores corroboram os trabalhos de Barabási et al (2002) e Wagner e Leydesdorff (2005), entretanto em uma escala mais específica, uma rede de etanol de segunda geração.

A parte inicial do gráfico indica um efeito do tipo gancho, como verificado em Wagner e Leydesdorff (2005). Mostra a entrada de novos pesquisadores ou mesmo os que estão mudando de área. A cauda gorda indica os pesquisadores em fim de carreira. No meio estão os autores em competição por status.

Estas observações implicam que a rede em questão é do tipo celebridade, ou seja, os autores escolhem pesquisar em co-autoria, recompensas futuras, ou possibilidades de novos trabalhos. Tais fatos devem ser atentados aos formadores de política ao decidirem atuar no SNI em etanol de segunda geração.

Em específico ressalta a baixa participação do Brasil entres os principais autores e uma literatura não alinhada com a global. Os processos estão focados em

fermentação e não na hidrólise. Ressalta-se que uma possível dependência externa de tecnologia pode tornar-se realidade caso não sejam mudados os esforços nas pesquisas.

A Figura 34 exibe os indicadores dos nós da Rede de Inovação.

Os dados corroboram as análises anteriores, isto é, alguns autores possuem alta centralidade de grau, rede de celebridades, mas a intermediação é maior para alguns apenas. Ou seja, exceto os principais autores, as celebridades, os outros realizam trabalhos concorrentes e portanto não se citam mutuamente.

Verifica-se que os atores principais da rede global estão inseridos na escala brasileira mas com exceção do professor Wyman, os outros ocupam posições de menor destaque na rede.

Com as informações geradas até o presente momento verifica-se o grau de inserção do Brasil. Entretanto, no âmbito do desenvolvimento, a próxima seção apresenta o caso americano para gerar um *benchmarking* da análise.

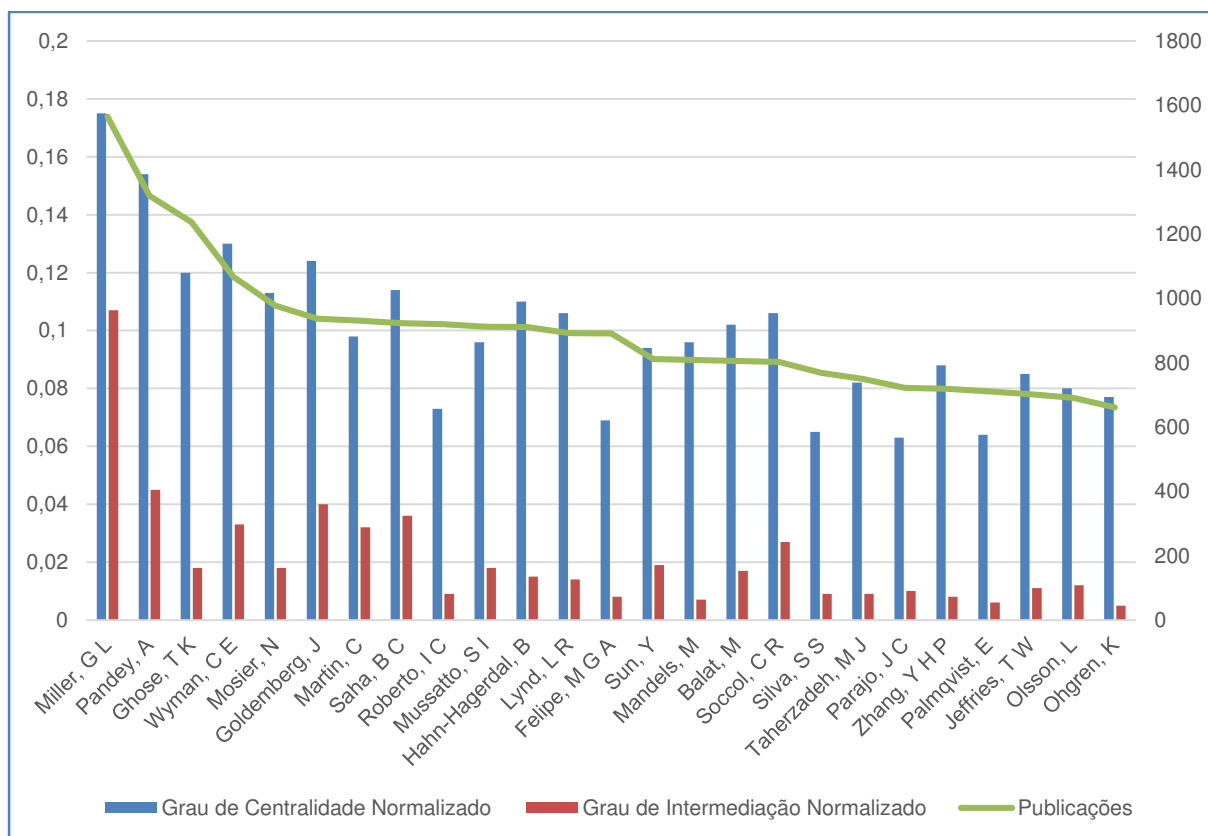


Figura 34 – Indicadores dos nós da Rede de Inovação para a co-ocorrência dos autores no Brasil em etanol de segunda geração

Fonte: Elaboração do autor a partir de ISI (2012b).

7.1.3 Redes de Inovação em etanol de segunda geração: Estados Unidos

Como descrito na seção anterior, é relevante não apenas saber as relações no âmbito global e a do Brasil, mas comparar esse caso com o de referência pode revelar os gargalos que o SNI em etanol de segunda geração apresenta.

A Figura 35 e Figura 36 apresentam a Rede de Inovação para os países com base nas publicações científicas dos Estados Unidos. Verifica-se que em termos de colaboração científica os Estados Unidos colaboram diretamente com China, Canadá, Coreia do Sul, Alemanha, Reino Unido e Brasil. A posição do Canadá é devido a sua proximidade geográfica, língua, acordos, etc. A presença da China e Coreia do Sul ressaltam a preocupação energética de ambos, mas no segundo caso, principalmente na obtenção das tecnologias pra etanol de segunda geração.

A Tabela 23 apresenta os indicadores da Rede de Inovação para países com base nas publicações científicas dos Estados Unidos. A centralidade média foi de 0,04296 (4,296%). Este valor é considerado baixo pois para a rede de publicações não se espera que todos os países possuam relação com todos, ou seja, todos sendo centrais. Por causa do recorte os Estados Unidos aparecem como central. Entretanto, diferente do caso brasileiro, possui relações de parceria com mais países.

Tabela 23 – Indicadores da Rede de Inovação entre países em etanol de segunda geração

Indicador	Valor
Grau de Centralidade Média	4,296
Densidade Média	0,081
Distância Geodésica Média	1,919

Fonte: Elaboração do autor a partir de ISI (2012b).

A densidade média mede a proporção de vínculos que ocorrem entre países em relação a todos os vínculos possíveis. Uma rede perfeitamente conectada é chamada de clique e tem densidade igual a 1. Neste caso a densidade mostrou ser de 0,081 ou seja baixa, como esperado.

O indicador de densidade considerado baixo e a centralidade baixa indica existência de *preferential attachment*, mas não pode-se confirmar diretamente, necessitando da análise dos nós individuais.

A distância geodésica no valor de 1,919 mostra que os países estão muito próximos, 2 países de distância, fato que corrobora o efeito *small world*, que era esperado.

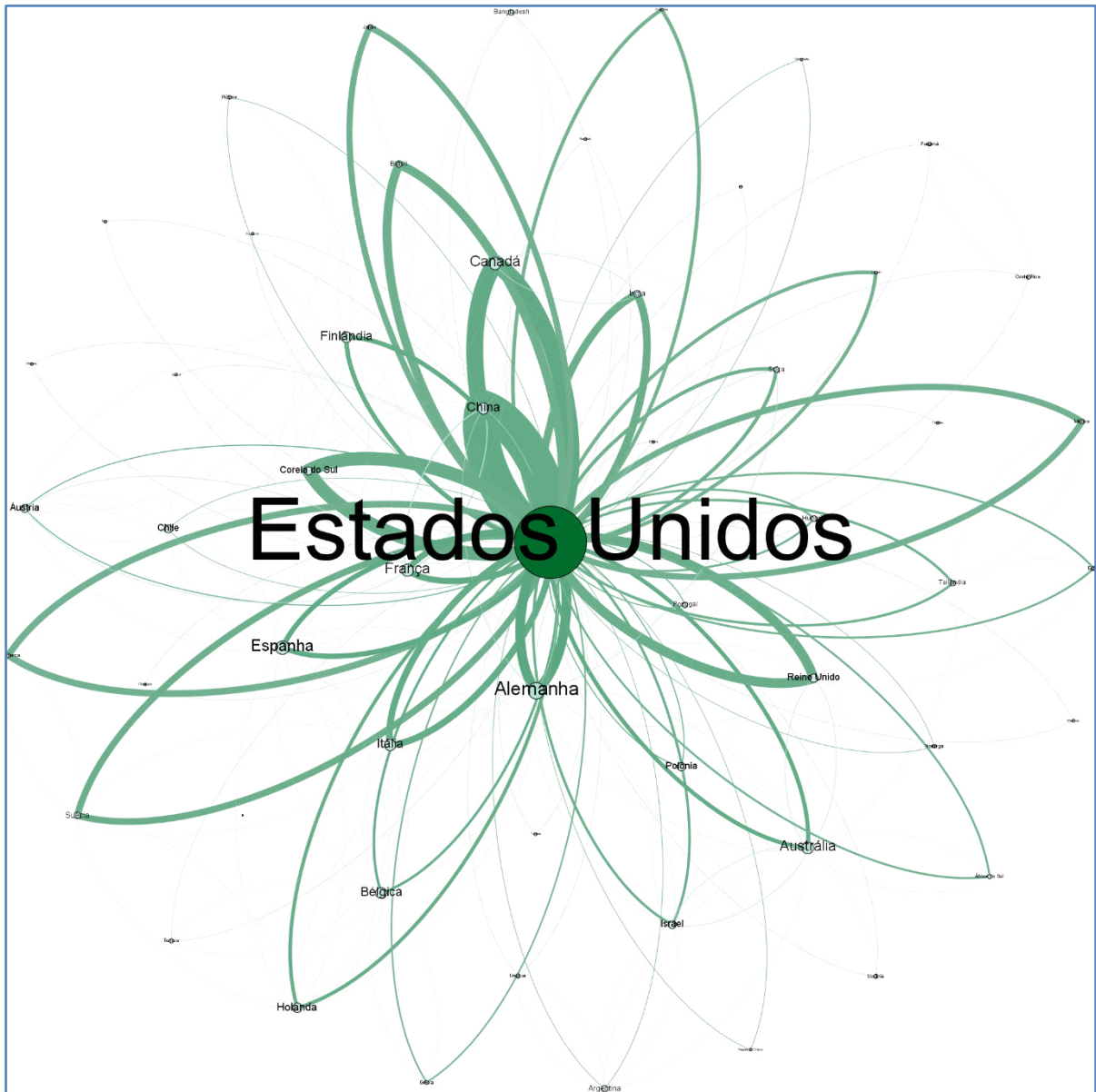


Figura 35 – Rede de Inovação de países para publicações científicas nos Estados Unidos em etanol de segunda geração
 Fonte: Elaboração do autor a partir de ISI (2012b).

A Figura 37 exibe os indicadores dos nós da Rede de Inovação.

A China apresenta-se com o maior número de publicações científicas mas, não possui o maior grau de centralidade normalizado e grau de intermediação normalizado. De fato esta posição é dada a Alemanha seguida do Canadá. Tais informações indicam que a China não tem interesse em se relacionar com outros países, apenas os Estados Unidos. Indica *preferential attachment*.

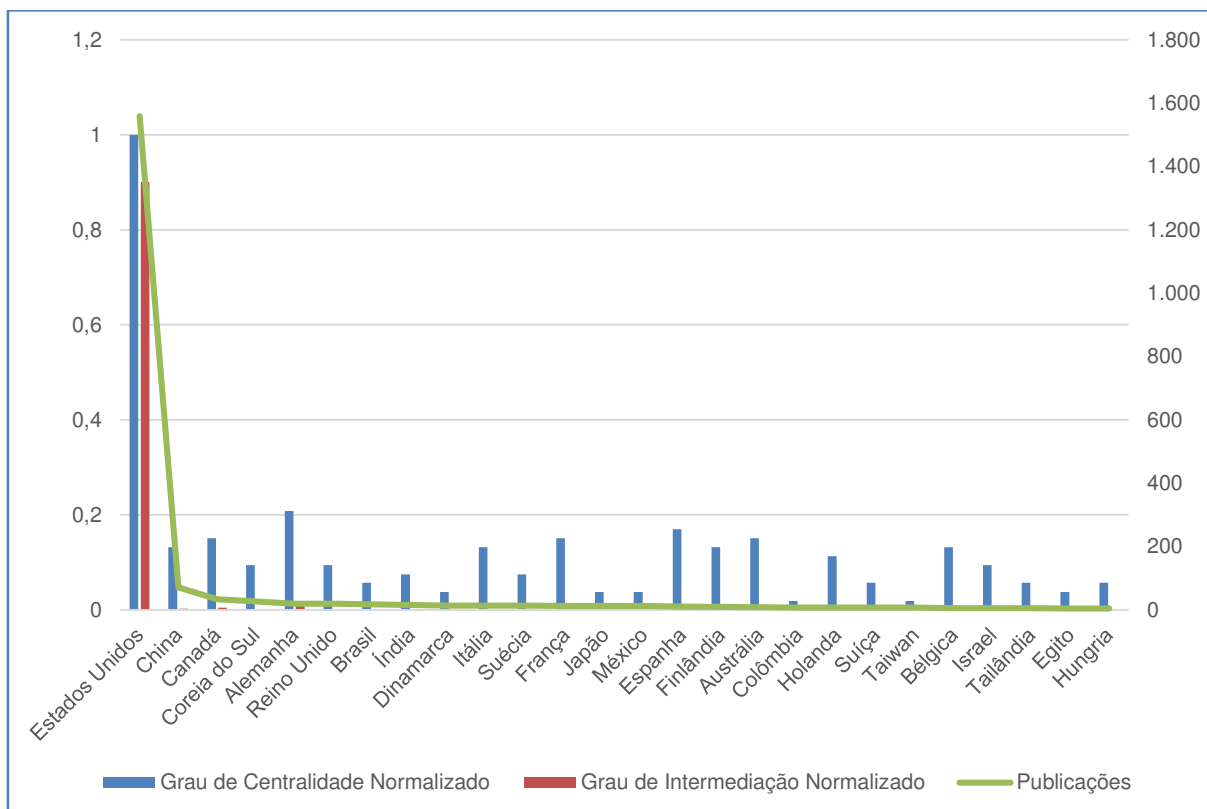


Figura 37 – Indicadores dos nós da Rede de Inovação para países nos Estados Unidos em etanol de segunda geração

Fonte: Elaboração do autor a partir de ISI (2012b).

A Figura 38 e Figura 39 apresentam a Rede de Inovação para as instituições de pesquisa e empresas com base nas publicações científicas dos Estados Unidos. Verifica-se que em termos de colaboração científica o USDA (Estados Unidos) tem predominância, seguido pela University of California (Estados Unidos), NREL (Estados Unidos) e Michigan State University (Estados Unidos).

A predominância das instituições dos Estados Unidos entre as principais instituições em etanol de segunda geração, associado ao fato que estas são as mesmas da rede global, permitem inferir que o estado da arte em etanol de segunda geração provém de universidades americanas.

A Tabela 24 apresenta os indicadores da Rede de Inovação para as instituições com base nas publicações científicas dos Estados Unidos. A centralidade média foi de 0,04627 (4,627%). Este valor é considerado baixo pois para a rede de publicações não se espera que todos as instituições possuam relação com todas as outras, ou seja, todos sendo centrais. O perfil também mostrou que há a predominância das instituições americanas no primeiro escalão de instituições, preferência pela University of California, USDA e NREL indicando um processo de *preferential attachment*.

Tais elementos mostram que em relação às parcerias institucionais, os Estados Unidos, possuem um SNI mais maduro do que o brasileiro dada a abertura em relação às parcerias institucionais e a presença americana na geração do conhecimento deste tema.

Tabela 24 – Indicadores da rede local americana de publicações científicas entre instituições em etanol de segunda geração

Indicador	Valor
Grau de Centralidade Média	4,627
Densidade Média	0,006
Distância Geodésica Média	3,524

Fonte: Elaboração do autor a partir de ISI (2012b).

A densidade média mede a proporção de vínculos que ocorrem entre países em relação a todos os vínculos possíveis. Neste caso a densidade mostrou ser de 0,006 ou seja baixa, como esperado. O número relativamente alto de instituições fazem com que as pesquisa não sejam centralizadas nesta esfera. Também espera-se que as parcerias ocorram, mas há competição, indício de fenômeno *scale-free*.

A distância geodésica no valor de 3,524 mostra que as instituições estão em médias separadas por 4 instituições, ou seja, ao relacionar-se com uma instituição, a probabilidade de estar conectado com a maioria dos grupos é alta, tal fato corrobora o efeito *small world*, que era esperado.

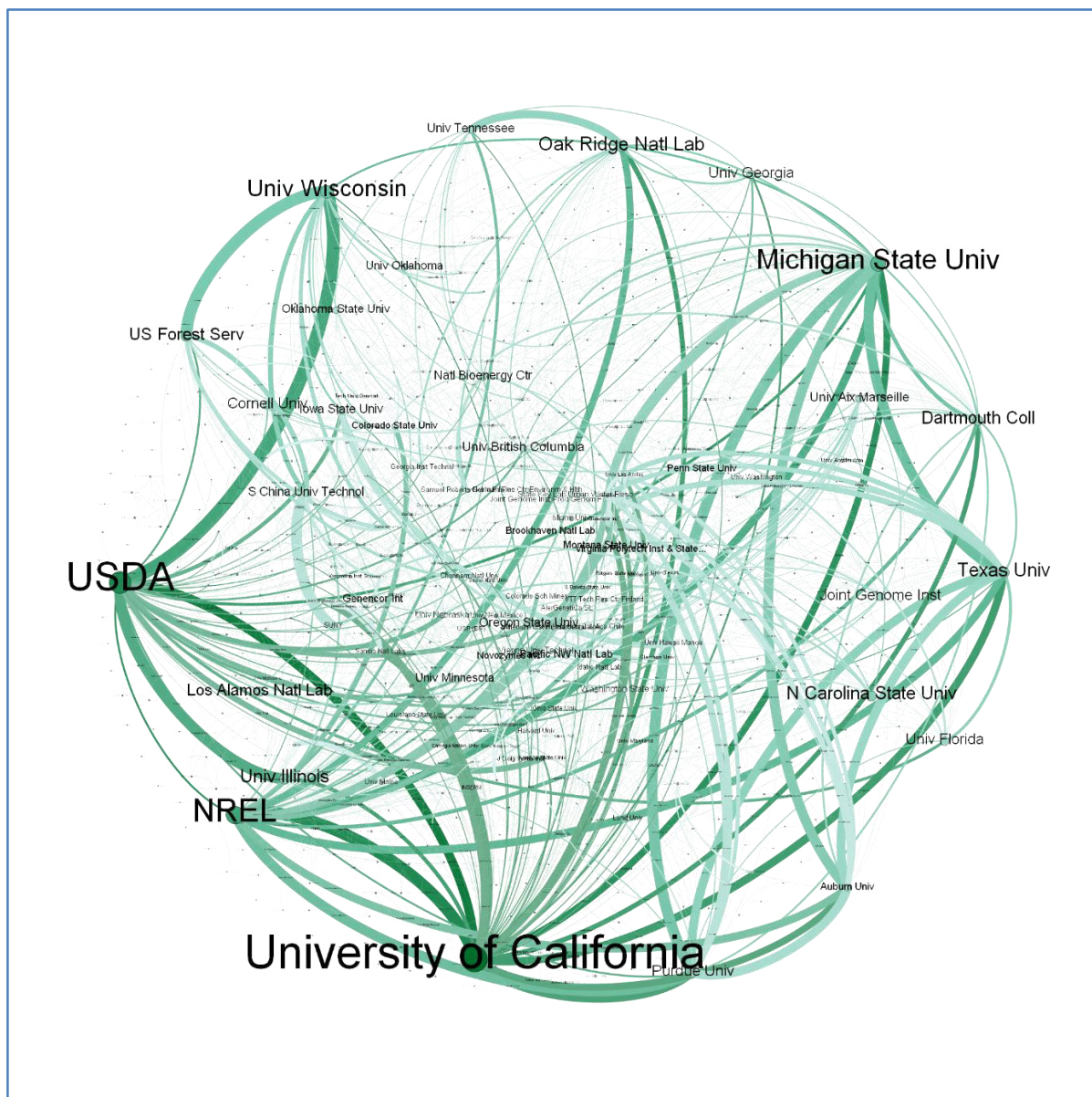


Figura 38 – Rede de Inovação de instituições para publicações científicas dos Estados Unidos em etanol de segunda geração
 Fonte: Elaboração do autor a partir de ISI (2012b).

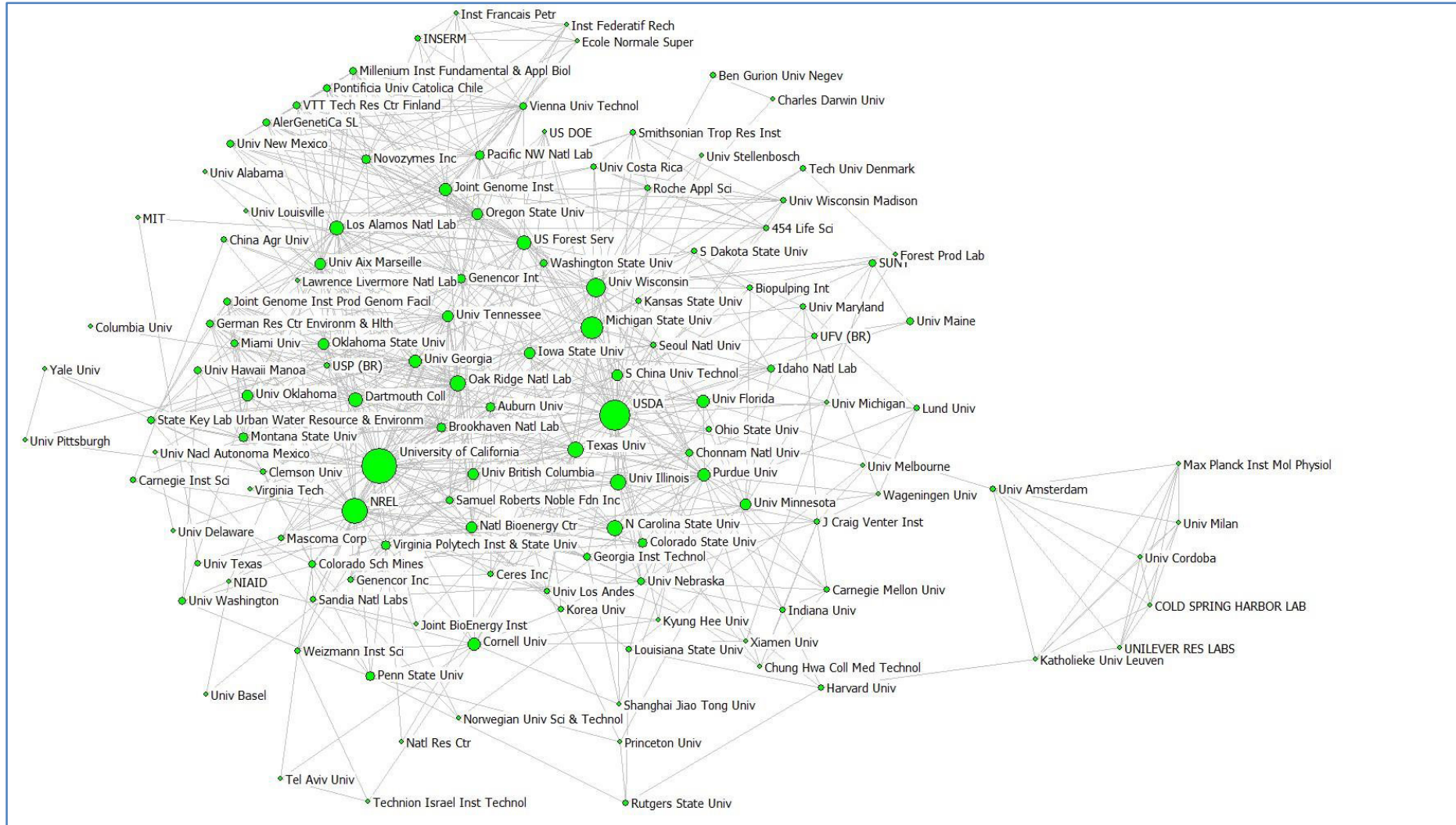


Figura 39 – Rede de Inovação de instituições para publicações científicas dos Estados Unidos em etanol de segunda geração: relações relativas ao grau de centralidade

Fonte: Elaboração do autor a partir de ISI (2012b).

Obs: Grau de centralidade maior ou igual a 6.

A Figura 40 exibe os indicadores dos nós da Rede de Inovação.

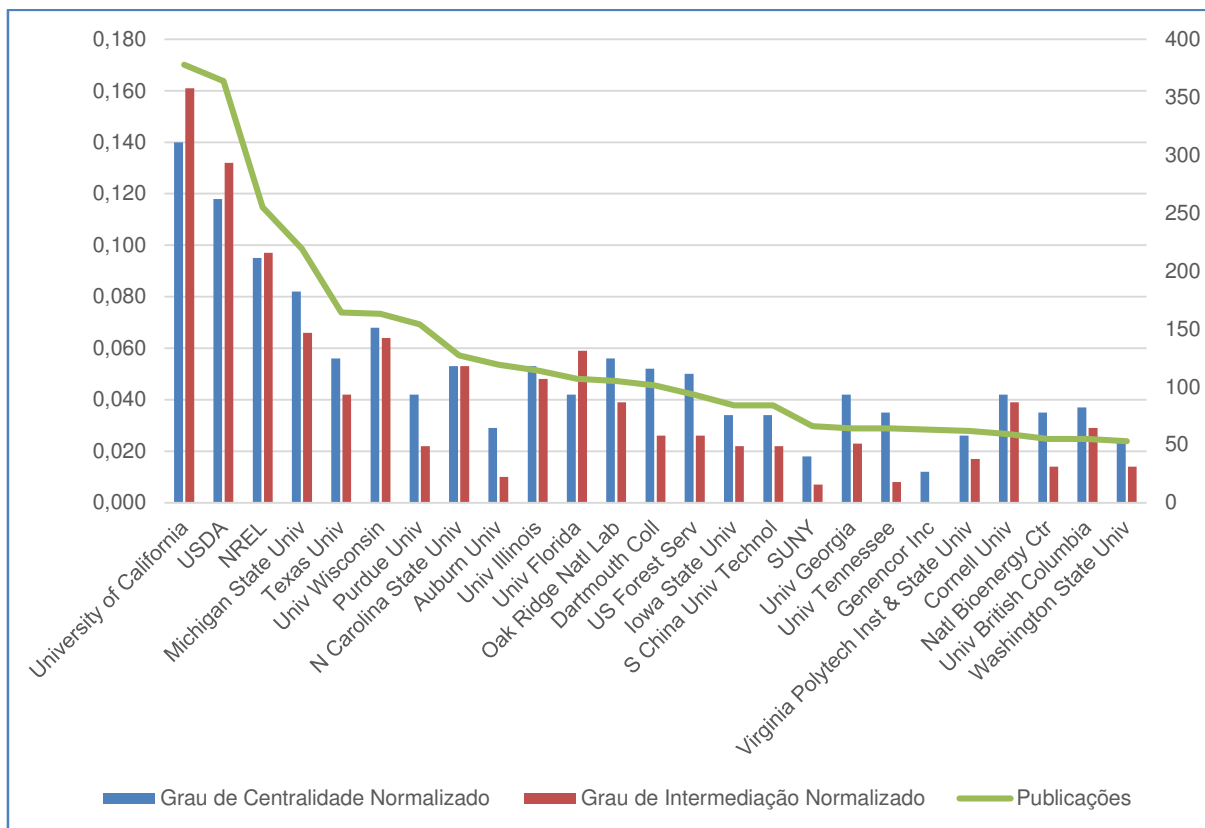


Figura 40 – Indicadores dos nós da Rede de Inovação para as instituições dos Estados Unidos em etanol de segunda geração

Fonte: Elaboração do autor a partir de ISI (2012b).

Os Estados Unidos apresentam tanto o maior número de instituições voltadas ao etanol de segunda geração, e também com o maior grau de centralidade e intermediação normalizado para a Universidade da Califórnia, USDA e NREL. Tais fatos mostram que os esforços americanos para o etanol de segunda geração são grandes e isto se traduz em um grau elevado de articulação do SNI em etanol dos Estados Unidos.

Verifica-se que apenas a instituição chinesa, South China University of Technology, aparece entre as principais instituições que os Estados Unidos possuem relação.

A Figura 41 e Figura 42 apresentam a Rede de Inovação para as *KeyWords Plus* com base nas publicações científicas. Verifica-se que em termos de áreas das pesquisas em etanol de segunda geração há o mesmo padrão descrito para a rede global.

A Tabela 25 apresenta os indicadores da Rede de Inovação para as *KeyWord Plus* com base nas publicações científicas dos Estados Unidos. A centralidade média foi de 0,17148 (17,148%). Este valor é considerado baixo pois para a rede de publicações não se espera que todos as áreas do conhecimento, pulverizadas em diversos assuntos, possuam relação com todas as outras, mas que algumas seja centrais, ou seja, converge para etanol, fermentação e hidrólise.

Tabela 25 – Indicadores da Rede de Inovação entre *KeyWord Plus* dos Estados Unidos em etanol de segunda geração

Indicador	Valor
Grau de Centralidade Média	17,148
Densidade Média	0,004
Distância Geodésica Média	3,212

Fonte: Elaboração do autor a partir de ISI (2012b).

A densidade média mede a proporção de vínculos que ocorrem entre países em relação a todos os vínculos possíveis. Neste caso a densidade mostrou ser de 0,004, ou seja, baixa, como esperado. O número relativamente alto de *KeyWord Plus* indicam transbordamento para outras áreas de pesquisa que não apenas etanol de segunda geração.

A distância geodésica no valor de 3,212 mostra que as áreas de pesquisa estão em médias separadas por 3 *KeyWords Plus*, ou seja, há uma grande proximidade das áreas de pesquisa, sendo estas relevantes. Em um caso diferente, uma alta distância mostraria que não há convergência de esforços em etanol de segunda geração.

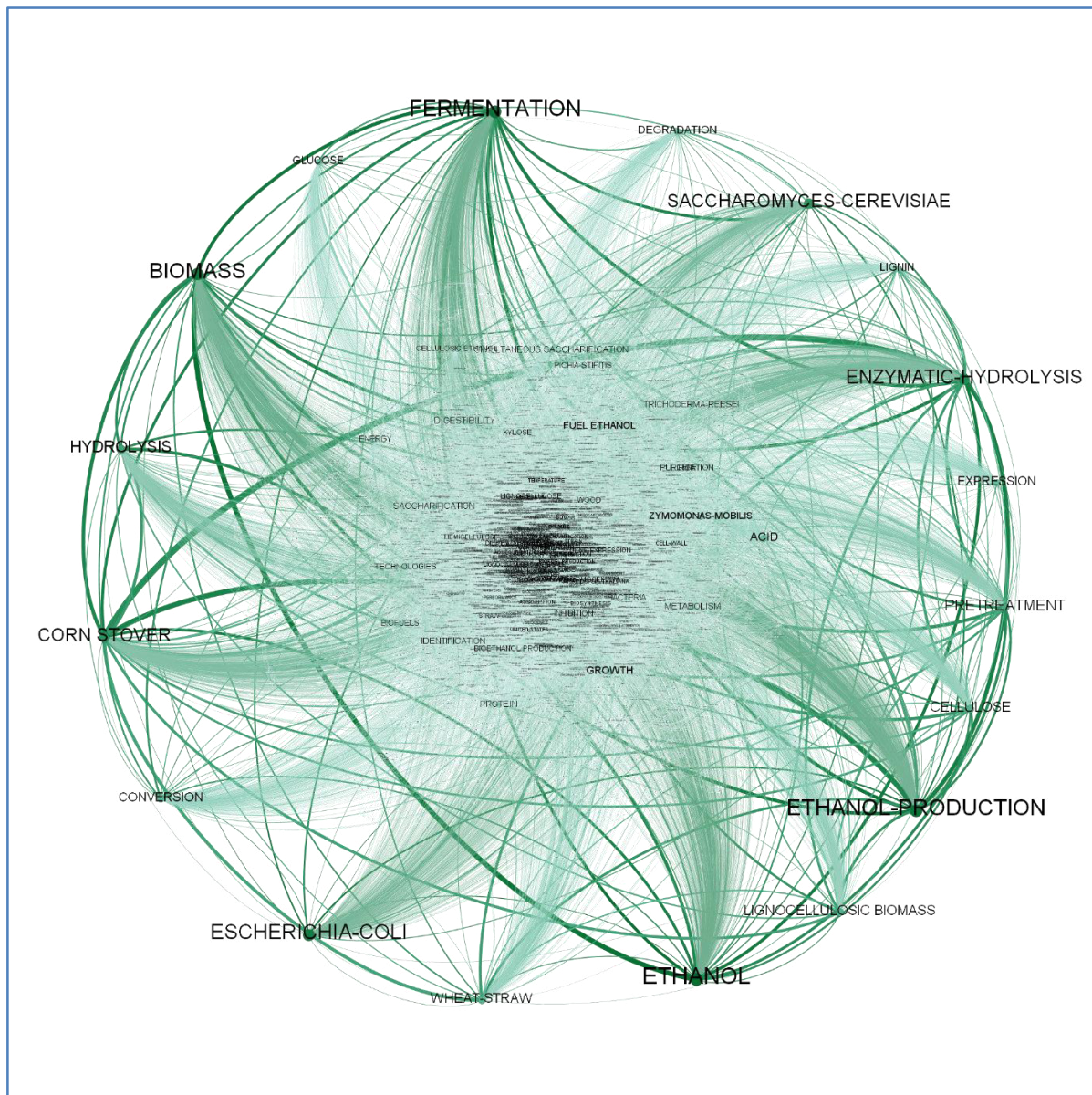


Figura 41 – Rede de Inovação de *KeyWord Plus* para publicações científicas dos Estados Unidos em etanol de segunda geração
 Fonte: Elaboração do autor a partir de ISI (2012b).

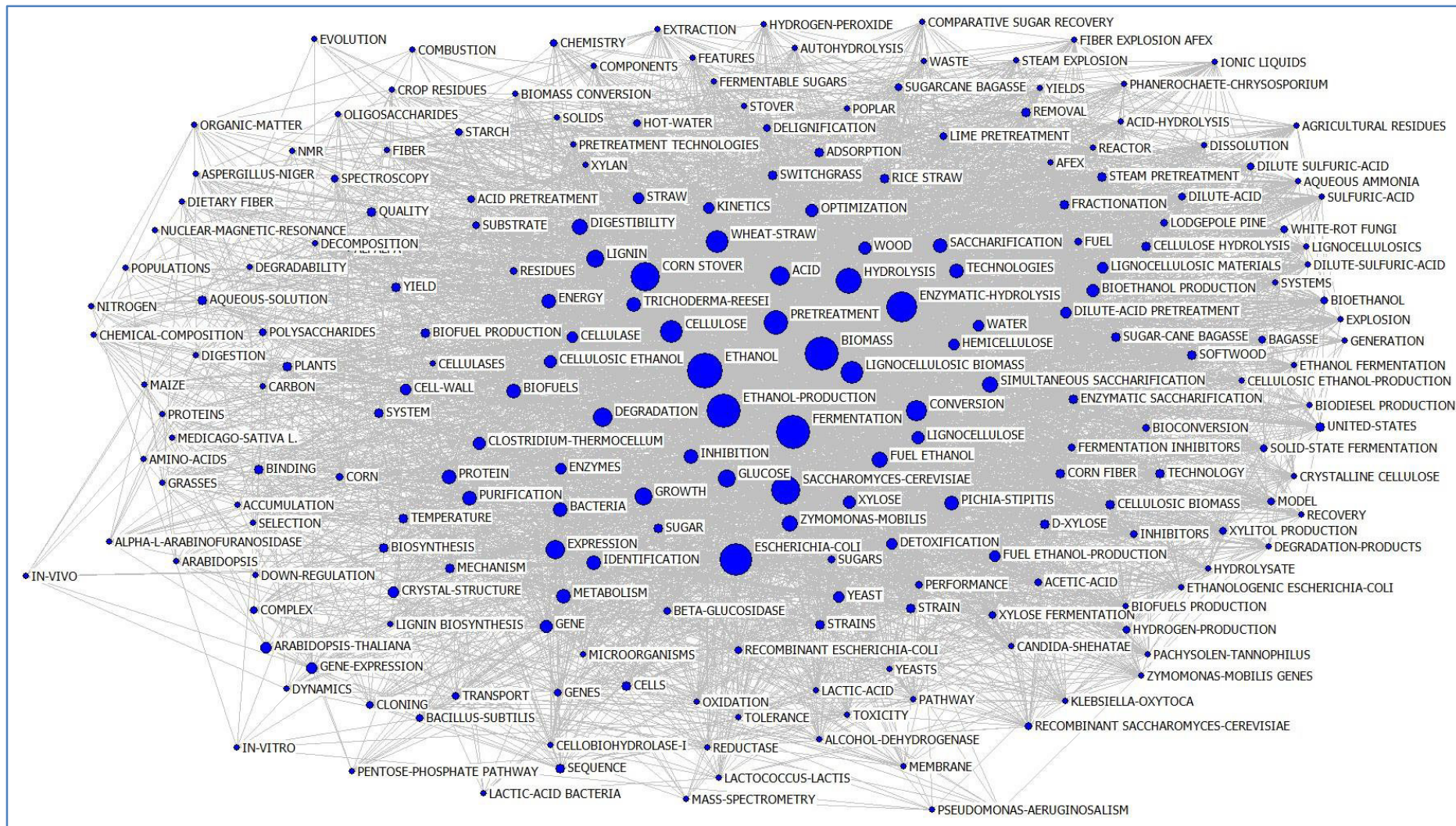


Figura 42 – Rede de Inovação de *KeyWords Plus* para publicações científicas dos Estados Unidos em etanol de segunda geração: relações relativas ao grau de centralidade

Fonte: Elaboração do autor a partir de ISI (2012b).

Obs: Grau de centralidade maior ou igual a 100.

A Figura 43 exibe os indicadores dos nós da Rede de Inovação. Os fatos já foram ressaltados na análise anterior pois segue o mesmo padrão da rede global.

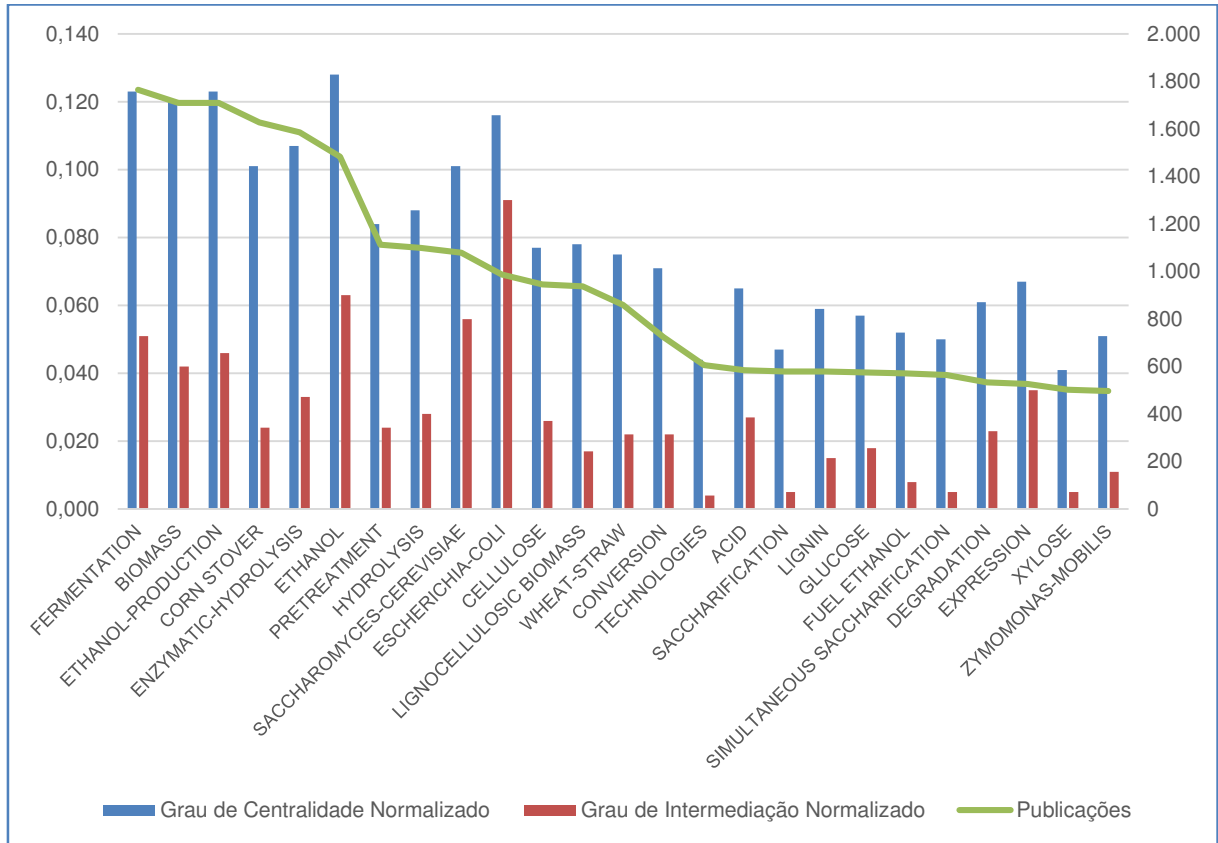


Figura 43 – Indicadores dos nós da Rede de Inovação para as *KeyWord Plus* dos Estados Unidos em etanol de segunda geração

Fonte: Elaboração do autor a partir de ISI (2012b).

A Figura 45 e Figura 46 apresentam a Rede de Inovação para os autores através co-ocorrência destes nas publicações científicas. Verifica-se que em termos de colaboração científica os principais autores são os mesmos da rede global.

Conclui-se que o estado da arte em etanol de segunda geração provém de autores exclusivamente americanos. Em termos do SNI em etanol de segunda geração no Brasil indica que o conhecimento não está sendo gerado aqui, mas de certa forma, importado, em referências a processos e produtos desenvolvidos por pesquisadores estrangeiros. Fatos já ressaltado para a rede global

A Tabela 26 apresenta os indicadores da Rede de Inovação para os autores com base na co-ocorrência nas publicações científicas. A centralidade média foi de 0,24399 (24,399%). Este valor é considerado médio pois para a rede de publicações não se espera que todos os autores possuam relação com todos os outros, ou seja, todos sendo centrais. Verifica-se que alguns autores estão em posição de destaque

ante os demais. Tais fatos indicam a presença de *preferential attachment*. Ou seja, autores mais experientes na área possuindo alto número de citações.

Tabela 26 – Indicadores da Rede de Inovação para a co-ocorrência de autores para os Estados Unidos em etanol de segunda geração

Indicador	Valor
Grau de Centralidade Média	24,399
Densidade Média	0,003
Distância Geodésica Média	3,138

Fonte: Elaboração do autor a partir de ISI (2012b).

A densidade média mede a proporção de vínculos que ocorrem entre autores em relação a todos os vínculos possíveis. Neste caso a densidade mostrou ser de 0,003, ou seja, baixa, como esperado. O número relativamente alto de autores fazem com que as pesquisas não dependam de um autor específico.

A distância geodésica no valor de 3,138 mostra que as colaborações entre autores estão em médias separadas por 3 pessoas, ou seja, colaborar é importante nesta rede. Tal fato corrobora o efeito *small world*, que era esperado.

Para verificar a presença de *preferential attachment*, neste caso, a literatura sugere analisar a distribuição de grau da rede.

Como explicitados na metodologia, a Figura 44 apresenta na escala log-log o grau de distribuição dos nós.

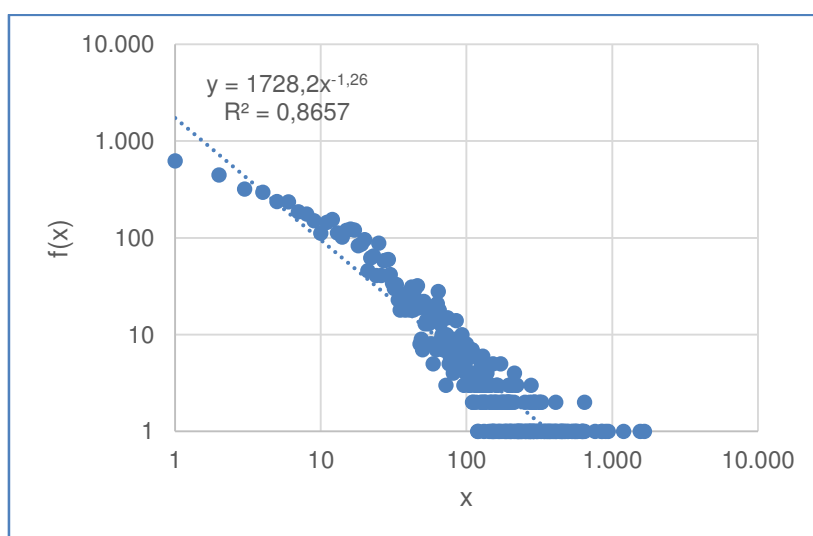


Figura 44 – Distribuição de grau dos dados e estimativa da função potência para co-ocorrência de autores na Rede de Inovação nos Estados Unidos em etanol de segunda geração, k-core=2

Fonte: Elaboração do autor a partir de ISI (2012b).

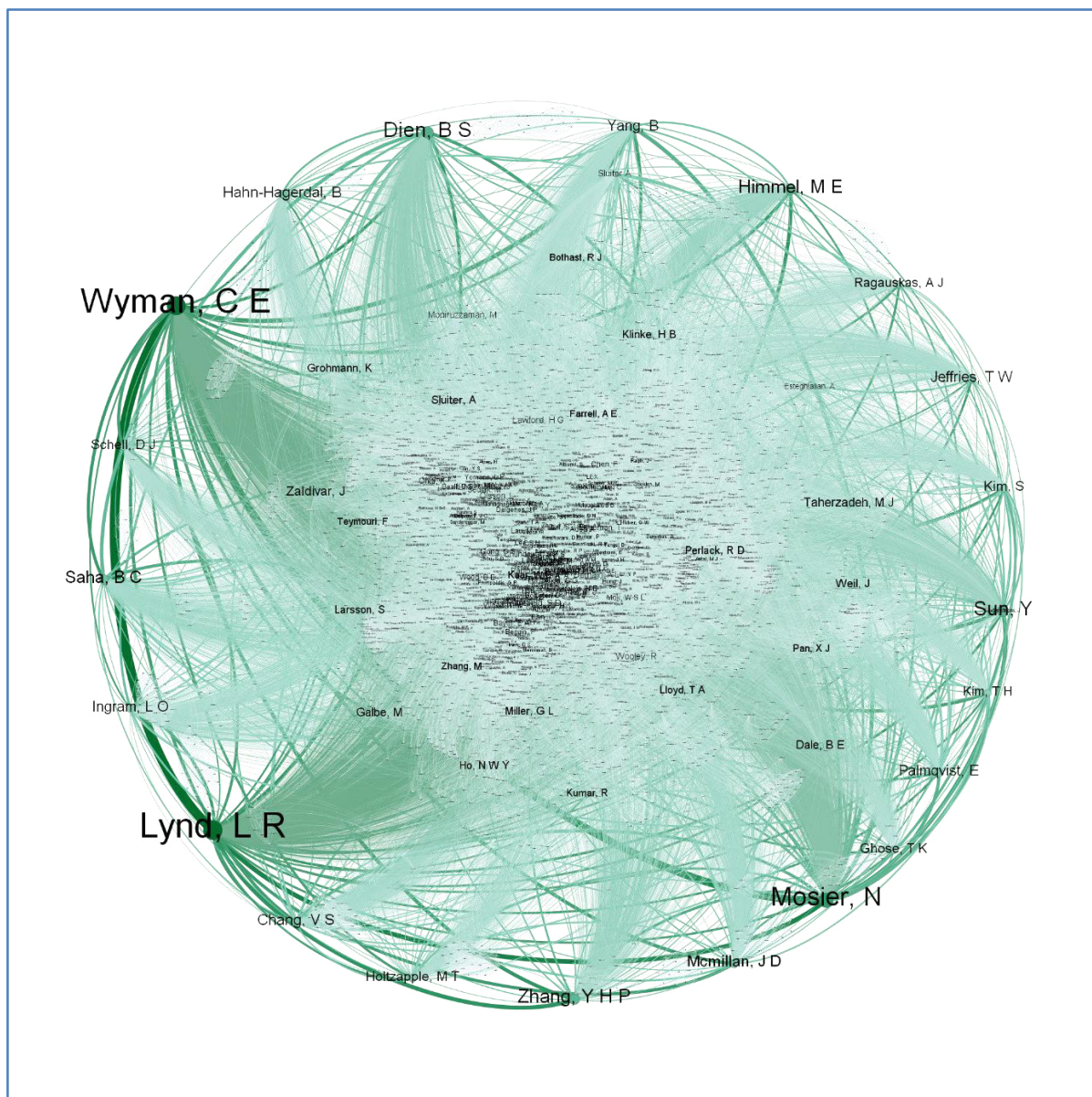


Figura 45 – Rede de Inovação de autores para publicações científicas para os Estados Unidos em etanol de segunda geração, k-core=2
 Fonte: Elaboração do autor a partir de ISI (2012b).

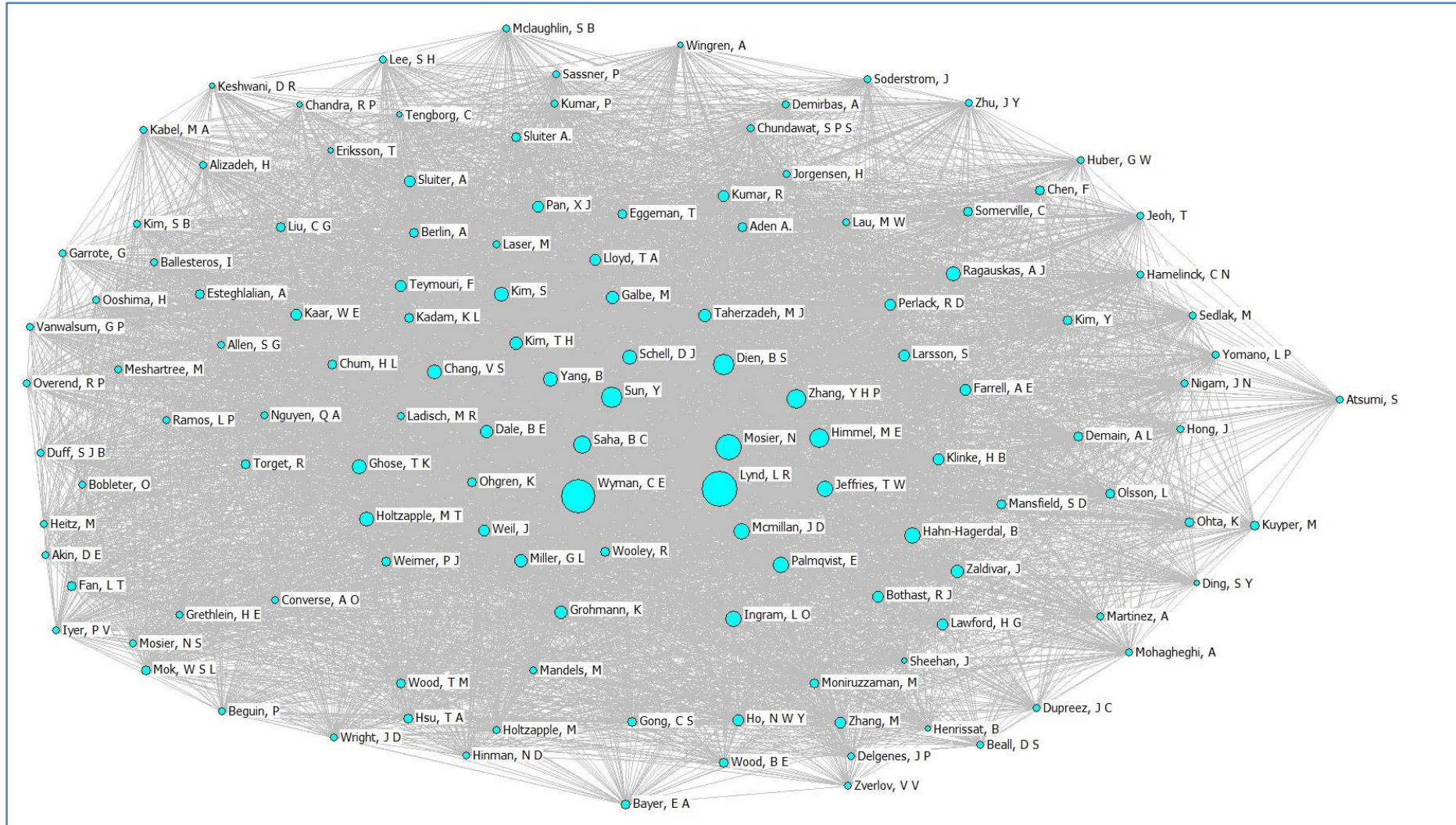


Figura 46 – Rede de Inovação de autores para publicações científicas dos Estados Unidos em etanol de segunda geração: relações relativas ao grau de centralidade, $k\text{-core}=2$

Fonte: Elaboração do autor a partir de ISI (2012b).

Obs: Grau de centralidade maior ou igual a 200

Explicita-se a presença da cauda corda para valores maiores de citação. O valor do parâmetro estimado foi de 1,26, dentro do esperado, uma vez que há forte influência da cauda gorda na estimação dos dados.

Adotando um valor mínimo de 50 citações, o método de máxima verossimilhança, forneceu um valor estimado de 2,08 para gama.

Assim, conclui-se que a Rede de Inovação é do tipo *scale-free* com presença de *preferential attachment* na gauda gorda. Estes valores corroboram os trabalhos de Barabási et al (2002) e Wagner e Leydesdorff (2005), entretanto em uma escala mais específica, uma rede de etanol de segunda geração.

Estas observações implicam que a rede em questão é do tipo celebridade, ou seja, os autores escolhem pesquisar com uma instituição ou outra por interesse, recompensas futuras, ou possibilidades de novos trabalhos.

A Figura 47 exhibe os indicadores dos nós da Rede de Inovação.

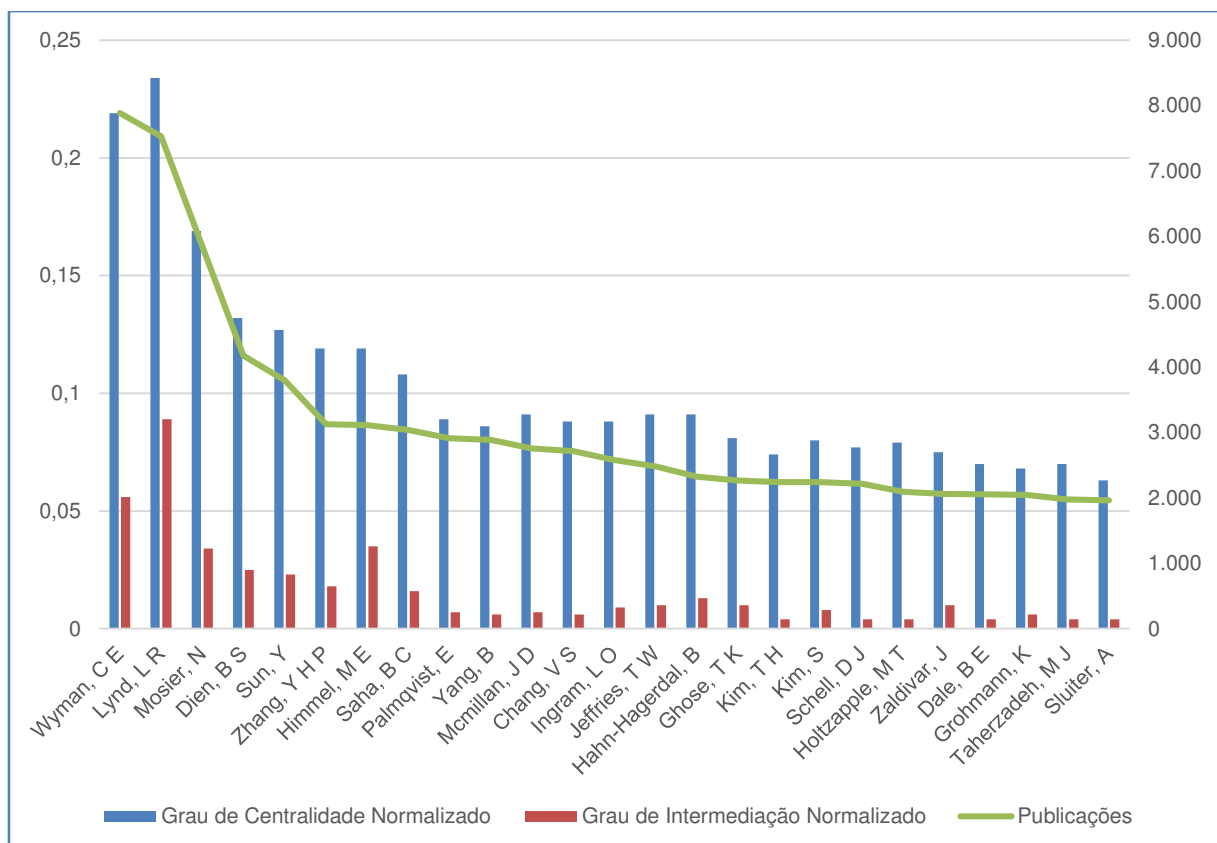


Figura 47 – Indicadores dos nós da Rede de Inovação dos Estados Unidos para a co-ocorrência dos autores em etanol de segunda geração

Fonte: Elaboração do autor a partir de ISI (2012b).

Os dados corroboram as análises anteriores, isto é, alguns autores possuem alta centralidade de grau, rede de celebridades, mas a intermediação é maior para

alguns apenas. Ou seja, exceto os principais autores, as celebridades, os outros realizam trabalhos concorrentes e portanto não se citam mutuamente.

Para concluir o grau de desenvolvimento do SNI em etanol de segunda geração do Brasil, além dos indicadores aqui expostos, analisou-se as áreas de aplicação das patentes, que relacionam-se direta ou indiretamente ao etanol de segunda geração.

Assim, a seguir apresentam-se os principais resultados para as Redes de Inovação em patentes.

7.2 Redes formadas a partir das patentes

Como destacado na seção anterior as patentes tem a importância de incorporar a ciência desenvolvida nas publicações científicas e transformar em possibilidades tecnológicas ou mesmo novos produtos e processos.

Uma vez que o sucesso do SNI em etanol de segunda geração depende do desenvolvimento e posterior comercialização dos produtos e processos desenvolvidos, as patentes, também devem ser analisadas.

Entretanto, verificar a ciência das publicações científicas inseridas nas patentes não é escopo desta tese, deixando para futuras pesquisas tal trabalho.

Mas, as relações entre as áreas de aplicação das patentes, revelam o conhecimento acumulado e se há ligação entre as publicações científicas e as patentes, indicando possíveis trajetórias tecnológicas emergindo, efeitos de transbordamento tecnológico entre outros.

A seguir foi construída uma Rede de Inovação para as patentes segundo as agências respectivas. Neste caso não houve preocupação com os indicadores, mas apenas verificar as relações entre as agências e os países envolvidos.

Uma vez que o conhecimento é cumulativo e não houve recorte temporal as patentes relacionadas ao etanol de segunda geração irão incorporar todas as patentes-chaves para estudo de qualquer área que envolva biotecnologia. Tais fatos não permitem revelar apenas as empresas envolvidas com o etanol de segunda geração, mas todas que estão ligadas direta ou indiretamente.

Para o escopo desta tese não houve a preocupação da realização do corte temporal pois procurava-se analisar o conhecimento acumulado nas patentes oriundas das publicações científicas. Para futuros estudos recomenda-se o recorte

temporal para distinguir de forma clara as empresas ou as patentes mais relevantes no atual estágio de desenvolvimento do etanol de segunda geração.

A Figura 48 mostra que em etanol de segunda geração há uma requisição maior de pedidos de patentes nas agências americanas USPTO e WIPO. Tais fatos revelam que não apenas o conhecimento é gerado nos Estados Unidos e por parcerias com americanos, mas também que as patentes, frutos destas descobertas, são geradas na própria agência americana (USPTO) e na mundial (WIPO). Em menor escala aparecem a EPO e outras europeias.

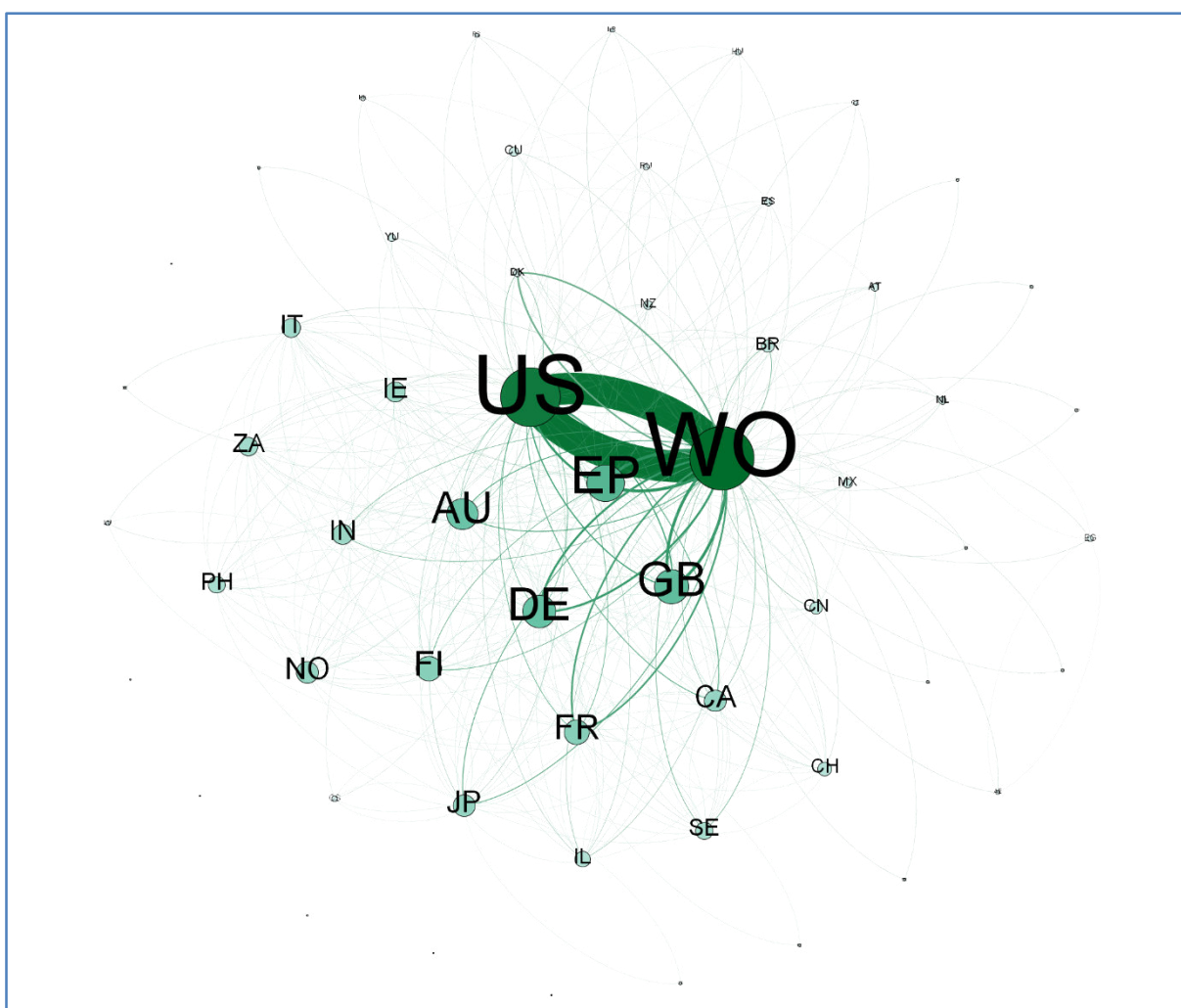


Figura 48 – Rede de Inovação de patentes para as agências e países em etanol de segunda geração
Fonte: Elaboração do autor a partir de PatBase (2012).

A presença brasileira é relativamente baixa. Tal fato ressalta que as tecnologias do etanol de segunda geração estão não apenas sendo desenvolvidas pensando no mercado americano, principal produtor de etanol de milho, mas a tecnologia necessária para estudo das grandes áreas de pesquisa, são oriundas de

patentes americanas. Mesmo os brasileiros que pesquisam em segunda geração aplicam nas agências principais para garantir mercado e preferência nas descobertas realizadas.

Tal fato é representado pelo número de prioridades (*priorities*) requeridas. Ou seja, enquanto não é decidido o processo de patentes, o requerente tem o direito de utilizar determinado processo em fase de patenteamento (ver Figura 49).

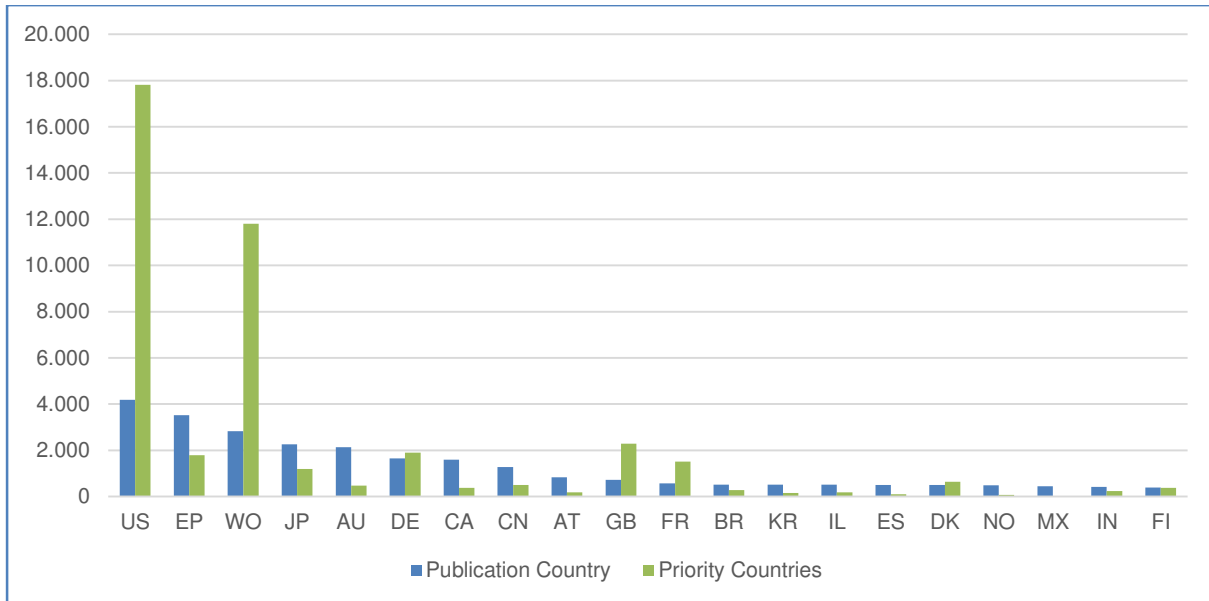


Figura 49 – Instituições e países onde as patentes foram realizadas e onde foram requeridas as prioridades em etanol de segunda geração
Fonte: Elaboração do autor a partir de PatBase (2012).

A Figura 50 apresenta os principais inventores que estão relacionados direta ou indiretamente ao etanol de segunda geração, bem como as empresas que realizaram as patentes mais importantes, e portanto mais citadas, nas áreas-chave das pesquisas em biotecnologia. Não há relação aparente com os artigos científicos publicados, uma vez que as publicações refletem uma maior proximidade com a área de etanol de segunda geração enquanto que para patentes há a especificidade de estudo de patentes antigas e importantes para estudo em qualquer área da biotecnologia.

Outro fator observado é que os principais pesquisadores em etanol não patenteiam, eles dão apenas o subsídio intelectual para o desenvolvimento das patentes. Muitas vezes, as pesquisas não são publicadas, elas ocorrem dentro das empresas em segredo industrial, viram patentes diretamente.

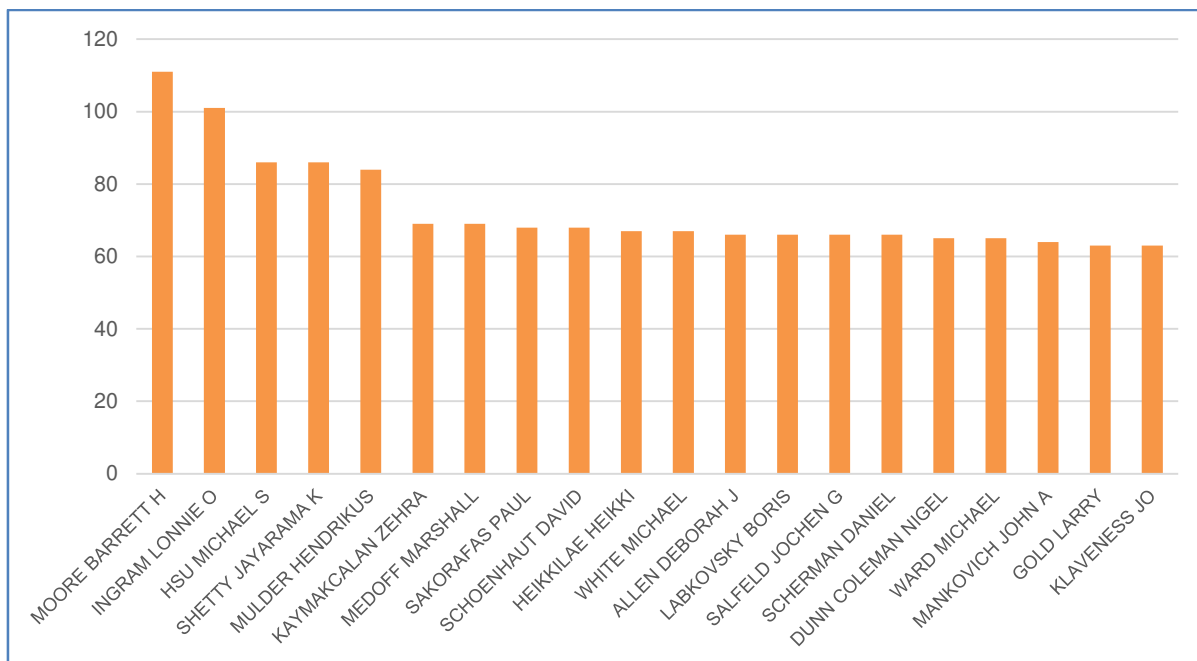


Figura 50 – Inventores com maior número de patentes na Rede de Inovação em etanol de segunda geração

Fonte: Elaboração do autor a partir de PatBase (2012).

A Figura 51 descreve as principais empresas envolvidas com a rede em etanol de segunda geração, direta ou indiretamente.

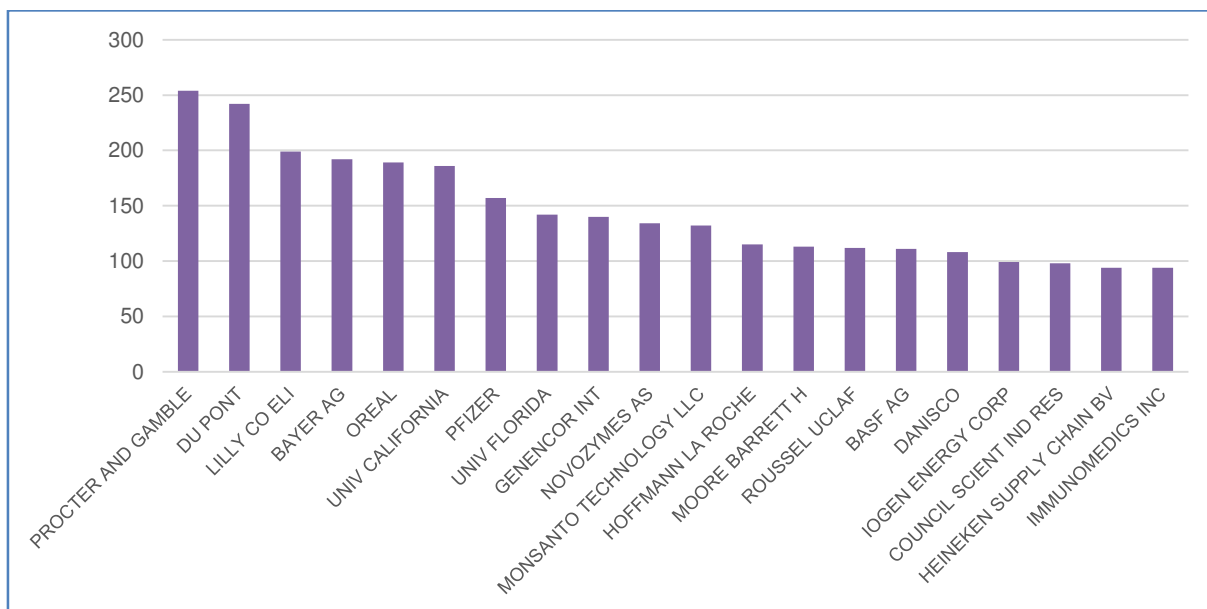


Figura 51 – Empresas com maior número de patentes na Rede de Inovação em etanol de segunda geração

Fonte: Elaboração do autor a partir de PatBase (2012).

As quatro empresas com maior número de patentes possuem as respectivas áreas de atuação:

- A Procter & Gamble oferece produtos de bens de consumo nas áreas de higiene pessoal, beleza, limpeza doméstica, cuidados com a saúde e rações para animais. A P&G completou um contrato de 3 anos no valor de US\$17 milhões com o National Renewable Energy Laboratory (NREL) para reduzir o custo das enzimas usadas na conversão de biomassa para etanol, auxiliando no desenvolvimento de etanol de segunda geração;
- DU PONT atua nos segmentos agrícola, químico, petroquímico, automobilístico, gráfico e nas áreas de embalagens, polímeros industriais, eletrônica, construção, decoração, segurança, papel, celulose, produtos domésticos e biotecnologia. A DU PONT está desenvolvendo a SPEZYME®, uma linha enzimas que oferece vantagens na produção de etanol de milho. Combinado o produto DuPont™ FermaSure® XL há um aumento da taxa e eficiência da fermentação. Em parceria entre os laboratórios de Iowa (Estados Unidos), Wuxi (China) e Leiden (Holanda) a DU PONT está investindo em produtos e aplicações para aumentar a liquefação e o processo SSF (*simultaneous saccharification and fermentation*) para etanol de segunda geração;
- A Lilly é uma das mais importantes e maiores indústrias farmacêuticas do Brasil, com especialidades nas áreas de saúde mental, oncologia, saúde da mulher, saúde do homem e é uma das líderes em Diabetes, com um vasto portfólio de medicamentos contra a doença. Não se verificou aplicação relacionada ao processo de etanol de segunda geração;
- A Bayer atua nas áreas médicas: saúde feminina, medicina geral, medicina especializada, radiologia e intervenção; saúde animal; áreas agrícolas: inseticidas e acaricidas, fungicidas, herbicidas, tratamento de sementes; biotecnologia, saúde ambiental; e materiais: poliuretanos, policarbonatos, revestimentos, adesivos e especialidades, poliuretanos termoplásticos. Relaciona-se à etapa produtiva que objetivam aumento da produtividade agrícola.

Outras empresas como a Genencor, relaciona-se à DU PONT, é uma subsidiária da mesma, e visa a produção de enzimas.

A Iogen Energy Corp. é líder no desenvolvimento e produção de etanol celulósico no mundo. Atualmente, a empresa é parceira da Raízen para a produção de etanol de segunda geração no Brasil.

Outro fator apontado é a presença da Universidade da Califórnia e Universidade da Flórida. O programa americano para o desenvolvimento de combustíveis avançados (RFS2 - Renewable Fuel Standard Program level 2 para os Estados Unidos e o LCFS - Low-Carbon Fuel Standard para o Estado da Califórnia) mostra sua efetividade ao verificar que tanto as publicações quanto as patentes estão sendo geradas pelos centros de pesquisa apoiados. Fato que não ocorre no SNI brasileiro.

A Figura 52 permite identificar as principais áreas de aplicação das patentes que envolvem a Rede de Inovação em etanol de segunda geração.

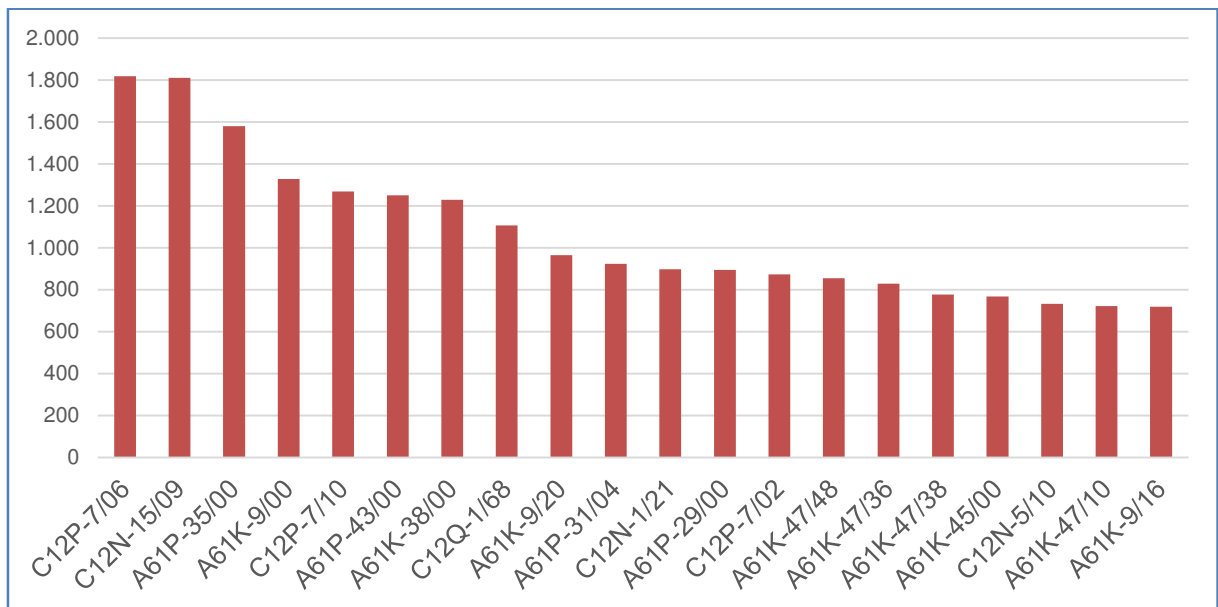


Figura 52 – Principais áreas de aplicação das patentes classificadas pelo código IPC8 na Rede de Inovação em patentes em etanol de segunda geração
Fonte: Elaboração do autor a partir de PatBase (2012).

As áreas de aplicação pelo código IPC8 estão destacadas no Quadro 26. Há destaque para os processos de hidrólise enzimática e áreas médicas, estas últimas oriundas do conhecimento cumulativo das áreas de biotecnologia.

IPC8	Área de aplicação
C12P-7/06	Preparation of oxygen-containing a hydroxy group acyclic ethanol, i.e. non-beverage
C12N-15/09	Mutation or genetic engineering; Recombinant DNA-technology
A61P-35/00	Antineoplastic agents
A61K-9/00	Medicinal preparations characterised by special physical form
C12P-7/10	Preparation of oxygen-containing a hydroxy group acyclic Ethanol i.e. non-beverage produced as by-product or from waste or cellulosic material substrate containing cellulosic material;
A61P-43/00	Drugs for specific purposes, not provided for in groups A61P 1/00 or A61P 41/00
A61K-38/00	Medicinal preparations containing peptides
C12Q-1/68	Measuring or testing processes involving nucleic acids
A61K-9/20	Medicinal Pills, lozenges or tablets characterized by special physical form
A61P-31/04	Antibacterial agents

Quadro 26 – 10 áreas principais de aplicação das patentes classificadas pelo código IPC8 na Rede de Inovação em patentes

Fonte: Elaboração do autor a partir de PatBase (2012).

A Figura 53 apresenta uma síntese das áreas de aplicação mais próximas e que envolve a rede em etanol de segunda geração segundo o IPC8.

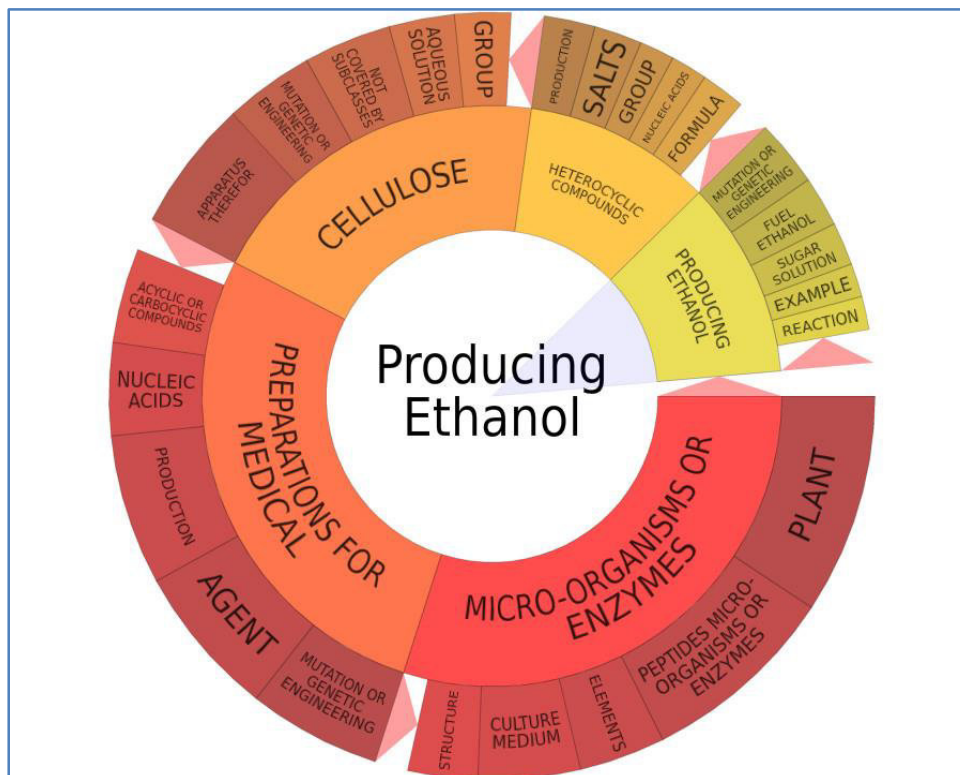


Figura 53 – Síntese das principais áreas de aplicação das patentes da rede formada a partir do etanol de segunda geração

Fonte: Elaboração do autor a partir de PatBase (2012).

De forma a compreender qual o grau de relações entre as áreas de aplicação das patentes, a seguir, é apresentada a respectiva Rede de Inovação bem como os indicadores (ver Figura 54, Figura 55 e Figura 56)

Verifica-se que em termos das relações entre as áreas de patentes há destaque para a A61 (ciência médica ou veterinária e higiene), B01 (processos químicos ou físicos, aparatos em geral), C12 (bioquímica, bebidas, vinhos, vinagre, microbiologia, enzimologia, mutação ou engenharia genética), C07 (química orgânica), C08 (compostos orgânicos macromoleculares) (ver descrição dos códigos IPC8 nos anexos).

Esses fatos são esperados, uma vez que, o conhecimento em etanol de segunda geração requer tecnologias prévias existentes nas áreas de biotecnologia (A61 por exemplo).

A Tabela 27 apresenta os indicadores da Rede de Inovação para os IPC8 agregados a 3 dígitos (ver Anexos) com base nas patentes. A centralidade média foi de 0,21281 (21,281%). Este valor é considerado baixo pois para uma vez agregada as classes de IPC8 as áreas terão maior coesão por si só. Entretanto, verifica-se a relação elevadas ente algumas áreas de aplicação, como já foi discutido.

A densidade média mede a proporção de vínculos que ocorrem entre países em relação a todos os vínculos possíveis. Neste caso a densidade mostrou ser de 0,188, ou seja, baixa, também refletindo a agregação realizada.

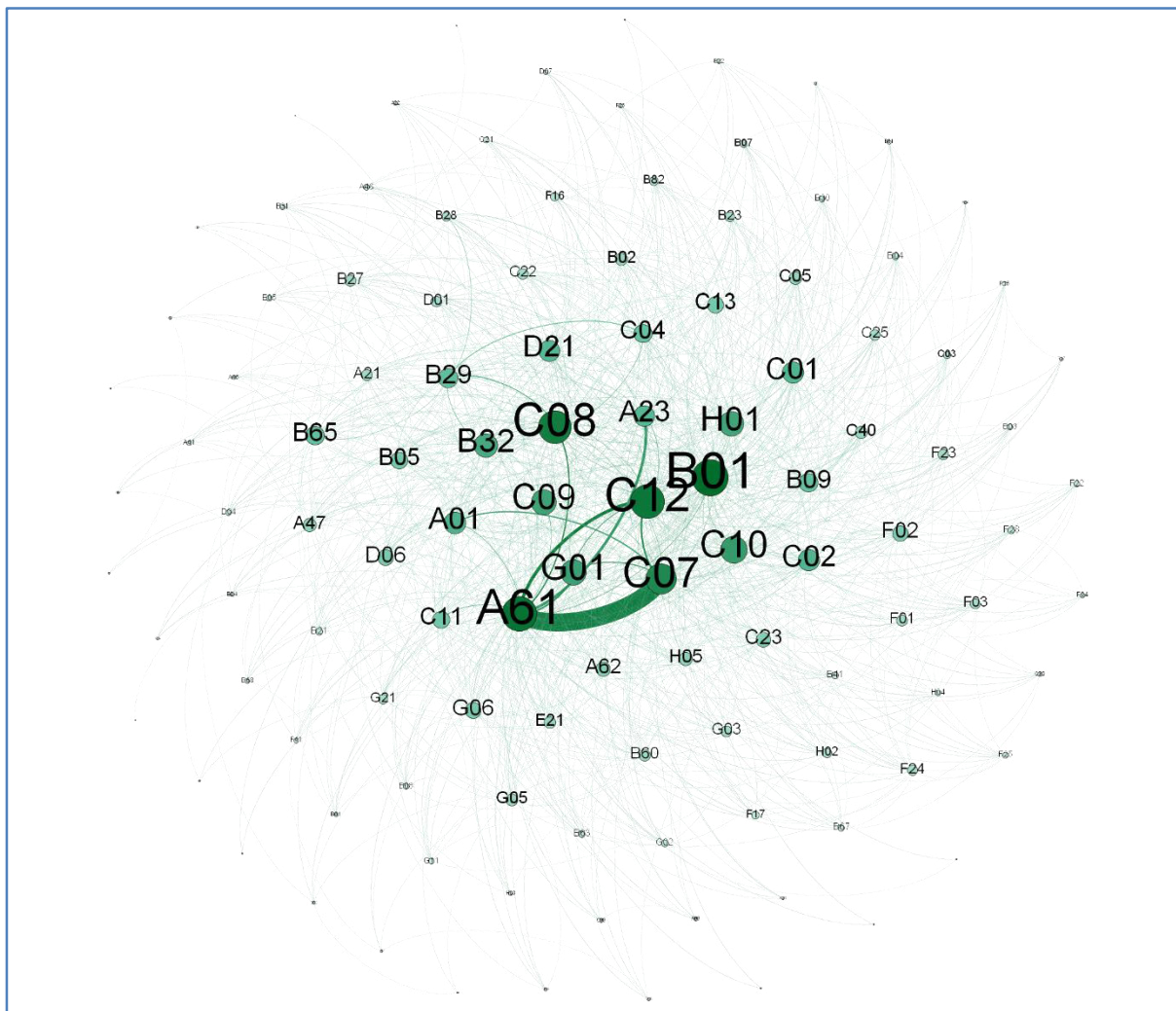


Figura 54 – Rede de Inovação em etanol de segunda geração para patentes nas áreas de aplicação segundo a classificação IPC8
 Fonte: Elaboração do autor a partir de PatBase (2012).

A distância geodésica no valor de 1,924 mostra que as áreas de pesquisa estão em médias separadas por 2 *KeyWords Plus*, ou seja, há uma grande proximidade das áreas de pesquisa, sendo estas relevantes. Para o caso desagregado espera-se maior distância.

Tabela 27 – Indicadores da rede de áreas de aplicação das patentes segundo a classificação IPC8 em etanol de segunda geração

Indicador	Valor
Grau de Centralidade Média	21,281
Densidade Média	0,188
Distância Geodésica Média	1,924

Fonte: Elaboração do autor a partir de PatBase (2012).

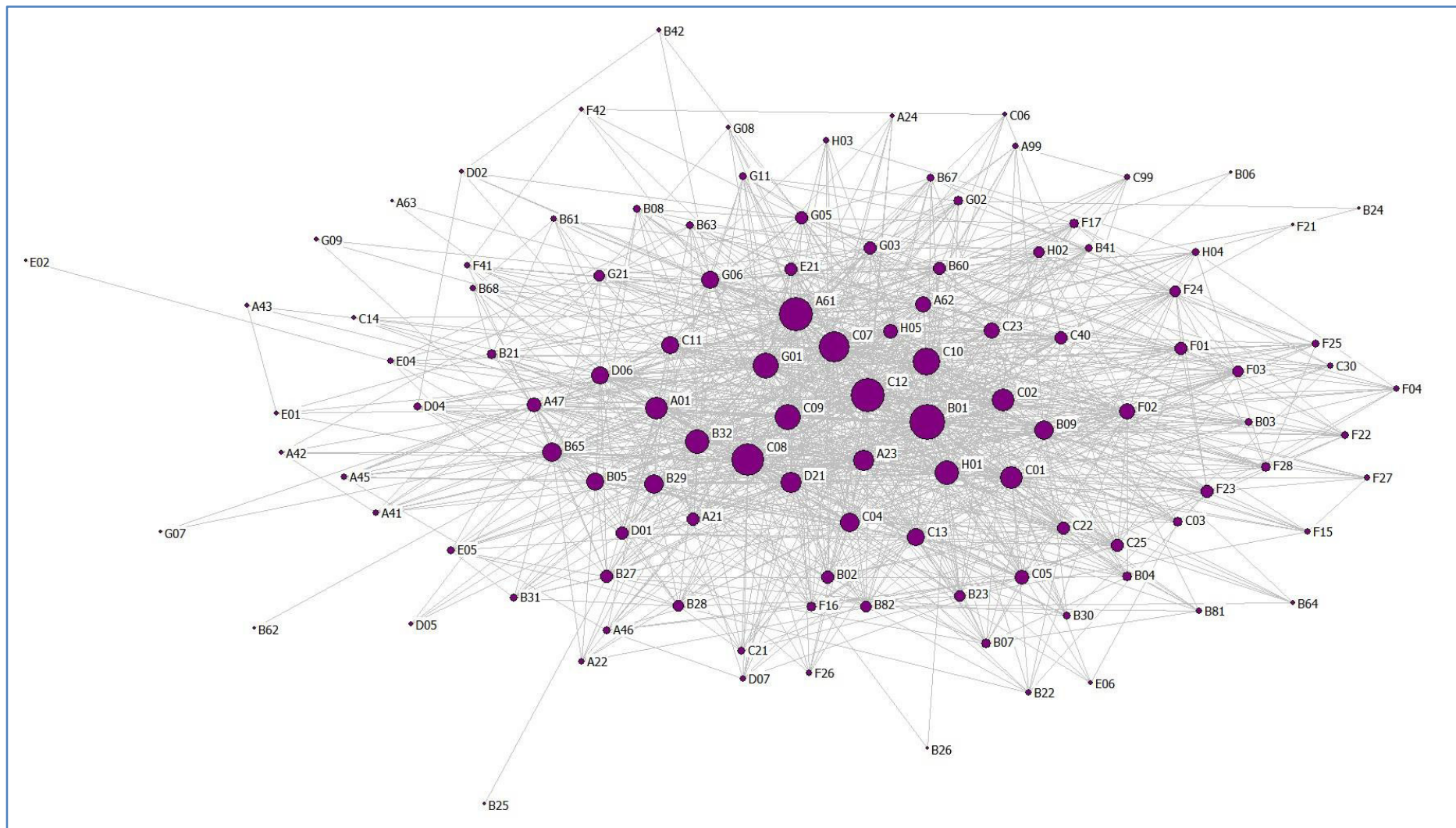


Figura 55 – Rede de Inovação de patentes para o IPC8 agregado em etanol de segunda geração: relações relativas ao grau de centralidade
 Fonte: Elaboração do autor a partir de PatBase (2012).

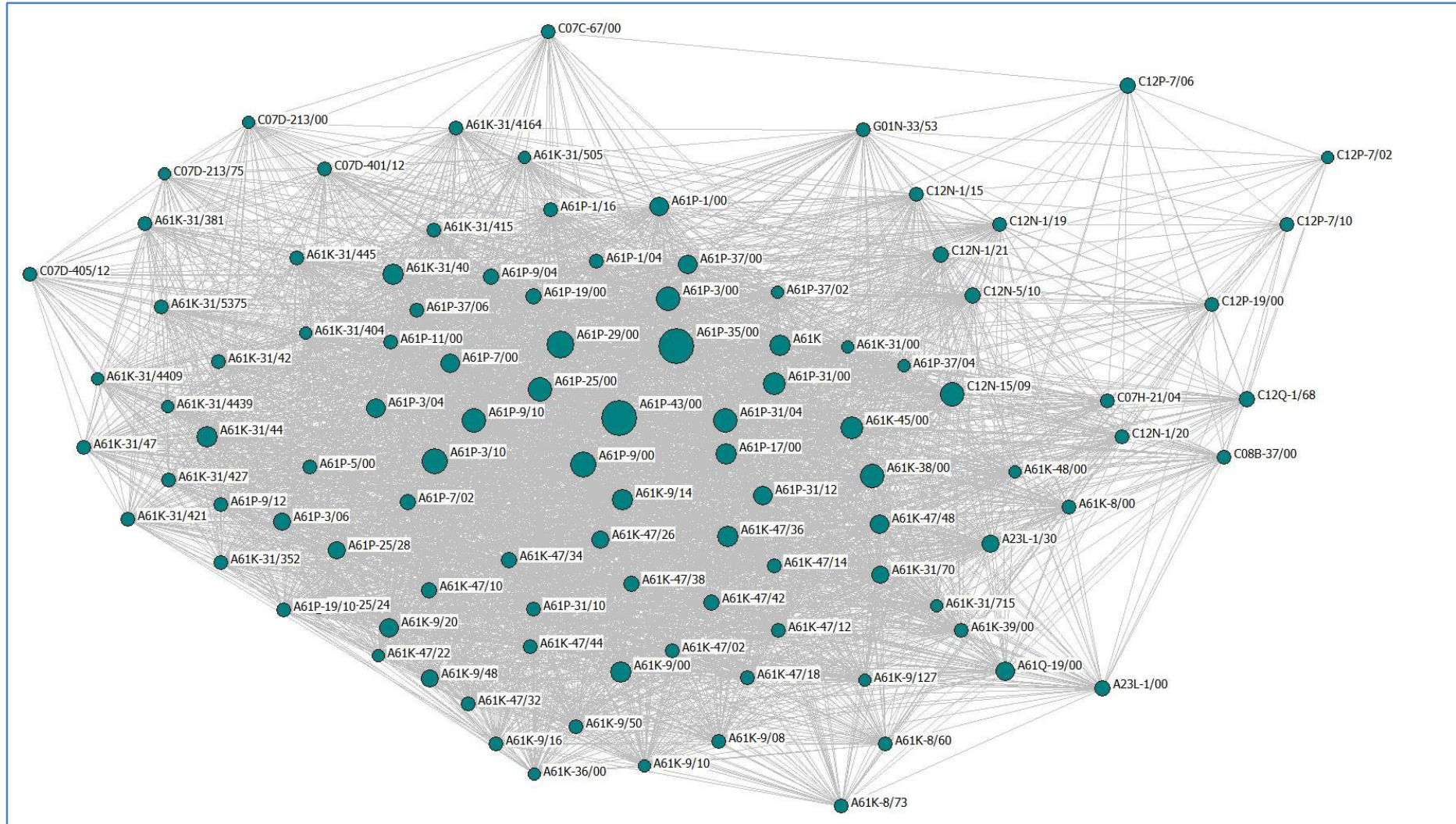


Figura 56 – Rede de Inovação de patentes para o IPC8 em etanol de segunda geração: relações relativas ao grau de centralidade
Fonte: Elaboração do autor a partir de PatBase (2012).
Obs: Grau de centralidade maior ou igual a 400.

A Figura 57 exibe os indicadores dos nós da Rede de Inovação. Verifica-se que as áreas A61 e C07 são as principais. Seguido por áreas como C12, A23, C08, B29, G01, A01, B01 e C04.

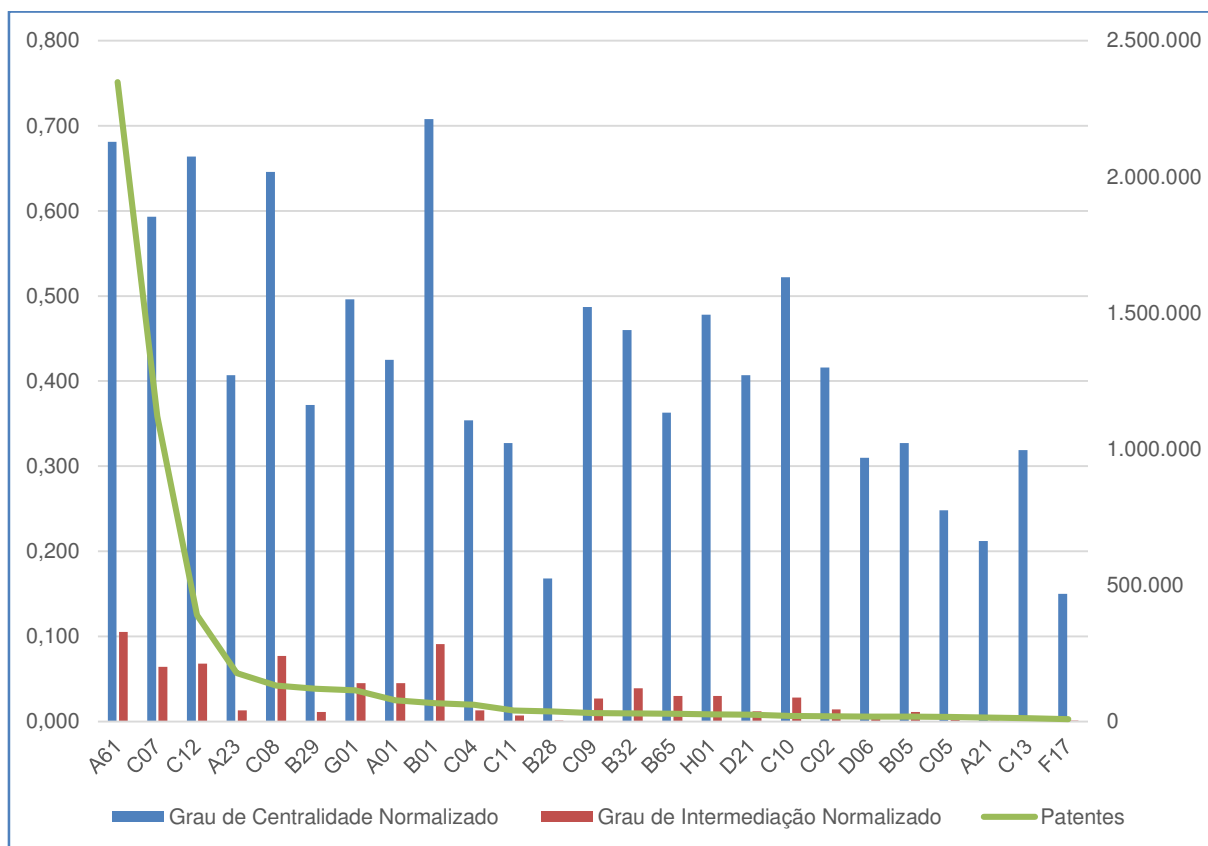


Figura 57 – Indicadores dos nós da Rede de Inovação de patentes para o IPC8 agregado em etanol de segunda geração
Fonte: Elaboração do autor a partir de PatBase (2012).

Conclui-se que o conhecimento em etanol de segunda geração requer amplamente tecnologias desenvolvidas anteriormente da área de biotecnologia.

A presença de grandes grupos como a P&G e DU PONT ressaltam que o interesse nas pesquisas em etanol de segunda geração não será realizada apenas por empresas entrantes, criadas para a produção de tecnologia em segunda geração, mas também por empresas tradicionais nas áreas médicas que possuem expertise no processo de desenvolvimento de enzimas, e que para o etanol de segunda geração mostrou ser necessária.

A análise realizada ressalta-se o interesse dos grandes grupos industriais no desenvolvimento de tecnologias pra o etanol de segunda geração. Políticas de promoção ao desenvolvimento do SNI em etanol de segunda geração devem relevar

os aspectos ressaltados, para que haja maior interação universidade-governo-empresa.

No caso brasileiro a baixa inserção nas bases de patentes reflete que o Brasil não esteja focado nas pesquisas em hidrólise enzimática, mas no aprimoramento dos processos de fermentação, cujo conhecimento está vinculado ao etanol de primeira geração proveniente da cana-de-açúcar.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A produção em escala comercial do etanol lignocelulósico e dos novos produtos oriundos desta conversão se tornará uma realidade nos próximos anos não apenas motivada pela necessidade de um substituto do petróleo e de seus derivados, mas pela capacidade produtiva e oportunidades que o etanol de segunda geração trará aos países que usufruirão de tal tecnologia. Entretanto, a liderança e capacidades produtivas necessárias para inserção neste mercado requerem que os países aumentem a sua competitividade e aprofundem os investimentos em inovação para enfrentar tais adventos.

A experiência brasileira na produção de etanol, bem como as vantagens edafoclimáticas do país criam o potencial inovativo do setor sucroenergético brasileiro, e justificam a questão central desta tese que é analisar o desenvolvimento do Sistema Nacional de Inovação (SNI) no Brasil com foco no etanol de segunda geração. Para tanto, procura-se verificar a existência ou perspectivas de formação de Redes de Inovação, através da análise da produção científica internacional, no contexto local e global, e de patentes globais.

Há robustas evidências que mostram que ambas a colaboração científica – publicações realizadas em coautoria – e as citações – autores que referenciam outros autores em suas publicações – correlacionam-se positivamente com a difusão do conhecimento científico.

A partir das Redes de Inovação e do panorama do etanol de segunda geração no Brasil é possível considerar que apesar da potencialidade inovativa existente no SNI em etanol de segunda geração para a transformação da ciência em tecnologia e para a difusão na forma de inovação, observou-se um baixo grau de articulação do mesmo.

Tal fato é um reflexo do baixo grau de colaboração científica internacional em comparação com outros países e em específico os Estados Unidos. Uma maior colaboração internacional reflete em maiores avanços no conhecimento. Se o conhecimento está sendo desenvolvido em determinado país, este será preferido ante os demais. Observa-se que os Estados Unidos é preferido ante os demais, possuindo maior número de relações através dos artigos científicos analisados.

Sob a ótica das instituições – universidades e centros de pesquisa - o Brasil mostrou-se fechado em termos de parcerias internacionais. Apenas a Universidade

de São Paulo (USP) possui alta inserção nas pesquisas voltadas ao etanol de segunda geração. Entretanto, localmente, a USP possui alto grau de centralidade e de intermediação, ou seja, é possível afirmar que a ciência desenvolvida em etanol de segunda geração no Brasil é basicamente proveniente de apenas uma universidade. Na ótica do SNI, este fato limita o adensamento das relações institucionais e portanto, diminuem a maturação do SNI.

Os esforços gerados em pesquisa no Brasil não estão alinhados com o gargalo tecnológico do etanol de segunda geração que atualmente é o processo de conversão do material lignocelulósico, a hidrólise enzimática. Há elevado número de pesquisas em fermentação, ligadas mais diretamente ao processo de obtenção de etanol de primeira geração. Tais fatores ressaltam que a pesquisa no Brasil poderá se especializar no processo de fermentação ao invés de concorrer por tecnologias de conversão do material lignocelulósico, o que pode limitar o desenvolvimento do SNI em segunda geração.

O Brasil mostrou que as relações institucionais, do tipo universidade-governo são baixas, e que existem poucas linhas e programas específicos para o etanol de segunda geração. Nos Estados Unidos, as políticas voltadas aos combustíveis avançados como o RFS2 e o programa da Califórnia mostram resultados ao destacarem-se as parcerias entre o USDA, NREL e Universidade da Califórnia. Estas instituições aparecem entre as principais no mundo e refletem-se pelo alto número de pedidos de patentes pela Universidade da Califórnia. No Brasil o mesmo não ocorre com a USP que está entre as principais em termos de publicações científicas.

Conclui-se que apesar do potencial inovativo do SNI em etanol de segunda geração no Brasil, os esforços gerados são menores do que em comparação aos outros países e em específico com os Estados Unidos.

Portanto, os indicadores obtidos até o momento indicam que a hipótese central da tese – existência de um Sistema Nacional de Inovação em etanol de segunda geração no Brasil desenvolvido – pode ser refutada, o que leva a concluir que o SNI existe, está em desenvolvimento, mas com objetivos diferentes em relação aos de outros países que procuram desenvolver a tecnologia de conversão do material lignocelulósico.

Apesar do enfoque brasileiro maior em fermentação não impede que sejam aplicadas políticas públicas voltadas ao processo de hidrólise no âmbito do SNI em etanol de segunda geração, uma vez que há espaço para o desenvolvimento de novas

tecnologias de conversão. Não obstante, o conhecimento brasileiro acumulado no processo de obtenção do etanol de primeira geração – fermentação – poderá colocar o Brasil em posição de destaque em relação aos demais países dado que material convertido no processo de deslignificação deve ser fermentado para posterior obtenção de etanol. Atualmente o processo de fermentação utilizado possui baixo fator de conversão, elevando os custos de obtenção do etanol.

Outro fator de destaque é que no caso brasileiro haverá a produção conjunta de etanol de primeira e segunda geração o que reduz o investimento inicial para as empresas que já atuam no setor. Ao utilizar outras matérias-primas as empresas entrantes terão de adaptar ou criar novas plantas produtivas para a produção comercial.

Sugere-se a observância das informações destacadas nesta tese aos formuladores de políticas públicas para a promoção do desenvolvimento do SNI.

Entre as medidas sugeridas para o desenvolvimento do SNI em etanol de segunda geração destacam-se:

- Linhas de incentivo à pesquisa em etanol de segunda geração através de parcerias internacionais;
- Incentivo à formação de pesquisadores (mestres e doutores) que estudem o etanol lignocelulósico nas áreas prioritárias, tais como a física, química e biologia;
- Inserção internacional dos pesquisadores brasileiros através de pós-doutoramento, mestrado e doutorado sanduíche, mestrado e doutoramento no exterior e estágio de alunos de graduação no exterior;
- Incentivos à publicação de artigos científicos em periódicos estrangeiros;
- Incentivos, através de bolsas de estudo, para o desenvolvimento tecnológico e industrial voltadas às pesquisas realizadas em parcerias com empresas privadas;
- Incentivo voltado às universidades para patentear os seus resultados;
- Investimento em infraestrutura nas universidades e centros de pesquisa nas áreas prioritárias;
- Recursos para participação de *Workshops* internacionais, inclusive com a elaboração de congressos internacionais no Brasil de forma a

atrair pesquisadores estrangeiros e que futuramente se traduzam em novas parcerias;

- Linhas de financiamento para o setor privado em específico para o etanol de segunda geração;
- Criação e apoio de centros de pesquisa em etanol de segunda geração e que relacionem as áreas prioritárias tais como física, química e biologia; e
- Facilitação do acesso aos sistemas de patenteamento aos pesquisadores pertencentes às universidades públicas.

Apenas se consideradas estas características como insumos necessários ao desenvolvimento do SNI e sob um ambiente institucional favorável as relações entre empresas, universidades e governo gerarão frutos maduros, ou seja, um SNI maduro e competitivo em etanol de segunda geração.

A aplicação de questionários com agentes envolvidos com o setor – pesquisadores, empresas, instituições governamentais – visando obter informações sobre as necessidades para se fomentar o SNI em etanol de segunda geração, pode agregar e complementar informações importantes que podem não terem sido captadas pelas informações secundárias.

Não obstante, um recorte temporal na base de dados poderá agregar informações sobre o desenvolvimento mais recente do SNI e não apenas o conhecimento acumulado.

REFERÊNCIAS

- ALEJANDRO, V. A.; NORMAN, A. G. **Manual Introdutório à Análise de Redes Sociais: exemplos práticos com UCINET 6.85 e NETDRAW 1.48**. Tradução de Maria Luísa Lebres Aires, Joanne Brás Laranjeiro e Sílvia Cláudia de Almeida Silva. Cidade do México: Universidad Autónoma del Estado de México, 2005, 45 p. Disponível em: <http://revistaredes.rediris.es/webredes/talleres/Manual_ARIS/>. Acesso em: 01 ago. 2011
- BARABÁSI, A. L.; JEONG, H.; NÉDA, Z.; RAVASZ, E.; Schubert, A.; VICSEK, T. Evolution of the social network of scientific collaborations. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, Amsterdã, v. 311, n. 3–4, p. 590-614, 2002.
- BASSECOULARD, E.; LELU, A.; ZITT, M. Mapping nanosciences by citation flows: a preliminary analysis. **Scientometrics**, Amsterdã, v. 70, n. 3, p. 859-880, 2007.
- BASTOS, V. D. Etanol, Alcoolquímica e Biorrefinarias. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, v.1, n. 25, p. 5-38, 2007.
- BLOOMBERG. **Cellulosic ethanol heads for cost competitiveness by 2016**. Disponível em: <<http://bnef.com/Downloads/pressreleases/284/pdf/file/>> Acesso em: 10 mai. 2013.
- BRISOLLA, S. N. Indicadores para apoio à tomada de decisão. **Ciência da Informação**, Brasília, v. 27, n. 2 p. 221-225, 1998.
- BRUE, S. L. **História do pensamento econômico**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2006. 553 p.
- CARLSSON, B.; STANKIEWICZ, R. On the nature, function and composition of technological systems. **Journal of Evolutionary Economics**, Berlim, v. 1, n. 2, p. 93-118, 1991.
- LABORATÓRIO NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO BIOETANOL – CTBE. Disponível em: <<http://www.bioetanol.org.br/index.php/>>. Acesso em: 01 ago. 2012.
- CHANG, S.-B.; LAI, K.-K.; CHANG, S.-M. Exploring technology diffusion and classification of business methods: Using the patent citation network. **Technological Forecasting and Social Change**, Amsterdã, v. 76, n. 1, p. 107-117, 2009.
- CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO - CNPQ. **Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil**. Disponível em: <<http://dgp.cnpq.br/buscaoperacional/>>. Acesso em: 13 ago. 2012.
- COSTENBADER, E.; VALENTE, T. W. The stability of centrality measures when networks are sampled. **Social Networks**, Amsterdã, v. 25, n. 4, p. 283-307, 2003.

COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR - CAPES. Portal de Periódicos da CAPES. Disponível em: <<http://www.periodicos.capes.gov.br/>>. Acesso em: 13 ago. 2012.

COWAN, R.; JONARD, N. Network structure and the diffusion of knowledge. **Journal of Economic Dynamics and Control**, Amsterdã, v. 28, n. 8, p. 1557-1575, 2004.
CYSEWSKI, G. R.; WILKE, C. R. Utilization of cellulosic materials through enzymatic hydrolysis. I. Fermentation of hydrolysate to ethanol and single-cell protein. **Biotechnology and Bioengineering**, Nova Iorque, v. 18, n. 9, p. 1297-1313, 1976.

DAL POZ, M. E. S. **Redes de Inovação em Biotecnologia: genômica e direitos de propriedade intelectual**. 2006. 307 p. Tese (Doutorado em Política Científica e Tecnológica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

DAL POZ, M. E. S. S., J. M. J. F.; MASAGO, F. K. Innovation Networks: emerging technological trajectories on ethanol fermentation processes. In: INTERNATIONAL CONSORTIUM ON APPLIED BIOECONOMY RESEARCH, 16., 2012, Ravello. **Anais...**, Ravello: ICABR, 2012. Disponível em: <http://www.economia.uniroma2.it/icabr-conference/paper_view.php?id=2793&p=15/>. Acesso em: 10 fev. 2013.

DIAS, L. R. S. **Inovação Tecnológica e a Tríplice Hélice: Interações em Rede entre Projetos dos Institutos do Milênio (MCT/2001) e Análise das Patentes Brasileiras registradas no Escritório Norte-Americano (USPTO) após 2004**. 2008. 156 p. Dissertação (Mestrado em Administração) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2009.

DOROGOVTSSEV, S. N.; MENDES, J. F. F. Evolution of networks. **Advances in Physics**, Londres, v. 51, n. 4, p. 1079-1187, 2002.

DOSI, G. Technological paradigms and technological trajectories: a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. **Research Policy**, Amsterdã, v. 11, n. 3, p. 147-162, 1982.

EDQUIST, C. The systems of innovation approach and innovation policy: an account of the state of the art. In: DRUID CONFERENCE; 2001, Aalborg. **Anais...**, 2001. Aalborg: Druid Conference. Disponível em: <<http://folk.uio.no/ivai/ESST/Outline%20V05/edquist02.pdf/>>. Acesso: em 10 ago 2011.

EGGHE, L.; ROUSSEAU, R. **Introduction to Informetrics: quantitative methods in library, documentation and information science**, Amsterdã: Elsevier Science Publishers, 1990, 450 p.

EUROPEAN PATENT OFFICE - EPO. **Espacenet**. Disponível em <<http://www.epo.org/searching/free/espacenet.html/>>. Acesso: em 14 fev. 2012.

_____. **Espacenet**. Disponível em <<http://www.epo.org/searching/free/espacenet.html/>>. Acesso em: 07 mar. 2013.

ETZKOWITZ, H.; LEYDESDORFF, L. The dynamics of innovation: from National Systems and “Mode 2” to a Triple Helix of university–industry–government relations. **Research Policy**, Amsterdã, v. 29, n. 2, p. 109-123, 2000.

FARINAS, C. S.; MARTIN NETO, L.; GIORDANO, R. C.; Instrumentação e automação na agroindústria da cadeia cana-etanol. In: CORTEZ, L. A. B. (Coord.); CORTEZ, L. A. B.; WALTER, A. C. S.; LEAL, M. R. L. V.; MAGALHÃES, P. S. G.; BRAUNBECK, O. A.; BONOMI, A. M. F. L. J.; FURTADO, A. T.; LEAL, R. L. V. (Orgs.). **Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade**. São Paulo: Blücher, 2010, p. 601-618.

FELIPE, M. G. A. Produção de etanol: aspectos a serem considerados. In: CORTEZ, L. A. B. (Coord.); CORTEZ, L. A. B.; WALTER, A. C. S.; LEAL, M. R. L. V.; MAGALHÃES, P. S. G.; BRAUNBECK, O. A.; BONOMI, A. M. F. L. J.; FURTADO, A. T.; LEAL, R. L. V. (Orgs.). **Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade**. São Paulo: Blücher, 2010, v. 1, p. 547-552.

FORAY, D.; LUNDEVALL, B. A. The knowledge-based economy: from the economics of knowledge to the learning economy. In: UNEMPLOYMENT AND GROWTH IN THE KNOWLEDGE-BASED ECONOMY. **Anais...**, 1996, Paris: OECD, 1996. Disponível em: <<http://www.oecd.org/science/sci-tech/1913021.pdf>>. Acesso em: 15 ago. 2011.

FRANCO, T. T.; GARZÓN, C. S. L. Novas possibilidades de negócios do setor sucroalcooleiro: alcoolquímica e biorrefinaria. In: CORTEZ, L. A. B. (Coord.); CORTEZ, L. A. B.; WALTER, A. C. S.; LEAL, M. R. L. V.; MAGALHÃES, P. S. G.; BRAUNBECK, O. A.; BONOMI, A. M. F. L. J.; FURTADO, A. T.; LEAL, R. L. V. (Orgs.). **Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade**. São Paulo: Blücher, 2010, v. 1, p. 761-772.

FREEMAN, C. The ‘National System of Innovation’ in historical perspective. **Cambridge Journal of Economics**, Cambridge, v. 19, n. 1, p. 5-24, 1995.

FREEMAN, C.; SOETE, L. **A Economia da Inovação Industrial**. Tradução de José Emílio Maiorino. Campinas: Editora da Unicamp, 2008, 813 p.

FREITAS, L. Q. **Medidas de Centralidade em Grafos**. 2010. 103 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

FRUCHTERMAN; T. M. J.; REINGOLD, E. M. Graph drawing by force-directed placement. **Software: Practice and Experience**, Nova Iorque, v. 21, n. 11, p. 1129-1164, 1991.

FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO - FAPESP. **Programa FAPESP de Pesquisa em Bioenergia – BIOEN**. Disponível em: <<http://www.fapesp.br/bioen/>>. Acesso em: 01 fev. 2013.

GRANBIO. Disponível em <<http://www.granbio.com.br/>>. Acesso em: 11 mar. 2013.

HANNEMAN, R. A.; RIDDLE, M. **Introduction to social network methods.**

Riverside: University of California, 2005. Disponível em <<http://faculty.ucr.edu/~hanneman>>. Acesso em: 23 ago. 2011.

INFORMATION SCIENCES INSTITUTE - ISI. **WEB OF SCIENCE.** Disponível em <<http://thomsonreuters.com/web-of-science/>>. Acesso em: 30 jun. 2012.

_____. **WEB OF SCIENCE.** Disponível em <<http://thomsonreuters.com/web-of-science/>>. Acesso em: 24 out. 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE PROPRIEDADE INDUSTRIAL - INPI. Base de Dados do INPI. Disponível em <http://www.inpi.gov.br/portal/artigo/busca_patentes/>. Acesso em: 30 set. 2012.

JACKSON, M. O. *Social and Economic Networks.* Nova Jérсия: Princeton University Press, 2008. 520 p.

KRAFFT, J.; QUATRARO, F.; SAVIOTTI, P. P. The knowledge-base evolution in biotechnology: a social network analysis. **Economics of Innovation and New Technology.** Abingdon, v. 20, n. 5, p. 445-475, 2011.

KUHAD, R. C.; SINGH, A. Lignocellulose Biotechnology: Current and Future Prospects. **Critical Reviews in Biotechnology,** Boca Raton, v. 13, n. 2, p. 151-172, 1993.

LANGEVELD, J. W. A.; DIXON, J.; JAWORSKI, J. F. Development perspectives of the Biobased Economy: a review. **Crop Science,** Madison, v. 50, n. 2, p. 142-151, 2010.

LASTRES H. M. M; CASSIOLATO, J. E.; ARROIO A. Sistemas de inovação e desenvolvimento: mitos e realidade da economia do conhecimento global. In: _____. (Orgs). **Conhecimento, Sistema de inovação e Desenvolvimento.** Rio de Janeiro: Editora da UFRJ/ Contraponto; 2005. p. 17-50.

LEAL, M. R. L. V. Evolução tecnológica do processamento da cana-de-açúcar para etanol e energia elétrica. In: CORTEZ, L. A. B. (Coord.); CORTEZ, L. A. B.; WALTER, A. C. S.; LEAL, M. R. L. V.; MAGALHÃES, P. S. G.; BRAUNBECK, O. A.; BONOMI, A. M. F. L. J.; FURTADO, A. T.; LEAL, R. L. V. (Orgs.). **Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade.** São Paulo: Blücher, 2010, v. 1, p. 561-576.

LEE, J. Biological conversion of lignocellulosic biomass to ethanol. **Journal of Biotechnology,** Amsterdã, v. 56, n.1, p. 1-24, 1997.

LEPORI, B.; BARRÉ, R.; FILLIATREAU, G. New perspectives and challenges for the design and production of S&T indicators. **Research Evaluation,** Guildford, v. 17, n. 1, 2008, p. 33-44.

LOOY, V.; CALLAERT, J.; DEBACKERE, K. Publication and patent behavior of academic researchers: conflicting, reinforcing or merely co-existing? **Research Policy**, Amsterdã, v. 35, n. 4, p. 596-608.

MALERBA, F. Sectoral Systems of Innovation and Production. **Research Policy**, Amsterdã, v.31, n. 2, p.247-264, 2002.

MARQUES, A.; ABRUNHOSA, A. **Do modelo linear de inovação à abordagem sistémica: aspectos teóricos e de política económica**. Coimbra: Centro de Estudos da União Europeia, 2005, 43 p. Disponível em <http://www4.fe.uc.pt/ceue/working_papers/abrun33i.pdf/>. Acesso em 10 set. 2011.

MARQUES, F. **Os limites do índice-h**. Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/2013/05/14/os-limites-do-indice-h/>> Acesso em: 25 mai. 2013.

MATHEUS, R. F.; SILVA, A. B. O. **Fundamentação teórica para a análise de redes com ênfase na análise de redes sociais - ARS**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. Disponível em <<http://www.rfmatheus.com.br/doc/fundamentacaoarsv0.55.pdf/>>. Acesso em 15 ago. 2011.

MURRAY, F. Innovation as co-evolution of scientific and technological networks: exploring tissue engineering. **Research Policy**, Amsterdã, v. 31, n. 8-9, p. 1389-1403, 2002.

MYTELKA, L. K.; FARINELLI, F. **Local Clusters, Innovation Systems and Sustained Competitiveness**. Maastricht: United Nations University. Disponível em: <http://www.utoronto.ca/isrn/publications/WorkingPapers/Working01/Mytelka01_Clusters.pdf/>. Acesso em: 07 ago. 2011.

NELSON, R.; WINTER, S. **Uma teoria evolucionária da mudança econômica**. Tradução de Cláudia Heller. Campinas: Editora da Unicamp, 2005, 632 p.

NEWMAN, M. E. J. Power Laws, Pareto Distributions and Zipf's Law. **Contemporary Physics**, Londres, v. 46, n. 5, p. 323-351, 2005.

ORGANIZATION FOR ECONOMICS AND CO-OPERATION AND DEVELOPMENT - OECD. **Frascati Manual: Proposed Standard Practice for Surveys on Research and Experimental Development**. 2002. Disponível em: <<http://www.oecd.org/innovation/inno/frascatimanualproposedstandardpracticeforsurveysonresearchandexperimentaldevelopment6thedition.htm/>>. Acesso: em 10 de nov. 2010.

_____. **Guidelines for Collecting and Interpreting Innovation Data**. 2005. Disponível em:

<<http://www.oecd.org/innovation/inno/oslomanualguidelinesforcollectingandinterpretininnovationdata3rdedition.htm/>>. Acesso em: 10 de nov. 2010.

_____. **Manual on the Measurement of Human Resources Devoted to S&T – Canberra Manual**. 1995. Disponível em: < http://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/measurement-of-scientific-and-technological-activities_9789264065581-en/>. Acesso: em 10 de nov. 2010.

_____. **Patent Statistics Manual**. 2009. Disponível em: <<http://www.oecd.org/science/inno/oecdpatentstatisticsmanual.htm/>>. Acesso em: 10 de nov. 2010.

PATBASE. Disponível em: <<http://www.patbase.com/login.asp/>>. Acesso em: 24 de out. 2012.

PATEL, P.; PAVITT, K. Uneven (and divergent) technological accumulation among advanced countries: evidence and a framework of explanation. In: DOSI, G.; TEECE, D. J.; CHYTRY, J. (Orgs). **Technology, organization, and competitiveness**. Nova Iorque: Oxford University Press, 1998. p. 759-787.

PÉREZ, J.; MUÑOZ-DORADO, J. de la RUBIA, T.; MARTÍNEZ, J. Biodegradation and biological treatments of cellulose, hemicelulose and lignina: an overview. **International Microbiology**, Barcelona, v. 5, n. 2, p. 53-63, 2002.

RABELO, S. C. **Avaliação e otimização de pré-tratamentos e hidrólise enzimática do bagaço de cana-de-açúcar para a produção de etanol de segunda geração**. 2010. 414 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

ROSENBERG, N. **Por dentro da caixa-preta: tecnologia e economia**. Tradução de José Emílio Maiorino. Campinas: Editora da Unicamp, 2006, 432 p.

SCHUMPETER, J. A. A teoria do desenvolvimento econômico: uma investigação sobre lucros, capital, crédito, juro e o ciclo econômico. 1934, 3. ed., São Paulo: Abril Cultural, 1982.

SCHWARZ, W. H. The cellulosome and cellulose degradation by anaerobic bacteria. **Applied Microbiology and Biotechnology**, Heidelberg, v.56, n. 5-6, p. 634-649, 2001.

SHIBATA, N.; KAJIKAWA, Y.; TAKEDA, Y.; SAKATA, I.; MATSUSHIMA, K. Detecting emerging research fronts in regenerative medicine by the citation network analysis of scientific publications. **Technological Forecasting and Social Change**, Nova Iorque, v. 78, n. 2, p. 274-282, 2011.

STOKES, D. E. **O quadrante de Pasteur: a ciência básica e a inovação tecnológica**. Tradução de José Emílio Maiorino. Campinas: Editora da Unicamp, 2005, 248 p.

SUN, Y.; CHENG, J. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. **Bioresource Technology**, Essex, v. 83, n.1, p. 1-11, 2002.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR - UNICA. **Associadas da UNICA mais próximas de produzir etanol celulósico**. Disponível em <<http://www.unica.com.br/unica-na-midia/29810917920337549416/associadas-da-unica-mais-proximas-de-produzir-etanol-celulosico/>>. Acesso em: 10 mai. 2013.

UNITES STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA. Disponível em <<http://www.epa.gov/otaq/fuels/renewablefuels/index.htm/>>. Acesso: em 01 ago. 2011.

UNITED STATES PATENT & TRADEMARK OFFICE - USPTO. Disponível em: <<http://patents.uspto.gov/>>. Acesso em: 28 de nov. 2012.

VICENTE, R. **Redes Complexas**. São Paulo: Universidade de São Paulo. Disponível em <<http://each.uspnet.usp.br/sistcomplexos/SC1/RedesComplexas.pdf/>>. Acesso em: 05 ago. 2012.

VIEGAS, A. **Com etanol celulósico, produtividade de canaviais em litros por hectare pode crescer 35%**. Disponível em: <<http://www.udop.com.br/index.php?item=noticias&cod=1101445#nc/>>. Acesso em: 20 mai. 2013.

WAGNER, C. S.; LEYDESDORFF, L. Network structure, self-organization, and the growth of international collaboration in science. **Research Policy**, Amsterdã, v. 34, n. 10, p. 1608-1618, 2005.

WORLD INTELLECTUAL PROPERTY ORGANIZATION - WIPO. **International Patent Classification (IPC) Official Publication**. Disponível em: <<http://web2.wipo.int/ipcpub/#refresh=page>>. Acesso em 07 mar. 2013.

ANEXOS

A	Necessidades Humanas
A01	Agricultura, silvicultura, pecuária, caça, armadilhas, pesca
A21	Cozimento, equipamentos para fazer ou processamento de massas, massas para panificação
A22	Abate, tratamento de carne, processamento de aves ou peixe
A23	Alimentos ou produtos alimentares; seu tratamento, não abrangidos por outras classes
A24	Tabaco; charutos, cigarros, artigos para fumantes
A41	Artigos de vestuário
A42	Bonés, tocas
A43	Calçados
A44	Aviamentos, joias
A45	Artigos de viagem e de mãos
A46	Escovação
A47	Móveis, artigos domésticos ou equipamentos; moinhos de café, especiarias moinhos; limpadores de sucção em geral
A61	Ciência médica ou veterinária; higiene
A62	Salva-vidas, de combate a incêndio
A63	Esportes, jogos, diversões
A99	Assunto de outra forma não prevista nesta seção

Quadro 27 – Classificação IPC8 – seção A – necessidades humanas

Fonte: WIPO (2013).

B	Realização de Operações; Transporte
B01	Processos físicos ou químicos e aparelhos em geral
B02	Trituração, pulverização ou desintegração; tratamento preparatório de grãos para moagem
B03	A separação de materiais sólidos utilizando líquidos ou o uso de tabelas pneumáticos ou gabaritos, separação magnética ou eletrostática de materiais sólidos a partir de materiais sólidos ou líquidos; separação por campos eléctricos de alta tensão
B04	Aparelho centrífugo ou máquinas para a Realização de processos físicos ou químicos
B05	A pulverização ou de atomização, em geral, aplicar líquidos ou outros materiais fluentes a superfícies, em geral
B06	Gerar ou transmitir vibrações mecânicas em geral
B07	A separação de sólidos a partir de sólidos; triagem
B08	Limpeza
B09	Destinação de resíduos sólidos; recuperação de solo contaminado
B21	Mecânica metalúrgica essencialmente sem remoção de material; puncionamento de metais
B22	Fundição; metalurgia do pó
B23	Máquinas-ferramenta; metalúrgica salvo disposição em contrário
B24	Moagem, polimento
B25	Ferramentas manuais, ferramentas a motor portáteis; alças para instrumentos de mão, equipamentos de oficina; manipuladores
B26	Ferramentas de corte da mão, corte, decepar
B27	Trabalhar ou preservação de madeira ou material similar; pregar ou agrafadores em geral
B28	Cimento de trabalho, argila ou pedra
B29	Trabalhando de plásticos, trabalhando de substâncias em estado plástico em geral
B30	Prensas
B31	Fazer artigos de papel, papel de trabalho
B32	Produtos em camadas
B41	Impressão, máquinas de revestimento, máquinas de escrever, selos
B42	Encadernação, álbuns, arquivos, material impresso especial
B43	Escrever ou desenhar instrumentos, acessórios bureau
B44	Artes decorativas
B60	Veículos em geral
B61	Ferrovias
B62	Veículos terrestres para viajar exceto nos trilhos
B63	Navios ou outras embarcações de veiculação hídrica; equipamentos relacionados
B64	Aeronave; aviação; cosmonáutica
B65	Transporte; embalagem; armazenamento; manuseio de material fino ou filamentosos
B66	De elevação; elevação; transportar
B67	Abrir ou fechar garrafas, frascos ou recipientes semelhantes; manuseio de líquidos
B68	Selaria; estofos
B81	Tecnologia de microestrutural
B82	Nanotecnologia
B99	Assunto de outra forma não prevista nesta seção

Quadro 28 – Classificação IPC8 – seção B – realização de operações e transporte
Fonte: WIPO (2013).

C	Química; Metalurgia
C01	Química inorgânica
C02	Tratamento de água, águas residuais, esgoto ou lama
C03	Vidro, mineral ou lã de escória
C04	Cimentos, concreto, pedra artificial, cerâmica, refratários
C05	Fertilizantes; seu fabrico
C06	Explosivos; jogos
C07	Química orgânica
C08	Compostos orgânicos macromoleculares, a sua preparação;
C09	Corantes, tintas, esmaltes, resinas naturais; adesivos; composições não incluídas em outro local, aplicações de materiais não incluídos em outro local
C10	Indústrias de petróleo, gás ou coque, gases técnicos contendo monóxido de carbono, combustíveis, lubrificantes, turfa
C11	Animais ou vegetais, óleos, gorduras, substâncias gordas ou das ceras, ácidos graxos dos mesmos; detergentes; velas
C12	Bioquímica; cerveja; espíritos, vinho, vinagre, microbiologia, enzimologia, mutação ou engenharia genética
C13	Indústria de açúcar
C14	Peles, couros, peles, couro
C21	Metalurgia do ferro
C22	Metalurgia; ligas ferrosas e não-ferrosas, tratamento de ligas ou de metais não-ferrosos
C23	Revestimento de material metálico, material de revestimento com material metálico; tratamentos químicos de superfície, o tratamento de difusão de um material metálico, revestimento por evaporação a vácuo, por pulverização catódica, por implantação de íons ou por deposição química de vapor, em geral, inibir a corrosão de material metálico ou incrustação em geral
C25	Processos eletrolíticos ou eletroforese; aparelho mesmos
C30	Crescimento de cristal
C40	Tecnologia combinatória
C99	Assunto de outra forma não prevista nesta seção

Quadro 29 – Classificação IPC8 – seção C – química e metalurgia

Fonte: WIPO (2013).

D	Têxteis; Papéis
D01	Fios ou fibras naturais ou artificiais; com giro
D02	Fios, acabamento mecânico de fios ou cordas; entortar ou radiantes
D03	Tecelagem
D04	Tranças, rendas de decorações; tricô, enfeites, não-tecidos
D05	Costura; bordar; acolchoamento
D06	Tratamento de têxteis ou similares; lavagem; materiais flexíveis não incluídos em outro local
D07	Cordas, cabos eléctricos que não sejam
D21	Fabricação de papel, a produção de celulose
D99	Assunto de outra forma não prevista nesta seção

Quadro 30 – Classificação IPC8 – seção D – têxteis e papel

Fonte: WIPO (2013).

E	Construções Fixas
E01	Construção de estradas, ferrovias e pontes
E02	Engenharia hidráulica; fundações; manejo do solo
E03	Abastecimento de água; esgoto
E04	Construção
E05	Cadeados; chaves; janela ou porta acessórios; cofres
E06	Portas, janelas, persianas, ou persianas, em geral, escadas
E21	Terra ou de perfuração, mineração
E99	Assunto de outra forma não prevista nesta seção

Quadro 31 – Classificação IPC8 – seção E – construções fixas

Fonte: WIPO (2013).

F	Engenharia Mecânica; Iluminação; Aquecimento; Armas; Explosão
F01	Máquinas ou motores em geral, fábricas de motores em geral, motores à vapor
F02	Motores de combustão; fábricas de motores de gás quente ou produto de combustão
F03	Máquinas ou motores para líquidos; vento, primavera, ou motores de peso, produção de energia mecânica ou um impulso de propulsão reativa, não incluídos em outro local
F04	Máquinas de deslocamento positivo para líquidos, bombas para líquidos ou fluidos elásticos
F15	Atuadores pressão-fluido; hidráulica ou pneumática em geral
F16	Elementos de engenharia ou unidades, medidas gerais para a produção e manutenção do funcionamento eficaz de máquinas ou instalações, isolamento térmico em geral
F17	Armazenar ou distribuir gases ou líquidos
F21	Iluminação
F23	Aparelhos de combustão, processos de combustão
F24	Aquecimento, ventilação varia;
F25	Refrigeração ou refrigeração, sistemas de refrigeração e aquecimento combinado, sistemas de bombas de calor, fabricação ou armazenamento de gelo; liquefação ou solidificação de gases
F26	Secagem
F27	Fornos, fogões, fornos, autoclaves
F28	Troca de calor em geral
F41	Armas
F42	Munições; jateamento
F99	Assunto de outra forma não prevista nesta seção

Quadro 32 – Classificação IPC8 – seção F – engenharia mecânica, iluminação, aquecimento, armas e explosivos

Fonte: WIPO (2013).

G	Física
G01	Medição; testes
G02	Ótica
G03	Fotografia, cinema, técnicas análogas, utilizando diferentes ondas ópticas ondas; eletrografia; holografia
G04	Relojoaria
G05	Controle, regulação
G06	Computação; cálculo; contando
G07	Verificar-dispositivos
G08	Sinalização
G09	Educar; criptografia; exibição, publicidade, selos
G10	Instrumentos musicais; acústica
G11	Armazenamento de informações
G12	Detalhes do instrumento
G21	Física nuclear, engenharia nuclear
G99	Assunto de outra forma não prevista nesta seção

Quadro 33 – Classificação IPC8 – seção G – física

Fonte: WIPO (2013).

H	Eletricidade
H01	Elementos elétricos básicos
H02	Geração, conversão ou distribuição de energia elétrica
H03	Circuitos eletrônicos básicos
H04	Técnica de comunicação elétrica
H05	Técnicas elétricas não incluídas em outro local
H99	Assunto de outra forma não prevista nesta seção

Quadro 34 – Classificação IPC8 – seção H – eletricidade

Fonte: WIPO (2013).